

SELMA PATRÍCIA BANDEIRA MENDES COSTA

**ISOLAMENTO ACÚSTICO AÉREO  
EM CAMPO DE PARTIÇÕES VERTICAIS  
EM CONSTRUÇÃO  
LIGHT STEEL FRAMING,  
EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO – DEHA

SELMA PATRÍCIA BANDEIRA MENDES COSTA

**ISOLAMENTO ACÚSTICO AÉREO EM CAMPO DE PARTIÇÕES VERTICAIS EM  
CONSTRUÇÃO *LIGHT STEEL FRAMING*, EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES**

MACEIÓ  
2016

SELMA PATRÍCIA BANDEIRA MENDES COSTA

ISOLAMENTO ACÚSTICO AÉREO EM CAMPO DE PARTIÇÕES VERTICAIS EM  
CONSTRUÇÃO *LIGHT STEEL FRAMING*, EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-graduação de Arquitetura e  
Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas  
como requisito para a obtenção do grau de  
Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Maria Lúcia Gondim  
da Rosa Oiticica

MACEIÓ  
2016

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecária Responsável: Janaina Xisto de Barros Lima

- C837i Costa, Selma Patrícia Bandeira Mendes.  
Isolamento acústico aéreo em campo de partições verticais em *Light Steel Framing*, em habitações unifamiliares/ Selma Patrícia Bandeira Mendes Costa. – 2016.  
200f. : il.
- Orientadora: Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica.  
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2016.
- Bibliografia: f. 173-182.  
Apêndices: f. 183-200.
1. Edificações habitacionais. 2. Isolamento sonoro. 3. *Light steel framing*.  
4. NBR 15575:2013. 5. Ruído aéreo. I. Título.

CDU: 711.4(813.4)



SELMA PATRÍCIA BANDEIRA MENDES COSTA

**ISOLAMENTO ACÚSTICO AÉREO EM CAMPO DE PARTIÇÕES VERTICAIS EM  
CONSTRUÇÃO *LIGHT STEEL FRAMING*, EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**APROVADA em 22/08/2016**



Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica (Orientadora)  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

**Banca Examinadora:**



Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Stelamaris Rolla Bertoli (Examinadora Externa)  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de  
Campinas (UNICAMP)



Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Juliana Oliveira Batista (Examinador Interno)  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)



Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Lúcia Tone Ferreira Hidaka (Examinadora Interna)  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Este trabalho é dedicado à minha família, orgulho de minha existência, exemplo sincero de amor e união, cujo apoio e cuja dedicação, deram-me garra para enfrentar os obstáculos, força para seguir adiante, e esperança em meu coração para acreditar que eu posso, eu consigo, que hei de vencer!

## AGRADECIMENTOS

A realização deste sonho é fruto do apoio e dedicação de muitas pessoas, as quais agradeço infinitamente.

Ao meu pai, retrato de honestidade e respeito ao próximo. Agradeço por me apresentar os livros, como fonte inesgotável do saber, por me fazer crer que o MUNDO um dia pode ser melhor e que basta que façamos nossa parte.

À minha maravilhosa mãe, a quem devo TUDO. Agradeço por segurar minha mão e me guiar pelo caminho do amor, por sempre querer me ajudar de alguma forma, e por me acompanhar nas medições.

À minha Tia Sônia, referência em minha vida e voinha Xanda por todo amor e carinho, por serem minhas mães também, pelo orgulho que sentem de mim.

À minha irmã-amiga-companheira, Ana Carolina Bandeira, por elevar minhas qualidades, pelo amor incondicional, por SEMPRE estar ao meu lado, e por me ajudar MUITO nas medições.

Ao meu irmão amado Tiago Bandeira, pelo apoio emocional e pela paciência nas inúmeras conversas por telefone.

À minha prima-irmã-amiga Manoela Mendes por ser uma espelho para mim, pelos conselhos sempre pertinentes, e pela preocupação diária comigo.

Às amigas Bruna Machado e Renata Fontenele por me fazerem não desistir, pelas conversas diárias, pelos conselhos, pela amizade de uma vida, ou quem sabe de outras ou de todas as VIDAS.

À amiga Caroline Plech por me valorizar, sempre carinhosa e prestativa, por me fazer sentir especial, e principalmente por me fazer RIR, rir muito, mesmo nos momentos mais estressantes ou tristes, além da ajuda em todas as etapas deste curso. Nossa conexão foi imediata e será eterna.

Ao Henrique Machado, por me fazer ter paciência e acreditar que meu sucesso profissional viria, bastava ter dedicação, competência e calma.

À amiga Suzana Costa por ter me proporcionado a oportunidade de trabalhar durante cinco anos com o sistema *Light Steel Framing*, cerne dessa pesquisa.

À amiga Laís Ribeiro por me dar a primeira oportunidade de lecionar, por insistir para que eu realizasse a prova de seleção do mestrado, e por torcer muito por mim.

À minha querida orientadora Lucinha, exemplo de profissional à quem tenho extrema admiração, agradeço pela confiança depositada em mim, pela paciência e carinho, e por emprestar seus equipamentos para a realização das medições.

À Juliana Batista, Lúcia Hidaka e StelaMaris Bertoli, a banca que avaliou essa dissertação, agradeço pelas sugestões significativas para o aperfeiçoamento do trabalho.

Em especial à Lúcia Hidaka por insistir para que eu finalizasse a dissertação o mais breve possível, me dando ânimo para continuar mesmo diante das obrigações profissionais.

Ao Gabriel Campodonio pela disponibilidade em me ajudar sempre que precisei, esclarecendo as milhões de dúvidas que eu tinha, de forma atenciosa e generosa.

À Rafa Penedo pela disponibilidade em me ensinar a respeito do equipamento e do *software* e pelas informações compartilhadas.

Ao Sr. Sávio Neiva (proprietário da construtora que cedeu as edificações) e Igor Nunes (engenheiro), que possibilitaram a realização dos ensaios, oferecendo TODO o suporte necessário, sem eles essa pesquisa não seria possível.

Ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) que ofertou uma bolsa de estudos, durante o período do mestrado.

Aos meus queridos alunos pelo carinho e respeito.

Aos meus amigos de turma que participaram desse processo junto comigo, pelo companheirismo, pelo compartilhamento de informações, e pela força.

Aos amigos da faculdade Pitágoras pela confiança no meu trabalho. Em especial ao prof. Roney Calheiros e à Suely Viana.

Muito obrigada à todos vocês pelo apoio na realização deste sonho, e por fazerem com que mais esta jornada valha a pena.

Obrigada meu DEUS, eu lhe sou muito grata!



O mais importante não é a arquitetura, mas a vida,  
os amigos e este mundo injusto que devemos  
modificar.

Oscar Niemeyer

## RESUMO

Em virtude do crescimento urbano acelerado e os consequentes problemas ambientais ocasionados, evidencia-se um agravamento do ruído urbano nas cidades, comprometendo dentre outros aspectos a qualidade sonora nos espaços. Sob essa ótica, o desempenho acústico do sistema construtivo deverá propiciar a minimização das condições acústicas desfavoráveis visando reduzir ao máximo os ruídos que podem comprometer a audição e provocar desconforto. Nos dias atuais, a indústria da construção civil vislumbra a introdução de sistemas mais eficazes do ponto de vista ambiental. Nesse contexto, destaca-se o *Light Steel Framing* (LSF), cujo *marketing* propaga um desempenho acústico eficiente. O presente trabalho teve como objetivo a avaliação do desempenho acústico de partições verticais em duas edificações habitacionais unifamiliares com estrutura do tipo LSF, e diferentes materiais em sua conformação, uma com absorvedor acústico e a outra não. A pesquisa foi realizada a partir de uma análise quantitativa, segundo medições em campo do isolamento sonoro do Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) dos objetos de estudo selecionados, e uma posterior análise qualitativa, em razão da comparação dos resultados adquiridos em campo, com os índices de isolamento previstos na norma nacional NBR 15575-4:2013, nas normas internacionais HUD:1967, CEQR:2012 e HAL:2012, com os critérios para qualificação do isolamento acústico em relação à inteligibilidade da fala e com estudos existentes na literatura referentes ao desempenho acústico de em outros sistemas construtivos. Na análise quantitativa, os resultados obtidos demonstraram que as paredes com esquadrias em sua configuração apresentam índices de isolamento sonoro menores que os índices atestados nas paredes cegas, em ambos os objetos de estudo. Por outro lado, as paredes cegas com lã de rocha atingiram valores de isolamento mais elevados frente às paredes cegas sem absorvedor, apesar de apresentarem menor espessura. No tocante à análise qualitativa verificou-se que o desempenho acústico do sistema avaliado atende às exigências previstas na norma nacional, contudo não é compatível com os critérios internacionais, nos dois objetos de estudo. Quanto à comparação com outros sistemas construtivos, averiguou-se que os valores obtidos em campo são equiparáveis ou superiores.

**Palavras- chave:** Edificações habitacionais. Isolamento sonoro. *Light Steel Framing*. NBR 15575:2013. Ruído aéreo.

## ABSTRACT

Because of accelerated urban growth, and the resulting caused environmental problems, there is evidence of a deterioration of the urban noise in cities, affecting among other things the sound quality in the spaces. At this juncture the acoustic performance of building system should provide minimization of unfavorable acoustic conditions to reduce the maximum noise that can affect hearing and cause discomfort. Nowadays, the construction industry sees the introduction of more effective systems from an environmental point of view. In this context, there is the Light Steel Framing (LSF), whose marketing propagates an efficient acoustic performance. This study aimed to evaluate the acoustic performance of vertical partitions in two residential buildings with LSF type structure, and different materials in its conformation, one with acoustic absorber and the other not. The survey was conducted from a quantitative analysis, according to measurements in field of sound insulation of Internal and External Vertical Seals System (SVVIE) of selected objects of study, and a subsequent qualitative analysis, due to the comparison of results obtained in field with insulation levels set out in national standard NBR 15575-4: 2013, the international standards HUD: 1967 CEQR: 2012 and HAL: 2012, with the criteria for qualification of sound insulation in relation to speech intelligibility and with existing studies In the literature regarding the acoustic performance of other construction systems. and existing studies of acoustic performance conducted in other building systems. In the quantitative analysis, the results showed that the walls with window frames in your configuration have lower sound insulation indexes that the indexes certificates in blind walls in both the objects of study. On the other hand, the blind walls with rock wool achieved higher insulation values blind walls without front absorber, although they presented smaller thickness. Regarding the qualitative analysis, it was found that the acoustic performance of the rated system meets the requirements of national standard, but is not compatible with international standards, in the two objects of study. Comparison with other building systems, it was established that the values obtained in the field are comparable or superior.

**Keywords:** Residential buildings. Sound insulation. Light Steel Framing. NBR 15575: 2013. Airborne noise.

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQ. (01) - Balanço energético sonoro em uma parede sob incidência de ondas sonoras .....	31
EQ. (02) - Diferença de Nível de pressão sonora .....	36
EQ. (03) – Índice de redução sonora .....	37
EQ. (04) - Lei da Massa .....	40
EQ. (05) - Índice de redução sonora em paredes duplas .....	42
EQ. (06) - Menor frequência de ressonância do conjunto painel/cavidade/painel (Hz) .....	42
EQ. (07) - Índice de redução sonora em paredes compostas .....	44
EQ. (08) - Coeficiente de transmissão sonora da partição composta .....	44
EQ. (09) - I-ésimo coeficiente de transmissão sonora .....	44
EQ. (10) - Tempo de reverberação .....	46
EQ. (11) - Área de absorção sonora equivalente .....	47
EQ. (12) - Coeficiente de absorção sonora .....	47
EQ. (13) - Índice de Redução Sonora em função da área de absorção .....	48
EQ. (14) - Índice de Redução Sonora Aparente em função da potência .....	48
EQ. (15) - Diferença Normalizada de Nível em função da absorção sonora .....	48
EQ. (16) - Diferença Padronizada de Nível em razão do tempo de reverberação .....	48
EQ. (17) - Diferença de Nível Padrão (C) .....	49
EQ. (18) - Diferença de Nível Padrão (Ctr) .....	49
EQ. (19) - Diferença Padronizada de Nível, a 2 metros em função do tempo de reverberação .....	49
EQ. (20) - Correção do ruído de fundo .....	57
EQ. (21) - Diferença de nível de pressão sonora a 2m .....	58
EQ. (22) - Diferença Padronizada de Nível a 2m em razão do tempo de reverberação.....	58
EQ. (23) - Diferença normalizada de nível a 2m em função da absorção sonora .....	58
EQ. (24) – Adaptação do espectro sonoro .....	63
EQ. (25) –Diferença entre o nível sonoro ponderado em A no ambiente emissor e no ambiente receptor .....	63

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Balanço energético sonoro em uma parede sob incidência de ondas sonoras. ....	32
Figura 2- Caminhos de transmissão sonora entre ambientes adjacentes. ....	33
Figura 3- Esquema Massa/Mola/Massa em parede dupla. ....	34
Figura 4- Planta baixa esquemática: Medição de diferença de nível .....	37
Figura 5- Pannel sólido e homogêneo, de dimensões a,b e t, com rigidez à flexão B e densidade superficial M. ....	39
Figura 6- Teoria da Lei da Massa e a espessura dos componentes. ....	39
Figura 7- Curva típica do Índice de Redução Sonora para uma parede simples. ....	40
Figura 8- Transmissão através de 3 meios. ....	41
Figura 9- Índice de Redução Sonora médio de paredes duplas com diferentes distâncias entre os painéis montados em caibros independentes. ....	42
Figura 10- Configuração física do modelo matemático de parede dupla. ....	43
Figura 11- Curva típica do índice de redução sonora (R) de uma parede dupla ideal. ....	44
Figura 12- Comportamento de diversos painéis múltiplos em relação e comparação à lei da massa de pannel simples. ....	44
Figura 13- Índice de Redução Sonora de paredes com aberturas. ....	47
Figura 14- Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 mm. ....	63
Figura 15- Estação da Luz, São Paulo, Brasil. ....	75
Figuras 16, 17 e 18 - Edifício Garagem América; Edifício Avenida Central; Edifício Escritório Central da CSN. ....	75
Figuras 19 e 20- Deposição ilegal de resíduos da construção na malha urbana da cidade de Maceió. ....	78
Figura 21- Alvenaria convencional e seus subsistemas. ....	82
Figura 22- Desenho esquemático de uma residência em Light Steel Framing. ....	95
Figura 23 e 24- Agência da Caixa Econômica Federal e Vila Dignidade. ....	97
Figura 25- Porcentagem de aplicação do sistema LSF em edificações habitacionais. ....	98
Figura 26- Produção de perfis em obra. ....	99
Figura 27 e 28- Método Stick. ....	100
Figura 29 e 30 - Método por painéis. ....	100
Figura 31 e 32- Construção Modular. ....	101
Figura 33- Esquema de construção tipo platform. ....	101
Figura 34- Detalhe esquemático de ancoragem de pannel estrutural à uma laje radier. ....	102
Figura 35- Corte detalhado de fundação sapata corrida. ....	103
Figura 36- Pannel típico em Light Steel Framing. ....	104
Figura 37- Desenho esquemático de laje úmida. ....	105
Figura 38- Desenho esquemático de laje seca. ....	105
Figura 39- Componentes utilizados em uma parede típica em Light Steel Framing. ....	107
Figura 40 e 41 - Caibros e vigas alinhados com montantes de pannel estrutural e Detalhamento estrutura de coberta em LSF. ....	110
Figura 42 e 43 - Instalações Elétricas e Hidráulicas. ....	110
Figura 44- Pannel fixado ao perfil através de barras resilientes. ....	112
Figura 45- Localização dos objetos de estudo. ....	117
Figuras 46 e 47- Fachadas Objeto de estudo 01, com as paredes avaliadas e Planta baixa do Objeto 01. ....	118
Figura 48- Esquema das paredes de vedação verticais externas. ....	119
Figura 49 - Esquema das paredes de vedação verticais internas. ....	120

Figura 50- Fachadas objeto de estudo 02, com as paredes avaliadas.....	121
Figura 51- Planta baixa Objeto de estudo 02- pavimento térreo. ....	121
Figura 52- Planta baixa Objeto de estudo 02- pavimento superior. ....	122
Figura 53- Esquema das paredes de vedação verticais externas. ....	122
Figura 54- Esquema das paredes de vedação verticais internas. ....	122
Figura 55- Planta baixa do Objeto 01 com as paredes avaliadas nos ensaios em campo.....	124
Figura 56- Planta baixa do Objeto 02 (pavimento térreo) com as paredes avaliadas nos ensaios em campo.....	126
Figura 57- Planta baixa do Objeto 02 (pavimento superior) com as paredes avaliadas nos ensaios em campo.....	126
Figura 58- Esquema equipamentos utilizados nas medições.....	128
Figuras 59, 60 e 61- Preparação para as medições- Calibração do sonômetro e Montagem dos equipamentos internos. ....	129
Figura 62- Perspectiva de medições de isolamento sonoro em fachadas. ....	138
Figura 63- Corte esquemático medições de isolamento sonoro nas fachadas do Objeto 02. .	139
Figura 64- Sistematização dos dados no software.....	141
Figura 65- Planta baixa Objeto 01 com as partições avaliadas e resultados de isolamento sonoro. ....	143
Figuras 66 e 67- Plantas baixas Objeto 02 com as partições avaliadas e resultados de isolamento sonoro.....	148

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 e 2- Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes internas com portas e paredes cegas respectivamente (Objeto 01).....	146
Gráfico 3 - Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes externas (Objeto 01)..	147
Gráfico 4 e 5- Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes internas com portas e paredes cegas respectivamente (Objeto 02).....	151
Gráfico 6 –Comparativo do isolamento sonoro em função da frequência em paredes internas- Objeto 01 e Objeto 02.....	151
Gráfico 7 - Comparativo do isolamento Sonoro em função da frequência em paredes externas- Objeto 01 e Objeto 02.....	153
Gráfico 8 - Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes externas- Objeto 02. ..	153
Gráfico 9 – Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) e Sistemas Construtivos em Alvenaria.....	166
Gráfico 10 – Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) e Sistemas Construtivos Industrializados.....	167



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Percepção do som em relação às mudanças de nível de ruído. ....	31
Quadro 2- Qualificação do Isolamento Acústico. ....	38
Quadro 3- Parâmetros de transmissão sonora de uma parede composta, entre dois ambientes (receptor e emissor). ....	50
Quadro 4- Parâmetros Acústicos NBR 15.575-4.....	54
Quadro 5- Substituição de normas de medição de desempenho acústico (ISO). ....	57
Quadro 6- Informações Gerais ISO 16.283-1.....	58
Quadro 7- Informações Gerais ISO 16.283-3.....	59
Quadro 8- Coeficiente de adaptação em função do tipo de fonte sonora. ....	63
Quadro 9- Informações Gerais ISO 3382-2.....	64
Quadro 10- Classes propostas para conforto acústico em uma unidade residencial. ....	71
Quadro 11- Características Gerais da Alvenaria Convencional. ....	83
Quadro 12- Elementos Vedações Verticais na Alvenaria Convencional. ....	84
Quadro 13- Características Gerais sistema construtivo em Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos.....	87
Quadro 14- Características Gerais sistema construtivo em Painéis pré-moldados maciços de concreto armado. ....	88
Quadro 15- Características Gerais sistema construtivo em Painéis em chapas de aço galvanizado.....	89
Quadro 16- Características Gerais sistema construtivo em Painéis Concreto/PVC.....	90
Quadro 17- Características Gerais sistema construtivo em Painéis de concreto moldados com EPS. ....	91
Quadro 18- Características Gerais sistema construtivo em <i>Wood Framing</i> .....	92
Quadro 19- Os sistemas construtivos industrializados e o desempenho acústico. ....	93
Quadro 20- Principais materiais aplicados em vedações verticais no sistema LSF. ....	108
Quadro 21- Desempenho acústico drywall (soluções mais utilizadas). ....	112
Quadro 22- Desempenho acústico LSF (soluções mais utilizadas).....	113
Quadro 23- Características Gerais: Objeto 01.....	120
Quadro 24- Nomenclatura das partições selecionadas para avaliação do desempenho acústico do Objeto 01. ....	125
Quadro 25- Nomenclatura das partições selecionadas para avaliação do desempenho acústico do Objeto 01. ....	127
Quadro 26- Posicionamento dos pontos de medição das fachadas PE1 e PE2 do Objeto 01. ....	131
Quadro 27- Posicionamento dos pontos de medição das fachadas PE3 e PE4 do Objeto 01. ....	132
Quadro 28- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos S02 e S01 do Objeto 01. ....	133
Quadro 29- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos S02 e S01 do Objeto 01. ....	134
Quadro 30- Posicionamento dos pontos de medição das fachadas PE1 e PE2 do Objeto 02. ....	135
Quadro 31- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos SALA 01 e QT01 do Objeto 02. ....	136
Quadro 32- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos QT01 e S01 do Objeto 02. ....	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Transmissão sonora de uma parede composta, entre dois ambientes (receptor e emissor) .....	46
Tabela 2- Valores dB(A) e NC .....	52
Tabela 3- Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações externas (fachadas).....	55
Tabela 4- Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações internas (paredes).....	56
Tabela 5- Valores da curva de referência .....	61
Tabela 6- Valores de referência para obtenção dos termos de adaptação entre 50 e 5000Hz..	62
Tabela 7- Isolamento de sons aéreos entre habitações e outros ambientes- Classes.....	67
Tabela 8- Isolamento sonoro em fachadas- Classes .....	67
Tabela 9- Parâmetros para isolamento de sons aéreos em recintos internos - HUD.....	68
Tabela 10- Parâmetros detalhados para isolamento de sons aéreos em recintos internos - HUD .....	68
Tabela 11- Parâmetros mais detalhados para isolamento de sons aéreos em recintos internos - HUD .....	69
Tabela 12- Parâmetros para isolamento de sons aéreos em fachadas - CEQR.....	69
Tabela 13- Conversão de dB para dB(A) .....	70
Tabela 14- Classes propostas para isolamento sonoro aéreo entre ambientes de uma mesma unidade habitacional- $D_{nT,A}$ em dB .....	71
Tabela 15- Classes propostas para isolamento sonoro aéreo entre ambientes de unidades habitacionais autônomas - $D_{nT,A}$ em dB.....	71
Tabela 16- Classes propostas para isolamento sonoro aéreo em fachadas- $D_{nT,A,fr-regulation}$ em dB .....	72
Tabela 17- Caracterização da composição das partições avaliadas no Objeto 01 e os índices de isolamento sonoro.....	144
Tabela 18- Isolamento Sonoro em função da frequência- Objeto 01 (paredes internas) .....	145
Tabela 19- Qualificação do isolamento sonoro em razão da percepção da fala das partições internas do Objeto 01.....	147
Tabela 20- Caracterização da composição das partições avaliadas no Objeto 02 e resultados das medições.....	149
Tabela 21- Isolamento Sonoro em função da frequência- Objeto 02 (paredes internas) .....	150
Tabela 22- Qualificação do isolamento sonoro em razão da percepção da fala das partições internas do Objeto 02.....	152
Tabela 23- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes do Objeto 01 e os parâmetros da NBR 15575:2013 .....	155
Tabela 24- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes internas do Objeto 02 e os parâmetros da NBR 15575:2013 .....	156
Tabela 25- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes internas do Objeto 01 e os parâmetros do HUD:1967 .....	158
Tabela 26- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes internas do Objeto 02 e os parâmetros do HUD:1967 .....	158
Tabela 27- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes externas do Objeto 01 e os parâmetros do CEQR:2012 .....	159
Tabela 28- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes externas do Objeto 02 e os parâmetros do CEQR:2012 .....	160
Tabela 29- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes do Objeto 01 e os parâmetros do HAL:2012.....	161

Tabela 30- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes do Objeto 02 e os parâmetros do HAL:2012.....	162
Tabela 31- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes internas e externas do Objeto 01 e os parâmetros das Normas: NBR 15575:2013; HUD:1967; CEQR:2012; HAL:2012 .....	164
Tabela 32- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) das paredes internas e externas do Objeto 02 e os parâmetros das Normas: NBR 15575:2013; HUD:1967; CEQR:2012; HAL:2012 .....	165
Tabela 33- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) e Sistemas Construtivos em Alvenaria.....	166
Tabela 34- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições in loco) e Sistemas Construtivos Industrializados.....	167

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**A** - Área de Absorção Sonora Equivalente

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**AQUA** - Alta Qualidade Ambiental

**AISI** - *American Iron and Steel Institute*

**ANTAC** - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

**BNDES** - Banco Nacional do Desenvolvimento

**BRE** - *Building Research Establishment*

**C** - Coeficiente de adaptação de espectro para avaliação do desempenho entre recintos para ruído rosa

**CASBEE** - *Comprehensive Assessment System For Building Environmental Efficiency*

**CBCA** - Centro Brasileiro da Construção em Aço

**CBIC** - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

**CDHU** - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo

**CEF** - Caixa Econômica Federal

**CEQR**- *City Environmental Quality Review Technical Manual*

**CES** - Construção Energética Sustentável

**CNS**- Companhia Siderúrgica Nacional

**CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CSSBI** - *Canadian Sheet Steel Building Institute*

**Ctr** - Coeficiente de adaptação de espectro para avaliação do desempenho de fachadas para ruído de trânsito ou baixas frequências

**D** - Diferença de Nível

**dB** – Decibel

**dB(A)** - Decibel ponderado em A

**D<sub>n</sub>** - Diferença Normalizada de Nível

**D<sub>nw</sub>** - Diferença Normalizada de Nível Ponderada

**D<sub>nT</sub>** - Diferença Padronizada de Nível

**D<sub>nT,A</sub>**- Diferença de Nível de padrão

**D<sub>nt,w</sub>** - Diferença Padronizada de Nível ponderada

**D<sub>2m,nT</sub>** - Diferença Padronizada de Nível, a 2 metros

**D<sub>2m,nT,w</sub>** - Diferença Padronizada de Nível ponderada, a 2 metros

**ENCAC** - Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído

**ELACAC** - Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

**EPS** - Expanded Polystyrene

**FEM** - Fábrica de Estruturas Metálicas

**FCAV** - Fundação Carlos Alberto Vanzolini

**FSTC** - Classe de Transmissão Sonora

**GBC** - *Green Building Council Brasil*

**GBC/SB TOOL**- *Green Building Challenge*

**HAL**- *Archive Ouverte Pluridisciplinaire*

**HQE** - *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*

**HUD**- *Department of Housing and Urban Development*

**IBC**- *International Building Code*

**IBS**- Instituto Brasileiro de Siderurgia

**ICC**- *International Code Council*

**IMRR**- índice médio de redução de ruído

**INMETRO**- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

**ISO** - *International Organization for Standardization*

**LEED** - *Leadership In Energy & Environmental Design*

**LKS**- *European Light Steel Construction Association*

**LSF** – *Light Steel Framing*

**NAHB** - *National Association of Home Builders*

**NASFA** - *Prescriptive method for residential cold-formed steel framing, da North American Steel Framing Alliance*

**NC** - Curva de Avaliação de Ruído

**NBR** – Norma Brasileira

**NPS** - Nível De Pressão Sonora

**NRC** - Coeficiente de Redução Sonora

**OITC**- *Outdoor-Indoor Transmission Class*

**OMS** - Organização Mundial de Saúde

**ONU**- Organização das Nações Unidas

**OSB** - *Oriented Strand Board*

**OSHAS** - Sistemas de gestão da segurança e da saúde do trabalho

**PBQP-H** - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

**PROACÚSTICA**- Associação Brasileira para Qualidade Acústica

**PROCEL**- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

**PT** - Perda de Transmissão

**PVC** - Policloreto de Vinila

**R** - Índice de Redução Sonora

**R'** - Índice de Redução Sonora Aparente

**R<sub>w</sub>** - Índice de Redução Sonora Ponderado

**R'<sub>w</sub>** - Índice de Redução Sonora Ponderado

**SA** - Norma de Responsabilidade Social

**SFA** - *Steel Framing Alliance*

**SINAT** - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

**STC** - Classe de Transmissão Sonora

**SVVE** - Sistema de Vedações Verticais Externas

**SVVI** - Sistema de Vedações Verticais Internas

**SVVIE** - Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas

**T<sub>60</sub>** - Tempo de Reverberação

**UFAL**- Universidade Federal de Alagoas

**UNICAMP** - Universidade Católica de Campinas

**τ** - Coeficiente de transmissão sonora

**α** - Coeficiente de absorção sonora

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	22
<b>1.1 Objetivos</b>	27
1.1.1 Objetivo Geral	27
1.1.2 Objetivos Específicos	27
<b>1.2 Estrutura da Dissertação</b>	28
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	29
<b>2.1 Desempenho acústico de partições verticais</b>	29
2.1.1 O conforto acústico e a qualidade de vida	29
2.1.2 Isolamento sonoro ao ruído aéreo	31
2.1.2.1 Diferença de nível (D)	36
2.1.2.2 Índice de Redução Sonora (R) em paredes	38
2.1.3 Referências Normativas	50
2.1.3.1 Critérios Nacionais	51
2.1.3.2 Critérios Internacionais	56
<b>2.2 A Industrialização na Construção Civil</b>	72
2.2.1 Industrialização na construção civil	72
2.2.3 Contextualização	74
2.2.3 Construção Sustentável	77
2.2.4 Sistemas construtivos e o desempenho acústico	81
2.2.4.1 A Alvenaria Convencional	81
2.2.4.2 Sistemas construtivos industrializados ou não convencionais	85
2.2.4.2.1 O desempenho acústico de sistemas construtivos industrializados	92
2.2.4.3 Sistemas construtivos estruturados em aço: O <i>Light Steel Framing</i>	93
2.2.4.3.1 O desempenho acústico do sistema LSF	111
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	116
<b>3.1 Etapa 1: Caracterização dos objetos de estudo</b>	117
3.1.1 Objeto de Estudo 01	118
3.1.2 Objeto de Estudo 02	121
<b>3.2 Etapa 2: Medições em Campo</b>	123
3.2.1 Procedimentos de medição: Ensaios em Campo	123
3.2.1.1 Equipamentos utilizados	127
3.2.1.2 Seleção dos pontos de medição	129
3.2.1.3 Etapas das medições de isolamento acústico aéreo	138



<b>4 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO</b> .....	141
<b>4.1 Análise Quantitativa</b> .....	141
4.1.1 Sistematização dos resultados das medições .....	141
4.1.1.1 Resultados de isolamento sonoro- Objeto 01 .....	143
4.1.1.2 Resultados de isolamento sonoro- Objeto 02.....	148
<b>4.2 Análise Qualitativa</b> .....	153
4.2.1 NBR 15575:2013 (a) .....	154
4.2.2 HUD:1967 e CEQR:2012 (b).....	156
4.2.3 HAL:2012 (c) .....	160
4.2.4 Síntese dos resultados.....	163
4.2.5 Sistemas Construtivos em Alvenaria (d) e Sistemas Construtivos Industrializados (e) 165	
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	169
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	173
<b>APÊNDICES</b> .....	183
APÊNDICE A- Conceitos relacionados a Industrialização .....	184
APÊNDICE B– Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições internas do Objeto 01 .....	186
APÊNDICE C– Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições externas do Objeto 01 .....	191
APÊNDICE D– Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições internas do Objeto 02.....	193
APÊNDICE E– Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições externas do Objeto 02 .....	196
APÊNDICE F– Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível ( $D_{nT}$ ) em função da frequência com seus respectivos valores globais ( $D_{nT,w}$ ) em dB das partições internas do Objeto 01 .....	197
APÊNDICE G– Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível ( $D_{nT}$ ) em função da frequência com seus respectivos valores globais ( $D_{2m,nT,w}$ ) em dB das partições internas do Objeto 01 .....	198
APÊNDICE H– Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível ( $D_{nT}$ ) em função da frequência com seus respectivos valores globais ( $D_{nT,w}$ ) em dB das partições internas do Objeto 02.....	199
APÊNDICE I– Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível ( $D_{nT}$ ) em função da frequência com seus respectivos valores globais ( $D_{2m,nT,w}$ ) em dB das partições internas do Objeto 02 .....	200

## 1 INTRODUÇÃO

Durante toda a história o homem modela o ambiente natural em busca de conforto, em virtude de seu bem estar físico e psicológico. Nos primórdios das civilizações, o ser humano passou a construir edificações impulsionado pela necessidade de se proteger do meio selvagem, desenvolvendo sistemas construtivos a partir do emprego de materiais disponíveis na natureza, tais como pedra, palha, galhos, troncos de árvores e a terra.

Esses materiais proporcionaram a elaboração de relevantes obras de engenharia, tais como as pirâmides do Egito, os Templos Gregos e Romanos, as Igrejas Medievais, e tantas outras edificações de destaque para a arquitetura mundial. Com o desenvolvimento das civilizações ocorreu também o aperfeiçoamento gradativo das técnicas construtivas (ANTAC, 2003).

A revolução industrial, no final do século XVIII, permitiu uma diversificação nos sistemas construtivos, tendo em vista a utilização de materiais inovadores como o ferro, o aço, e o concreto e com o surgimento da energia elétrica. Isso dinamizou as técnicas construtivas e proporcionou o surgimento de novas tecnologias, garantindo o aumento da produtividade e maior flexibilidade nas edificações, para atender uma demanda populacional cada vez maior.

Devido ao crescimento vertiginoso das cidades, a sociedade passou a conviver com graves problemas ambientais que afetam diretamente a qualidade de vida, comprometendo dentre outros aspectos a qualidade sonora dos espaços. O ruído incomoda as pessoas desde que passaram a habitar as cidades, onde as atividades desenvolvidas se caracterizam por índices de ruídos elevados, que são provenientes de fontes diversas, dos quais pode ser destacado o ruído de tráfego (BISTAFA, 2011).

A poluição sonora foi classificada no ano de 2011 pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como a segunda maior causadora de doenças ao ser humano. Supera as consequências ocasionadas pela poluição da água, sendo ultrapassada apenas pela poluição atmosférica (SENADO FEDERAL, 2012).

O conforto acústico condiciona diretamente a saúde e a produtividade dos usuários das edificações. O desequilíbrio dos níveis acústicos de um espaço compromete diretamente a saúde física e psicológica de seus usuários. A poluição sonora tem uma interferência relevante sobre a capacidade de concentração, influenciando, conseqüentemente, a produtividade das pessoas.

“O ruído pode causar, além do incômodo, inúmeros riscos à saúde física, e social e desvalorização do imóvel” (FERREIRA NETO, 2009, p.09).

Sob essa ótica, o desempenho<sup>1</sup> acústico do sistema construtivo deverá propiciar a minimização das condições acústicas desfavoráveis visando reduzir ao máximo os ruídos que podem comprometer a audição e provocar desconforto. É fundamental controlar os sons e evitar interferências excessivas, com o intuito de garantir conforto<sup>2</sup> acústico no ambiente construído.

O desempenho acústico de um ambiente está condicionado a uma combinação de diversos fatores que são capazes de amplificar ou atenuar o ruído, tais como a forma dos edifícios, a relação de volumetria entre eles, a localização (tipo de rua onde está situada a edificação), os materiais, as texturas empregadas, os equipamentos e instalações especificados, os níveis de tráfego urbano, os horários (frequência de ruídos em determinados períodos do dia), entre outros aspectos mensuráveis que determinam a qualidade acústica de um espaço (RIBAS et al., 2013).

Um ambiente é eficiente sob o ponto de vista acústico quando proporciona conforto e privacidade acústicos para seus usuários, através de níveis de ruído adequados. “O cuidado para evitar que o nível de ruído incomode a vizinhança tem que ser redobrado, bem como com que o ruído emitido pela vizinhança não chegue a sua residência em níveis considerados desconfortáveis” (BERTOLI; FERREIRA NETO, 2010, p.170).

Dessa forma, os materiais de fechamento das edificações devem apresentar desempenho acústico eficiente para evitar que os ruídos externos penetrem nas edificações e interfiram na atividade interna exercida. “O edifício habitacional deve apresentar adequado isolamento acústico das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da habitação e adequado isolamento acústico entre ambientes” (OITICICA, 2010, p.28).

De acordo com Edwards (2008), os materiais aplicados na construção civil geram um grande impacto ambiental, contemplando os processos de extração, processamento, transporte, uso, e sua posterior eliminação. As consequências desse impacto comprometem o clima e a biodiversidade, além da saúde das pessoas. “Os recursos naturais utilizados na construção civil

---

<sup>1</sup> Segundo Souza (2015) o desempenho pode ser conceituado como a capacidade de um elemento em manter suas propriedades possibilitando realização efetiva de suas funções diante da influência de ações diversas.

<sup>2</sup> Para Schmid (2005) conforto é um conceito subjetivo e está associado a um conjunto fatores externos e internos.

(estradas e edificações) representam aproximadamente a metade de todos os recursos consumidos no mundo” (EDWARDS, 2008, p.124).

A geração de resíduos derivados da construção e da demolição de edificações compromete efetivamente o equilíbrio do meio ambiente: “Os resíduos limitam a disponibilidade de novos recursos, contribuem para o aquecimento global por meio de emissões de metano e constituem uma fonte de poluição da água, do solo e do ar” (EDWARDS, 2008, p.129). A aplicação de tecnologias que reduzam a produção de resíduos na construção civil é um aspecto de grande relevância em busca do desenvolvimento sustentável.

Nesse prisma, a construção sustentável apresenta-se como aspecto fundamental para a sobrevivência do setor da construção civil. Evidencia-se a implementação da racionalização e da industrialização dos processos, enquanto ferramentas para proporcionar a consolidação de sistemas construtivos de maior qualidade, segundo uma transformação cultural no setor, fundamentada por novos conceitos direcionados a gestão da produção, como o *Lean* e o *Green Construction*<sup>3</sup> (CBIC,2012).

Atualmente, apesar de ser considerado tecnologicamente atrasado, o setor da construção civil, está atravessando um processo de transformações e crescimento. O setor encontra-se compelido para o incremento ou inclusão de inovações em seus sistemas construtivos, vislumbrando a introdução de sistemas mais eficazes do ponto de vista ambiental, com o intuito de aumentar a produtividade, reduzir os desperdícios gerados e corresponder a uma demanda em ascensão, devido ao acelerado crescimento imobiliário e aos avanços da tecnologia, como também, a redução dos impactos sob o meio ambiente, a sociedade, e a economia (SANTIAGO et al., 2006).

Contudo, na indústria da construção civil brasileira, em oposição à elevada produtividade propiciada pela indústria de outros setores, as técnicas artesanais ainda predominam. A aplicação do sistema de construção convencional em alvenaria é peculiar a cultura do país, minimizando a utilização de outros sistemas em substituição a um produto tradicional e consolidado no mercado, mesmo diante de vantagens produtivas consideráveis (CBIC, 2012).

O setor da construção civil dispõe de uma diversidade de novos sistemas construtivos, em virtude das tecnologias disponíveis e visa a racionalização da construção, que envolve desde

---

<sup>3</sup> O *Green Construction* está relacionado à construção sustentável e o *Lean Construction* é referente ao processo de racionalização na construção civil, conhecido no Brasil como Construção Enxuta. (SCHMIDT,2013).

a reformulação da alvenaria tradicional, com a introdução da alvenaria moldada, referente a uma alvenaria em tijolos confeccionada em formas, moldadas *in loco*, até as técnicas construtivas importadas de países desenvolvidos (CBIC, 2012).

Sob essa ótica, é relevante destacar o sistema construtivo conhecido por Construção Seca, que se caracteriza pela utilização de perfis em aço galvanizado (*Steel Frame*) ou madeira (*Wood Frame*) como estrutura principal e placas de naturezas diversas para fechamento.

Para esses sistemas, o *marketing* propaga um desempenho termo- acústico eficiente, a aplicação de materiais ecológicos, maior eficiência energética, durante e após a obra, menor geração de resíduos, agilidade na instalação e manutenção do sistema, redução do consumo de água e baixa emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, sendo, portanto, considerado um sistema construtivo ecologicamente correto (CRASTO, 2005).

Por se caracterizarem como sistemas mais leves, ou seja, com uma densidade menor em relação ao sistema construtivo convencional em alvenaria, e de montagem rápida, as análises quanto ao seu desempenho térmico e acústico são extremamente pertinentes, em função dos materiais empregados, bem como da dimensão da cavidade de ar entre as placas de fechamento, com o intuito de avaliar se os índices de isolamento proporcionados são suficientes para possibilitar conforto aos usuários dos espaços construídos com o referido sistema (RIBAS et al., 2013).

No Brasil, mesmo diante dos avanços tecnológicos e da inserção de sistemas construtivos inovadores, bem como da disponibilidade de elementos e técnicas construtivas diversas, verifica-se um retrocesso no que tange ao desempenho acústico dos edifícios.

Se por um lado as inovações tecnológicas propiciaram o aperfeiçoamento dos sistemas construtivos, incluindo algumas variáveis do conforto ambiental, com destaque para o desempenho energético, por outro, em relação ao conforto acústico não se visualiza a mesma ênfase. Existe uma lacuna no que tange a estudos relacionados a essa temática (DUARTE, 2005).

Em contrapartida, “A poluição sonora é uma das causas de maior incômodo para as pessoas. A busca pelo conforto acústico vem crescendo cada vez mais, nos últimos anos. As barreiras acústicas entram como um auxiliar para o alcance do tão desejado conforto acústico” (FERREIRA NETO, 2002, p.05).

O conhecimento e aplicação das normas referentes à acústica é fator primordial para análise do desempenho acústico de sistemas ou elementos construtivos, já que se conformam como referências para alcançar níveis de conforto eficientes.

Assim, a aplicação das normas, NBR 10151:2000 Versão Corrigida:2003, - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, NBR 10152:1987 Versão Corrigida:1992- Os Níveis de Ruído para Conforto Acústico, e NBR 15575-4:2013 - Desempenho de edificações habitacionais - Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), devem ser consideradas nessa conjuntura, uma vez que estabelecem os parâmetros de desempenho acústico em edificações e representam importantes ferramentas para assegurar os critérios mínimos de conforto acústico (ABNT, 2013).

Apesar da NBR 15575-4:2013 em sua seção 12, que trata do Desempenho Acústico, ser referente apenas à edificações habitacionais, apresenta-se como a principal referência normativa no Brasil para índices quantitativos de isolamento acústico (ABNT, 2013).

A mensuração do desempenho acústico em campo é imprescindível, já que somente *in loco* é possível averiguar as variáveis não consideradas em medições de laboratório e no procedimento numérico. Essas variáveis envolvem principalmente a técnica construtiva (mão de obra) e as características dos materiais empregados. Na medições em laboratório, em geral, os índices de isolamento acústico, são maiores que os obtidos em campo, tendo em vista que que nessa situação a energia sonora é transmitida apenas através do material avaliado, enquanto nas medições *in loco*, a energia sonora também é transmitida através dos flancos (FERREIRA; ZANNIN, 2007).

Em relação aos procedimentos de medição de isolamento sonoro em campo, de acordo com Ferreira Neto (2009), os parâmetros objetivos são embasados nas normas internacionais, ISO 140-4:1998; ISO 140-5:1995; ISO 717-1: 1996. É importante salientar que as normas ISO 140-4:1998; ISO 140-5:1998 foram substituídas pela norma ISO 16283:2014, que entrou em vigor em junho de 2014.

A avaliação das partições verticais externas e internas embasadas nos parâmetros previstos nas normas internacionais ISO e os índices para conforto acústico determinados nas normas nacionais, possibilitam verificar de maneira concreta a relação entre o desempenho e o conforto obtido, e o conforto desejado pelos usuários (FERREIRA NETO, 2009).

Dessa forma, é fundamental que os sistemas construtivos sejam capazes de atingir os níveis acústicos previstos pelas normas nacionais em vigor (NBR) e que os procedimentos de

ensaio baseiem-se nos parâmetros determinados nas normas internacionais (ISO), com o intuito de proporcionar conforto acústico no ambiente construído, garantindo o bem estar de seus usuários e o desempenho eficiente de suas funções, proporcionando assim, qualidade de vida.

Diante dos fatos expostos, este trabalho retrata a avaliação do desempenho acústico frente à ruídos aéreos de partições verticais em edificações habitacionais unifamiliares, em Construção Seca, com estrutura do tipo *Light Steel Framing* (LSF), a fim de verificar se os resultados obtidos em campo são condizentes com os parâmetros definidos nas normas acústicas, além de salientar a relevância de estudos acústicos em sistemas construtivos industrializados, tendo em vista que a maioria das pesquisas, na atualidade, enfoca o sistema construtivo convencional em alvenaria.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho acústico, referente ao ruído aéreo, do Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) de duas edificações habitacionais unifamiliares horizontais, em construção seca, com estrutura do tipo *Light Steel Framing* (LSF) e com diferentes materiais em sua conformação.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar o comportamento acústico de paredes de vedação externas e internas em função do seu potencial de isolamento sonoro.
- b) Averiguar a qualidade acústica do sistema, a partir da comparação entre os resultados quantitativos de medições *in loco*, com as referências normativas nacionais e internacionais, e com estudos existentes em alvenaria e outros sistemas construtivos industrializados.
- c) Avaliar a influência dos materiais empregados no desempenho acústico das edificações avaliadas.



## 1.2 Estrutura da Dissertação

O trabalho está sistematizado em cinco capítulos, sendo o capítulo I referente à Introdução, abordando a delimitação do tema, visando contextualizar sua relevância e as justificativas da pesquisa, evidenciando seus objetivos.

O capítulo II compreende a fundamentação teórica da dissertação, segundo a compilação dos dados obtidos na revisão bibliográfica. Está relacionado aos assuntos: O ruído e o desempenho acústico em partições verticais e a industrialização na construção civil.

O capítulo III aborda os Materiais e Métodos empregados na pesquisa. Envolve os procedimentos metodológicos, que englobam a caracterização dos objetos de estudo, e a descrição dos ensaios em campo.

O capítulo IV evidencia a Análise e Diagnóstico da pesquisa. Esse capítulo apresenta-se inicialmente de forma quantitativa, a partir da verificação dos resultados das medições *in loco*, através de cálculos de parâmetros de isolamento por meio de *software*, com o intuito de caracterizar o potencial de isolamento acústico do SVVIE dos objetos de estudo, em relação aos ruídos aéreos.

Posteriormente, se configura como uma avaliação qualitativa, segundo uma análise comparativa entre os resultados quantitativos obtidos no procedimento experimental com os índices de isolamento previstos na NBR 15575-4:2013, com critérios de desempenho internacionais, e estudos existentes em alvenaria e em sistemas construtivos industrializados, a fim de analisar a eficiência do isolamento sonoro do sistema construtivo em questão e a sua qualidade acústica.

Por fim, o Capítulo V, apresenta as considerações finais, tendo em vista as constatações da pesquisa, descritas no capítulo anterior, além das limitações do trabalho, e sugestões para trabalhos posteriores.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo é relacionado ao referencial teórico da pesquisa e está fundamentado em duas seções. A primeira versa a respeito do ruído e do desempenho acústico em partições verticais. Na segunda seção é abordada a temática concernente à industrialização na construção de edificações e os conceitos correlatos, construção sustentável, sistemas construtivos industrializados, e posteriormente, as características gerais do sistema *Light Steel Framing* (LSF), objeto de estudo dessa dissertação.

### 2.1 Desempenho acústico de partições verticais

Para a compreensão do desempenho acústico de partições verticais foi necessário discorrer a respeito da relação entre o conforto acústico e a qualidade de vida, e os principais conceitos associados ao isolamento sonoro. Nesse segmento serão abordados os parâmetros acústicos relacionados à temática e os critérios normativos nacionais e internacionais referentes à mesma.

#### 2.1.1 O conforto acústico e a qualidade de vida

Para Schmid (2005, p.31), a ideia de conforto é holística, e vai muito além da supressão do desconforto. “A limitação do conforto à superação do desconforto se caracteriza como uma modelagem fácil, a que se bastam às analogias entre o corpo e as máquinas”. É um conceito subjetivo, uma vez que cada ser humano interpreta o conforto, o desconforto e o incômodo de uma maneira própria. O conforto está condicionado a um conjunto de fatores externos e internos, englobando aspectos físicos, socioculturais, psico-espirituais, econômicos e ambientais.

O conforto ambiental está intimamente relacionado a qualidade de vida do ser humano, que está associada dentre outros aspectos, a níveis sonoros condizentes com a natureza física e psico-emocional das pessoas, e assim com o desempenho acústico eficiente nas edificações. O ruído interfere diretamente no equilíbrio natural do ser humano, influenciando suas ações e reações. Em contrapartida, o próprio homem se configura como agente propulsor para a geração

de ruídos, mesmo diante da evolução tecnológica, em virtude de suas atividades cotidianas desenvolvidas e dos aspectos culturais (PAIXÃO, 2002).

Com o crescimento das cidades, os ruídos tornaram-se cada vez mais intensos, tendo em vista a diversificação das atividades humanas e o aumento exorbitante da frota de veículos. A necessidade de atenuar os ruídos a fim de proporcionar maior qualidade de vida, está direcionando estudos específicos na área de isolamento sonoro, com o intuito de reduzir a transmissão da energia sonora entre ambientes. “O ruído deteriora a qualidade de vida, causa problemas à saúde, e impacta econômica e financeiramente a vida das pessoas e de organizações” (BISTAFA,2011, p.07).

As consequências decorrentes da exposição do ser humano a níveis de ruído inapropriados já foram atestadas cientificamente por diversos estudos e englobam efeitos físicos e psico-emocionais, tais como, “[...] perda da audição, stress, hipertensão, perda do sono, falta de concentração, baixa produtividade, deterioração da qualidade de vida e redução de oportunidades de repouso [...]” (BISTAFA,2011, p.07).

Mesmo diante das comprovadas consequências causadas pela exposição ao ruído, o conforto acústico ainda não é tratado como prioridade na elaboração dos projetos de arquitetura. A indústria da construção civil permanece produzindo edificações inadequadas sob o ponto de vista acústico, ocasionando além de níveis de pressão sonora elevados, falta de privacidade que é o incômodo mais facilmente perceptível pelos usuários das edificações (PAIXÃO, 2002).

Ao mesmo tempo que a tecnologia proporciona a otimização das técnicas construtivas, o desenvolvimento de máquinas mais eficientes, entre outros aspectos, finda por gerar um aumento gradativo nos níveis de ruído, desde os espaços públicos, até as residências e demais edificações. Contudo, a minimização do ruído, que está presente nas atividades diárias do ser humano, é aspecto fundamental em virtude da manutenção da salubridade dos ambientes, possibilitando conforto acústico, através de um isolamento sonoro eficiente (PAIXÃO, 2002).

Apesar do conforto acústico ser considerado um aspecto subjetivo, seu conceito está amplamente presente nas exigências dos usuários de edificações, tendo em vista que o desequilíbrio nos níveis acústicos tornou-se notoriamente perceptível, demandando ambientes acusticamente confortáveis para atividades diversas como morar ou trabalhar (FERREIRA NETO, 2009).

Um ambiente apresenta desconforto acústico quando o nível de ruído ao redor do mesmo dificulta ou até mesmo impossibilita a realização das atividades, gerando incômodos físicos e

psicológicos. O conforto acústico é obtido em função da performance ao ruído das vedações verticais e horizontais (a), das peculiaridades do ambiente receptor (b), bem como, das características físicas do edifício (c). Dessa forma, a aplicação de alguns mecanismos de controle de ruído, tais como o desempenho de edificações, a inteligibilidade da fala, e as normatizações são fundamentais em virtude do bem estar a partir da potencialização do conforto acústico nas edificações (FERREIRA NETO, 2009).

### 2.1.2 Isolamento sonoro ao ruído aéreo

O som permeia as atividades humanas diárias e trata-se de qualquer vibração ou onda mecânica produzida por um corpo vibrante que pode ser percebida pelo ouvido humano, necessitando de um meio (sólido, líquido ou gasoso) para ser reproduzido. Em função de uma fonte, o som se propaga em todas as direções. Já o ruído pode ser definido como o som com conotação negativa, ou seja, os sons desagradáveis e indesejáveis (GERGES,2000).

O sons são classificados segundo sua origem em: gerados no ar, provenientes da massa de ar, ou de impacto, produzidos pelo choque de elementos sólidos ou líquidos (GERGES,2000; BISTAFSA, 2011; COWELL, et al., 1979).

Mehta et al. (1999) elucida a questão das alterações nos níveis de ruído e a percepção humana. Destaca que a assimilação do ruído somente se torna clara após um acréscimo de 5 dB(A) (decibels ponderados em A) sobre o ruído de referência, o que pode ser constatado no Quadro 1.

Valor em que o ruído excede a referência dB (A)	Percepção do som
1	Imperceptível
3	Perceptível
5	Claramente perceptível
10	Mudança substancial
15	Grande diferença

Quadro 1- Percepção do som em relação às mudanças de nível de ruído.  
Fonte: Adaptado de Mehta et al. (1999).

A natureza do som em qualquer material se comporta segundo três situações: uma parte da onda sonora incidente em uma barreira é transmitida através do material (a), outra é absorvida pelo material (b) e uma parte é refletida (c) (BISTAFSA,2011).

Um material é considerado bom isolante acústico quando proporciona a reflexão de parte da energia sonora incidente sobre ele, e bom absorvedor acústico, quando conserva uma quantidade maior de ondas sonoras e as transforma em energia térmica. Em ambos os casos, o intuito é atenuar a transmissão sonora de um meio para outro. A absorção é necessária para controlar o tempo de reverberação de um recinto, aplicando-se materiais porosos ou fibrosos (BISTAFA,2011).

Nos materiais porosos, parte da energia sonora incidente, ao penetrar nos poros, ocasiona reflexões múltiplas e é reduzida por atrito, em razão da viscosidade do ar, sendo dissipada em forma de calor. Já nos materiais fibrosos a vibração ocorre a partir do atrito no ar, gerando as perdas de energia sonora graças à mobilidade das fibras. Por outro lado, a isolamento evita que o ruído seja transmitido de um recinto para outro. Para tal, materiais devem apresentar características isoladoras, ou seja precisam ser densos e reflexivos (BISTAFA, 2011; EGAN, 1988; COSTA, 2012; COWELL et al., 1979).

O Balanço energético sonoro em uma parede sob incidência de ondas sonoras pode ser exemplificado na Figura 1 e na Equação 01, onde:

$$E_{\text{incidente}} = E_{\text{refletida}} + E_{\text{transmitida}} + E_{\text{absorvida}} \quad \text{Eq. (01)}$$



Figura 1- Balanço energético sonoro em uma parede sob incidência de ondas sonoras.  
Fonte: Adaptado de Long (2006); Mehta et al. (1999).

Verifica-se a partir da Figura 1, a diferença nos percentuais de energia sonora transmitido e absorvido, em função dos coeficientes de absorção dos materiais empregados. Constata-se, assim que quanto maior o potencial de absorção sonora de uma parede ou elemento, menos energia é transmitida para um ambiente receptor.

Um dos meios para controlar o ruído em edifícios e contê-lo dentro do espaço da sua origem se dá através da construção de barreiras entre um ambiente e outro, para reduzir a

transmissão do som. Essa minimização da transmissão sonora entre espaços segundo a utilização de uma barreira é definida como isolamento sonoro (MEHTA et al., 1999).

Reynolds (1981) explica que a inserção de uma barreira sólida entre dois ambientes se apresenta como a maneira mais comum de atenuar a transmissão sonora. Enfatiza ainda que não é possível evitar a transmissão total do som entre ambientes, contudo se pode adquirir valores especificados para a diferença desses níveis sonoros.

Segundo Gerges (2000), o isolamento sonoro é referente a ação de minorar a transmissão de energia sonora de um ambiente para outro, sendo realizado por paredes, pisos, divisórias ou partições. Essa energia sonora pode ser propagada por dois meios: via aéreo, quando o som é transportado integralmente pelo ar, e/ou via sólido, quando o som é transportado através de uma estrutura, a partir de vibrações em virtude de impactos. Assim, os ruídos podem ser classificados em ruídos aéreos, também denominados ruídos contínuos ou intermitentes, e ruídos de impacto.

A maior parte dos sons em uma edificação é transportada por via aérea, tais como os sons gerados por conversação humana e instrumentos musicais. Os sons transportados pela estrutura são transmitidos pelo impacto de algum tipo de elemento de construção, tais como, paredes, pisos, telhados, etc., através da vibração desses elementos, que conseqüentemente irradiam o som (MEHTA et al., 1999).

A energia sonora gerada em um ambiente de uma edificação se propaga para outros ambientes através dos meios disponíveis. Essa transmissão pode ser direta, quando ocorre por exemplo a partir da vibração da partição de divisão entre ambientes, por meio de parede, painel, forros e por aberturas, como portas e janelas, ou indireta, na qual a passagem se dá por superfícies limítrofes ou flancos, como pilares, lajes e/ou paredes confluentes (Figura 02) (BISTAFA,2011; COWELL et al., 1979; GERGES,2000; HOPKINGS, 2007).

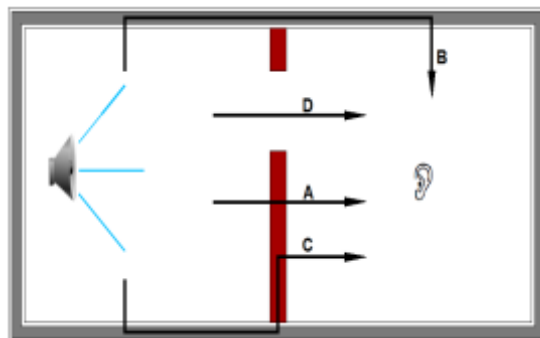


Figura 2- Caminhos de transmissão sonora entre ambientes adjacentes.  
Fonte: Adaptado de Cowell et al. (1979).

Na Figura 02 são retratadas as formas de transmissão de energia sonora de um ambiente para outro, sendo: direta, a partir da vibração da partição divisória dos ambientes (A); indireta, através de superfícies limítrofes ou flancos (B e C), ou ainda diretamente pela presença de aberturas (D).

O isolamento sonoro é promovido pelos elementos construtivos do edifício, a partir de paredes, pisos, divisórias ou partições. Contudo é a densidade superficial do material (massa por unidade de área) que determina a quantidade de som absorvida, refletida e transmitida. Um elemento de divisão entre ambientes mais denso, ou seja, mais pesado, permite uma transmissão sonora menor. Por outro lado, em elementos mais leves, a transmissão de sons é maior (OITICICA, 2010).

Nesse sentido, a Lei da massa define que, quanto maior a densidade superficial do material, mais características de isolamento acústico ele apresenta. O nível de ruído transmitido por tais elementos está condicionado às faixas de frequência definidas pelas peculiaridades acústicas dos mesmos (OITICICA, 2010).

Contudo, a capacidade de isolamento acústico de um sistema pode ser potencializada pelo efeito Massa/Mola/Massa, no qual são criados espaços vazios internos, que podem ser preenchidos com materiais absorvedores acústicos, proporcionando índices de isolamento eficientes sem a necessidade do aumento da densidade superficial dos materiais (Figura 3) (HOPKINGS, 2007).

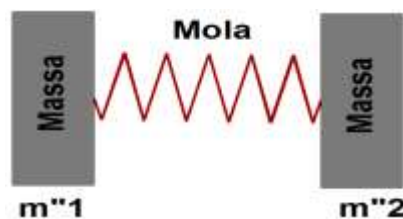


Figura 3- Esquema Massa/Mola/Massa em parede dupla.  
Fonte: Adaptado de Hopkins (2007).

Os materiais porosos absorvedores, ao serem utilizados nos ambientes ou paredes divisórias, minimizam o nível de pressão sonora interno no ambiente. Por outro lado, sua capacidade de transmissão sonora é baixa (HOPKINGS, 2007).

Mehta et al. (1999) relata que, em geral, quando um material possibilita a passagem de ar, também permitirá que o som seja transmitido. Assim, um material com maiores peculiaridades para o isolamento sonoro precisa apresentar uma configuração completamente vedada e impermeável. Os materiais que proporcionam boa absorção sonora não são capazes

de oferecer uma boa isolamento sonora. A aplicação de absorção sonora extra não pode substituir o emprego do isolamento acústico adequado, uma vez que a redução do potencial de energia sonora propiciada pela absorção é bem menor que a obtida com o isolamento.

Valle (2009) define isolamento como a capacidade de evitar a transmissão do som de dentro para fora e de fora para dentro de um ambiente. Segundo o autor, é relevante diferenciar isolamento sonoro de condicionamento sonoro, sendo este conceituado como a possibilidade de desenvolvimento de uma sonoridade adequada para o tipo de função a qual o ambiente se destina, regulando a reverberação e os ecos e propiciando a adequação das frequências, conferindo assim ao recinto melhores condições de audibilidade interna.

Baring (1988) discorre a respeito da diferença entre isolamento e isolação. Segundo ele, o conceito de isolamento está relacionado com a habilidade de um sistema construtivo, através de sua envoltória, paredes ou pisos, de proporcionar a atenuação do som entre dois recintos. Por outro lado, a definição de isolação refere-se ao fenômeno físico e retrata a avaliação em laboratório do comportamento acústico de um elemento construtivo isoladamente.

O isolamento sonoro pode ser determinado por procedimento experimental (laboratório ou em campo) descrito nas normas de referência internacionais (ISO), ou por procedimento numérico ou analítico, disponíveis na literatura especializada (GARCIA, 2004).

De acordo com Paixão (2002), a predição do nível de isolamento sonoro ao ruído aéreo de um elemento pode ser determinada segundo métodos e terminologias diversos. Autores como Fahy (1985) e Recuero; Gil (1993) explanam que a Perda de Transmissão (PT) pode ser definida também por *Sound Reduction Index* – R (Índice de Redução Sonora), termo aplicado nas normas ISO (*International Standard Organization*) para medições em laboratório.

O Índice de Redução Sonora em laboratório é denominado nos Estados Unidos *Transmission Loss* (TL), já para o código europeu é definido como *Sound reduction index* (R), na Alemanha, é chamada de *Schallfammzahl* (K), e na Holanda, *Insulation* (I) (LUKASIK; NOLLE, 1955).

A termo adotado para mensuração do índice de redução sonora em campo, segundo as norma ISO é a *Level Difference* – D ou *Noise Reduction*- NR (Diferença de Nível) (DUARTE, 2005; GERGES, 2000).

Segundo Paixão (2002), o isolamento sonoro em um ambiente é considerado um problema complexo, uma vez que as fontes geradoras de ruído são múltiplas e são transmitidas tanto pelo ar quanto pelas estruturas. Dessa forma, é essencial detectar a trajetória da



transmissão, categorizando as fontes de acordo com sua influência, com o intuito de proporcionar qualidade acústica à edificação.

O controle do ruído engloba três aspectos fundamentais: uma fonte sonora (a), que pode ser de naturezas diversas, tais como máquinas, tráfego, atividades humanas, entre outras; a trajetória de transmissão (b) que se refere aos meios para a dissipação sonora, como o ar, estruturas sólidas e líquidas, etc.; e o receptor (c), que é o ser humano (BISTAFA, 2011).

A maneira mais eficaz de controlar os ruídos seria a atenuação ou eliminação do ruído na fonte. Contudo, muitas vezes essa ação não é viável. À vista disso, o controle torna-se mais efetivo por intermédio de soluções para a trajetória da transmissão, como barreiras acústicas, tratamento de absorção sonora, etc (BISTAFA, 2011).

Oiticica (2010) destaca que as estratégias para o controle do ruído na fonte envolvem o planejamento adequado no ato do projeto e na execução do produto, e ressalta ainda que as técnicas na trajetória da transmissão podem incorporar ações de separação das áreas ruidosas das não ruidosas, utilização de barreiras acústicas<sup>4</sup>, além do tratamento acústico com a aplicação de absorvedores.

#### 2.1.2.1 Diferença de nível (D)

A Diferença de Nível de pressão sonora (D) é um procedimento experimental, realizado em campo, que tem o intuito de quantificar a minimização sonora entre dois ambientes (emissor e receptor), e é resultante da medição do nível de pressão sonora (NPS) entre duas câmaras separadas estruturalmente por um elemento, o qual se deseja avaliar, com a presença de uma fonte sonora em uma delas, o ambiente emissor, conforme demonstra o esquema na Figura 4 (DUARTE, 2005; GERGES, 2000).

O intuito é verificar a redução de ruído em virtude da utilização desse elemento, exprimindo a diferença do NPS entre um ambiente e o outro. O mesmo procedimento é aplicado para mensurar a Perda por Inserção (IL). Contudo, nesse caso, avalia o comportamento sonoro do ambiente antes e após a inserção de uma barreira. Já as grandezas de Perda de Transmissão (PT), ou Índice de Redução Sonora (R), são métodos para mensuração do isolamento sonoro em laboratório (GERGES, 2000; DUARTE, 2005).

---

<sup>4</sup> Barreiras Acústicas são “[...] anteparos posicionados entre a fonte produtora do ruído e a recepção” (CARVALHO, 2006, p. 111).



Figura 4- Planta baixa esquemática: Medição de diferença de nível  
 Fonte: Adaptado de Mehta et al. (1999).

A Diferença de Nível de pressão sonora é expressa pela Equação 02.

$$D = NPS_1 - NPS_2 \text{ (dB)} \quad \text{Eq. (02)}$$

Onde:

$NPS_1$  = nível de pressão sonora mensurada no ambiente emissor.

$NPS_2$  = nível de pressão sonora mensurada no ambiente receptor.

O nível de pressão sonora é a grandeza física utilizada mais comumente para quantificar a energia da onda acústica e verificar as perturbações provocadas por ruídos. Está relacionada com a percepção humana de sonoridade e a sensação subjetiva de intensidade do som. É mensurada com o auxílio de um instrumento denominado medidor de nível de pressão sonora, decibelímetro, ou sonômetro, enquanto a intensidade sonora requer equipamentos de medição mais específicos (BISTAFA, 2011; LONG, 2006).

A diferença de nível (D) não decorre somente da natureza inerente dos materiais, como ocorre na mensuração do Índice de Redução Sonora (R), uma vez que é aplicada para medições em campo. Engloba, portanto, outros aspectos relacionados ao “[...] local da medição dos níveis de pressão sonora, volume do enclausuramento, orifícios existentes, absorção acústica, etc [...]” (GERGES, 2000, p.189).

As características dos materiais utilizados para isolamento acústico são determinadas segundo as grandezas físicas de Índice de Redução Sonora (R) ou Perda de transmissão (PT) em laboratório, ou Diferença de nível (D), em campo, que se refere a um procedimento numérico, segundo um índice logarítmico que relaciona a energia sonora transmitida com a energia sonora incidente em uma partição (GERGES, 2000).

Gerges (2000), sistematiza no Quadro 2 os valores de referência de Índice de Redução Sonora (R), em relação a qualidade do isolamento acústico em ambientes no que tange a inteligibilidade da fala (percepção da fala).

Qualificação do isolamento	Índice de Redução Sonora (R)	Condições de audição (percepção da fala)
Pobre	< 30dB	Compreende-se uma conversação normal facilmente através da parede.
Regular	30 à 35 dB	Ouve-se a conversação em voz alta mas não se entende bem a conversação normal.
Bom	35 à 40 dB	Ouve-se a conversação normal mas não é facilmente inteligível.
Muito bom	40 à 45 dB	A conversa normal é audível e em voz alta é muito atenuada, sem compreensão.
Excelente	>45dB	Ouve-se fracamente os sons muito altos.

Quadro 2- Qualificação do Isolamento Acústico.

Fonte: Adaptado de Gerges (2000).

Reynolds (1981) define índice de redução sonora como a relação logarítmica inversa ao coeficiente de transmissão sonora, conforme demonstra a Equação 03.

$$R = 10 \log 1/\tau \text{ (dB)}^5 \quad \text{Eq. (03)}$$

Onde:

$\tau$  = coeficiente de transmissão sonora (energia transmitida/energia incidente).

O coeficiente de transmissão ( $\tau$ ) pode ser definido como a fracção incidente de energia sonora que é transmitida através de um componente. Para a minimização da energia transmitida para outro ambiente é necessário que o valor do coeficiente de transmissão sonora  $\tau$  seja o menor possível (MEHTA et al., 1999).

#### 2.1.2.2 Índice de Redução Sonora (R) em paredes

O Índice de Redução Sonora em paredes, que representam os elementos de vedação verticais, destinados a separar ambientes e garantir privacidade, ocorre de diferentes formas, em razão das características das mesmas. Todos os tipos de paredes refletem, absorvem e transmitem parte da energia sonora sobre elas incidente, contudo, com comportamentos intrínsecos a sua configuração. Dessa forma, será explanado a seguir quais as principais tipologias de paredes e seu comportamento no que tange à diferença de nível.

##### a) Índice de Redução Sonora em paredes simples ou homogêneas

<sup>5</sup> Mesma equação utilizada para calcular o Índice de Redução Sonora (R).

O modelo idealizado que fundamenta a estimativa teórica da diferença de nível é constituído por um painel sólido e homogêneo (Figura 5), que apresenta dimensões  $a$ ,  $b$  e  $t$ , e propriedades de rigidez à flexão do painel, e refere-se às paredes simples ou homogêneas (BISTAFA, 2011).

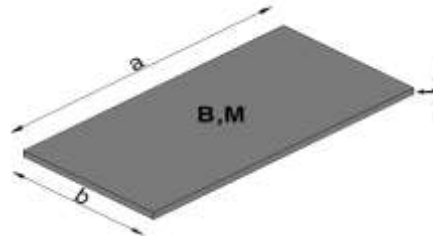


Figura 5- Painel sólido e homogêneo, de dimensões  $a$ ,  $b$  e  $t$ , com rigidez à flexão  $B$  e densidade superficial  $M$ .  
Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

As Paredes simples apresentam em sua constituição diversas partes que se conectam e que oscilam de forma independente em função da interferência das variações da pressão sonora, evidenciando a Lei da massa, na qual a vibração do painel é determinada pelas diversas partes interligadas porém independentes.

Mehta et al. (1999) destaca que o índice de redução sonora de uma parede simples não é definido apenas em função da massa (densidade superficial), envolvendo além desse aspecto, a rigidez e o amortecimento (constituição do material) e a frequência do som. Contudo, a massa é o fator mais relevante. Assim, o índice de redução sonora de uma parede simples aumenta em média cerca de 5dB por oitava, ou seja, por duplicação da frequência, e cerca de 6dB por duplicação da massa (Figura 6).

Cowell et al. (1979) ressalta que, em geral, paredes e pisos apresentam índices de isolamento sonoro mais efetivos nas altas frequências que nas baixas frequências.

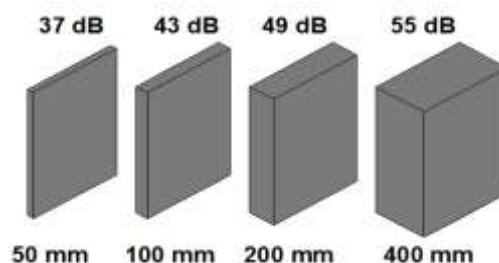


Figura 6- Teoria da Lei da Massa e a espessura dos componentes.  
Fonte: Adaptado de Mehta et al. (1999).

O índice de redução sonora de painéis é fortemente dependente da frequência do som incidente. De acordo com a Figura 7, que exemplifica uma curva típica do índice de redução sonora em função da frequência em painéis sólidos e homogêneos, nota-se que quanto menor a

frequência, menor será a isolamento sonora da parede, proporcionando uma maior atenuação do som nas altas frequências. Verifica-se a presença de 4 regiões distintas:



Figura 7- Curva típica do Índice de Redução Sonora para uma parede simples.  
Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

- A primeira controlada pela rigidez, e a segunda pela ressonância<sup>6</sup> ( $2f_r$ ), onde se visualizam frequências nas quais a movimentação da partição é máxima e o som efetivamente transmitido, ambas nas baixas frequências. A segunda região está condicionada as frequências de ressonância que “[...]se devem a combinação construtiva de ondas de flexão que se propagam pelo painel e que são refletidas nas suas bordas. Portanto, as frequências de ressonância dependem das condições de contorno nas bordas do painel [...]” (BISTAFA, 2001, p.280).
- A terceira regulada pela massa, nas médias frequências;
- A quarta norteadada pelo fenômeno da coincidência ( $f_c/2$ ), que ocorre quando os comprimentos das ondas do ar são reduzidos, em função da elevação das frequências de ressonância, aproximando-se dos comprimentos das ondas de flexão do painel, nas altas frequências (BISTAFA, 2001).

Assim, constata-se que as baixas frequências são menos passíveis ao isolamento que as altas frequências (BISTAFA, 2011; OITICICA,2010).

Assim é fundamental compreender o espectro do ruído que deverá ser atenuado, bem como as propriedades do elemento isolador, para evitar ressonância mecânica e/ou efeito de coincidência comprometendo assim o potencial de isolamento do material (GERGES, 2000).

<sup>6</sup> A ressonância sonora está associada “[...] a vibração de determinado corpo por influência de outro, na mesma faixa de frequência. Superfícies rígidas de pequenas massas, ao vibrarem por essa influenciagem, tendem a se quebrarem [...]”. (CARVALHO, 2006, p.21).

A transmissão de uma onda sonora plana, com incidência normal se processa através de 3 meios: no meio I (ar) a onda é transmitida para o meio II (material), e sucessivamente para o meio 3(ar), o que pode ser visualizado na Figura 8 (GERGES, 2000).

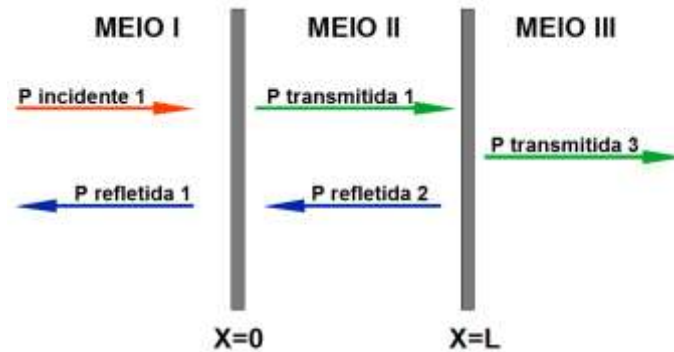


Figura 8- Transmissão através de 3 meios.  
Fonte: Adaptado de Gerges (2000).

Esse fenômeno que caracteriza a Lei da Massa é dado pela Equação 04, demonstrando que a transmissão do som através de 3 meios está subordinada a densidade do material do meio II e da frequência da onda incidente no mesmo, levando em conta que os meios I e III são ar (BISTAFA, 2011; GERGES, 2000; LONG,2006; PAIXÃO,2002).

$$R = -42,4 + 20 \log Mf \quad (\text{dB}) \quad \text{para } 2f_r < f < f_c/2 \quad \text{Eq. (04)}$$

Onde:

M= densidade superficial do meio II (parede simples) [kg/m<sup>2</sup>];  
f=frequência do som incidente [Hz].

Portanto para paredes simples e homogêneas o índice de redução sonora está relacionado com a Lei da massa (RADAVELLI, 2014).

#### b) Índice de Redução Sonora em paredes duplas ou triplas

A utilização de paredes duplas ou triplas é aconselhável em situações nas quais se vislumbra a obtenção de um índice de redução sonora maior, com um menor peso e custo da partição, evitando o aumento da densidade superficial do material. O desempenho dessa tipologia de parede pode ser potencializado com base em alguns aspectos, tais como:

- Isolar mecanicamente a parede com a fixação dos painéis em caibros ou perfis metálicos independentes, prevenindo pontes mecânicas;

- Perfis metálicos para fixação das placas, em comparação a caibros de madeira permitem um isolamento sonoro mais eficaz em virtude de rigidez torcional reduzida;
- Quanto maior o espaçamento entre os perfis ou caibros menos vibração é transmitida, uma vez que as superfícies de contato são minimizadas;
- Isolar acusticamente a parede a partir da utilização de material absorvente poroso e fibroso entre os painéis, com a maior espessura possível, para eliminar as ressonâncias na cavidade, restringindo assim as múltiplas reflexões entre os painéis, desde que esse material não seja comprimido entre as placas, ocasionando assim, o surgimento de pontes mecânicas e permitindo a transmissão sonora; e maior espaçamento possível entre os painéis (cavidade de ar), possibilitando o efeito massa/mola/massa. Vale salientar que cavidades de ar a partir de 100mm permitem melhores desempenhos nas baixas frequências (Figura 9);
- Evitar a fixação direta dos painéis nos caibros (fixação em linha), prevendo a aplicação de barras resilientes, nas quais os painéis serão fixados (fixação pontual), já que o tipo de fixação condiciona diretamente a eficiência de sua transmissão sonora (Figura10);
- Utilização de painéis com espessuras e ou materiais diferentes, minorando o acoplamento vibratório, com o intuito de assegurar que o material aplicado nas duas faces não apresente a mesma frequência de coincidência;
- Optar por materiais com menor rigidez para alcançar melhores resultados de índice de redução sonora;
- Proporcionar a maximização da densidade superficial, tanto quando possível (BISTAFA, 2001; COSTA, 2012; MEHTA et al., 1999; OITICICA,2010).

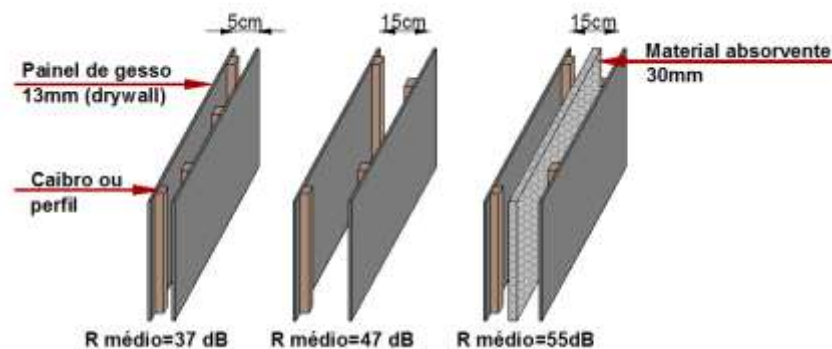


Figura 9- Índice de Redução Sonora médio de paredes duplas com diferentes distâncias entre os painéis montados em caibros independentes.

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

O índice de redução sonora de um sistema de painel duplo considera painéis de extensão infinita, que não se ligam e estão separados por uma cavidade de ar, a qual é preenchida com um material absorvente, amortecendo o movimento das ondas sonoras. O espaço aéreo separando os painéis atua como uma mola, e a uma dada frequência, ocorre uma ressonância de massa de ar (LONG,2006).

O índice de redução sonora em paredes duplas se dá através de 5 meios (Figura 10) onde os meios I e V são ar, os meios II e IV são os painéis nos quais incidem a energia sonora, e o meio III é a cavidade de ar, que pode ser preenchida com material absorvente, resultando no somatório das perdas de transmissão dos meios II e IV, segundo as Equações 05 e 06 (GERGES,2000).

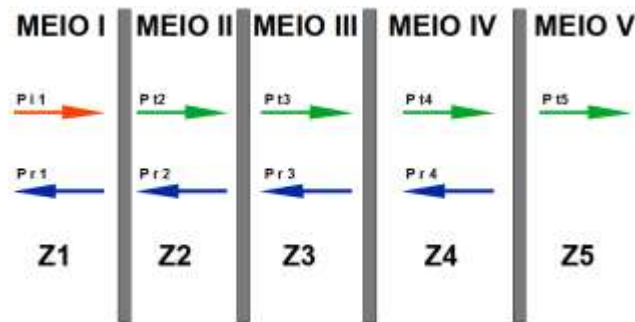


Figura 10- Configuração física do modelo matemático de parede dupla.  
Fonte: Adaptado de Gerges (2000).

$$R = 20 \log(m_1 + m_2) f_0 - 47,4 \text{ (dB)} \quad \text{Eq. (05)}$$

Onde:

$m_1$  e  $m_2$  = as densidades superficiais dos painéis ( $\text{kg/m}^2$ );

$f_0$  = a menor frequência de ressonância do conjunto painel/cavidade/painel (Hz), sendo:

$$f_0 = 80 \sqrt{(m_1 + m_2) / d m_1 m_2} \text{ (BISTAFA, 2011)} \quad \text{Eq. (06)}$$

$d$  = o espaçamento entre os painéis.

Long (2006) apresenta uma curva típica ideal do índice de redução sonora em paredes duplas. Na Figura 11, nota-se que ocorre uma diminuição do índice de redução sonora entre as frequências de 500 e 5000 Hz, em função do fenômeno de coincidência e às ressonâncias da cavidade.

Segundo Hopkins (2007) abaixo da frequência de ressonância, o modelo massa/mola/massa de paredes duplas apresenta comportamento similar a uma parede simples ou homogênea e o índice de redução sonora passa a ser condicionada pela Lei da Massa. A



ressonância nessa tipologia apresenta-se, em geral, nas baixas frequências, tendo em vista o reduzido espaçamento entre os painéis e/ou a menor densidade superficial.

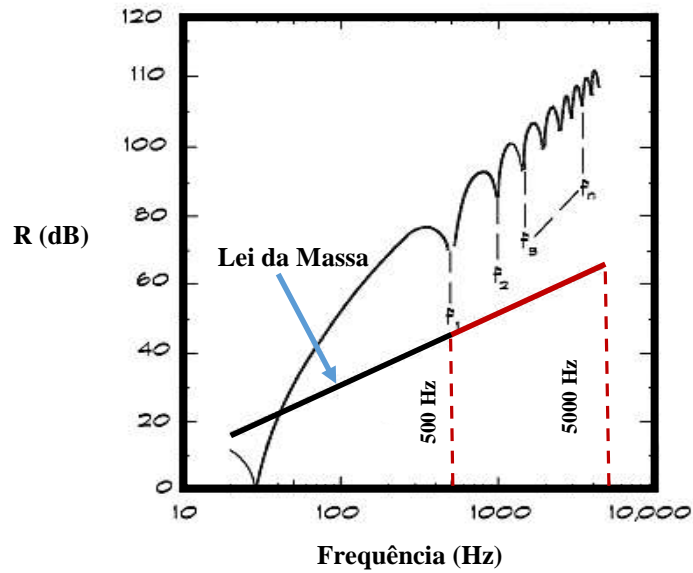


Figura 11- Curva típica do índice de redução sonora ( $R$ ) de uma parede dupla ideal.  
Fonte: Adaptado de Long (2006).

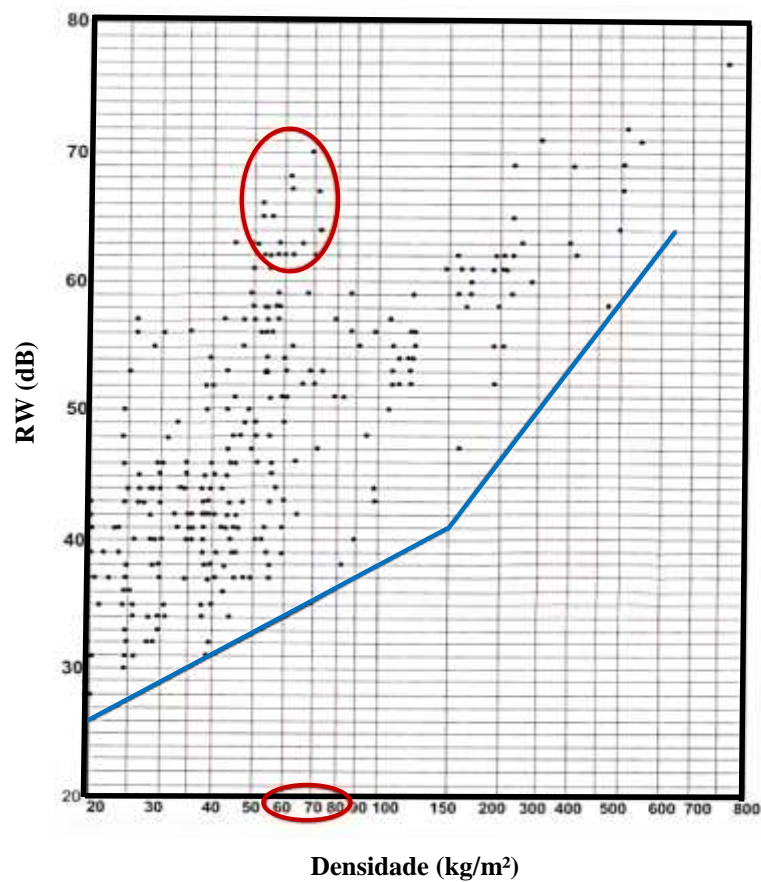


Figura 12- Comportamento de diversos painéis múltiplos em relação e comparação à lei da massa de painel simples.  
Fonte: Adaptado de Santos (2012).

Em seu estudo, Santos (2012) atesta a relação entre o isolamento sonoro e a densidade superficial em diversas tipologias de parede. As paredes duplas, compostas por painéis, obtiveram resultados superiores em relação a paredes simples ou homogêneas, conforme demonstra a Figura 12. Para uma parede dupla com densidade de 70kg/m<sup>2</sup>, por exemplo, o índice de redução sonora ponderado (R<sub>w</sub>) atingido foi de 60dB, o mesmo índice de redução sonora de uma parede simples com densidade de 500 kg/m<sup>2</sup> (Figura 12).

*c) Índice de redução sonora em Paredes compostas*

As paredes em geral são constituídas por diversos materiais, que podem apresentar características, espessuras e áreas distintas, englobando ainda a presença de aberturas e/ou outros elementos em sua composição (Figura 14), que provocam um decréscimo considerável no índice de redução sonora da composição, permitindo ainda a amplificação do ruído em determinadas frequências, como no caso das ressonâncias acústicas, e interrompendo sua homogeneidade (BISTAFA, 2011; GERGES, 2000; PAIXÃO,2002).

Assim, paredes compostas requerem um índice de isolamento específico para o conjunto. Os elementos com baixo índice de redução sonora são capazes de afetar significativamente o isolamento sonoro das partições. (BISTAFA, 2011; GERGES, 2000; PAIXÃO,2002).

O índice de redução sonora em paredes compostas é resultante do índice de redução sonora dos componentes individualmente, dada pela Equação 07.

$$R_c = 10 \log 1/\tau_c \quad \text{Eq. (07)}$$

Onde:

$\tau_c$  = coeficiente de transmissão sonora da partição composta.

$$\tau_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad \text{Eq. (08)}$$

Onde:

$S_i$  = área do i-ésimo componente da partição;

$\tau_i$  = seu respectivo coeficiente de transmissão sonora, resultante da equação:

$$\tau_i = 10^{-R_i/10} \quad \text{Eq. (09)}$$

Onde:

$R_i$  = índice de redução sonora do i-ésimo componente da partição.

Mehta et al. (1999) elucidada que é possível minimizar os efeitos das aberturas para a degradação do índice de redução sonora de uma parede composta, através dos seguintes passos (Tabela 1):

Tabela 1- Transmissão sonora de uma parede composta, entre dois ambientes (receptor e emissor)

Rw Parede – Rw Abertura	Redução no índice de redução sonora de uma parede por uma abertura (dB)									
	Área de abertura como porcentagem de área total da parede									
	100%	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0,5%	0,1%	0,01%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0
3	3	2	1	0,5	0	0	0	0	0	0
4	4	2,5	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0
5	5	3	1,5	1	0,5	0	0	0	0	0
6	6	4	2	1	0,5	0	0	0	0	0
7	7	5	2,5	1,5	1	0,5	0	0	0	0
8	8	6	3	2	1	0,5	0	0	0	0
9	9	6,5	4	2,5	1,5	1	0,5	0,5	0	0
10	10	7,5	4,5	3	2	1	0,5	0	0	0
15	15	12	8,5	6	4	2	1	1	0	0
20	20	17	13	10,5	8	5	3	2	0,5	0
30	30	27	23	20	17	13	10	8	3	0,5
40	40	37	33	30	27	23	20	17	10,5	3
50	50	47	43	40	37	33	30	27	20	10,5
60	60	57	53	50	47	43	40	37	30	20

Fonte: Adaptado de Mehta et al. (1999).

- Calcular a porcentagem da área da abertura em função da área global da partição.
- Definir a diferença entre o índice de redução sonora da partição e o do índice de redução sonora da abertura;
- Inserir na tabela os valores obtidos nos itens anteriores, referentes a porcentagem da abertura e ao índice de redução sonora resultante da diferença entre a partição e a abertura.

Gerges (2000) apresenta um gráfico (Figura 13), que pode ser aplicado para mensurar o índice de redução sonora em paredes compostas, com a presença de aberturas em sua configuração. Considerando, por exemplo, uma parede com uma  $R=30\text{dB}$  com abertura de 1%, ocorre uma redução de 10,4dB em seu desempenho, resultando em uma  $R= 19,6\text{dB}$ . Trata-se de uma minoração do índice de isolamento acústico extremamente significativa, salientando assim, a importância dos detalhes de vedação em função de isolamento acústico eficiente.

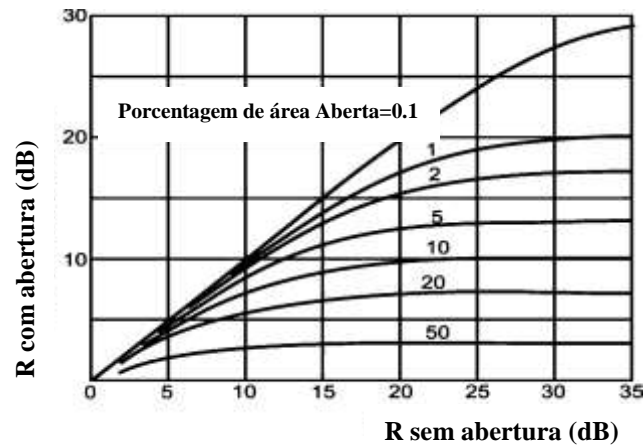


Figura 13- Índice de Redução Sonora de paredes com aberturas.  
Fonte: Adaptado de Gerges (2000).

Costa (2012) explana outro exemplo referente a degradação do isolamento sonoro de uma partição composta em função de imperfeições ou soluções inadequadas. Uma simples abertura de um buraco de fechadura em uma porta, com área de  $2\text{cm}^2$ , em um parede com  $R=36\text{dB}$ , reduz esse índice drasticamente para  $16,1\text{dB}$  ou seja minimizando sua capacidade de isolamento sonoro em cerca de 45%.

#### Tempo de reverberação ( $T_{60}$ ) e área de absorção sonora equivalente ( $A$ )

O desempenho acústico de uma partição está condicionado aos parâmetros acústicos de absorção sonora e tempo de reverberação do ambiente receptor. As particularidades determinadas por tais aspectos definem a qualidade acústica do ambiente juntamente com as propriedades de isolamento sonoro dos materiais constituintes da partição divisória.

O tempo de reverberação ( $T_{60}$ ) pode ser definido como o tempo necessário em segundos, para que a energia sonora decaia até a milionésima parte da sua energia inicial, em  $60\text{dB}$ , posteriormente à interrupção da fonte sonora, sendo definido pela Equação 10.

$$T_{60}=0,161V/A \text{ (s)} \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde:

$T_{60}$ = tempo de reverberação;

$V$ = volume do recinto em  $\text{m}^3$ ;

$A$ = área de absorção sonora equivalente em  $\text{m}^2$ .

O  $T_{60}$  está subordinado a área de absorção sonora equivalente do ambiente. Entendendo absorção sonora como a capacidade de determinados materiais em transformarem parte da energia sonora incidente sobre eles em energia térmica, é importante destacar que em ambientes

com absorção sonora reduzida, mais longo será o tempo de reverberação, contudo será mais curto em ambientes com absorção sonora elevado (BISTAFA, 2011; GERGES,2000; HOPKINS, 2007; LONG,2006).

A área de absorção sonora equivalente considera a absorção das superfícies (paredes, pisos e tetos), a absorção das pessoas que utilizam o espaço e a absorção do mobiliário existente, dessa forma:

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde:

A= área de absorção sonora equivalente;

S<sub>i</sub>= área da superfície;

α<sub>i</sub>= coeficiente de absorção sonora;

n= quantidade de superfícies no somatório.

O coeficiente de absorção sonora (α) de um material é definido pela correlação entre a quantidade de energia incidente sobre o mesmo e a quantidade de energia absorvida pelo mesmo (Equação 12).

$$\alpha = E_{\text{absorvida}} / E_{\text{incidente}} \quad \text{Eq. (12)}$$

É representado por um número de 0 a 1. Quando o coeficiente de absorção sonora é 0, toda quantidade de energia é refletida, não correndo absorção. Já quando o coeficiente é igual a energia sonora incidente é absorvida em sua totalidade. Em geral, conforme a espessura e densidade dos materiais porosos e fibrosos é ampliada, o α aumenta (BISTAFA, 2011).

O coeficiente de redução de ruído ou coeficiente de redução sonora (*noise reduction coefficient- NRC*) é o número único que expressa a capacidade de absorção sonora do material, obtido através da média aritmética dos coeficientes de absorção sonora nas bandas de oitava de 250 a 2000 Hz (BISTAFA, 2011).

### Parâmetros acústicos

Para a avaliação do desempenho acústico frente ao ruído aéreo de vedações verticais que apresentam tipologias de paredes duplas e compostas, faz-se necessário realizar medições em laboratório ou campo e/ou procedimento numérico, podendo ser utilizadas, nesse caso, as

Equações 05 e 07 respectivamente, descritas anteriormente. Vale salientar que o isolamento sonoro aéreo está relacionado a uma série de parâmetros, com características específicas para testes em laboratório e em campo e que estão descritos no Quadro 3.

Simbolo	Nomenclatura	Significado	Aplicação	Teste	Norma
<b>R</b>	Índice de Redução Sonora ( <i>Sound Reduction Index</i> )	$R = D + 10 \log(S/A)$ dB Eq (13) Por frequência. Onde: D= Diferença de nível; S= área do ambiente; A= absorção sonora equivalente.	Elementos de edificação	Laboratório	ISO 140-3
<b>R<sub>w</sub></b>	Índice de Redução Sonora Ponderado ( <i>Weighted Sound Reduction Index</i> )	Número único para o índice de redução sonora de um elemento medido em frequências de 1/3 de oitava de 100 a 3125 Hz. Parâmetro utilizado na Europa e no Brasil.			ISO 717-1
<b>STC</b>	Classe de Transmissão Sonora ( <i>Sound Transmission Class</i> )	Número único para índice de redução sonora de um elemento interno medido em frequências de 1/3 de oitava de 125 a 4000 Hz. Parâmetro utilizado nos Estados Unidos e Canadá. Considera a regra dos 8dB <sup>1</sup>			ASTM E 413
<b>OITC</b>	Classe de Transmissão Sonora Exterior-Interior ( <i>Outdoor-Indoor Transmission Class</i> )	Número único para o índice de redução sonora de um elemento externo medido em frequências de 1/3 de oitava de 125 a 4000 Hz. Parâmetro utilizado nos Estados Unidos e Canadá. Considera a regra dos 8dB <sup>1</sup>			ASTM E 413
<b>R'</b>	Índice de Redução Sonora Aparente ( <i>Apparent Sound Reduction Index</i> )	Diferença entre o nível da potência sonora incidente no elemento de separação e a potência transmitida para a sala receptora. Por frequência. $R' = 10 \log(W_1/W_2 + W_3)$ dB Eq (14) Onde: W <sub>1</sub> é a potência incidente W <sub>2</sub> é a potência de transmissão direta na partição W <sub>3</sub> é a potência de transmissão lateral ou por outros componentes	Sistemas de edificação	Campo	ISO 140-4 (substituída pela ISO 16283-1)
<b>R'<sub>w</sub></b>	Índice de Redução Sonora Aparente Ponderado ( <i>Weighted Apparent Sound Reduction Index</i> )	Número único ponderado global para índice de redução sonora de um elemento medido em frequências de 1/3 de oitava de 100 a 3125 Hz, podendo incluir as frequências de 50,63,80,4000, 5000 Hz, quando necessário.			ISO 717-1
<b>D<sub>n</sub></b>	Diferença Normalizada de Nível ( <i>Normalized level difference</i> )	Redução sonora entre ambientes em função da absorção sonora. $D_n = D - 10 \log(A/A_0)$ dB Eq (15) Onde: D= Diferença de nível; A= Absorção sonora equivalente média no ambiente receptor; A <sub>0</sub> = Absorção sonora equivalente de referência-10m <sup>2</sup> para residências.	Sistemas construtivos parede/ piso	Campo	ISO 140-4 (substituída pela ISO 16283-1)
<b>D<sub>nw</sub></b>	Diferença Normalizada de Nível Ponderada ( <i>Normalized level difference</i> )	Número único ponderado global para índice de redução sonora de um elemento medido em frequências de 1/3 de oitava de 100 a 3125 Hz, podendo incluir as frequências de 50,63,80,4000, 5000 Hz, quando necessário.			ISO 717-1
<b>D<sub>nT</sub></b>	Diferença Padronizada de Nível ( <i>Standardized Level Difference</i> )	Isolamento sonoro entre ambientes em razão do tempo de reverberação. $D_{nT} = D + 10 \log(T/T_0)$ dB Eq (16) Onde: D= Diferença de nível; T= Tempo de reverberação médio do ambiente receptor; T <sub>0</sub> = tempo de reverberação de referência-0,5s para residências.			ISO 140-4 <sup>7</sup> (substituída pela ISO 16283-1)
<b>D<sub>nT,w</sub></b>	Diferença Padronizada de Nível ponderada	Número único ponderado global para índice de redução sonora de um elemento medido em frequências de 1/3 de oitava de 100 a 3125 Hz,			

<sup>7</sup> Continua na próxima página.

	( <i>Weighted Standardized Level Difference</i> )	podendo incluir as frequências de 50,63,80,4000, 5000 Hz, quando necessário.			
<b>D<sub>nT,A</sub></b>	Diferença de Nível de padrão ( <i>Standardized Level Difference</i> )	Número único utilizado em muitos países que considera um dos dois termos de adaptação, nesse caso, o termo C, utilizando o ruído rosa como fonte sonora. Trata-se de uma maneira de já incluir o coeficiente de adaptação do espectro pertinente. $D_{nT,A} = D_{nT,w} + C$ Eq (17)			ISO 717-1
<b>D<sub>nT,A,tr</sub></b>	Diferença de Nível de padrão ( <i>Standardized Level Difference</i> )	Número único utilizado em muitos países que considera um dos dois termos de adaptação, nesse caso, o termo C <sub>tr</sub> , utilizando o ruído de tráfego como fonte sonora. Trata-se de uma maneira de já incluir o coeficiente de adaptação do espectro pertinente. $D_{nT,A,tr} = D_{nT,w} + C_{tr}$ Eq (18)			
<b>D<sub>2m,nT</sub></b>	Diferença Padronizada de Nível, a 2 metros ( <i>Standardized Level Difference</i> )	Isolamento sonoro entre ambientes em razão do tempo de reverberação. $D_{2m,n,T} = D + 10 \log (T/T_0) \text{ dB}$ Eq (19) Onde: D= Diferença de nível; T= Tempo de reverberação médio do ambiente receptor; T <sub>0</sub> = tempo de reverberação de referência-0,5s para residências.	Fachadas e coberturas	Campo	ISO 140-4 (substituída pela ISO 16283-3)
<b>D<sub>2m,nT,w</sub></b>	Diferença Padronizada de Nível ponderada, a 2 metros ( <i>Weighted Standardized Level Difference</i> )	Número único ponderado global para índice de redução sonora de um elemento medido em frequências de 1/3 de oitava de 100 a 3125 Hz, podendo incluir as frequências de 50,63,80,4000, 5000 Hz, quando necessário.			ISO 717-1
<b>FSTC</b>	Classe de Transmissão Sonora ( <i>Field Sound Transmission Class</i> )	Número único para índice de redução sonora de um elemento medido em frequências de 1/3 de oitava de 125 a 4000 Hz. Parâmetro utilizado nos Estados Unidos e Canadá. Considera a regra dos 8dB <sup>1</sup> .	Sistemas Construtivos	Campo	ASTM E 413
<sup>1</sup> A regra dos 8 dB estabelece que a diferença entre os valores de <i>R</i> da curva STC de referência e da curva medida não deve ultrapassar 8dB, em ponto algum do espectro sonoro. (BISTAFA,2011; LONG,2006). <sup>2</sup> As medições em campo consideram uma margem de 5dB a menos para demonstrar as conformidades em relação as medições em laboratório, tendo em vista as condições e variáveis presentes nesse tipo de avaliação.					

Quadro 3- Parâmetros de transmissão sonora de uma parede composta, entre dois ambientes (receptor e emissor).  
Fonte: Adaptado de Ferreira Neto (2009); Gerges (2000); Hokpings (2007); Long (2006); Penedo (2014); Radavelli (2014).

### 2.1.3 Referências Normativas

No Brasil o controle do ruído é uma problemática antiga, em decorrência da ineficiência das legislações relacionadas ao conforto acústico da população. Apesar de possuir 3 NBRs que tratam dessa temática, o país não dispõe de uma normativa técnica essencialmente brasileira, utilizando, assim, os procedimentos para medições de desempenho acústico em edificações previstos nas normativas internacionais (ISO). Até 2008, quando foi aprovada a NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais- Desempenho, que contudo somente entrou em vigor em 2013 e que não trata apenas da questão acústica, mas do desempenho geral em edificações habitacionais, não existiam sequer parâmetros de referência para o isolamento acústico de partições em edificações. As normas técnicas de referência e a legislação são instrumentos

fundamentais para assegurar os índices salubres de exposição ao ruído, e os critérios mínimos de conforto acústico nas edificações, vislumbrando proporcionar qualidade de vida à população.

### 2.1.3.1 Critérios Nacionais

A Lei 6.938 de 31 de Agosto de 1981 instituiu o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como o órgão responsável para determinar os limites de ruído no Brasil, em virtude dos problemas ocasionados pelos níveis de ruído excessivos, que propulsionam a degradação da qualidade de vida nos grandes centros urbanos. Os critérios e padrões determinados pelo CONAMA são abrangentes, sendo sua aplicação obrigatória nos Estados e Municípios da federação (BRASIL, 1990).

A partir da resolução CONAMA nº 001, de 8 de Março de 1990, os limites de ruído ambiental foram definidos segundo os níveis estabelecidos pela ABNT NBR 10151:2000 Versão Corrigida:2003- Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, citando também a norma ABNT NBR 10152:1987 Versão Corrigida:1992- Níveis de Ruído para conforto acústico, enfatizando sua aplicação, todavia, nos casos de execução de obras ou construções de edificações diversas que excedam o limites de ruído determinados nesta norma (BRASIL, 1990).

A NBR 10151:2000 Versão Corrigida:2003, intitulada Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, determina as condições necessárias para avaliações de ruído em comunidades, estabelecendo um método para a mensuração do ruído, além da execução de correções nos níveis de ruído medidos caso necessário, definindo o Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, que se trata do limite máximo de ruído externo, tanto no período noturno, quanto no período diurno, para áreas e usos do solo diversos. O método de avaliação abrange medições do nível de pressão sonora equivalente (LAeq), em dB(A) (ABNT,2000).

A NBR 10152:1987 Versão Corrigida:1992, descrita como Níveis de ruído para conforto acústico, estabelece os níveis de ruído para proporcionar conforto acústico em ambientes de edificações com funções diversas, através de medições do nível de pressão sonora (NPS) em dB(A) e das curvas NC, em dB, denominadas curvas de avaliação de ruído. No que tange aos parâmetros para edificações, determina apenas os índices referentes a dormitórios e



salas de estar, não estipulando parâmetros para desempenho de elementos ou sistemas construtivos (Tabela 2) (ABNT,1987).

Tabela 2- Valores dB(A) e NC

Residências		
Locais	dB (A)	NC
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45

Fonte: Adaptado de ABNT (1987).

*a) NBR 15575:2013 – Edifícios Habitacionais- Desempenho*

A norma ABNT NBR 15575– Edificações Habitacionais- Desempenho, que entrou oficialmente em vigor em 19 de julho de 2013 e fundamenta-se em modelos normativos internacionais de desempenho. Refere-se a um conjunto normativo, constituído por 6 partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas; e
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada parte designa padrões referentes à eficiência das edificações em relação aos requisitos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade, sob o âmbito do Desempenho Estrutural, Segurança contra Incêndio, Uso e Operação (segurança), Estanqueidade, Desempenho Térmico, Desempenho Acústico, Desempenho Lumínico, Durabilidade e Manutenibilidade, Saúde, Conforto Antropodinâmico (habitabilidade), Adequação Ambiental, que envolve durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental (sustentabilidade), e se constitui como uma importante ferramenta que atua como parâmetro para a análise de índices efetivos de conforto em sistemas ou elementos construtivos em edificações habitacionais, e “constitui importante e indispensável marco para a modernização tecnológica da construção brasileira e melhoria da qualidade de nossas habitações” (CBIC,2013, p.07).

A NBR 15575:2013 determina critérios para avaliação de desempenho em edificações habitacionais com qualquer número de pavimentos, não sendo direcionada para obras

concluídas ou construções existentes; obras em fase de construção, e projetos protocolados nos órgão competentes, anteriormente à da instituição da norma, obras de reforma ou *retrofit*, e edificações de caráter provisório, ou seja, deve ser implementada nas novas construções, a partir da data que a norma entrou em vigor (CBIC,2013).

A Normativa estabelece critérios segundo exigências mínimas de desempenho (M), de caráter obrigatório, que devem ser alcançados pelos elementos e sistemas construtivos diversos, instituindo ainda os níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S), que são, por outro lado, optativos (ABNT,2013).

A NBR 15575:2013 em suas partes 3 e 4 trata do desempenho acústico para Sistemas de Pisos e para Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE), respectivamente. A parte 4, seção 12 “apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre o meio externo e o interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns” (ABNT, 2013, p.28), não estabelecendo, contudo, critérios para avaliação de partições de uma mesma unidade habitacional. Prevê métodos de verificação acústica que compreendem ensaios em campo (sons aéreos- método de engenharia e método simplificado) e ensaios em laboratório (método de precisão), estabelecendo critérios, objetivos e quantitativos que podem ser medidos. Essa seção da norma é de extrema relevância, pois estabelece referências para orientar análises de desempenho acústico de sistemas ou elementos de vedação verticais em espaços residenciais, uma vez que grande parte das construções não contempla níveis acústicos satisfatórios (CBIC, 2013).

O método de precisão realizado em laboratório permite verificar o isolamento sonoro de componentes e elementos construtivos isoladamente, para posteriormente mensurar o isolamento global da partição composta, segundo a metodologia descrita na norma ISO 10140-2:1993, que estabelece os critérios para determinação, verificação e aplicação dos dados obtidos.

O método de engenharia, determinado em campo, engloba duas situações:

- a) Para SVVE- Sistema de Vedações Verticais Externas (fachadas), a qual avalia rigorosamente o isolamento sonoro global da partição externa, constituída por fachada e cobertura em edificações térreas e somente fachada no caso dos edifícios verticais multifamiliares, de acordo com os métodos previstos norma ISO 140-5.
- b) Para SVVI- Sistema de Vedações Verticais Internas (paredes internas), a qual averigua em campo, de maneira rigorosa o isolamento sonoro global entre unidades autônomas e

entre uma unidade e áreas comuns, não contemplando, todavia, limites para a isolamento acústica entre cômodos de uma mesma unidade. As medições baseiam-se nos métodos determinados na norma ISO 140-4:1998.

Em ambas as situações, a norma determina que portas e janelas devem permanecer fechadas durante as medições (ABNT,2013).

Vale salientar que as normas ISO 140-4, ISO 140-5:1998 foram substituídas pela norma ISO 16.283:2014, partes 1 e 3, respectivamente. Maiores detalhes sobre essa norma serão explanados no próximo tópico, referente aos critérios internacionais.

No método simplificado de campo é possível adquirir uma estimativa global do isolamento sonoro em SVVE e SVVI, nos casos onde não é possível a utilização dos instrumentos necessários para medição do tempo de reverberação, ou em situações onde o ruído de fundo não possibilita que esse parâmetro seja obtido, conforme a metodologia descrita na norma ISO 10052:2004. Contudo o método de engenharia é o mais preciso para medições de isolamento sonoro em campo, já que permite ensaios com todos os parâmetros necessários para a obtenção do índice de isolamento sonoro (ABNT,2013).

Os parâmetros acústicos de verificação adotados nas medições, são os mesmos utilizados nas normas ISO, e os resultados obtidos são expressos em dB (Quadro 4).

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
<b>R<sub>w</sub></b>	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
<b>D<sub>nT,w</sub></b>	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 substituída pela ISO 16.2383-1 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
<b>D<sub>2m,nT,w</sub></b>	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 substituída pela ISO 16.2383-3 ISO 717-1	Fachadas, em edificações Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados

Quadro 4- Parâmetros Acústicos NBR 15.575-4.

Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

#### Níveis de ruído admitidos na habitação- critérios SVVE para medições em campo

Deverá ser determinada a diferença padronizada de nível,  $D_{2m,nT,w}$ , em dormitórios da unidade habitacional, a partir dos parâmetros metodológicos previstos nas ISO 16.283-3:2014, ISO 717.1:1996, e ISO 3382:1997, que serão descritas posteriormente. O anexo F da norma contempla valores de referência  $R_w$ , segundo ensaios de laboratório, com o intuito de orientar

fabricantes e projetistas. A atenuação sonora entre o ruído externo a partição e a intensidade sonora no interior do ambiente avaliado deve ser compatível com os limites estabelecidos na Tabela 3.

Tabela 3- Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações externas (fachadas)

Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações verticais externas (fachadas)						
Parâmetro		Ruído Externo		Desempenho		
		Classe de ruído	Localização	MÍN	INT	SUP
<b>Diferença padronizada de nível ponderada à 2 metros de distância da fachada</b>	<b><math>D_{2m,nT,w}</math></b>	I Até 60 dB	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	<b><math>\geq 20</math> dB</b>	$\geq 25$ dB	$\geq 30$ dB
		II De 60 à 65 dB	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III.	<b><math>\geq 25</math> dB</b>	$\geq 30$ dB	$\geq 35$ dB
		III Acima de 65 dB	Habitação sujeita ao ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	<b><math>\geq 30</math> dB</b>	$\geq 35$ dB	$\geq 40$ dB

Nota 1- Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.

Nota 2- Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos, rodovias, e ferrovias há necessidade de estudos específicos.

Nota 3- Os valores destacados são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

Fonte: Adaptado de CBIC (2013); PROACÚSTICA (2013).

### Níveis de ruído admitidos na habitação- critérios SVVI para medições em campo

A obtenção dos valores da diferença padronizada de nível,  $D_{nT,w}$ , está fundamentada nos métodos definidos nas ISO 16.283-1:2014, ISO 717.1:1996, e ISO 3382:1997. O anexo F da norma contempla valores de referência  $R_w$ , segundo ensaios de laboratório, com o intuito de orientar fabricantes e projetistas. A atenuação sonora entre o ruído gerado em área comum ou unidade geminada contígua e a intensidade sonora no interior do ambiente avaliado não poderá exceder os limites determinados na Tabela 4.

Tabela 4- Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações internas (paredes)

Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações verticais internas (paredes)				
Parâmetro	Elemento	Desempenho		
		MÍN	INT	SUP
Diferença padronizada de nível ponderada	Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório.	≥40 dB	≥45 dB	≥50 dB
	Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	≥45 dB	≥50 dB	≥55 dB
	Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadarias nos pavimentos.	≥40 dB	≥45 dB	≥50 dB
	Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadarias nos pavimentos.	≥30 dB	≥35 dB	≥40 dB
	Parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	≥45 dB	≥50 dB	≥55 dB
	Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas por um hall (DnT,w) obtida entre as unidades.	≥40 dB	≥45 dB	≥50 dB

Nota 1- Os valores destacados são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

Fonte: Adaptado de CBIC (2013); PROACÚSTICA (2013).

### 2.1.3.2 Critérios Internacionais

#### b) ISO 16.283:2014

Em 28 de fevereiro de 2014 entrou em vigor a nova ISO 16.2383, *Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements*, referente a um conjunto de normativas acústicas que estabelece os critérios e requisitos para medições de isolamento sonoro em campo e em laboratório, em relação ao ruído aéreo e ao ruído de impacto, em partições externas, internas e sistemas de pisos e que substitui as seguintes normas ISO, anteriormente utilizadas, conforme Quadro 5.

Norma substituída	Norma em vigor	Tipo de isolamento
ISO 140-4:1998	ISO 16.283-1	Aéreo em partições interiores, paredes, pisos e portas entre dois ambientes;
ISO 140-7:1998	ISO 16.283-2	Impacto em sistemas de piso.
ISO 140-5:1998	ISO 16.283-3	Aéreo em fachadas e elementos de fachadas.
ISO 140-14:1998	ISO 16.283-2 e ISO 16.283-3	Aéreo e de Impacto em situações especiais, para ambientes com volume superior a 250m <sup>3</sup> .

Quadro 5- Substituição de normas de medição de desempenho acústico (ISO).

Fonte: Adaptado de ISO (2014).

A ISO 16.283-1 intitulada *Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements- Part. 1: Airborne sound insulation* define os parâmetros para medições de isolamento ao ruído aéreo entre partições internas, englobando os seguintes elementos: paredes, pisos, e portas, através da mensuração do nível de pressão sonora no ambiente avaliado (receptor) e no ambiente externo a ele (emissor), em ambientes com volumes entre 10m<sup>3</sup> e 250m<sup>3</sup>. Estabelece critérios para os equipamentos necessários, as distâncias e quantidade mínimas dos pontos para medições, os parâmetros acústicos relacionados, e as frequências envolvidas (Quadro 6). A conversão do isolamento sonoro em um número único<sup>8</sup> deverá ser realizada segundo procedimentos de classificação que constam na ISO 717-1:1996.

O espectro sonoro na emissão ( $L_2$ ), não deve apresentar diferenças de níveis de pressão sonora superiores a 8dB pelo menos acima de 100Hz, nas frequências de bandas de 1/3 de oitava. O NPS da fonte deverá permitir a emissão de um ruído de fundo ou ruído residual no ambiente com NPS maior que 8dB (ISO, 2014).

É fundamental a mensuração do ruído de fundo nos ambientes de recepção, com o intuito evitar que as medições sejam prejudicadas por ruídos externos indesejáveis. O NPS na sala receptora deve ser 10dB maior que o ruído de fundo nas frequências de 1/3 de oitava, caso isso não seja possível, será necessário realizar a correção do ruído de fundo levando em consideração os seguintes aspectos:

- Quando a diferença entre o NPS da sala receptora ( $L_2$ ) e o ruído de fundo ( $B_2$ ) for inferior a 6dB ( $L_2 - B_2 < 6$  dB) será necessário subtrair 1,3 dB de  $L_2$ ;

<sup>8</sup> De acordo (2000, p.226), único número de isolamento sonoro aéreo é também chamado de índice médio de redução de ruído (IMRR) e se refere ao “[...] valor médio do somatório aritmético da perda de transmissão em bandas de 1/3 de oitava, de 100 Hz até 3150 Hz [...]”. Ainda segundo ele, “[...] o valor do IMRR é geralmente muito próximo do valor da PT na frequência de 500 Hz [...]”.

- Quando a diferença entre o NPS da sala receptora ( $L_2$ ) e o ruído de fundo ( $B_2$ ) estiver entre 6 dB e 10 dB ( $6 \text{ dB} < L_2 - B_2 < 10 \text{ dB}$ ) aplica-se a equação para correção do ruído de fundo:

$$L = 10 \log (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad \text{Eq. (20)}$$

Onde:

$L$  = nível de sinal ajustado (dB);

$L_{sb}$  = nível de sinal e o ruído de fundo combinados (dB);

$L_b$  = nível de ruído de fundo (dB).

Equipamentos	Quantidades mínima de pontos e de medições	Distâncias mínimas	Parâmetros acústicos
<b>Microfone:</b> -Com diâmetro mínimo de 13 mm, e raio de curvatura móvel com 0,7m.	<b>NPS</b> -5 pontos na emissão e 5 pontos na recepção. -2 posições de fonte na emissão (duas fontes ou uma fonte com duas posições). -3 medições em cada ponto, com duração mínima de 6s.	<b>Recepção e Emissão</b> -Entre posições dos microfones= 0,70m. -Entre posições do microfone ou da fonte e contornos da sala= 0,50m. -Entre fontes sonoras=1,40m. -Entre fontes sonoras e microfones=1,0m. -Altura do microfone= 1,20m do piso. -Altura da fonte= 1,50m do piso.	<b>Diferença de nível</b> $D = L_1 - L_2$ (dB) Eq. (02)
<b>Calibrador<sup>9</sup>:</b> -Classe 0 ou 1 de acordo com IEC 60942.			
<b>Medidor de NPS<sup>10</sup></b> (sonômetro): -Classe 0 ou 1 conforme IEC 60651 ou IEC 60942.			
<b>Filtros:</b> -De bandas de 1/3 de oitava e de acordo com a IEC 6126-0.	<b>Tempo de Reverberação</b> -3 pontos, para realização de 3 medições em cada ponto, com duração de 6s, considerando apenas uma fonte, na recepção.	-Fontes posicionadas não paralelas aos limites do ambiente- nos cantos.	<b>Diferença padronizada de nível</b> $D_nT = D + 10 \log (T/T_0)$ (dB) Eq. (16) ( $T_0 = 0,5 \text{ s}$ ).
<b>Fonte:</b> -Omnidirecional para emissão de ruído branco- NPS e ruído rosa- Tempo de reverberação.	<b>Ruído de Fundo</b> -3 pontos, para realização de 3 medições em cada ponto, com duração de 6s, com a fonte desligada, na recepção.		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• As frequências consideradas são de bandas de 1/3 de oitava de 50 a 5000 Hz.</li> </ul>			

Quadro 6- Informações Gerais ISO 16.283-1.

Fonte: Adaptado de ISO (2014).

A ISO 16.283-3 denominada *Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements- Part. 3: Façade sound insulation*, estabelece os requisitos para medições de isolamento ao ruído aéreo em fachadas completas (com a presença de aberturas) e elementos de fachadas, a partir da quantificação do nível de pressão sonora no

<sup>9</sup> A calibração manual do microfone do sonômetro deve ser realizada no começo e no final das medições. Além disso, é fundamental que o microfone seja calibrado um a vez por ano, por empresa especializada. A classe 0 é padrão de laboratório e a classe 1 pode ser utilizada em laboratório ou em campo em condições controladas. A mesma classificação é adotada para o sonômetro. (ISO, 2013).

<sup>10</sup> Antes do início das medições faz-se necessário testar o sonômetro, ligando a fonte com o ruído a uma determinada frequência e verificando se o medidor está aferindo corretamente a pressão sonora gerada. (ISO, 2013).

ambiente avaliado (receptor- dormitório) e no ambiente externo a ele (emissor), em ambientes com volumes entre 10m<sup>3</sup> e 250m<sup>3</sup>.

Determina os parâmetros para as medições referentes aos métodos de medição, aos equipamentos necessários, as distâncias e quantidade mínimas dos pontos para medições, os parâmetros acústicos relacionados e as frequências envolvidas (Quadro 7). A ISO 717-1:1996 define os procedimentos para a conversão do isolamento sonoro em todas as frequências em um número único, ou seja, o índice de redução sonora da partição avaliada (ISO,2014).

Métodos	Equipamentos	Quantidades mínima de pontos e de medições	Distâncias mínimas	Parâmetros acústicos
<b>Método de elemento:</b> Mensura o isolamento sonoro em elementos de fachada	Microfone: -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.	<b>NPS Recepção</b> -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.  <b>NPS Emissão</b> -3 posições para os pontos de medição.	<b>Recepção</b>  -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1 para recepção e emissão.  <b>Emissão</b>  -Entre posições dos microfones= 0,70m, distando 2m da fachada.  -Fontes sonoras a 45° graus da normal da fachada (eixo da abertura quando houver).	<b>Diferença de nível a 2m</b> $D_{ls,2m} = L_{1,2m} - L_2$ (dB) Eq. (21)
	Calibrador: -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.	-2 posições de fonte na emissão (duas fontes ou uma fonte com duas posições).  -3 medições em cada ponto, com duração mínima de 6s, na emissão e na recepção.	-Distância da fachada $D > 3,5m$ para o método de elementos e $D > 5m$ para o método global.  -Altura do microfone= 1,20m do piso.  -Altura da fonte= 1,50m do piso.	<b>Diferença padronizada de nível</b> $D_{ls,2m,nT} = D_{ls,2m} + 10 \log (T/T_0)$ (dB) Eq. (22) ( $T_0 = 0,5$ s).
<b>Método Global:</b> Determina o índice de redução sonora de uma fachada completa (fachada + elementos)	Medidor de NPS (sonômetro): -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.	<b>Tempo de Reverberação</b>  -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.		<b>Diferença normalizada de nível</b> $D_{ls,2m,n} = D_{2m} + 10 \log (A/A_0)$ (dB) Eq. (23) ( $A_0 = 10mm^2$ )
	Filtros: -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.			
	Fonte: -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.	<b>Ruído de Fundo</b>  -Mesmas condições previstas na ISO 16.283-1.		
<ul style="list-style-type: none"> <li>As frequências consideradas são de bandas de 1/3 de oitava de 50 a 5000 Hz.</li> </ul>				

Quadro 7- Informações Gerais ISO 16.283-3.

Fonte: Adaptado de ISO (2014).

De acordo com Hopkins (2015), as principais alterações técnicas referentes à medição do isolamento sonoro ao ruído aéreo na ISO 16.283 em relação as normativas substituídas são:

- Aplicação somente de bandas de frequência de 1/3 de oitava, nas normas anteriores era possível utilizar bandas de oitava;



- A possibilidade de realizar as medições com o operador dentro do ambiente, com ou sem mobília;
- Preferência pela utilização parâmetros padronizados aos normalizados, que fornecem uma ligação mais direta para a impressão subjetiva do isolamento sonoro ao ruído aéreo e de impacto;
- Introdução de um procedimento de baixa frequência para bandas de 1/3 de oitava abaixo de 100 Hz em volumes de quartos menores que 25 m<sup>3</sup> usando (a) medidas de canto para determinar o nível de pressão sonora média espacial e (b) a oitava banda 63 Hz, em vez de bandas de um terço de oitava para medir o tempo de reverberação;
- Alteração do espectro, sugerindo a incorporação das frequências de 50 a 5000Hz, para atingir as baixas frequências (anteriormente considerava-se o espectro de 100 a 3150Hz);
- Todas as medições devem utilizar filtros de bandas de 1/3 oitava tendo pelo menos os seguintes centros de frequências, em Hz: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 150;
- Caso informações adicionais na faixa de baixa e alta frequência forem necessárias, deve-se aplicar filtros de bandas de 1/3 oitava com as seguintes frequências centrais, em Hz: 50, 63, 80 (baixa); 4 000, 5 000 (alta). Esse procedimento se torna mais importante se o intervalo de classificação é reduzido a partir de 100 Hz a 50 Hz (particularmente com massa-mola- ressonâncias) e aumento de 3,15 kHz a 5 kHz (particularmente com frequências críticas de materiais de placas finas, tais como placas de gesso).
- Não deve haver diferenças de níveis de pressão sonora no espectro da emissão superiores a 8dB pelo menos acima de 100Hz em bandas de um 1/3, ao invés de 6dB;
- Detalhamento dos requisitos para fontes sonoras e directividade das mesmas.

*c) ISO 717-1:1996*

A ISO 717-1:1996, *Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation*, descreve os procedimentos para obtenção do valor único que caracteriza a performance acústica em relação ao isolamento sonoro aéreo de edifícios ou elementos de edifícios, segundo os requisitos de medições previstos nas normas ISO 140-3, ISO 140-4, ISO 140-5, ISO 140-9, ISO 140-10, sendo a segunda e terceira

substituídas pela ISO 16.283 partes 1 e 3. Fundamenta-se nos diferentes níveis de espectros de fontes sonoras de diferentes tipos, considerando fontes sonoras dentro da edificação e o tráfego externo. Define parâmetros para estabelecer a quantidade do número único, ou índice ponderado de isolamento sonoro aéreo, em dB, através de medições em bandas de 1/3 de oitava ou em bandas de oitava, a partir dos requisitos das normas supracitadas (ISO,1996).

Para obtenção do número único a norma determina o método de comparação, que estabelece os seguintes procedimentos:

1. Os resultados das medições por frequência devem ser arredondados para uma casa decimal;
2. Os valores obtidos nas medições devem ser comparados com os valores da curva de referência, segundo as frequências utilizadas nas medições, entre 100Hz e 3150Hz, para bandas de frequência de um terço de oitava, e entre 125Hz e 2000Hz para bandas de frequência de oitava (Tabela 5).

Tabela 5- Valores da curva de referência

Frequência	Valores para a curva de referência	
	1/3 de oitava	1/1 de oitava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Fonte: Adaptado de ISO (1996).

3. A curva de referência deverá ser deslocada em intervalos de 1 dB no sentido da curva medida, até que a soma das deficiências ou desvios desfavoráveis (ponto da curva abaixo da curva de referência) seja menor ou igual a 32 dB, nas 16 faixas de bandas de 1/3 de oitava, entre 100 e 3150Hz, e 10 dB, nas 5 faixas de frequência de bandas de oitava.

4. A norma prevê ainda a adaptação do espectro, que significa o valor em dB que deve ser acrescentado ao número único em função das especificidades do espectro, considerando dois termos: o coeficiente de adaptação de espectro para avaliação do desempenho entre recintos para ruído rosa <sup>11</sup> (C), ponderado em A e calculado com as referências do espectro n° 1, e o coeficiente de adaptação de espectro para avaliação do desempenho de fachadas para ruído de trânsito ou baixas frequências (Ctr), ponderado em A e calculado segundo os parâmetros do espectro n°2 (Tabela 6). Os valores de referência para a obtenção dos termos de adaptação do espectro entre 50 e 5000Hz são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Valores de referência para obtenção dos termos de adaptação entre 50 e 5000Hz

Frequência Hz	Espectro nº1 para o cálculo de C				Espectro nº2 para o cálculo de Ctr para qualquer faixa de frequência	
	C50-3150		C50-5000	C100-5000		
	1/3 Oitava	1/1 Oitava	1/3 Oitava	1/1 Oitava	1/3 Oitava	1/1 Oitava
50	-40		-41		-25	
63	-33	-31	-37	-32	-23	-18
80	-36		-34		-21	
100	-29		-30		-20	
125	-26	-21	-27	-22	-20	-14
160	-23		-24		-18	
200	-21		-22		-16	
250	-19	-14	-20	-15	-15	-10
315	-17		-18		-14	
400	-15		-16		-13	
500	-13	-8	-14	-9	-12	-7
630	-12		-13		-11	
800	-11		-12		-9	
1000	-10	-5	-11	-6	-8	-4
1250	-9		-10		-9	
1600	-9		-10		-10	
2000	-9	-4	-10	-5	-11	-6
2500	-9		-10		-13	
3150	-9		-10		-15	
4000	_____	_____	-10	-5	-16	-11
5000	_____		-10		-18	

Fonte: Adaptado de ISO (1996).

<sup>11</sup> Os ruídos branco e rosa são utilizados em medições de isolamento sonoro à ruído aéreos, e são referentes à ruídos aleatórios de banda larga. O espectro do ruído branco exibe uma nível constante para todas as frequências do espectro, já o ruído rosa retrata um nível que decai 3 dB por oitava.

5. O único número de isolamento sonoro aéreo será o valor em dB, na frequência de 500 Hz, após o deslocamento da curva de referência, e está relacionado ao Índice de redução sonora aparente ponderada  $R'_{w}$ , diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$ , e diferença padronizada de nível ponderada a dois metros  $D_{2m,nT,w}$  (FERREIRA NETO, 2009; ISO, 1996).

O termo de adaptação a um determinado espectro corresponde a “anexar” ao valor único determinado uma correção que apresente as características desse espectro.

Esses coeficientes de adaptação do espectro foram desenvolvidos para possibilitar a análise dos espectros de diferentes fontes de ruído (ruído rosa e ruído de tráfego- Quadro 8), com o intuito de determinar “[...] o valor da isolamento sonora em curvas que apresentem valores muito baixos em uma única faixa de frequência” (ISO 717-1 apud FERREIRA NETO, 2009).

Tipo de Fonte Sonora	Espectro indicado	Coefficiente de Adaptação
-Atividades humanas (palavra, música, radio, televisão); -Brincadeiras de crianças; -Tráfico ferroviário a velocidade média ou elevada; -Tráfico rodoviário (> 80 km/h); -Avião à jato em curta distância; -Indústrias que emitam ruído em médias e altas frequências	<b>Ruído Rosa</b>	<b>C</b>
-Tráfico rodoviário urbano; -Tráfico ferroviário a velocidade reduzida; -Avião a hélice; -Avião à jato em grande distância; -Discoteca; -Indústrias que emitam ruído em baixas e médias frequências.	<b>Ruído de Tráfego</b>	<b>Ctr</b>

Quadro 8- Coeficiente de adaptação em função do tipo de fonte sonora.  
Fonte: Adaptado de ISO (1996).

Os coeficientes de adaptação do espectro, C e Ctr, não são incluídos como uma quantidade de número único, sendo representados como números separados, e devem ser inseridos em parênteses após o valor do número único, como por exemplo,  $R_w = (C; Ctr) = 42 (-1; -3)$  dB, cuja curva é demonstrada na Figura 14.

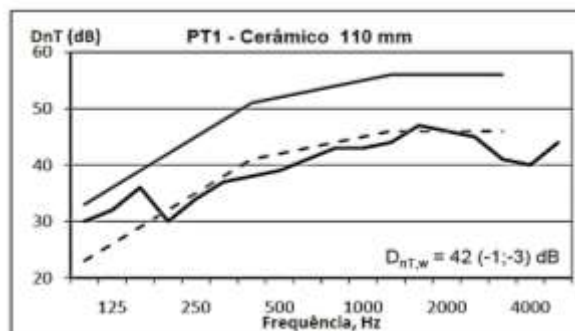


Figura 14- Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 mm.

Fonte: Ferreira Neto (2009).

O cálculo para os termos de adaptação do espectro em dB é definido pelas Equações 24 e 25.

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad \text{Eq. (24)}$$

Onde:

$X_{Aj}$  = diferença entre o nível sonoro ponderado em A no ambiente emissor e no ambiente receptor;

$X_w$  = é o número único calculado para a ponderação de R, R', Dn ou DnT;

$j$  = é referente ao espectro nº1 para o cálculo de C ou do espectro nº 2 para o cálculo de Ctr.

Sendo  $X_{Aj}$  definido pela equação:

$$X_{Aj} = -10 \log \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \text{ (dB)} \quad \text{Eq. (25)}$$

Onde:

$i$  = refere-se a cada banda de frequência de 1/3 de oitava ou de oitava.

$L_{ij}$  = são os níveis obtidos para as frequências  $i$ , para o espectro  $j$ ;

$X_i$  = é o índice de redução sonora  $R_i$ , ou índice de redução sonora aparente  $R'_i$ , ou diferença normalizada de nível  $Dn_i$ , ou diferença padronizada de nível,  $DnTi$  para a frequência  $i$ .

d) ISO 3382-2:1997

A ISO 3382-2:1997, *Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part. 2: Reverberation time in ordinary rooms*, define os procedimentos para a obtenção do tempo de reverberação em ambientes diversos, exceto para medições em laboratório (Quadro 9) (ISO, 1997).

Métodos	Fonte	Microfones	Equipamentos de medição	Distâncias
<b>Método de interrupção do ruído:</b> Adquire a curva de decaimento do nível de pressão sonora a partir do desligamento da fonte geradora do ruído.	Omnidirecional com a capacidade de gerar um nível de pressão sonora adequado para obtenção curvas de decaimento em todas as frequências requeridas, evitando a interferência do ruído de fundo.	Microfones omnidirecionais com diâmetro máximo de 13 mm.	Classe 1 compatíveis com IEC 60651  Filtros de bandas de oitava ou de 1/3 de oitava e de acordo com a IEC 6126-0	Entre qualquer posição do microfone e superfícies refletoras adjacentes- geralmente 1m
<b>Método da resposta impulsiva acústica:</b> o decaimento é determinado como resposta a um ruído de impulso, como o estouro de um balão, o disparo de uma arma de fogo, o fechamento de uma claquete, entre outros.				Os microfones não devem ser locados muito próximos as fontes para evitar interferências do som direto.

Quadro 9- Informações Gerais ISO 3382-2.

Fonte: Adaptado de ISO (1996).

### e) Códigos Internacionais

Uma vez que esta pesquisa se propõe a apresentar um estudo comparativo entre os resultados de desempenho acústico de vedações verticais internas e externas em edificações habitacionais do tipo *Light Steel Framing* (LSF), mensurados *in loco*, com os parâmetros acústicos descritos na norma brasileira NBR 15575-4:2013, e a mesma não designa critérios para análise de partições internas de uma mesma edificação, fez-se necessário realizar um levantamento bibliográfico de códigos internacionais e seus índices de redução sonora previstos, de países que abordam esse conteúdo em seus códigos, a fim de possibilitar uma avaliação mais detalhada dos objetos de estudo.

Foram selecionados, para análise comparativa, os códigos internacionais de dois países: Estados Unidos e França, por apresentarem normas que contemplam todos os requisitos necessários para essa pesquisa, bem como por se tratarem de países que encontram-se no ranking de maiores produtores de edificações habitacionais em LSF.

### **Regulamentos para isolamento sonoro: Estados Unidos x Europa**

Na Europa aplica-se um esquema de classificação de edificações habitacionais a partir dos índices de isolamento sonoro para paredes internas, pisos (entre unidades habitacionais diferentes) e fachadas, utilizando três classes de desempenho, A, B e C, que estabelecem classes de qualidade sonora para atender as diferentes necessidades das atividades desenvolvidas nos ambientes. Atualmente, dez países europeus utilizam esse esquema de classificação (Alemanha, Áustria, Dinamarca, Finlândia, Holanda, Islândia, Itália, Lituânia, Noruega, e Suécia) contudo, com critérios de avaliação e valores diferentes.

Com o intuito de desenvolver uma rotulagem de classificação acústica padrão, foi proposto em 2014 o TU0901- *Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions*, referente a uma norma para uniformizar a classificação do isolamento sonoro em habitações, do qual fazem parte 32 países, 29 pertencentes ao continente europeu e outros continentes.

Por outro lado, nos Estados Unidos, os regulamentos de isolamento sonoro para habitações estão associados aos códigos de construções, e são adotados como leis nas jurisdições. Contudo, os estados e municípios podem publicar decretos de ruído como parte dos seus regulamentos. Dessa forma, não é visível uma padronização dos critérios de isolamento

sonoro, bem como, o emprego de classes de classificação, e os valores de isolamento sonoro determinados nesses regulamentos são os mínimos que devem ser atingidos (BERARDI; RASMUSSEN, 2014).

- TUG0901- *Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions* (2014)

O objetivo geral do TUG0901:2014 é padronizar os esquemas de classificação de isolamento sonoro para habitações e estabelecer critérios gerais para aplicação em todos os países que fazem uso dessa norma, possibilitando rotular as edificações segundo seu desempenho acústico (Tabelas 7 e 8) (COST, 2014).

O TUG0901:2014 é uma proposta de normatização, mas que já foi reconhecida pela ISO. Os países envolvidos nessa proposta de padronização são: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, França, Finlândia, Grã-Bretanha, Grécia, Holanda, Hungria, Islândia, Itália, Lituânia, Macedônia, Malta, Noruega, Polônia, Portugal, República Tcheca, Romênia, Sérvia, Suécia e Suíça, no continente europeu, além de Austrália, Canadá e Nova Zelândia (COST, 2014).

As principais características dessa proposta são:

- Define seis classes (de A- muito bom á F- muito ruim) com intervalo de 4 dB entre classes;
- Estabelece a descrição das condições acústicas de habitações novas ou antigas;
- Possibilita a obtenção de informações a respeito do desempenho acústico das habitações, tanto para os moradores, como para futuros inquilinos ou compradores;
- Pode ser aplicada pelos legisladores como uma base para uma conjunto nacional de requisitos;
- Viabiliza a rotulagem das edificações, indicando as referências para a sustentabilidade acústica das mesmas (COST,2014).

Como TUG0901:2014 estabelece valores apenas para isolamento sonoro entre paredes internas de edificações diferentes, não será adotado como referência para essa pesquisa. O esquema de classificação europeu selecionado para realização da análise comparativa dos

resultados aferidos em campo nos objetos de estudo pertence a França, por incluir os parâmetros necessários para avaliação do desempenho acústico entre partições de uma mesma edificação.

Tabela 7- Isolamento de sons aéreos entre habitações e outros ambientes- Classes

Tipologia	Classe A $D_{nT,50}$ (dB)	Classe B $D_{nT,50}$ (dB)	Classe C $D_{nT,50}$ (dB)	Classe D $D_{nT,50}$ (dB)	Classe E $D_{nT,50}$ (dB)	Classe F $D_{nT,50}$ (dB)
Entre a habitação e espaços com atividades ruidosas	$\geq 68$ dB	$\geq 64$ dB	$\geq 60$ dB	$\geq 56$ dB	$\geq 52$ dB	$\geq 48$ dB
Entre a habitação e outras edificações	$\geq 62$ dB	$\geq 58$ dB	$\geq 54$ dB	$\geq 50$ dB	$\geq 46$ dB	$\geq 42$ dB

Nota:

$$D_{nT,50} = D_{nT,w} + C_{50-3150}$$

Fonte: Adaptado de COST (2014).

Tabela 8- Isolamento sonoro em fachadas- Classes

Tipologia	Classe A $D_{2m,nT,50}$ (dB)	Classe B $D_{2m,nT,50}$ (dB)	Classe C $D_{2m,nT,50}$ (dB)	Classe D $D_{2m,nT,50}$ (dB)	Classe E $D_{2m,nT,50}$ (dB)	Classe F $D_{2m,nT,50}$ (dB)
Habitações localizadas em áreas com ruído externo diurno entre 45-50 dB	$\geq 35$ dB	$\geq 31$ dB	$\geq 27$ dB	$\geq 23$ dB	$\geq 19$ dB	$\geq 15$ dB

Nota:

$$D_{2m,nT,50} = D_{2m,nT,50} + C_{tr50-3150}$$

Fonte: Adaptado de COST (2014).

## Estados Unidos

- ICC – *International Code Council* (2012)

O *International Code Council* (ICC) é constituído por três códigos de edificações cuja aplicação é regional. O *International Building Code*, (IBC), desenvolvido pelo ICC, determina os critérios reguladores para utilização em todo o país, com o intuito de assegurar a saúde pública e segurança. Define os limites para isolação sonora de elementos e sistemas construtivos, segundo o parâmetro americano STC, determinando a partir da a norma da *American Society for Testing and Materials*, ASTM E 90. Os índices previstos no IBC são referentes a isolação sonora entre ambientes: paredes, divisórias, piso e teto, não é aplicado, contudo à fachadas. Os valores estabelecidos são: STC = 50 dB, para medições em laboratório, e FSTC = 45 dB, para medições em campo (FERREIRA NETO,2009).

Esse código não será utilizado na referida pesquisa, uma vez que, não especifica as tipologias dos elementos avaliados, bem como, não elucida critérios para fachadas ou para elementos de uma mesma edificação.



- HUD – *Department of Housing and Urban Development* (1967)

Trata-se de um guia para controle de ruído para habitações multifamiliares, criado pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento dos Estados Unidos (HUD), estabelecendo recomendações para isolamento sonoro entre partições internas de diferentes habitações (Tabela 10), e entre partições internas de uma mesma habitação (Tabela 11), segundo requisitos básicos determinados segundo a localização, a partir de categorias embasadas nos níveis de ruído externo no período noturno, denominadas I,II, e III (Tabela 9). Aplica o parâmetro *Sound Transmission Class* (STC) em dB (A), em virtude das curvas de avaliação de ruído, curvas NC. (BISTAFA, 2011). Assim como o IBC, o HUD não estipula critérios para avaliações de isolamento sonoro em fachadas.

Tabela 9- Parâmetros para isolamento de sons aéreos em recintos internos - HUD

Requisitos básicos de partições para isolamento de sons aéreos entre habitações			
Tipo de partição	Categoria		
	I	II	III
Paredes	STC $\geq$ 55 dB(A) $\geq$ 58 dB	STC $\geq$ 52 dB(A) $\geq$ 55 dB	STC $\geq$ 48 dB(A) $\geq$ 51 dB

\*Categoria 1- Aplicável para localidades residenciais suburbanas e de periferia consideradas “silenciosas”, com níveis sonoros externos em torno de 35-40 dB(A) ou menos no período noturno (38-43 dB).

\*Categoria 2- Aplicável para localidades residenciais urbanas e suburbanas avaliadas como geradoras de ruídos “médios”, com níveis sonoros externos em torno de 40-45 dB(A) no período noturno (43-48 dB).

\*Categoria 3- Aplicável para localidades residenciais urbanas determinadas como “barulhentas”, com níveis sonoros externos em torno de 55 dB(A) ou mais no período noturno (58 dB).

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

Tabela 10- Parâmetros detalhados para isolamento de sons aéreos em recintos internos - HUD

Requisitos mais detalhados de partições para isolamento de sons aéreos entre recintos de diferentes habitações				
Tipos de Recintos		STC dB(A)		
Apartamento A	Apartamento B	Categoria I	Categoria II	Categoria III
Dormitório	Dormitório	55	52	48
Sala de estar	Dormitório	57	54	50
Cozinha	Dormitório	58	55	52
Banheiro	Dormitório	59	56	52
Corredor	Dormitório	55	52	48
Sala de estar	Sala de estar	55	52	48
Cozinha	Sala de estar	55	52	48
Banheiro	Sala de estar	57	54	50
Corredor	Sala de estar	55	52	48
Cozinha	Cozinha	52	50	46
Banheiro	Cozinha	55	52	48
Corredor	Cozinha	55	52	48
Banheiro	Banheiro	52	50	46
Corredor	Banheiro	50	48	46

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

Tabela 11- Parâmetros mais detalhados para isolamento de sons aéreos em recintos internos - HUD  
**Requisitos de partições para isolamento de sons aéreos entre recintos de uma mesma habitação**

Função da partição entre recintos		STC dB(A)		
		Categoria I	Categoria II	Categoria III
Dormitório	Dormitório	48	44	40
Sala de estar	Dormitório	50	46	42
Banheiro	Banheiro	52	48	45
Cozinha	Banheiro	52	48	45
Banheiro	Sala de estar	52	48	45
Banheiro	Dormitório	55	52	48
Cozinha	Dormitório	58	55	52

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

- CEQR NY – *City Environmental Quality Review Technical Manual* (2012)

Como o HUD não estabelece índices de isolamento sonoro para fachadas, foi fundamental a pesquisa de uma norma americana que explanasse sobre essa temática, visando a realização de uma análise comparativa minuciosa. A norma selecionada foi o CEQR (2012), que é referente ao Manual de Qualidade Ambiental da Cidade de Nova Iorque foi desenvolvido pelo Departamento de Proteção Ambiental (*New York City Departamento of Environmental Protection*), e trata-se do código de obras da cidade.

Em seu capítulo 19 discorre a respeito do ruído e as formas de controle, indicando critérios de isolamento sonoro para partições externas, a partir de valores de atenuação sonora necessários para alcançar aceitáveis níveis de ruído interior (Tabela 12). Utiliza o parâmetro *Outdoor- Indoor Transmission Class* (OITC), em dB(A) (NEW YORK, 2012).

Tabela 12- Parâmetros para isolamento de sons aéreos em fachadas - CEQR

Valores de atenuação para alcançar níveis aceitáveis de ruído interior					
Nível de ruído externo OITC- dB(A)	70<L <sub>10</sub> ≤73 73<L <sub>10</sub> ≤76 (dB)	73<L <sub>10</sub> ≤76 76<L <sub>10</sub> ≤79 (dB)	76<L <sub>10</sub> ≤78 79<L <sub>10</sub> ≤81 (dB)	78<L <sub>10</sub> ≤80 81<L <sub>10</sub> ≤83 (dB)	80<L <sub>10</sub> 83<L <sub>10</sub> (dB)
Atenuação <sup>A</sup>	(I) 28 dB(A)	(II) 31 dB(A)	(III) 33 dB(A)	(IV) 35 dB(A)	36+( L <sub>10</sub> -80) <sup>B</sup> dB(A)
Notas: <sup>A</sup> Os valores de atenuação são determinados para a composição de parede-janela para edifícios residenciais. Em edifícios comerciais e espaços de escritórios deverá ser considerado menos 5 dB(A)- 1.8 dB- em cada categoria. Todas as categorias acima referidas requerem uma situação de janela fechada, portanto, um meio alternativo de ventilação. <sup>B</sup> Para valores de L <sub>10</sub> superiores a 80 será necessário o incremento de 1 dB(A) nos índices de atenuação.					

Fonte: Adaptado de New York (2012).

De acordo com Mehta et al., (1999) a conversão do nível de transmissão sonora na ponderação B para a ponderação A é realizada por frequência conforme os índices abaixo:

Tabela 13- Conversão de dB para dB(A)

Conversão de dB para dB(A)	
Frequência	Ponderação
63	-26
125	-16
250	-9
500	-3
1000	0
2000	+1
4000	+1
8000	-1

Fonte: Adaptado de Mehta et al. (1999).

## **França**

Na França o documento que determina os critérios para avaliação do desempenho em edificações é o *Réglementation Acoustique* (1999), que estabelece valores de isolamento sonoro para partições verticais e horizontais, e fachadas, segundo os parâmetros de  $D_{nT,w} + C = D_{nTA}$ ,  $L'_{nT,w}$  e  $D_{nT,A,tr}$ , em dB, respectivamente (FERREIRA NETO, 1999; *SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ACOUSTIQUE*, 2012).

- HAL- 00810642 – *Elements for an acoustic classification of dwellings and apartment buildings in France* (2012)

O HAL-00810642, *Archive Ouverte Pluridisciplinaire*, é uma proposta de classificação de desempenho acústico para habitações baseado no regulamento francês, *Réglementation Acoustique* (1999), bem como nas diferentes abordagens para classificação acústica encontradas na Europa. Apresenta como objetivo a definição de classes para conforto acústico. Foi desenvolvida, em 2012, pela Sociedade Francesa de Acústica (*Société Française d'Acoustique*).

Determina seis níveis de classificação (classes de A a F), sendo a classe A relativa ao melhor desempenho, e a classe F ao pior desempenho, de maneira similar às classes de desempenho energético (Quadro 10). Estabelece o incremento de 5dB entre uma classe e outra, exceto para níveis de isolamento de elementos de uma mesma habitação, considerando uma margem de 3 dB de tolerância sobre o isolamento sonoro medido (associada a incerteza da medição). A classe C está relacionada aos índices previstos no regulamento francês.

<b>Classe A</b> Conforto Acústico Excelente
<b>Classe B</b> Conforto Acústico Bom
<b>Classe C</b> Conforto Acústico Médio O ruído de outras habitações ou de fora pode ser percebido.
<b>Classe D</b> Conforto Acústico Limitado Transmissão do som de outras habitações ou de áreas externas é perceptível.
<b>Classe E</b> Conforto Acústico baixo Transmissão do som de outras habitações ou de áreas externas é perceptível claramente.
<b>Classe F</b> Condições Acústicas insalubres

Quadro 10- Classes propostas para conforto acústico em uma unidade residencial.  
Fonte: Adaptado de Societé Francaise d'Acoustique (2012).

O procedimento para classificação da edificação consiste em avaliar o desempenho acústico dos elementos entre ambientes da mesma unidade habitacional (Tabela 13), os elementos entre unidades diferentes (Tabela 14), e das fachadas (Tabela 15).

Tabela 14- Classes propostas para isolamento sonoro aéreo entre ambientes de uma mesma unidade habitacional-  $D_{nT,A}$  em dB

Ambiente Receptor Dormitório	Ambiente Emissor Isolamento sonoro (dB)	
	Sala de estar	Cozinha e Banheiro
<b>Classe A</b>	$\geq 53$	$\geq 45$
<b>Classe B</b>	$\geq 43$	$\geq 35$
<b>Classe C</b>	$\geq 33$	$\geq 25$
<b>Classe D</b>	$\geq 27$	$\geq 20$
<b>Classe E</b>	$\geq 22$	$\geq 20$
<b>Classe F</b>	$< 22$	$< 20$

Fonte: Adaptado de Societé Francaise d'Acoustique (2012).

Tabela 15- Classes propostas para isolamento sonoro aéreo entre ambientes de unidades habitacionais autônomas -  $D_{nT,A}$  em dB

Ambiente Emissor: Unidade habitacional	Ambiente Receptor em unidade habitacional distinta Isolamento sonoro (dB)	
	Sala de estar e Dormitório	Cozinha e Banheiro
<b>Classe A</b>	$\geq 63$	$\geq 60$
<b>Classe B</b>	$\geq 58$	$\geq 55$
<b>Classe C</b>	$\geq 53$	$\geq 50$
<b>Classe D</b>	$\geq 48$	$\geq 45$
<b>Classe E</b>	$\geq 43$	$\geq 40$
<b>Classe F</b>	$< 43$	$< 40$

Fonte: Adaptado de Societé Francaise d'Acoustique (2012).

Em fachadas determina o índice de isolamento mínimo de 30 dB para zonas silenciosas e 47 dB para áreas ruidosas. Esses índices são referentes a classe C (média), às classe superiores e inferiores são acrescidos ou reduzidos 5 dB. (Tabela 16). Inclui ainda a classificação desempenho de equipamentos de aquecimento e resfriamento de ar presentes nas edificações.

Para cada unidade habitacional é determinada a classe conforto acústico para cada categoria separadamente: isolamento sonoro ao ruído aéreo, isolamento sonoro ao ruído de impacto, ruído de equipamentos de serviço, e índice de redução sonora em fachadas. A classe de conforto acústico geral é estabelecida pela classe mais baixa obtida para as diferentes categorias. Caso várias classes forem definidas para uma categoria, a classe mais baixa resultante é sempre mantida. Para a classificação do edifício como um todo (multifamiliar) a classe de conforto é definida pela classe mais baixa verificada nas diferentes unidades.

Tabela 16- Classes propostas para isolamento sonoro aéreo em fachadas-  $D_{nT,A,tr-regulation}$  em dB

	Ambiente Receptor- Sala de estar, Dormitório e Cozinha Isolamento sonoro (dB)
Classe A	$\geq D_{nT,A,tr-regulation} + 10$
Classe B	$\geq D_{nT,A,tr-regulation} + 5$
Classe C	$\geq D_{nT,A,tr-regulation}$
Classe D	$\geq D_{nT,A,tr-regulation} - 5$
Classe E	$\geq D_{nT,A,tr-regulation} - 10$
Classe F	$< D_{nT,A,tr-regulation} - 10$

Nota:

As classes de conforto são definidas segundo à exigência  $D_{nT, A, tr-regulation}$ , que depende da localização do edifício em relação à infraestrutura de transporte terrestre (ferrovias, estradas com tráfego associado) e os aeroportos. Numa zona tranquila, o valor mínimo necessário para  $D_{nT, A, tr}$  é de 30 dB referente a classe C; pode atingir até 47 dB para edifícios próximos à aeroportos.

Fonte: Adaptado de Societé Francaise d'Acoustique (2012).

## 2.2 A Industrialização na Construção Civil

### 2.2.1 Industrialização na construção civil

A industrialização é um processo que pode ser averiguado segundo o grau de desenvolvimento tecnológico, e está intimamente associada a modernização e inovação tecnológica (SABBATINI,1989).

O processo de produção da indústria da construção civil encontra-se num patamar de significativas alterações. Em virtude do crescimento do setor da construção civil, tendo em vista a demanda por habitações, a aplicação de sistemas construtivos industrializados apresenta-se como uma ação plausível na construção de edificações nos dias atuais, vislumbrando maior produtividade e menor desperdício de materiais (SABBATINI, 1998).

Contudo, no Brasil, grande parte das obras edificadas é confeccionada a partir de sistemas construtivos convencionais, que expressam técnicas essencialmente artesanais de construção. Por outro lado, a modernização da construção civil materializa-se como uma condição essencial para a manutenção das empresas atuantes no setor, não se constituindo,

porém, como uma exigência exclusiva das mesmas, mas também apresenta uma demanda social (SABBATINI, 1998).

No que tange a construção de habitações, visualiza-se atualmente a diversificação dos sistemas construtivos, a partir da inserção de novos métodos de construção não convencionais, considerados industrializados.

É relevante destacar, contudo, que tanto os sistemas convencionais quanto os não convencionais possibilitam a aplicação de componentes e materiais provindos da indústria, porém o fato desses elementos serem utilizados na confecção de edificações não denota um caráter industrializado ao processo construtivo (MELLO, 2004).

Para um sistema construtivo ser considerado industrializado, o processo deve possibilitar a confecção de uma elevada quantidade de componentes, e englobar os seguintes aspectos: sistematização dos produtos, a especialização da mão de obra, a concentração da produção e a mecanização (MELLO, 2004).

A sistematização refere-se a produção de componentes com características pré-determinadas, contemplando pormenores relacionados à dimensões, forma, peso, qualidade e desempenho como fatores fundamentais para a padronização dos componentes (MELLO, 2004).

A especialização da mão de obra vislumbra proporcionar maior eficiência e precisão nas montagens, subdividindo em equipes os trabalhadores de acordo com a função (MELLO, 2004).

O estudo da concentração da produção é relevante pois visa oferecer produtos de qualidade, com utilização reduzida de recursos, garantindo a conquista dos clientes finais, e eficiência de penetração no mercado, possibilitando assim, a consolidação do sistema (MELLO, 2004).

No que se refere a mecanização, a importância se dá em virtude da confecção de componentes sistematizados, em grande escala, permitindo um rigoroso controle de qualidade e agilidade na produção (MELLO, 2004).

Segundo Rosso (1980), a industrialização na construção civil apresenta duas vertentes: a Industrialização Fechada ou de Ciclo Fechado e a Industrialização Aberta ou de Ciclo Aberto. Na primeira ocorre a inserção de um produto final ou um módulo inteiro de uma construção no mercado, sendo dessa forma pouco flexível, condicionando a concepção do projeto ao módulo pré-definido.

Por outro lado, na segunda vertente, são disponibilizados no mercado diversos elementos pré-fabricados que agrupados de formas diversas constituem o edifício, determinando unicamente o método construtivo que será aplicado, e dessa forma, permitindo uma maior flexibilidade ao projeto arquitetônico (SOUZA et al., 2012).

Nessa conjuntura é importante salientar que o mercado imobiliário no Brasil demonstra condições favoráveis para a consolidação e difusão de sistemas construtivos industrializados de ciclo aberto, tendo em vista que a Caixa Econômica Federal (CEF) atualmente financia edificações construídas com esses sistemas, e que o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), com o intuito de ampliar a capacidade de produção das empresas que fabricam habitações em sistemas construtivos industrializados, elaborou um programa de créditos específico para esse setor (SOUZA et al., 2012).

Outro instrumento relevante para a promoção da industrialização na construção civil foi a criação do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) desenvolvido pelo Ministério das Cidades com o intuito de sistematizar o setor segundo dois aspectos principais, a melhoria da qualidade do habitat, e a modernização produtiva, visando o aprimoramento da qualidade e produtividade, através da qualificação de construtoras e de projetistas; da melhoria da qualidade de materiais; da formação e requalificação de mão de obra; da Normatização técnica; da capacitação de laboratórios e aprovação técnica de tecnologias inovadoras (PBQP-H, 2005).

É relevante destacar os principais conceitos relacionados à industrialização na construção civil, que estão descritos no Apêndice A, através das definições dos mesmos, segundo alguns autores que se dedicaram as temáticas em questão.

### 2.2.3 Contextualização

No Brasil, o processo de industrialização nas construções se iniciou no século XIX, em obras ferroviárias, como a Estação da Luz em São Paulo, nas quais foi utilizado o ferro fundido, incluindo peças estruturais, acabamentos e elementos de ornamentação foram importadas da Europa e montadas no local (Figura 15). Foi estimulada pelos mesmos fatores que propiciaram a industrialização nas construções na Europa, em virtude da elevada demanda por habitações, a escassez de recursos financeiros, e dessa forma a necessidade em racionalizar os recursos construtivos existentes, além da escassez de mão-de-obra especializada (BRUNA, 1976).

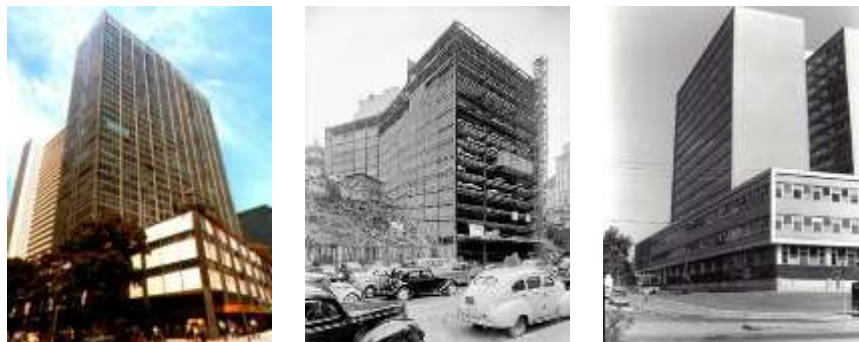


Figura 15- Estação da Luz, São Paulo, Brasil.

Fonte: Disponível em: <<http://tudoporsaopaulo1932.blogspot.com.br/2013/10/estacao-da-luz.html>>. Acesso em: 24 set. 2015.

A indústria de bens de consumo foi a primeira a ser implementada no país, e na década de 40 a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizada na cidade de Volta Redonda, Rio de Janeiro, inicia a confecção de componentes em aço. Contudo a aceitação desses produtos no mercado não foi imediata, haja vista que o concreto armado conquistou espaço na construção civil do país, uma vez que se constituía como um sistema construtivo semelhante ao processo artesanal já consolidado no país (SOUZA et al., 2012).

Com o propósito de fomentar a utilização do aço na construção civil do país a Companhia Siderúrgica Nacional (CNS) lançou em 1953 a Fábrica de Estruturas Metálicas (FEM), visando qualificar mão de obra para a construção de edifícios em estrutura metálica. Como resultado dessa ação, diversos edifícios foram confeccionados, destacam-se o Edifício Garagem América em São Paulo (Figura 16) construído em 1957, com projeto e materiais nacionais; o Edifício Avenida Central (Figura 17), no Rio de Janeiro em 1961; e o Edifício Escritório Central da CSN (Figura 18) em Volta Redonda, Rio de Janeiro, em 1966, que pioneiro na aplicação de perfis soldados (SOUZA et al., 2012).



Figuras 16, 17 e 18 - Edifício Garagem América; Edifício Avenida Central; Edifício Escritório Central da CSN.  
Fonte: Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com>>; <<http://arcoweb.com.br>>; <<http://www.skyscrapercity.com>>. Acesso em: 24 set. 2015.

Outro aspecto relevante nessa conjuntura foi a implementação do Plano Siderúrgico Nacional implantado em 1967 propiciando a ampliação substancial da quantidade e qualidade



da produção de aço no país, além de possibilitar o aperfeiçoamento e o estabelecimento de novas usinas siderúrgicas, tornando o Brasil um considerável exportador de aço (SOUZA et al., 2012).

Contudo, mesmo diante das iniciativas para a propulsão da industrialização no país, no setor da construção civil as mudanças não ocorreram de forma substancial, e a aplicação e aprimoramento de novas tecnologias, e processos construtivos, bem como em relação a gestão organizacional apresentou uma evolução lenta nos últimos anos. A produção de edificações é fundamentada ainda essencialmente em processos artesanais, nos qual predominam a baixa produtividade e o desperdício (SANTIAGO, 2008).

Por outro lado, os sistemas construtivos que visam a racionalização objetivam justamente evitar esses aspectos evidenciados na construção convencional. É notória uma resistência para a consolidação desses novos sistemas por grande parte dos setores da construção civil no Brasil, porém, alguns segmentos já apontam para a aceitação de novas tecnologias construtivas mais eficientes (SANTIAGO, 2008).

Diante dessa realidade, a construção industrializada se configura como aspecto fundamental para a evolução da construção civil no país, vislumbrando a qualificação da mão de obra, a produção de elementos padronizados, em série e em grande escala, racionalização dos processos e insumos, monitoramento dos processos e cronogramas, com o intuito de oferecer produtos de qualidade de forma competitiva. Por outro lado, é fundamental a adaptação desses novos sistemas construtivos a realidade do país, já que a maioria provem de tecnologias aplicadas em outros países, como explana Santiago (2008, p.02):

Qualquer técnica ou solução construtiva desenvolvida fora do país deve ser analisada com cuidado antes de sua utilização no mercado nacional. As inovações devem ser economicamente viáveis e compatíveis com os condicionantes nacionais. Tecnologias importadas utilizadas sem qualquer adequação às condições climáticas, sociais e econômicas, e às expectativas do mercado brasileiro encontram dificuldades em se estabelecer e ser aceitas pelos usuários e pela cadeia produtiva. O processo de tropicalização é fundamental para que a construção industrializada possa ser uma realidade no mercado brasileiro [...].

A implantação de um sistema construtivo inovador necessita de conhecimentos técnicos específicos visando uma construção eficiente. A aplicação de um sistema construtivo industrializado frente ao sistema convencional requer a qualificação dos profissionais envolvidos no processo, desde os arquitetos e engenheiros, investidores, gestores, até a mão de obra. A utilização de um sistema industrializado não significa apenas o emprego de materiais

distintos do sistema construtivo convencional, mas envolve todo um processo construtivo diferente do tradicional, desde as interfaces com os sistemas complementares até as alterações no cronograma financeiro (CRASTO, 2005; SANTIAGO, 2008).

### 2.2.3 Construção Sustentável

Em virtude das restrições energéticas e problemas ambientais evidenciados na sociedade atual, ampliou-se a demanda por edificações sustentáveis e pelo uso de sistemas de certificação.

Após a crise do petróleo que ocorreu na década de 70, emergiu uma corrente focada na ecologia, instaurando uma consciência social a respeito da preocupação com o meio ambiente e com o consumo energético, embasando o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável (REGO, 2012). O termo Desenvolvimento Sustentável consiste na idealização de “[...] atender às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas” (MOURA, 2013, p.66).

A busca pelo desenvolvimento sustentável é impulsionada a partir do final da década de 80, com a publicação do Relatório Nosso Futuro Comum, resultado do trabalho da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida por Comissão *Brundtland* da Organização das Nações Unidas (ONU), o qual identificava a preocupação com a situação de degradação atual, resultante da utilização inapropriada dos recursos naturais, conduzindo as discussões a respeito da sustentabilidade do planeta a um contexto mundial (MOURA, 2013).

Nesse contexto, é relevante destacar os impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil que contribui efetivamente para a degradação do meio ambiente, em virtude da elevada quantidade de recursos consumidos e dos resíduos produzidos. Além disso, os materiais utilizados também colaboram para esse desequilíbrio, desde de sua extração, até seu uso e posterior eliminação. Segundo Edwards (2008), a indústria da construção civil consome 50% dos recursos em âmbito mundial, apresentando-se como uma das atividades que mais contribuem para a degradação do meio ambiente.

Contudo, nos dias atuais, grande parte das ações cotidianas do ser humano é realizada no meio edificado, tais como moradia, deslocamento, trabalho, assim a civilização contemporânea está subordinada às edificações tendo em vista sua sobrevivência, mas por outro

lado, a desmedida demanda de recursos necessários para esses fins está causando danos irreparáveis ao ambiente natural, conforme relata Torgal & Jalali (2008, p.3):

A indústria da construção constitui um dos maiores e mais *ativos* sectores em toda a Europa, representando 28,1% e 7,5% do emprego, respectivamente na indústria e em toda a economia europeia. Além disso a indústria da construção a nível mundial consome mais matérias-primas (aproximadamente 3000 Mt/ano, quase 50% em massa) que qualquer outra *actividade* económica. O aumento da população mundial, (até ao ano 2030 espera-se que aumente mais de 2000 milhões de pessoas) e as necessidades implícitas em termos de construção de edifícios e outras infra-estruturas agravarão ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis, bem como a produção de resíduos.

A construção civil mundial caracteriza-se atualmente como um setor econômico em destaque, contudo permanece fundamentada em geral nos sistemas construtivos convencionais, e na aplicação de mão de obra não especializada, com um consumo demasiado de recursos naturais e energéticos, além da exorbitante produção de resíduos (Figuras 19 e 20). Assim, é notória a influência da construção civil para a degradação ambiental, que não está relacionada a construção da obra apenas, uma vez que os edifícios ocasionam diversos impactos ambientais, durante o seu ciclo de vida, desde da sua confecção até sua demolição, quando ocorre, englobando as fases de utilização, manutenção e reabilitação.



Figuras 19 e 20- Deposição ilegal de resíduos da construção na malha urbana da cidade de Maceió.  
Fonte: Disponível em:< <http://www.alagoas24horas.com.br>>. Acesso em 02 out. 2015.

Portanto, é essencial fomentar o aprimoramento e a implementação de novos sistemas tendo em vista a sustentabilidade das construções, possibilitando assim, a otimização das problemáticas causadas por esse setor. O descarte dos resíduos da construção civil muitas vezes é realizado de forma inapropriada, gerando o acúmulo de grande quantidade de materiais na malha urbana. Para remover esses resíduos depositados no ambiente urbano, os municípios têm que arcar com recursos financeiros elevados, que poderiam ser investidos na melhoria da infraestrutura urbana (CEF,2010).

Para Edwards (2008, p.05), “Somente por meio do uso de tecnologias mais inteligentes, de um maior respeito aos recursos naturais e da substituição da exploração de recursos não renováveis por práticas renováveis e autossuficientes, podemos reduzir a pressão sobre o meio ambiente”.

Além disso, o projeto arquitetônico tem função primordial para a concretização de construções sustentáveis, já que determina as configurações do edifício e conseqüentemente o impacto ambiental ocasionado. Vislumbrando a otimização e flexibilização das edificações, tendo em vista a sustentabilidade na construção civil, o autor propõe diretrizes para a concepção de projetos de arquitetura: “ [...] Aplicar princípios ecológicos desde o início (...); Evitar especificidades funcionais (...); Priorizar iluminação e ventilação naturais (...); Projetar visando a simplicidade operacional (...); Projetar visando a durabilidade (...); Maximizar o uso de energia renovável (...); Possibilitar a substituição de partes [...]” (EDWARDS,2008, p.164-167).

Nesse contexto é relevante destacar os benefícios da industrialização na construção civil, tendo em vista a redução dos desperdícios gerados, sistematização dos produtos, a especialização da mão de obra, a concentração da produção, e a mecanização, visando uma minimização na degradação ambiental (MELLO, 2004).

Diante dos impactos gerados pela indústria da construção civil visualiza-se uma tendência desse setor em atuar segundo os conceitos de sustentabilidade, visando o aprimoramento do desempenho socioambiental da construção.

Partindo dessa premissa, vale salientar que a construção sustentável fundamenta-se nos três pilares da sustentabilidade: o ambiental, o econômico e social, e prevê a construção a partir da otimização entre o meio artificial e natural, reduzindo o consumo de recursos naturais, diminuindo os resíduos gerados, cumprindo as legislações vigentes, visando corresponder a demanda habitacional, sem contudo comprometer o meio ambiente (MOURA, 2013).

No Brasil essa tendência engloba os âmbitos federal, estadual e municipal tendo em vista o aperfeiçoamento do desempenho da construção em diversos aspectos. No âmbito federal, em 2002, a Resolução 307 do CONAMA, instituiu as normativas para o tratamento de resíduos provenientes da construção civil, e em 2010, definiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, baseada na gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos (CIBIC, 2012).

Outro aspecto importante são as normas técnicas que apontam recomendações para a inclusão de uma gestão integrada nas empresas: ABNT NBR ISO 9000 para a qualidade, ABNT

NBR ISO 14000 para o meio ambiente, OSHAS 18000 (Sistemas de gestão da segurança e da saúde do trabalho) e SA 8000 (Norma de Responsabilidade Social) para a saúde e segurança do trabalhador e as normas ABNT NBR 16000, ABNT NBR ISO 26000 para a gestão da responsabilidade social. Nessa conjuntura merece destaque a Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575) em vigor desde 2013, em seu formato revisado, que indica o desempenho dos sistemas construtivos em novas edificações residenciais, englobando, a estrutura, pisos, vedações e hidrossanitários, sobre diversos aspectos, direcionando a “a concepção e execução de novos empreendimentos, além do desenvolvimento tecnológico de novos sistemas construtivos” (CIBIC, 2012, p.26).

Vale salientar também a relevância das certificações ambientais, de caráter privado, também conhecidas como selos verdes, enquanto ferramentas para impulsionar a construção sustentável, minimizando os impactos sobre o meio ambiente. Dentre essas destacam-se: *Building Research Establishment (BRE)* da Inglaterra, *Leadership In Energy & Environmental Design (LEED)* dos Estados Unidos, *Green Building Challenge (GBC/ SB TOOL)* que pertence a um consórcio de vários países, *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments (HQE)* da França, e o *Comprehensive Assessment System For Building Environmental Efficiency (CASBEE)* do Japão (CIBIC, 2012).

As certificações privadas aplicadas no Brasil atualmente são: a internacional LEED, e a Alta Qualidade Ambiental (AQUA), da Fundação Carlos Alberto Vanzolini-FCAV, resultante de uma adaptação para o contexto brasileiro do HQE da França. No âmbito público evidenciam-se a Etiqueta de Eficiência energética de edificações e o selo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A (ELETROBRÁS); o selo Casa Azul, da Caixa Econômica Federal; e o PBQP-H, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat do Ministério das cidades, que visa possibilitar maior competitividade no setor da construção civil no Brasil, além de reduzir os custos e aumentar a qualidade das construções. Existem ainda, as organizações que atuam no contexto da sustentabilidade no setor da construção, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), que realiza pesquisas científicas e desenvolve ferramentas para a promoção da sustentabilidade na cadeia produtiva da construção civil, além das entidades de classe em todo o país que apoiam a temática em questão (CIBIC, 2012).

As certificações LEED, AQUA e o Selo Azul da Caixa apresentam em seus critérios de avaliação o desempenho acústico das edificações para a promoção da qualidade dos ambientes

construídos e redução dos impactos ambientais. A certificação LEED determina que os critérios acústicos devem atender aos requisitos previstos nas normas NBR 10151:2000 e NBR 10152:1987, a certificação Aqua inclui a NBR 15575:2013, além das normas previstas no LEED e Selo Azul da Caixa estabelece que os parâmetros acústicos devem definidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (GBC BRASIL, 2015; FCAV, 2013; CEF,2010).

## 2.2.4 Sistemas construtivos e o desempenho acústico

### 2.2.4.1 A Alvenaria Convencional

Sabbatini (1984) define alvenaria como um componente complexo aplicado na construção, formado por tijolos ou blocos unidos entre si a partir de juntas de argamassa constituindo um conjunto rígido e coeso. Os elementos que a constituem são pétreos justapostos ou sobrepostos, unidos com argamassa, dispensando a utilização de armações de aço ou madeira. Existe, contudo, alvenarias executadas apenas com o encaixe de seus elementos, sem a aplicação de argamassa e ainda as alvenarias estruturadas ou armadas, que apresentam em sua conformação barras de aço.

As alvenarias são empregadas na construção de edificações há milênios, onde predominava, nas civilizações mais remotas a aplicação de tijolos de argila. Em virtude de suas qualidades técnicas, a alvenaria apresenta-se ainda hoje como um dos sistemas construtivos, mais utilizados na construção civil, principalmente no que se refere a vedações verticais externas. Os componentes da alvenaria utilizados no Brasil evoluíram com o passar dos séculos, da alvenaria de pedra ou cantaria, da taipa de pilão, e da taipa de pau-a-pique, aos tijolos cerâmicos furados, os blocos de concreto e mais atualmente, os blocos de concreto celular autoclavado, e os blocos sílico-calcáreos. Mesmo diante das evoluções tecnológicas e da industrialização ter sido impulsionada nas últimas décadas, vislumbrando a sustentabilidade na construção civil, as alvenarias são o sistema construtivo predominante no país (DUARTE, 2005; SABBATINI, 1984).

Em sua pesquisa intitulada: Estudo do isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da história, Duarte (2005) discorre sobre a evolução do sistema construtivo de alvenaria tradicional no Brasil, destacando o desenvolvimento desse processo ao longo da história. A autora destaca que a industrialização no Brasil permitiu a produção em

grande escala de variados materiais, influenciando diretamente as técnicas construtivas e dessa forma o desempenho acústico das edificações.

Os conceitos de tecnologia e estética, expressos pela leveza e pureza plástica passou a se contrapor aos parâmetros básicos para isolamento sonoro nas residências. Com a evolução dos sistemas construtivos, é notório o decréscimo da espessura das paredes de vedação ao longo da história brasileira e a conseqüente redução da densidade superficial dos sistemas construtivos, acarretando na perda de qualidade acústica dos espaços, e consolidando a aplicação de paredes cada vez mais leves, “a densidade superficial (m) dos componentes de vedação é determinante na qualidade do isolamento sonoro em largas e importantes faixas de frequência” (DUARTE, 2005, p.77).

Essa redução da espessura das paredes ocorreu em função do desmembramento entre a estrutura e os elementos de vedação, tendo em vista a implantação do concreto na construção civil no início do século XX (DUARTE,2005).

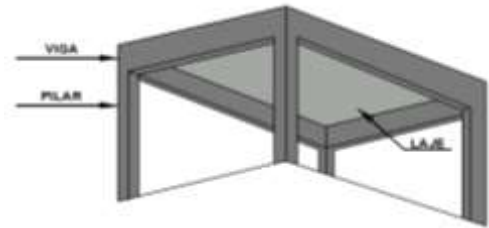

### Subsistemas Alvenaria Convencional

O sistema construtivo em alvenaria convencional é constituído pelos seguintes subsistemas: Infraestrutura, Superestrutura, Vedações verticais Externas e Internas, cobertura, e instalações elétricas e hidrossanitárias, conforme exemplifica a Figura 21. As características principais dos subsistemas da alvenaria convencional serão descritas no Quadro 11.

O Quadro 12 explana os principais sistemas construtivos empregados para a confecção de alvenarias e seus respectivos índices de isolamento sonoro.











Figura 21- Alvenaria convencional e seus subsistemas.  
Fonte: Setembro 2015.

ALVENARIA CONVENCIONAL	
Subsistema	Características Gerais
<b>Infraestrutura</b>	A infraestrutura ou fundação é referente a parcela inferior da estrutura de um edifício que suporta e transmite cargas ao terreno. As fundações são classificadas em dois grupos: fundações diretas ou rasas (sapata corrida ou contínua, sapata isolada, ou radier), que se apresentam por um solo firme a uma profundidade reduzida, e fundações indiretas ou profundas (estacas ou tubulões), nas quais o solo firme encontra-se a uma profundidade maior, excluindo-se a utilização da fundação direta.
<b>Superestrutura</b>	<p>A superestrutura ou superestrutura está relacionada ao subsistema superior da estrutura de um edifício que suporta as cargas dos diversos pavimentos e as transmite a infraestrutura, sendo composta por pilares, vigas e lajes. Pilares e vigas, no sistema de alvenaria estrutural em geral são confeccionados com concreto armado, são blocos maciços de concreto, que se conformam a partir de formas, de madeira ou metálicas, contudo podem ser confeccionadas em aço, técnica que est. As lajes podem apresentar diversas naturezas, tais como: laje maciça, laje maciça protendida, laje nervurada, laje pré-moldada do tipo lajota e do tipo EPS, laje <i>Buddle deck</i>, laje <i>Steel Deck</i>, entre outras, em função do material utilizado.</p>  <p>Fonte: Setembro (2015).</p>
<b>Paredes de vedação Verticais Externas e Internas</b>	Conforme foi explanado anteriormente o subsistema de vedações verticais, também denominado partições verticais, pode ser classificado segundo sua função em parede estrutural ou parede de vedação, externamente. As paredes internas de uma edificação em alvenaria, não apresentam caráter estrutural, se constituindo apenas como divisórias de ambientes. Os elementos mais utilizados para a confecção desses subsistemas são as alvenarias de tijolos e blocos cerâmicos ou de concreto, conhecidos como alvenaria tradicional, porém, outros elementos estão ganhando destaque nesse contexto. O Quadro 16 descreve os principais elementos empregados na confecção de vedações externas e internas, e suas principais características, englobando o índice de redução sonora ponderado desses elementos.
<b>Cobertura</b>	As coberturas ou telhado apresentam como função principal a preservação das edificações em combate a ação das intempéries, garantindo impermeabilidade, e isolamento térmico e acústico. São constituídas por estrutura (de madeira ou metálica), cobertura (telhas cerâmicas, de fibrocimento, de alumínio, de chapa galvanizada, etc.) e condutores de águas pluviais (calhas, rufos e rincões, de chapas galvanizadas e de pvc).
<b>Instalações Elétricas e Hidrossanitárias</b>	<p>Esses subsistemas estão associados as Instalações Hidráulicas, relativas a instalações para condução da água até os diversos pontos de utilização no prédio) e as de esgotamento sanitário, e as Instalações Elétricas, referente aos eletrodutos, condutores, chaves, caixas, luminárias e demais meios necessários ao suprimento de energia elétrica no interior das edificações, por apresentarem maior quantitativo de materiais, requerendo uma interação maior com o sistema construtivo. Contudo a edificação possui outros subsistemas de instalações como instalações telefônicas, ar condicionado, spda (para-raios) e antena, porém com um menor impacto no sistema estrutural. Quando o elemento construtivo das vedações é o tijolo cerâmico, tijolo maciço e tijolo de solo cimento, as instalações são executadas através de rasgos na alvenaria antes do revestimento, nos quais os eletrodutos são embutidos, o que ocasiona geração de resíduos, diante da necessidade de manutenção. Por outro lado, quando o elemento construtivo é o bloco cerâmico, o bloco de concreto, o bloco de concreto celular, ou o bloco silico-calcareo, as instalações são embutidas em espaços dos elementos, de acordo com a tipologia, conforme demonstra as imagens ao lado.</p>  <p>Fonte: Disponível em: &lt;<a href="http://www.100pepinos.com.br">http://www.100pepinos.com.br</a>&gt;. Acesso em: 21 out. 2015.</p>

Quadro 11- Características Gerais da Alvenaria Convencional.

Fonte: Disponível em: <[https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-tecnicas\\_de\\_construcao\\_civil](https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-tecnicas_de_construcao_civil)>. Acesso em: 24 set.



<b>Tipo</b>	<b>Função</b>	<b>Material</b>	<b>Dimensões (mais comuns) CxLxH cm</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Índice de Redução Sonora RW (dB)</b>
<b>Tijolo cerâmico maciço</b>	Parede de vedação externa e interna	Barro comum moldados por extrusão ou prensagem	Blocos retangulares 19x9x5,7	Alvenaria aparente	 RW= 50 Sem revestimento <sup>1</sup>
<b>Tijolo cerâmico furado</b>	Parede de vedação externa e interna	Argila vermelha, moldados com arestas vivas retilíneas, através de extrusão.	Blocos retangulares 8 furos- 19 x 9 x 19cm 6 furos- 24x9x14	Alvenaria para aplicação de revestimento	 RW= 38 Com revestimento em argamassa (ambos os lados) <sup>2</sup>
<b>Bloco cerâmico</b>	Parede estrutural, podendo substituir pilares e vigas de concreto	Argila vermelha, moldados com arestas vivas retilíneas, através de extrusão, com algumas cavidades preenchidas com microcimento ou graute.	Meio Bloco 19x14x19 Bloco principal 29x14x19 Bloco de amarração 44x14x19	Alvenaria para aplicação de revestimento	 RW= 36 sem revestimento RW= 40 com revestimento <sup>3</sup>
<b>Bloco de concreto</b>	Parede estrutural	Cimento, areia, pedrisco, pó de pedra e água, através de prensa hidráulica	Blocos retangulares 39 x 14 x 19	Alvenaria para aplicação de revestimento	 RW= 44 Sem revestimento <sup>4</sup>
<b>Bloco sílico-calcareo</b>	Parede de vedação externa e interna	Mistura de cal virgem, areia fina quartzosa e água. Prensagem em moldes.	Blocos maciços, furados, perfurados ou vazados Mínimo 24x11.5x5.2 Máximo 39x19x19	Alvenaria aparente	 RW= 43, para Dimensão mínima <sup>5</sup>
<b>Bloco de concreto celular autoclavado</b>	Parede de vedação externa e interna	Mistura de cimento, cal, areia e pó de alumínio, autoclavado.	Blocos ou painéis, com dimensões e espessuras variadas, até 60x20x40	Paredes de vedação e lajes, para aplicação de revestimento.	 RW= 44 sem revestimento RW= 46 com revestimento <sup>6</sup>
<b>Tijolo de solo cimento estabilizado ou solo cimento</b>	Parede de vedação externa e interna	Fabricados a partir da massa de solos argilosos ou areno-argilos mais cimento.	Blocos retangulares 30x15x8	Alvenaria para aplicação de revestimento, porém dispensa a aplicação de chapisco.	 RW= 45 Com revestimento <sup>7</sup>
<b>Blocos de gesso</b>	Parede de vedação interna	A gipsita, que é um mineral compacto e de baixa dureza.	Blocos pré-moldados Intertravados 66x7x50 66x10x50	Alvenaria para aplicação de revestimento.	 RW= 34 compacto com espessura 7cm RW= 38 com espessura 10cm RW= 32dB 7cm vazado <sup>8</sup>

Fontes:  
<sup>1</sup> PINI<sup>a</sup>, Disponível em: <[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/69\\_alternativas.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/69_alternativas.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.  
<sup>2</sup> CBIC (2013).  
<sup>3</sup> PINI<sup>b</sup>, Disponível em: <[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/59\\_075-083.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/59_075-083.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.  
<sup>4</sup> PINI<sup>c</sup>, Disponível em: <[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/58\\_075-083.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/58_075-083.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.  
<sup>5</sup> PINI<sup>d</sup>, Disponível em: <[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/66\\_alternativas.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/66_alternativas.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.  
<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.construtor.com.br/index.php?p=item2-1>>. Acesso em: 03 out. 2015.  
<sup>7</sup> IPT (2007). Disponível em: <<http://www.ecol-tijolo.eco.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.  
<sup>8</sup> PINI<sup>e</sup>, Disponível em: <<http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/079-086%203b.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2015.

Quadro 12- Elementos Vedações Verticais na Alvenaria Convencional.

#### 2.2.4.2 Sistemas construtivos industrializados ou não convencionais

Serão apresentados a seguir alguns sistemas construtivos industrializados que mais se destacam atualmente, com o objetivo de relatar suas características principais, no tocante ao processo construtivo, subsistemas e elementos utilizados, bem como relacionando o desempenho acústico dos mesmos.

##### Sistema construtivo pré-fabricado em concreto

###### *a) Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos*

Esse sistema construtivo fundamenta-se na confecção de casas pré-moldadas de concreto, que são constituídas por painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos. O processo construtivo engloba a produção de painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos em fábrica, e posterior transporte para o canteiro de obras, ou no próprio canteiro de obras. Destina-se a confecção de paredes de casas térreas, geminadas ou não, ou edificações habitacionais de até 2 pavimentos. As paredes são estruturais, não existindo a possibilidade de remoção, total ou parcial, além disso, alterações em paredes, lajes, aberturas de vão e rasgos para instalações, devem ser previstas anteriormente a construção dos painéis. As dimensões máximas dos painéis são 7.00mx pé direito, com espessuras de 110mm a 150mm (Quadro13) (SINAT,2014<sup>a</sup>; SINAT,2014<sup>b</sup>; SOUSA, 2011; MELLO, 2004).

###### *b) Painéis pré-moldados maciços de concreto armado*

Sistema construtivo que vislumbra a produção de casas em painéis pré-moldados maciços em concreto armado, cujos elementos são conformados por uma peça única, incluindo painéis de fachada com as aberturas de portas e janelas, lajes, empenas, e paredes internas, também contendo aberturas de portas, com dimensões máximas de 4.0mx pé direito e espessura de 100mm. São utilizados na fabricação de edificações térreas ou com até 5 pavimentos (Quadro 14) (SINAT,2014<sup>c</sup>; SOUSA, 2011; CESÁR DE MELO, 2004).

### Sistema construtivo em painéis de aço galvanizado

O sistema construtivo consiste na confecção de edificações predominantemente térreas, incluindo residências unifamiliares, lojas de conveniência e de *fast food*, fundamentando-se no emprego de chapas de aço galvanizado para o fechamento externo e estrutura metálica. Esse sistema não se conforma a partir dos conceitos de coordenação modular, uma vez que as peças são produzidas segundo as dimensões previstas no projeto (Quadro 15) (SOUSA, 2011; MELLO, 2004).

### Sistema construtivo em painéis de Concreto/PVC

Esse sistema construtivo evidencia o emprego de paredes autoportantes elaboradas por perfis de PVC (policloreto de vinila), preenchidos em concreto com aditivos superplastificantes, para proporcionar a fluidez e o preenchimento de todos os vazios dos perfis, que são encaixados verticalmente. Permite a execução de edificações com até quatro pavimentos, contudo em geral são produzidas habitações unifamiliares, e possibilita significativa racionalização no processo construtivo, já que diminui sistematicamente o desperdício de materiais, a partir da utilização de componentes industrializados, sendo necessários somente oito perfis básicos para constituir todos os componentes construtivos em PVC (Quadro 16) (SOUSA, 2011; MELLO, 2004).

### Sistema construtivo em Painéis de concreto moldados com EPS

Esse sistema refere-se a conformação de placas de concreto moldadas com EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido (EXPANDED POLYSTURENE), que é um plástico celular rígido, com preenchimento em concreto, ou seja, os elementos do sistema são construídos em concreto revestidos com EPS, que funciona como uma forma. As placas são dispostas paralelas umas às outras e unidas entre si por espaçadores (Quadro 17) (PINI, 2015<sup>f</sup>).







### Sistema construtivo *Wood Framing*

O *Wood Framing* caracteriza-se como sistema construtivo industrializado, permitindo a confecção de estruturas leves e de montagem rápida, cuja estrutura é fundamentada em perfis






de madeira reflorestada tratada, constituindo painéis de pisos, paredes e telhado aplicados associados a placas de fechamento de naturezas diversas, com o propósito de proporcionar os conforto térmico e acústico, resguardando a edificação das intempéries, bem como contra o fogo (Quadro 18). É considerado um sistema de construção seca, uma vez que utiliza pouca água para sua confecção, em geral, apenas nas fundações. Possibilita a construção de edificações com até 5 pavimentos (CBIC,2015). “Nos EUA a tecnologia *Wood Frame* é utilizada em 95% das casas construídas” (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010, p.144).

PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS EM CONCRETO E BLOCOS CERÂMICOS		
Nomenclatura	Características	Imagem de referência
<b>Produção</b>	Na fábrica ou no canteiro de obras.	
<b>Montagem</b>	Na fábrica ou no canteiro de obras.	
<b>Subsistema Fundações</b>	Fundações diretas em alvenaria de tijolos cerâmicos ou em pedras.	
<b>Subsistema Estrutura</b>	Os painéis são autoportantes, que compõem paredes e lajes.	
<b>Subsistema Vedações verticais Externas</b>	Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmico, com 110mm ou 115mm e 140mm ou 150mm entre casas geminadas.	
<b>Subsistema Vedações verticais Internas</b>	Apresenta as mesmas características das vedações externas.	
<b>Subsistema Cobertura</b>	A estrutura da cobertura é em madeira, montada na fábrica, com empenas em painéis pré-moldados de concreto com blocos cerâmicos, e telhas de fibrocimento, ou coloniais.	
<b>Subsistema Instalações elétricas</b>	As tubulações elétricas são embutidas nos painéis de vedação durante a execução dos mesmos.	
<b>Subsistema Instalações Hidrossanitárias</b>	As instalações hidráulicas são confeccionadas durante a fabricação dos painéis, embutidas nos mesmos. E as instalações sanitárias são executadas antes da concretagem da fundação.	

Quadro 13- Características Gerais sistema construtivo em Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos. Fonte: SINAT (2014<sup>a</sup>); SINAT (2014<sup>b</sup>) Sousa (2011); Mello (2004).

PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS MACIÇOS DE CONCRETO ARMADO		
Nomenclatura	Características	Imagem de referência
<b>Produção</b>	Na fábrica ou no canteiro de obras.	
<b>Montagem</b>	Na fábrica ou no canteiro de obras. As peças são montadas com auxílio de um guincho.	
<b>Subsistema Fundações</b>	Sapatas corridas em pedra, com viga de baldrame de 20x20 cm concretada no local.	
<b>Subsistema Estrutura</b>	Paredes autoportantes, podendo sustentar até 5 pavimentos, com lajes maciças em concreto armado.	
<b>Subsistema Vedações verticais Externas</b>	Painéis autoportantes em concreto armado, com tratamento para juntas de dilatação, com 100mm de espessura.	
<b>Subsistema Vedações verticais Internas</b>	Apresenta as mesmas características das vedações externas.	
<b>Subsistema Cobertura</b>	Lajes pré-moldadas com pontos elétricos embutidos, empenas em concreto armado pré-moldado, tesouras em madeira, e telhas de fibrocimento ou cerâmicas.	
<b>Subsistema Instalações elétricas</b>	As instalações elétricas são embutidas nos painéis de parede. Para isso os eletrodutos são fixados à armadura dos painéis antes da concretagem.	
<b>Subsistema Instalações Hidrossanitárias</b>	Os tubos de queda de esgoto e as prumadas de água são posicionadas em <i>shafts</i> . Os sub-ramais de água fria são externos aos painéis.	

Quadro 14- Características Gerais sistema construtivo em Painéis pré-moldados maciços de concreto armado.  
 Fonte: SINAT (2014<sup>o</sup>); Sousa (2011); Mello (2004).

PAINÉIS EM CHAPAS DE AÇO GALVANIZADO		
Nomenclatura	Características	Imagem de referência
<b>Produção</b>	Na fábrica.	
<b>Montagem</b>	Na fábrica ou no canteiro de obras.	
<b>Subsistema Fundações</b>	Em função do tipo de solo, mas em geral é utilização a fundação do tipo radier.	
<b>Subsistema Estrutura</b>	Paredes autoportantes formadas por perfis metálicos de aço galvanizado, fixados às chapas de aço e madeira, formando paredes autoportantes.	
<b>Subsistema Vedações verticais Externas</b>	Parede com 100mm de espessura, com preenchimento interno em lã de vidro para tratamento acústico e térmico. Externamente o fechamento é realizado em chapas de aço galvanizadas, com laminas de vinil, e internamente, em chapas de compensado ou placas de gesso acartonado.	
<b>Subsistema Vedações verticais Internas</b>	Paredes em chapas gesso acartonado, com espessura de 12,5 cm.	
<b>Subsistema Cobertura</b>	Perfis metálicos com fechamento em compensado naval e posterior fixação de telhas asfálticas, do tipo <i>shingles</i> , fibrocimento ou cerâmicas. É utilizada lã de vidro para isolamento térmico.	
<b>Subsistema Instalações elétricas</b>	Embutidas nas paredes e no forro.	
<b>Subsistema Instalações Hidrossanitárias</b>	As instalações hidráulicas também são embutida nas paredes, instalações sanitárias são efetuadas antes concretagem do radier.	

Quadro 15- Características Gerais sistema construtivo em Painéis em chapas de aço galvanizado.






Fonte: Sousa (2011); Mello (2004).



PAINÉIS CONCRETO/PVC		
Nomenclatura	Características	Imagem de referência
<b>Produção</b>	Na fábrica de paredes de vedação externa, forros, portas, esquadrias, persianas e divisórias.	
<b>Montagem</b>	No canteiro de obras.	
<b>Subsistema Fundações</b>	Em função do tipo de solo, contudo a fundação mais utilizada é do tipo radier.	
<b>Subsistema Estrutura</b>	Paredes autoportantes, formadas por perfis de PVC podem ter 64 mm ou 100 mm de espessura. A concretagem para preenchimento dos perfis ocorre após a montagem dos mesmos na obra e é realizada numa operação única.	
<b>Subsistema Vedações verticais Externas</b>	Paredes autoportantes, que são encaminhadas à obra sob forma de kits, podendo utilizar lã de rocha para potencializar o desempenho térmico e acústico.	
<b>Subsistema Vedações verticais Internas</b>	Paredes autoportantes, que são encaminhadas à obra sob forma de kits, podendo utilizar lã de rocha para potencializar o desempenho térmico e acústico.	
<b>Subsistema Cobertura</b>	Perfis de chapas de aço galvanizado, o fechamento é realizado por telhas de naturezas diversas, porém a de fibrocimento é a mais comum.	
<b>Subsistema Instalações elétricas</b>	Embutidas nas paredes da edificação, antes da concretagem, evitando-se as tubulações horizontais.	
<b>Subsistema Instalações Hidrossanitárias</b>	Embutidas nas paredes da edificação, antes da concretagem, evitando-se as tubulações horizontais, sendo possível a confecção de <i>shafts</i> para manutenção.	

Quadro 16- Características Gerais sistema construtivo em Painéis Concreto/PVC.


Fonte: Sousa (2011); Mello (2004).

PAINÉIS DE CONCRETO MOLDADOS COM EPS		
Nomenclatura	Características	Imagem de referência
<b>Produção</b>	Na fábrica são produzidos os elementos de EPS que são moldados no local.	
<b>Montagem</b>	No canteiro de obras, com a adaptação dos módulos em EPS e preenchimento interno em concreto.	
<b>Subsistema Fundações</b>	Baldrames e/ou radier, com a aplicação de aço CA-50 com 60 cm de comprimento a partir da fundação, orientando a primeira fiada de blocos de EPS, referente à estrutura-vedação da obra.	
<b>Subsistema Estrutura</b>	Concreto armado com uma camada de 0,06m de espessura moldado a partir de blocos de EPS nas dimensões 1,19 x 0,30 x 0,14 m, incluindo as lajes com o mesmo sistema.	
<b>Subsistema Vedações verticais Externas</b>	Concreto armado com uma camada de 0,06m de espessura moldado a partir de blocos de EPS nas dimensões 1,19 x 0,30 x 0,14 m. As paredes são revestidas com chapisco de argamassa de cimento colante com resina polimérica, aplicado sobre telas.	
<b>Subsistema Vedações verticais Internas</b>	Apresenta as mesmas características das paredes de vedações externas. O revestimento final pode ser realizado com gesso sobre o chapisco e nas áreas molhadas cerâmica.	
<b>Subsistema Cobertura</b>	Estrutura em madeira ou metálica, e fechamento em telhas cerâmicas.	
<b>Subsistema Instalações elétricas</b>	Embutidas nas paredes anteriormente a concretagem.	
<b>Subsistema Instalações Hidrossanitárias</b>	As instalações hidráulicas também são embutidas nas paredes, instalações sanitárias são efetuadas antes da concretagem da fundação.	

Quadro 17- Características Gerais sistema construtivo em Painéis de concreto moldados com EPS.

Fonte: Villar (2005); Pini, (2015<sup>5</sup>); Disponível em: <<http://www.inconcreto.com.br/documentos-e-publicacoes.php>>. Acesso em: 03 out. 2015.



WOOD FRAMING		
Nomenclatura	Características	Imagem de referência
<b>Produção</b>	Na fábrica.	
<b>Montagem</b>	No canteiro de obras.	
<b>Subsistema Fundações</b>	“ <i>basement wall</i> ”, estrutura subterrânea constituindo compartimentos abaixo do nível do solo com no mínimo 60cm, proporcionando conforto térmico, principalmente em regiões muito quentes, radier ou ainda a sapata corrida.	
<b>Subsistema Estrutura</b>	Montantes verticais e horizontais em madeira tratadas e certificadas.	
<b>Subsistema Vedações verticais Externas</b>	Montantes verticais de madeira, dispostos em consonância com placas OSB e painéis de fechamento de naturezas diversas como painéis <i>sidings</i> de aço, madeira e PVC, placas cimentícias, tijolos aparentes e argamassa armada. Aplica-se uma membrana hidrófuga de proteção contra a umidade, e mantas de lã de vidro no entre as placas de vedação, para proporcionar um eficiente desempenho térmico e acústico do sistema.	
<b>Subsistema Vedações verticais Internas</b>	Apresenta as mesmas características das paredes de vedações externas, contudo podem ser utilizadas placas de <i>drywall</i> para fechamento do sistema.	
<b>Subsistema Cobertura</b>	Estrutura em madeira e fechamento com telhas do tipo <i>shingle</i> , <i>cerâmicas</i> , telhas metálicas, de fibrocimento e asfálticas.	
<b>Subsistema Instalações elétricas</b>	Embutidas nos vão internos dos montantes	
<b>Subsistema Instalações Hidrossanitárias</b>	As instalações hidráulicas também são embutida nas paredes, instalações sanitárias são efetuadas antes da concretagem da fundação.	

Quadro 18- Características Gerais sistema construtivo em *Wood Framing*.

Fonte: CBIC (2015); Molina; Calil Junior (2010).

#### 2.2.4.2.1 O desempenho acústico de sistemas construtivos industrializados

O desempenho acústico dos sistemas construtivos industrializados apresentados será comparado com o índice de isolamento acústico dos objetos de estudo dessa pesquisa, no

capítulo 4. Dessa forma o Quadro 19 apresenta os sistemas construtivos e seus respectivos números únicos de isolamento sonoro, em função de ensaios de laboratório.

Sistema construtivo	Índice de Redução Sonora RW (dB)
Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos <sup>1</sup> com espessura 110mm	37
Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos <sup>2</sup> com espessura 115mm	45
Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos <sup>2</sup> com espessura 150mm	50
Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados maciços de concreto armado <sup>3</sup> com espessura 100mm	46
Sistema construtivo em painéis de aço galvanizado <sup>4</sup> com espessura 100mm	39
Sistema construtivo em painéis de concreto/PVC <sup>5</sup> com espessura 64mm	42
Sistema construtivo em painéis de concreto/PVC <sup>5</sup> com espessura 100mm	48
Sistema construtivo em painéis de concreto moldados com EPS <sup>6</sup> com espessura 140mm	35
Sistema construtivo <i>Wood Framing</i> <sup>7</sup> com espessura 142mm	38
Fontes: <sup>1</sup> SINAT (2014a). <sup>2</sup> SINAT (2014b). <sup>3</sup> SINAT (2014a). <sup>4</sup> Disponível em: < <a href="http://www.mundiperfil.pt">http://www.mundiperfil.pt</a> >. Acesso em: 03 out. 2015 <sup>5</sup> Shimidt (2013). <sup>6</sup> Disponível em: < <a href="http://www.prp.rei.unicamp.br/pibic/congressos/xvicongresso/paineis/063782.pdf">http://www.prp.rei.unicamp.br/pibic/congressos/xvicongresso/paineis/063782.pdf</a> >. Acesso em: 03 out. 2015 <sup>7</sup> Bistafa (2011).	

Quadro 19- Os sistemas construtivos industrializados e o desempenho acústico.

#### 2.2.4.3 Sistemas construtivos estruturados em aço: O *Light Steel Framing*

Em virtude da preocupação com os impactos gerados ao meio ambiente, bem como os desperdícios gerados pelo setor da construção civil, é importante destacar a utilização de materiais produzidos a partir de processos que minimizem a degradação ambiental. As vantagens da utilização do aço se referem a sua possibilidade de reciclagem constante e a sua capacidade estrutural, que é muito mais elevada que a do concreto (EDWARDS, 2008).

Além disso, o consumo de água é reduzido frente às estruturas convencionais de concreto e o impacto ambiental é menor, uma vez que a estrutura em aço pesa cerca da metade em relação a uma estrutura em concreto armado. Quanto mais pesada à edificação, maiores os danos ambientais provocados, tais como poluição, poeira, ruído e desconforto que costumam estar relacionados com o peso (EDWARDS, 2008).

A utilização do aço na construção civil vem preencher muitas das premissas da construção industrializada. Seu processo de produção se baseia em elementos padronizados, dispostos através de uma lógica modular. Diminuição de desperdício, controle de qualidade do produto final e de seus insumos, além da qualificação da mão de obra empregada também são características importantes da construção em aço. (SANTIAGO, 2008, p.03).

A utilização de estruturas de aço na construção de edificações habitacionais no Brasil pode ocorrer em duas formas:

- a) como elemento estrutural: na função de pilar, viga, laje ou estrutura de cobertura.
- b) como sistema construtivo: *Steel Frame* que se baseia na aplicação de perfis estruturais formados a frio de aços revestidos (CEF 2003).

O *Steel Frame* (*Steel*=aço, *Frame*= esqueleto) também conhecido como *Light Steel Framing* (LSF) se caracteriza como um sistema construtivo que pode potencializar a construção sustentável, uma vez que recorre à aplicação de materiais com ciclos de vida mais sustentáveis. Dessa forma, é de extrema relevância a análise de desempenho dos diversos aspectos do sistema, verificando a autenticidade de sua aplicação (REGO, 2012).

Esse sistema construtivo desenvolve-se na década de 30, nos Estados Unidos, em virtude do crescimento da economia americana e o estímulo direcionado a indústria do aço, e fundamenta-se no uso de perfis de aço criando painéis autoportantes, em substituição aos perfis de madeira do *Wood Framing*, tendo em vista uma maior resistência e eficiência estrutural desse material, bem como em virtude da capacidade superior da estrutura de aço em suportar catástrofes naturais, tais como terremotos e furações, frequentes na região (REGO, 2012).

Na década de 90, nos Estados Unidos, um estudo realizado pela *National Association of Home Builders* (NAHB, 1993) apontou o aço como a solução mais plausível para a confecção de residências em *steel framing*. Além disso, o *American Iron and Steel Institute* (AISI) e o *Canadian Sheet Steel Building Institute* (CSSBI) constituíram um comitê para o aprimoramento da construção residencial em aço, possibilitando o aprimoramento dos conhecimentos sobre o sistema e qualificação de profissionais especializados. Esses avanços significativos no setor do LFS foram agentes propulsores para a publicação do *Prescriptive method for residential cold-formed steel framing*, da *North American Steel Framing Alliance* (NASFA, 2000), documento que descreve um método de pré-dimensionamento em LSF para a construção de habitações residenciais com até 2 pisos (REGO, 2012).

Após a segunda guerra mundial, no Japão foi imprescindível a reconstrução de milhões de residências destruídas por bombardeios, introduzindo o LSF como um sistema construtivo capaz de solucionar a problemática referida, já que era necessário confeccionar um número elevado de habitações em um curto período de tempo e a madeira, material anteriormente aplicado, se configurou como um agravante para o alastramento dos incêndios após os bombardeios. Nos dias atuais, o Japão apresenta a tecnologia mais avançada para a produção

de construções em perfis leves de aço, com um mercado consolidado e promissor (CRASTO, 2005; SANTIAGO et al., 2006).

O LSF se refere a um sistema construtivo de concepção racional, baseado em uma estrutura constituída por perfis de aço galvanizados formados a frio (montantes e guias de diferentes larguras e espessuras), com zincagem por imersão a quente para proteção do aço contra a corrosão atmosférica, que são utilizados para confecção de painéis estruturais e não estruturais, vigas secundárias e vigas de piso, tesouras de telhado e demais componentes, funcionando como um conjunto para resistir aos esforços que solicitam a estrutura e criando a forma da mesma (Figura 22) (CRASTO, 2005; SANTIAGO ET AL., 2006; RADAVELLI, 2014).

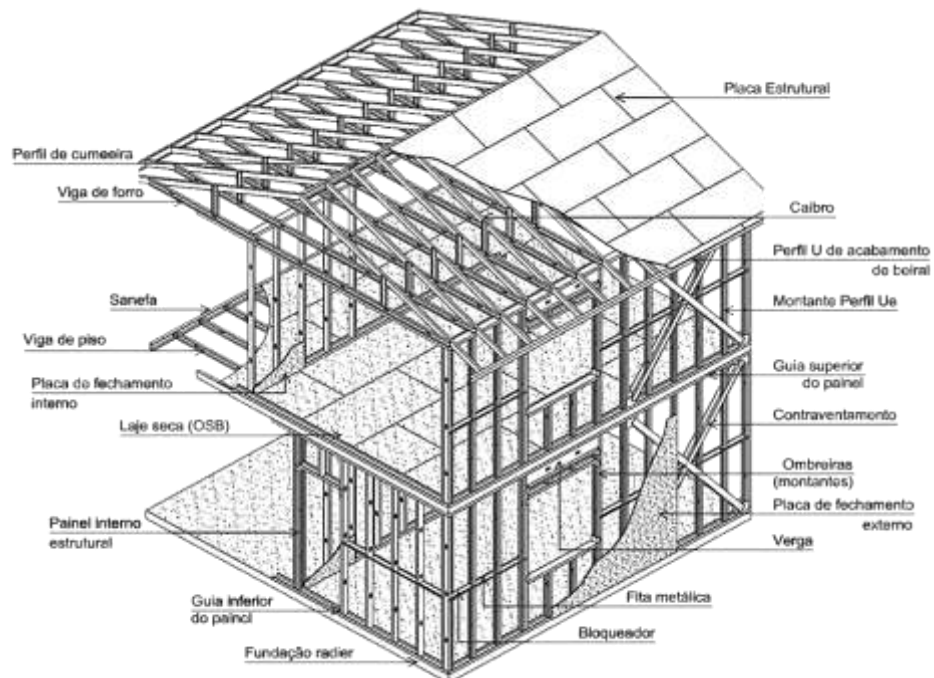


Figura 22- Desenho esquemático de uma residência em *Light Steel Framing*.  
Fonte: Crasto (2005).

O LSF é classificado como um tipo de construção seca, já que demanda a utilização de pouca ou nenhuma quantidade de água na execução, tendo em vista que dispõe em sua constituição de perfis metálicos e componentes industrializados, não sendo necessário o uso de argamassa ou de concreto. Trata-se de um sistema industrializado que permite elevada agilidade em sua execução, sendo portanto considerado sistema autoportante em aço de construção a seco (CRASTO,2005)

Apresenta em sua conformação diversos componentes e subsistemas, incluindo a fundação, a estrutura, o fechamento interno e externo, a cobertura e as instalações elétricas e hidráulicas, além do isolamento termo-acústico.

Os principais benefícios do LSF frente ao sistema convencional de alvenaria são referentes à diminuição do uso de recursos naturais e desperdícios na obra. Além disso, propicia uma execução modular, com obra limpa (pois não produz entulho) e seca (uma vez que utiliza pouca água- somente nas fundações) e assegura economia de energia durante e após a obra concluída.

É relevante enfatizar que esse sistema proporciona menor peso por m<sup>2</sup>, e garante a facilidade de instalação e manutenção dos sistemas hidráulicos e elétricos, isolamento térmico e acústico e resistência ao fogo (estrutura e painéis de vedação). Os materiais utilizados possuem certificação de qualidade internacional e é possível reduzir em 90% o consumo das matérias primas naturais e em 80% a utilização do cimento, assim como permite a reciclagem de quantidades expressivas de aço. Por essas características o LSF é definido também, como uma Construção Energética Sustentável (CES) (SANTIAGO et al., 2006; RADAVELLI, 2014).

É um sistema amplamente utilizado em diversos países do mundo atualmente, sendo aplicado nos Estados Unidos desde a primeira metade do século XX. Contudo, passou a ser implantado no Brasil apenas na década de 90, a partir da importação de kits pré-fabricados para a confecção de edificações residenciais (CRASTO,2005; SOUZA et al., 2012).

Após 10 anos de utilização dessa tecnologia surgiram as referências normativas para esse sistema, as normas NBR 14762 - Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio (ABNT, 2001) e NBR 6355 - Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio (ABNT, 2003). Em 2006, o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS) e o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) disponibilizaram manuais técnicos a respeito do sistema, objetivando estimular a aplicação dessa tecnologia construtiva no país, a partir de recomendações técnicas direcionadas aos profissionais da área, principalmente arquitetos e engenheiros (CRASTO,2005; SOUZA et al., 2012).

O sistema construtivo LSF é legitimado pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), do Ministério das Cidades e regimentado pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT).

A Diretriz SINAT nº 003 institui a aplicação do LSF enquanto estrutura portante para a construção de edificações habitacionais uni ou multifamiliares com até 5 pavimentos, determinando os parâmetros mínimos no que tange ao desempenho estrutural, segurança contra incêndio, estanqueidade contra à água, desempenho térmico, desempenho acústico e

manutenibilidade. Em relação aos requisitos acústicos a Diretriz SINAT nº 003 determina que os critérios e requisitos de avaliação, bem como os índices de isolamento sonoro eficientes propiciados por vedações verticais internas e externas, pisos e coberturas, referentes a ruídos aéreos e de impacto são definidos pela NBR 15575:2014, partes 3 e 4, já citada anteriormente (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

A Caixa Econômica Federal desenvolveu em 2003 um documento no qual constam os requisitos e condições mínimos para financiamento de edificações habitacionais em LSF, estabelecendo exigências em relação ao desempenho estrutural, comportamento estrutural da parede, cargas de ocupação, segurança ao fogo estanqueidade à água, conforto térmico, conforto acústico, e durabilidade. No que se refere ao desempenho acústico, define que as paredes internas da habitação devem apresentar desempenho acústico igual ou superior ao Índice de Redução Sonora Ponderado ( $R_w$ ) = 38 dB, fundamentando-se nos parâmetros de isolamento sonoro de uma parede de alvenaria, ensaiada em laboratório, constituída por blocos cerâmicos vazados de 9,0 cm de espessura no mínimo, com acabamento em argamassa horizontal e vertical, com 1,5cm de espessura de cada lado. Já para paredes entre unidades autônomas e entre unidades e áreas comuns define o nível mínimo com  $R_w$  = 45 dB, destacando que esses índices não podem ser inferiores as normas brasileiras em vigor (CEF, 2003).

No ano de 2009 foi construída a Vila Dignidade, o primeiro conjunto habitacional que aplicou o sistema LSF no Brasil (Figuras 23 e 24). Foi desenvolvido pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), na cidade de Avaré-SP, que atende moradores idosos de baixa renda. Em 2012 a Caixa Econômica Federal executou sua primeira agência de uma série em LSF que faz parte da padronização das edificações através do Projeto de Unidade Modular Pré-fabricada (OLIVEIRA, 2013).



Figura 23 e 24- Agência da Caixa Econômica Federal e Vila Dignidade.  
Fonte: Oliveira (2013).

Mesmo diante do avanço em busca de inovações tecnológicas no campo da construção civil em todo o mundo, no Brasil o sistema LSF ainda é utilizado de forma reduzida para concepção de edificações habitacionais, uma vez que prevalece o método artesanal de construção, em alvenaria convencional, formada por superestruturas em concreto armado e fechamentos em blocos cerâmicos, cujas principais características são a baixa produtividade e o excessivo desperdício de recursos gerados nas obras.

Apesar de ser um dos maiores produtores de aço do mundo, a aplicação dessa tecnologia ainda é pouca expressiva frente ao potencial do parque industrial brasileiro. Porém, o mercado aponta para a utilização de novos sistemas, visando construções mais sustentáveis, com o intuito de permitir a industrialização e racionalização dos processos e o *Steel Frame* se enquadra nesse contexto.

Por outro lado, o *drywall* é amplamente aplicado para a confecção de vedações verticais internas, utilizando perfis em aço galvanizado com o mesma concepção do LSF, contudo com espessura reduzida, não desempenhando função estrutural, sendo portanto, aplicado somente para fechamentos internos.

Nos últimos anos, a aplicação do LSF para a confecção de edificações de pequeno porte está aumentando substancialmente nos países com elevado nível de industrialização, como EUA, Canadá, Austrália, Japão e, mais recentemente, na China onde esse sistema construtivo está se destacando na construção civil. “De facto, nos EUA, 15000 casas de LSF foram construídas em 1993, 75000 em 1996 e cerca de 375000 em 2002, demonstrando um crescimento muito considerável” (REGO, 2012, p.06).

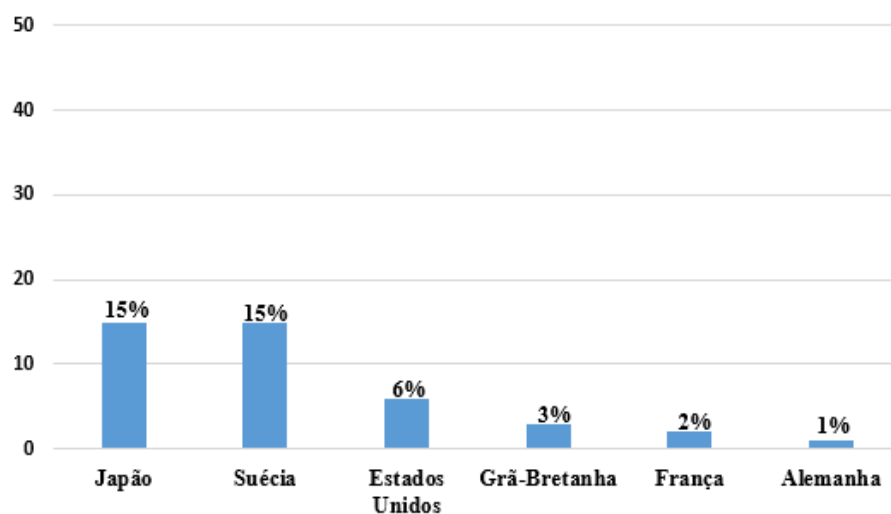


Figura 25- Porcentagem de aplicação do sistema LSF em edificações habitacionais.  
Fonte: LSK (2002).

A Figura 25 demonstra os resultados de uma pesquisa realizada em 2005 que apresenta a porcentagem de edificações habitacionais construídas com o sistema LSF nos principais países que difundiram esse sistema construtivo, evidenciando a relevância do sistema para a indústria da construção civil em um contexto mundial.

No Chile, país vizinho ao Brasil, o LSF é aplicado em cerca de 35% das construções. Esse patamar somente foi atingido em virtude de subsídios proporcionados pelo governo (POMARO, 2015).

### Produção e Métodos de Montagem

Como se refere a um sistema industrializado, todos os componentes são produzidos em fábrica, porém a montagem pode ocorrer de diferentes formas. A confecção dos perfis pode ser realizada na obra, através da perfilagem de bobinas de aço de qualidade estrutural revestido a carbono, contudo, em geral os perfis são obtidos de indústrias especializadas (Figura 26).



Figura 26- Produção de perfis em obra.  
Fonte: Rego (2012).

Segundo Santiago et al. (2006), existem essencialmente quatro métodos de construção para utilização do LSF: método *stick*, método por painéis, construção modular, e *Balloon Framing* e *Platform Framing*.

- Método *Stick*

É o método mais comum utilizado em qualquer sistema construtivo. Nesse método perfis são cortados e aparafusados *in loco* e a montagem dos demais componentes ocorre na obra, relacionando-se ao nível mínimo de pré-fabricação. Os perfis são montados e fixados uns aos outros no chão, e posteriormente erguidos e aplicados como painéis (Figuras 27 e 28). A confecção da estrutura é a segunda etapa da construção, após a preparação da fundação, sendo seguida pelos demais subsistemas. A aplicação dessa técnica é relevante para locais nos quais



não é possível a pré-fabricação, proporcionando também facilidade no transporte dos componentes, uma vez que os mesmos apresentam dimensões reduzidas frente aos painéis finalizados (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; REGO, 2012; SANTIAGO et al.,2006).



Figura 27 e 28- Método *Stick*.  
Fonte: Rego (2012).

- Método por painéis

Esse método consiste na confecção dos painéis estruturais e não estruturais na fábrica, paredes, lajes e treliças, entre outros elementos, com montagem realizada no canteiro de obras, proporcionando maior agilidade na montagem, elevado controle de qualidade na produção dos sistemas, redução da mão de obra *in loco* e aumento na precisão dimensional, apresentando um nível intermediário de pré-fabricação (Figuras 29 e 30) (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; REGO, 2012; SANTIAGO et al.,2006).

Por outro lado é necessário um ambiente apropriado para a montagem desses componentes anteriormente ao transporte para a obra. Pode ser confeccionada apenas a estrutura metálica composta por perfis, ou módulos dos subsistemas já com revestimento exterior, interior e isolamento, apenas para a montagem na obra (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; REGO, 2012; SANTIAGO et al.,2006).



Figura 29 e 30 - Método por painéis.  
Fonte: SFA (2007).

- Construção Modular

As unidades modulares são montadas na fábrica e transportadas à obra, consistindo na pré-fabricação total de módulos prontos (Figuras 31 e 32). Os módulos são confeccionados com fechamentos internos e externos, isolamento, instalações elétricas e hidráulicas embutidas nos painéis e paredes fixadas à laje do tipo seca. Os acabamentos internos podem ser incluídos, tais como louças sanitárias, bancadas, mobiliários fixos, metais. Na obra os módulos são dispostos em função do projeto de arquitetura. Destaca-se nesse contexto os módulos de banheiros para obras comerciais ou residenciais de grande porte (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; REGO, 2012; SANTIAGO et al.,2006).



Figura 31 e 32- Construção Modular.  
Fonte: Rego (2012).

- *Balloon Framing e Platform Framing*

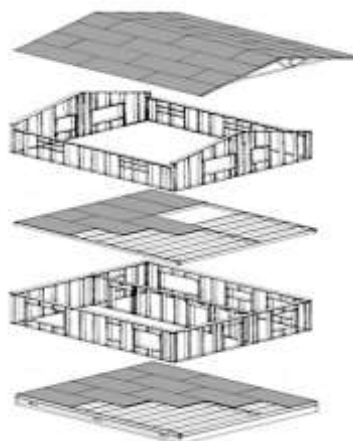


Figura 33- Esquema de construção tipo *platform*.

Fonte: Disponível em: <<https://urbancraftuah.wordpress.com/2012/11/13/sistema-constructivo/>>. Acesso em: 24 set. 2015.

Nesses métodos os módulos das construções tipo *stick* ou por painéis são montados com painéis com grandes dimensões que vão além de um pavimento-*ballon*, ou são construídos um pavimento por vez – *platform* (Figura 33). Contudo, a desvantagem está no transporte dos

módulos que é dificultado pela dimensão dos mesmos (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; SANTIAGO et al.,2006).

### Subsistemas *Light Steel Framing*

#### *a) Subsistemas Fundações*

Para a definição do tipo de fundação específica para cada edificação é fundamental a sondagem do terreno, a fim de verificar o tipo de solo, o nível do lençol freático e a profundidade de solo firme. O processo de execução das fundações em LSF é referente ao da construção do sistema convencional, e podem ser do tipo radier ou sapata corrida ou viga baldrame, prevendo o isolamento contra a umidade. A superestrutura é fixada no contrapiso através de ancoragem, com o intuito de evitar que a edificação sofra movimentações em virtude da ação do vento ou de abalos sísmicos.

A laje tipo radier é uma de fundação rasa que transmite as cargas da estrutura para o solo. É constituída por laje em concreto e vigas perimetrais na laje, e nas paredes ou colunas, visando possibilitar maior firmeza na fundação (Figura 34). É o tipo de fundação mais aplicado em construções LSF, contudo, é utilizada em função do tipo de solo do terreno. É necessário cálculo estrutural para dimensionamento do radier, sendo fundamental a execução de um contrapiso a 15cm do solo, no mínimo, para evitar a umidade do solo, bem como a inclinação de 5% pelo menos nas áreas de garagem e terraços permitindo assim o escoamento da água.

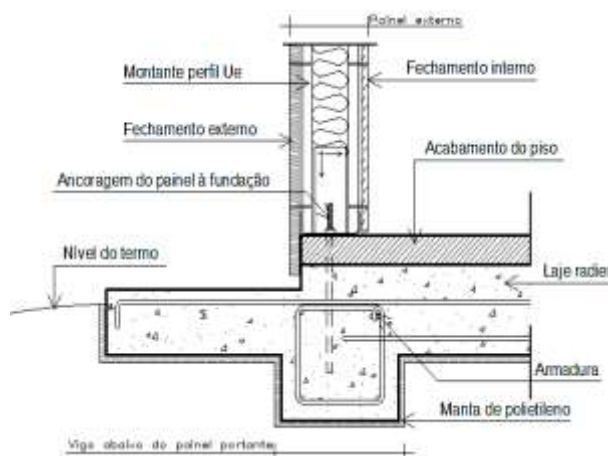


Figura 34- Detalhe esquemático de ancoragem de painel estrutural à uma laje radier.  
Fonte: Santiago et al. (2006).

A sapata corrida é utilizada em construções com paredes portantes, com uma contínua distribuição de cargas através das paredes (Figura 35). Esse tipo de fundação é composta por vigas de concreto armado, blocos de concreto ou alvenaria, com contrapiso constituído por perfis de aço galvanizado sob a fundação, como suporte para os demais materiais que o conformam (CRASTO, 2005; SANTIAGO et al.,2006).

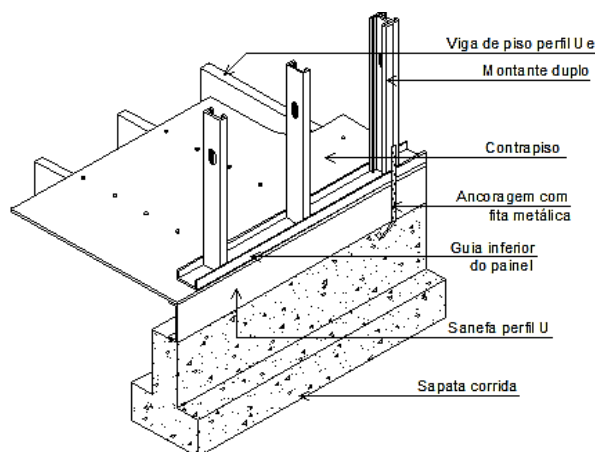


Figura 35- Corte detalhado de fundação sapata corrida.  
Fonte: Santiago et al. (2006).

A *interface* entre a fundação e as paredes de vedação externas deve ser realizada de forma minuciosa para não comprometer o desempenho acústico do sistema, tendo em vista que o som pode ser transmitido por qualquer abertura, caso ocorram erros de montagem, criando espaços entre o piso e as paredes de vedação externas.

#### *b) Subsistema Estrutura*

A estrutura é formada por paredes definidas como painéis estruturais ou autoportantes, que podem ser externos ou internos, e que são constituídos por perfis leves de aço galvanizado (Figura 36), cujas espessuras mais usuais são 0,8 e 0,95 mm, verticais, os montantes, com um espaçamento de 400 ou 600mm entre si, e elementos horizontais denominadas guias, segundo cálculo estrutural que estabelece a modulação do projeto, contribuindo para minimização dos custos e mão de obra, já que todos os componentes são padronizados. Quanto mais distantes os montantes, maior será a carga absorvida. Esses painéis possuem a função de distribuir de maneira uniforme as cargas e direcioná-las à fundação, contudo nem todos os painéis precisam ser estruturais. Nesse caso os painéis funcionam apenas como vedação externa ou divisória

interna, já que não suportam as cargas da estrutura. Os montantes transferem as cargas verticais e as guias são fixadas aos montantes com o intuito de conformar um quadro estrutural.

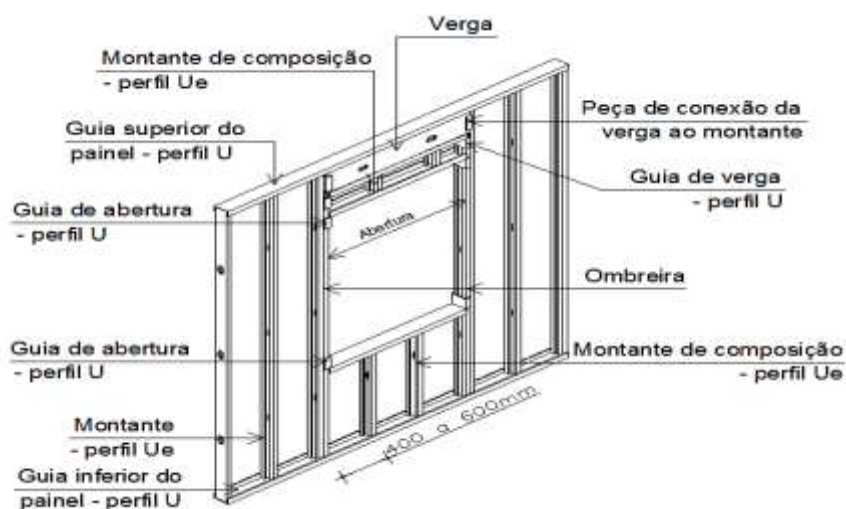


Figura 36- Painel típico em *Light Steel Framing*.  
Fonte: Crasto (2005).

A altura do painel é determinada pelo comprimento dos montantes e sua largura pela comprimento das guias. Os perfis montantes são encaixados nos perfis guias inicialmente, e posteriormente são unidos através de parafusos galvanizados do tipo auto-perfurantes ou auto-atarrachantes, e podem apresentar perfurações a determinadas alturas, permitindo a introdução das instalações elétricas e hidrossanitárias (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; SANTIAGO et al., 2006).

Os pisos (lajes) aplicam o mesmo pressuposto dos painéis, sendo conformados por perfis de aço galvanizado horizontais seguindo a mesma modulação dos montantes, constituindo as vigas de piso, que agem como estrutura de apoio para os materiais do contrapiso, através de uma estrutura alinhada denominada “*in-line framing*”, que possibilita que esforços axiais nos elementos estruturais prevaleçam.

Os fechamentos utilizados são classificados segundo os materiais adotados em laje úmida e laje seca.

Na laje úmida os materiais empregados são chapa metálica ondulada e o concreto. A chapa metálica desempenha a função de fôrma para uma camada de concreto de 4 a 6cm que constitui o contrapiso, que é a base para aplicação do acabamento que pode ser cerâmico, de madeira, pedras, laminados, entre outros (Figura 37). A laje úmida é diferente da laje *steel deck*, uma vez que essa última é mista e assim solicita um menor número de apoios estruturais. Para

evitar a propagação de ruído entre os ambientes utilizam-se painéis de lã de vidro compacta sobre a chapa metálica.

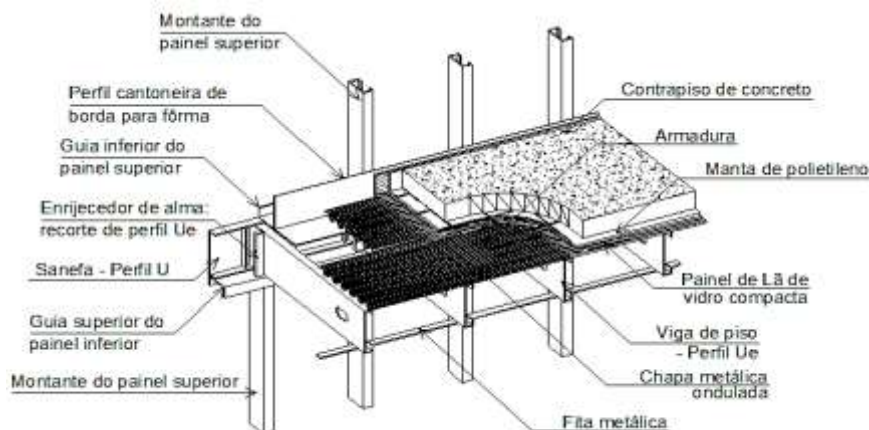


Figura 37- Desenho esquemático de laje úmida.

Fonte: Crasto (2005).

Na laje seca são utilizadas placas rígidas estruturais aparafusadas aos perfis de piso, constituindo assim o contrapiso para a aplicação de acabamentos diversos (Figura 38). A vantagem da aplicação da laje seca é uma menor carga por peso próprio, bem como uma construção seca que dispensa o uso de água. A escolha do tipo de material e a espessuras a serem empregados como contrapiso está associada a deformação estimada, bem como ao tipo de acabamento que será assentado. Em geral as placas mais utilizadas são de *oriented strand board* (OSB), exceto em áreas molhadas, e cimentícias (podem ser utilizadas em quaisquer ambientes) (CRASTO, 2005; SANTIAGO et al., 2006).

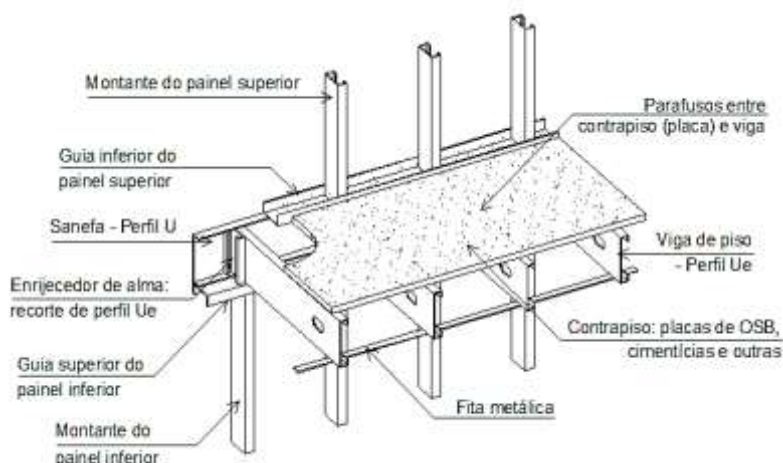


Figura 38- Desenho esquemático de laje seca.

Fonte: Crasto (2005).



Com o intuito de minimizar o ruído gerado entre um pavimento e outro, recomenda-se a aplicação de lã de vidro entre as vigas, de uma manta de polietileno expandido entre o contrapiso e a estrutura.

O desempenho acústico do sistema está diretamente relacionado aos tipos de materiais utilizados na confecção da estrutura de paredes de vedação e lajes. Em função da espessura dos perfis aplicados, determina-se a largura da cavidade de ar e dessa forma esses elementos podem potencializar ou minimizar o isolamento sonoro dos elementos de vedação verticais e horizontais.

*c) Subsistema vedações verticais externas e internas- quadro com diferentes tipos de fechamento*

Os principais componentes desse subsistema são a estrutura, o preenchimento e o fechamento (revestimento). O fechamento da estrutura é realizado por chapas delgadas para vedação, de naturezas diversas, como, placas cimentícias, régua cimentícia (*siding* cimentício), de policloreto de polivinila (PVC- *siding* vinílico), metálicas (*siding* metálico), de madeira (*siding* de madeira), ou painel de tiras de madeira orientado, régua *smartside* (fabricadas com a mesma matéria prima dos painéis OSB), painéis de poliestireno extrudado (XPS), ou placas de óxido de magnésio, externamente, e chapas de gesso cartonado ou laminado, internamente (CRASTO, 2005; FILHO et al., 2012; RADAVELLI, 2014).

De acordo com a norma ISO 6241:1984, os componentes empregados na confecção das vedações verticais devem atender às exigências dos usuários e proporcionar atender a critérios e requisitos que proporcionem satisfação às exigências dos usuários e a habitabilidade da edificação. Os parâmetros determinados na norma envolvem os seguintes aspectos: Segurança estrutural; Segurança ao fogo; Estanqueidade; Conforto termo-acústico; Conforto visual; Adaptabilidade ao uso; Higiene; Durabilidade; e Economia (CRASTO, 2005).

Para paredes de vedação interna são comumente utilizadas placas de gesso acartonado ou *drywall* para fechamento, porém o aço aplicado nos perfis utilizados, montantes e guias, já que se tratam apenas de divisórias, sem função estrutural, apresentam menores espessuras que o aço usado para paredes de vedação externas que são estruturais. Como ambas as vedações internas e externas são estruturadas por perfis em aço galvanizado, frequentemente o LSF é confundido com o sistema *drywall*, contudo vale salientar que apesar das características semelhantes, apenas o LSF é capaz de desenvolver paredes autoportantes, e assim vedações

externas que suportam as cargas a que a edificação está sujeita (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; SANTIAGO et al.,2006).

Enquanto os perfis LSF possuem espessuras mais usuais de 0,8 e 0,9 mm, os perfis *drywall* apresentam espessura de 0,5mm. A largura dos perfis também é diferente para os dois casos. Comumente estão disponíveis no mercado perfis de 90, 140 e 200mm de largura para o LSF, no caso do *drywall* são produzidos perfis de 48,70,75 e 90mm de largura (MULTIPERFIL, 2015).

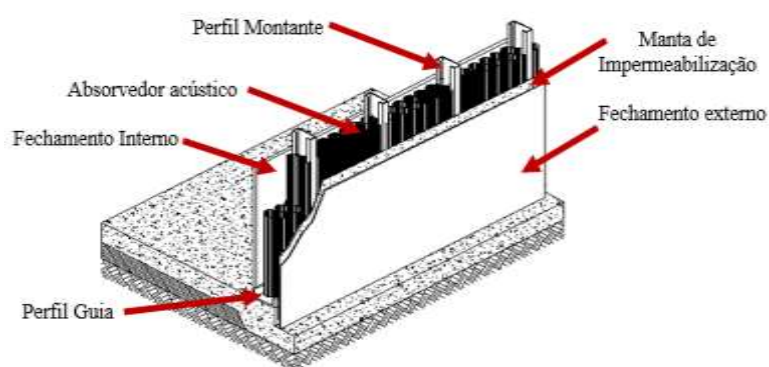














Figura 39- Componentes utilizados em uma parede típica em *Light Steel Framing*.  
Fonte: Junho (2016).

Normalmente uma parede de vedação externa no sistema LSF é constituída por perfis 90mm de largura, placas de gesso acartonado internamente, placas de OSB + placas cimentícias externamente, membrana impermeável de polietileno de alta densidade, que é grampeada nas placas, revestindo toda a área externa das mesmas, e permitindo a estanqueidade das paredes, e cavidade formada entre os perfis é preenchida, normalmente, com placas ou mantas incombustíveis, de lã de rocha, de lã de vidro, ou de fibras cerâmicas para isolamento térmica e acústica, conforme demonstra a Figura 56 (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; SANTIAGO et al., 2006).

As placas de vedação apresentam, em geral, 1200mm de largura, dimensão múltipla das medidas padronizadas do espaçamento entre os montantes que é de 400mm ou 600mm, o que confere ao LSF um caráter de construção modular. Os fechamentos são fixados à estrutura por meio de parafusos, e as suas bordas devem ser obrigatoriamente aparafusadas nos montantes e nas guias (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; SANTIAGO et al.,2006).

O Quadro 20 exemplifica os principais materiais utilizados na estrutura, no preenchimento e nos fechamentos, que constituem o sistema LSF.



Materiais aplicados no sistema LSF				
<b>Estrutura</b> A largura e espessura dos perfis será determinada por cálculo estrutural em virtude da função que a vedação irá desempenhar.	<b>Steel Frame<sup>1</sup></b> Montante      Guia 		<b>Drywall<sup>1</sup></b> Montante      Guia 	
	<b>Preenchimento</b> A escolha do tipo de preenchimento ocorre em virtude do tipo de vedação. A lã de rocha apresenta maior potencial de isolamento ao fogo, e a fibra cerâmica elevado desempenho térmico.		Lã de vidro <sup>2</sup> - isolamento térmico e acústico 	Lã de rocha <sup>2</sup> - isolamento térmico e acústico 
<b>Fechamento</b>  As placas Cimentícias, de OSB e de óxido de magnésio podem ser aplicadas diretamente a estrutura após a utilização da membrana hidrófuga. Já os <i>sidings</i> precisam da aplicação anterior de um substrato que em geral são as placas de OSB. As placas XPS precisam de acabamento de argamassa, podendo ser aplicadas diretamente sobre os perfis ou após as placas de OSB.	Placa cimentícias <sup>4</sup> 		OSB <sup>5</sup> 	
	<i>Siding</i> cimentício <sup>6</sup> 		<i>Siding</i> vinílico <sup>6</sup> 	
	<i>Siding</i> metálico <sup>6</sup> 		<i>Siding</i> de madeira Réguas <i>Smartside</i> <sup>6</sup> 	
	Painel de óxido de magnésio <sup>7</sup> 		Placas XPS <sup>8</sup> 	
	Drywall <sup>7</sup> 		Membrana Hidrófuga <sup>8</sup> 	
	<b>Fontes:</b> <sup>1</sup> Disponível em: < <a href="http://www.multiperfil.com.br/paginas/produtos.php">http://www.multiperfil.com.br/paginas/produtos.php</a> >. Acesso em 03 out. 2015. <sup>2</sup> Disponível em: < <a href="http://www.masterla.com.br">http://www.masterla.com.br</a> >. Acesso em 03 out. 2015. <sup>3</sup> Disponível em: < <a href="http://www.retrafil.com.br">http://www.retrafil.com.br</a> >. Acesso em 03 out. 2015. <sup>4</sup> Disponível em: < <a href="http://www.viroc.pt">http://www.viroc.pt</a> >. Acesso em 03 out. 2015. <sup>5</sup> Disponível em: < <a href="http://www.archiexpo.com.br">http://www.archiexpo.com.br</a> >. Acesso em 03 out. 2015. <sup>6</sup> Disponível em: < <a href="http://www.globalplac.com.br">http://www.globalplac.com.br</a> >. Acesso em 03 out. 2015. <sup>7</sup> Disponível em: < <a href="http://www.placo.com.br">http://www.placo.com.br</a> >. Acesso em 03 out. 2015. <sup>8</sup> Radavelli (2014).			

Quadro 20- Principais materiais aplicados em vedações verticais no sistema LSF.

Nos encontros entre as placas, verticais e horizontais, é necessária a execução de juntas de dilatação 3mm de espessura, aproximadamente, para garantir a acomodação das placas em virtude do trabalho mecânico ocasionado por variações de temperatura e umidade do ar que

podem sofrer, evitando assim rachaduras em sua superfície, que podem comprometer o desempenho do sistema. Essas juntas de dilatação são tratadas com fita de papel de massa, no caso dos fechamentos em gesso, a chamada junta invisível. Nas placas cimentícias aplicadas para vedação externa é possível utilizar a junta invisível ou a junta aparente (sem tratamento das juntas). Contudo, geralmente, as placas cimentícias recebem tratamento de juntas de dilatação e são emassadas e pintadas, ou recebem revestimentos diversos, como pedra, cerâmicas etc., e o resultado final assemelha-se a uma parede de alvenaria convencional revestida (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; SANTIAGO et al., 2006).

As esquadrias utilizadas no sistema LSF são de naturezas diversas, assim como no sistema de alvenaria convencional, tais como portas e janelas com caixas em madeira, alumínio, e PVC, com vidros comuns, madeira ou PVC para fechamento.

Os materiais empregados para a confecção das paredes de vedação externas e internas condicionam diretamente o desempenho acústico do sistema, uma vez que a seleção do tipo de placa para fechamento, a presença ou não de material absorvente, bem com a largura dos perfis, determina o índice de redução sonora desses elementos em função de seus coeficientes de absorção sonora.

#### *d) Subsistema Cobertura*

Os tipos de coberturas mais comuns no sistema LSF englobam desde de coberturas planas, ou lajes secas a coberturas inclinadas com diversas águas, cuja estrutura se assemelha a de um telhado convencional, com armação em perfis de aço galvanizado em substituição aos barrotes de madeira. Os perfis aplicados são os mesmos usados na estrutura das paredes e piso e permitem a confecção de treliças e tesouras (Figuras 40 e 41).

A cobertura inclinada permite a utilização de diversos tipos de telhas. No caso da aplicação de telhas como cerâmicas ou *shingles* é necessária a colocação um substrato de apoio, em geral, placas de OSB, com manta de impermeabilização. Em telhas cerâmicas, especificamente, perfis do tipo cartola são dispostos paralelamente aos caibros, e sobre eles são fixadas as ripas nas quais as telhas são encaixadas (CRASTO, 2005; RADAVELLI, 2014; SANTIAGO et al., 2006).

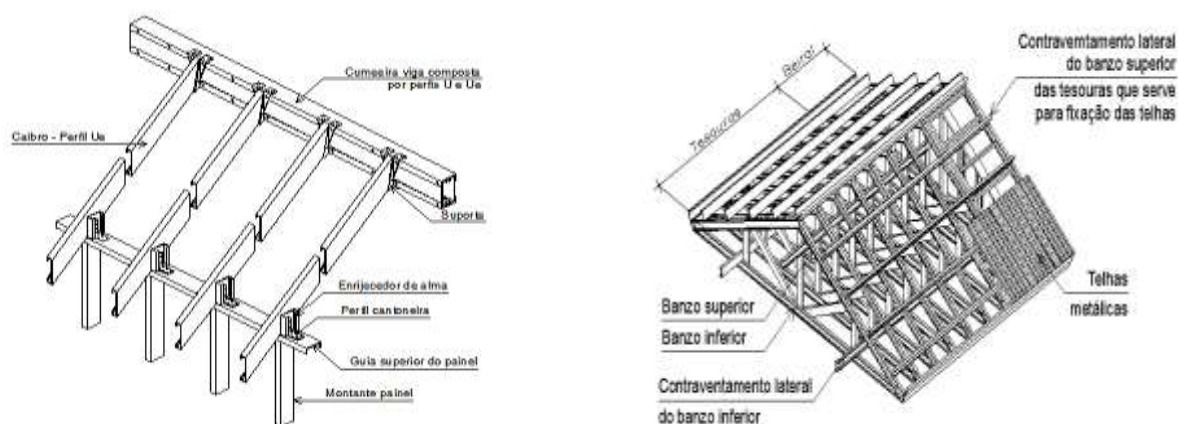


Figura 40 e 41 - Caibros e vigas alinhados com montantes de painel estrutural e Detalhamento estrutura de cobertura em LSF.

Fonte: Santiago et al. (2006).

A cobertura também se constitui como elemento de grande relevância para o desempenho acústico do sistema, já que se não for confeccionada corretamente, pode propiciar a passagem do som por aberturas, comprometendo o isolamento sonoro.

#### e) Subsistemas Instalações Elétricas e Hidráulicas

Assim como na maioria dos sistemas construtivos industrializados ou não convencionais as instalações elétricas e hidráulicas são embutidas nos vão internos das paredes de vedação, entre as placas de fechamento. Já as instalações sanitárias são efetuadas antes da concretagem da fundação, facilitando a montagem e proporcionando agilidade na manutenção desses subsistemas, evitando desperdícios e minimizando os custos, uma vez que não é necessário rasgar as paredes para ajustar as instalações, pois o procedimento pode ser realizado mediante a retirada das placas de vedação e posterior fixação (Figuras 42 e 43).



Figura 42 e 43 - Instalações Elétricas e Hidráulicas.

Fonte: Palatnik (2015).

#### 2.2.4.3.1 O desempenho acústico do sistema LSF

Por se configuraram-se como sistemas mais leves, ou seja, com uma densidade superficial menor frente a alvenaria convencional, é fundamental a otimização do sistema para a obtenção de um desempenho acústico eficiente. Os parâmetros de isolamento sonora são associados comumente a Lei das massas, na qual materiais com densidade ou massa maior podem assegurar índices de isolamento melhores. Segundo esses princípios, os sistemas construtivos mais leves (com uma densidade menor) possivelmente não seriam capazes de proporcionar condições de conforto eficientes (GERGES, 1992).

Contudo, não é plausível considerar o conceito da Lei da Massa para edificações do tipo LSF. Para esse sistema construtivo é aplicado o princípio massa-mola-massa, fundamentado na isolamento multicamada, segundo a integração entre placas leves para fechamento dispostas a partir de uma cavidade entre as mesmas, com preenchimento com material isolante, a fim de minimizar a transmissão sonora a partir das camadas de massa.

Assim, é possível confeccionar variadas combinações com o intuito de potencializar o desempenho acústico do sistema, a partir do emprego de uma maior quantidade de camadas (placas) e/ou aumentando a espessura do elemento isolante (CRASTO,2005)

A potencialização do isolamento sonoro em edificações do tipo LSF é proporcionada pela utilização de placas ou mantas absorvedoras acústicas, de lã de rocha ou lã de vidro, e por barra resilientes. Os materiais de absorção acústica são em geral porosos e/ou fibrosos, e agem no sentido de dissipar a energia sonora, que é transformada em energia térmica e conseqüentemente reduzem sua intensidade. A lã de vidro e a lã de rocha, por se conformarem como materiais fibrosos, evidenciam elevada capacidade de isolamento sonora (BISTAFA,2011).

As barras resilientes, segundo Bistafa (2011), são elementos aplicados entre os perfis e as placas de fechamento que permitem o amortecimento da vibração mecânica, minimizando a transmissão sonora entre ambientes e proporcionando o aprimoramento no índice de redução sonora da vedação.

Nesse caso as placas não são fixadas diretamente na estrutura, a chamada fixação em linha, mas sim, na barra resiliente, denominada fixação pontual, reduzindo assim, a superfície de contato entre as placas e os perfis (Figura 44).

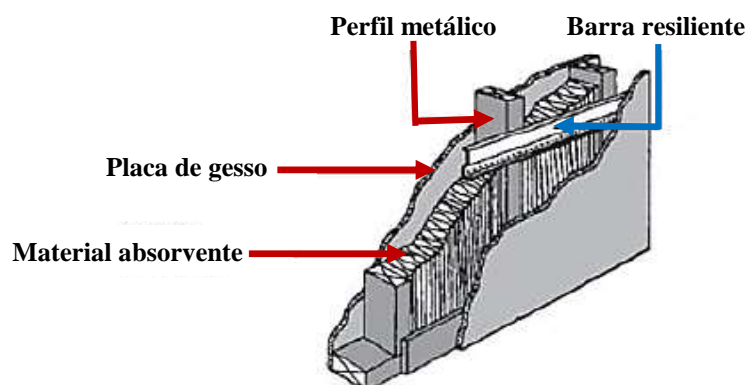
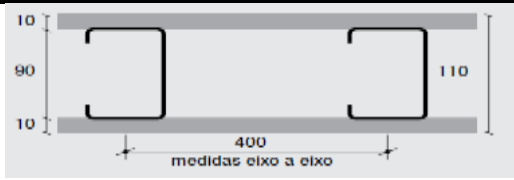
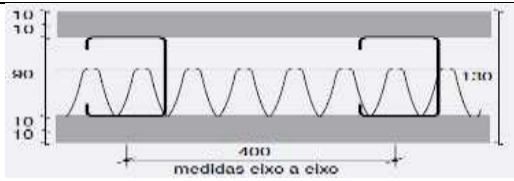
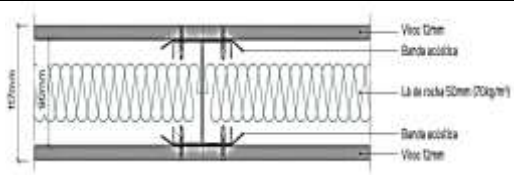
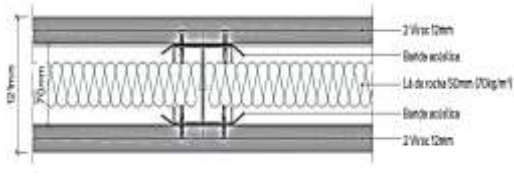


Figura 44- Painel fixado ao perfil através de barras resilientes.  
Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

A seguir serão explanados os parâmetros de caracterização (fechamentos x isolamento acústico) de paredes estruturadas em aço galvanizado, com fechamentos em *drywall* e em placas cimentícias, mais comumente utilizados (Quadros 21 e 22).

Item	Corte da Parede	Distância entre os Montantes	Quantidade de chapas	Isolamento Acústico RW (dB)	
				Isolante	
				Sem	Com
A		400 ou 600mm	2	36	
B		400 ou 600mm	2		44
C		400 ou 600mm	4		50
D		400 ou 600mm	2	38	
E		400 ou 600mm	2		45
F		400 ou 600mm	4		51
G		400 ou 600mm	2		45
H		400 ou 600mm	4		61

Quadro 21- Desempenho acústico drywall (soluções mais utilizadas).  
Fonte: Drywall (2015).

Item	Corte da Parede	Distância entre os Montantes	Quantidade de chapas	Isolamento Acústico RW (dB)	
				Isolante	
				Sem	Com
A		400mm	2	45	
B		400mm	4		57
C		de 400 à 625mm	2		47
D		de 400 à 625mm	4		55

Quadro 22- Desempenho acústico LSF (soluções mais utilizadas).

Fonte: Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/>>; <<http://www.viroc.pt/>>. Acesso em: 30 out. 2015.

Apesar de se propor a garantir vantagens frente ao sistema construtivo em alvenaria convencional, referente a redução dos resíduos gerados, diminuição no tempo da obra, facilidade de manutenção dos subsistemas, menor consumo de energia e água, entre outras, o LSF, como se trata de um sistema industrializado, fundamentado na modulação e racionalização dos componentes. Quando aplicado de forma errônea, pode comprometer todo o desempenho da edificação, inclusive o acústico, em virtude de mão de obra não qualificada e materiais inadequados.

Dessa forma, é importante salientar que em sistemas construtivos constituídos por paredes duplas, regidos pelo efeito Massa/Mola/Massa, as características dos materiais empregados, no que tange a densidade superficial, rigidez, e amortecimento (espessura da cavidade de ar e presença de material absorvedor), se constituem enquanto aspectos de extrema relevância, condicionando o desempenho acústico do sistema construtivo, em função das frequências avaliadas. Além disso, a montagem dos materiais deve ocorrer da forma especificada pelos fabricantes do produtos, evitando assim que o desempenho sonoro seja comprometido em virtude de uma metodologia inadequada na aplicação dos produtos.

A avaliação desse tipo de sistema é de extrema relevância, tendo em vista que o isolamento sonoro de um ambiente está relacionado a diversos aspectos além das vedações e materiais utilizados nas mesmas, envolvendo também as *interfaces* entre as vedações e as aberturas (esquadrias), bem como entre os componentes de vedação e a estrutura metálica, e dessa forma, a eventual passagem de som decorrente destas *interfaces*. Esses aspectos somente podem ser averiguados em medições *in loco*, já que em laboratório as condições de montagem são rigorosas e padronizadas e no procedimento numérico os parâmetros considerados são referentes a dados fornecidos pelos fabricantes dos produtos, o que pode não ocorrer em campo, em virtude do tipo de materiais e mão de obra empregados.

Em 2014, Costa et al., desenvolveram um ensaio para avaliação em campo do desempenho acústico de partições verticais em uma edificação comercial construída com sistema LSF na cidade de Maceió/AL e posterior comparação dos resultados adquiridos com os índices de isolamento sonoro previstos na NBR 15575:2013. Foram averiguadas duas partições verticais, uma interna e uma externa.

A parede de vedação vertical externa (PE) foi confeccionada com base em um sistema estrutural misto, formado por uma estrutura metálica convencional, em aço, como estrutura principal, a partir de pilares e vigas, e o LSF, como estrutura auxiliar para fixação das placas de fechamento externo e interno, constituída por montantes e guias em aço galvanizado, com câmara de ar de 90mm entre as placas, com fechamento externo em placas cimentícias (16mm) e o interno pelo mesmo material, porém, numa espessura reduzida (12mm), com fórmica 2mm colada diretamente nas placas e isolante termo acústico 10mm (polietileno expandido de baixa densidade) colado na placa de fechamento externa, ao invés de aplicado na câmara de ar (entre as placas).

A parede de vedação vertical interna (PI) foi constituída por estrutura do tipo LSF, com 90mm de largura, placas cimentícias para fechamento (12mm) em ambas as faces, além da utilização de polietileno expandido de baixa densidade (10mm) colado na placa de fechamento externo, e aplicando-se painel de madeira 5mm na face externa das placas e fórmica 2mm na face interna das placas.

É relevante destacar alguns pormenores construtivos que foram verificados *in loco*, tais como a inexistência de vedações nas caixas da porta principal de acesso a sala e ao terraço externo à fachada, juntas de dilatação na PE, que apesar de vedadas, encontravam-se desniveladas e apresentavam diferentes espessuras, aspecto que se refere também às vedações das furações dos rebites para fixação das placas.

Os ensaios realizados seguiram rigorosamente os parâmetros definidos na normas ISO 140-4:1998; ISO 140-5:1998, além dos procedimentos previstos na ISO 717-1:1996 e ISO 3382-2:1997, com o intuito de obter a Diferença Padronizada de Nível Ponderada ( $D_{nT,w}$ ) e Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros ( $D_{2m,nT_w}$ ).

Após a comparação dos índices de isolamento sonoro das partições avaliadas em campo com os níveis mínimos para isolamento segundo a NBR 15575-4/2013, evidenciou-se que para ambas as paredes avaliadas (PE e PI) os níveis de isolamento acústico resultantes foram inferiores aos parâmetros descritos na norma.

Os resultados do estudo comparativo demonstraram que ineficiência do isolamento sonoro das partições avaliadas no objeto de estudo investigado, ocorre, possivelmente, em virtude de determinados aspectos construtivos, problemática que deveria ter sido considerada durante a especificação dos materiais utilizados e a construção da edificação. Essa suposição baseia-se na constatação *in loco* de algumas particularidades construtivas não condizentes com as especificações do fabricante das placas cimentícias.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão abordados os procedimentos para avaliação do desempenho acústico ao ruído aéreo de partições verticais internas e externas em edificações habitacionais construídas em *Light Steel Framing* (LSF).

Os métodos para mensuração do isolamento sonoro ou o índice de redução sonora (R) de um elemento construtivo ou de um sistema construtivo envolvem procedimentos diversos, obtendo-se valores de R numericamente (procedimento numérico), ou através de medições em laboratório ou em campo (procedimento experimental). As medições em laboratório propiciam um maior controle das técnicas de montagem, contudo, as medições em campo avaliam a situação real da edificação, que está sujeita a variáveis diversas, as quais não são consideradas em laboratório, permitindo assim verificar o efetivo desempenho acústico de uma edificação construída e em uso.

A referida pesquisa envolve uma análise quantitativa, segundo procedimento experimental com medições em campo, e uma análise qualitativa através do comparativo dos resultados quantitativos obtidos com os índices de isolamento acústico previstos em normas nacionais e internacionais, bem como, com o desempenho acústico de partições confeccionadas com sistemas construtivos em alvenaria e outros sistemas construtivos industrializados. A análise quantitativa foi fundamentada nas normas ISO 16283:2014, ISO 717-1:1996 e ISO 3382-2:1997.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica, com o intuito de aprofundar o conhecimento acerca do sistema construtivo em questão e temas relacionados ao mesmo. Também foi revisada a temática no que tange a acústica aplicada ao controle do ruído, englobando os procedimentos para obtenção do índice de redução sonora e os parâmetros nacionais e internacionais de desempenho acústico vigentes, fundamentando assim o trabalho a partir de um referencial teórico, apresentado no capítulo 2.

A investigação a que se propõe esse trabalho foi desenvolvida em três etapas: Caracterização do objeto de estudo (1), Medições em Campo (2) e Análise e Diagnóstico (3) (Análise Quantitativa e Qualitativa).

### 3.1 Etapa 1: Caracterização dos objetos de estudo

Essa etapa metodológica compreendeu a identificação e caracterização de duas edificações habitacionais em LSF, com diferentes materiais em sua conformação para realização dos ensaios em campo. A seleção dos objetos de estudo ocorreu em virtude da disponibilidade de edificações para a realização dos ensaios. Como a cidade de Maceió não possui edifícios residenciais essencialmente em LSF, recorreu-se à pesquisa de construtoras especializadas nesse sistema construtivo no nordeste do Brasil.

A partir de contatos com algumas empresas, optou-se por uma construtora que exerce suas atividades no estado de Pernambuco, com sede na cidade de Recife, tendo em vista a possibilidade do monitoramento de duas edificações com o referido sistema, constituídas por diferentes materiais em sua configuração. Assim, após reuniões para esclarecimentos a respeito das condições necessárias para as medições do desempenho acústico em partições verticais, em razão dos requisitos previstos nas normas, foram selecionadas duas edificações habitacionais construídas em LSF na cidade de Vitória do Santo Antão/PE, que dista 54 km da capital do estado, localizadas no Haras Bonanza, na BR 232. Km 36 (Figura 45). As edificações que foram selecionadas apresentam características construtivas diferentes, uma com a presença de absorvedor acústico na configuração de suas partições verticais e a outra sem, bem como diferentes materiais de fechamento. Além disso, retratam tipologias habitacionais distintas, sendo uma unifamiliar independente e a outra unifamiliar com paredes de geminação para outra unidade habitacional.

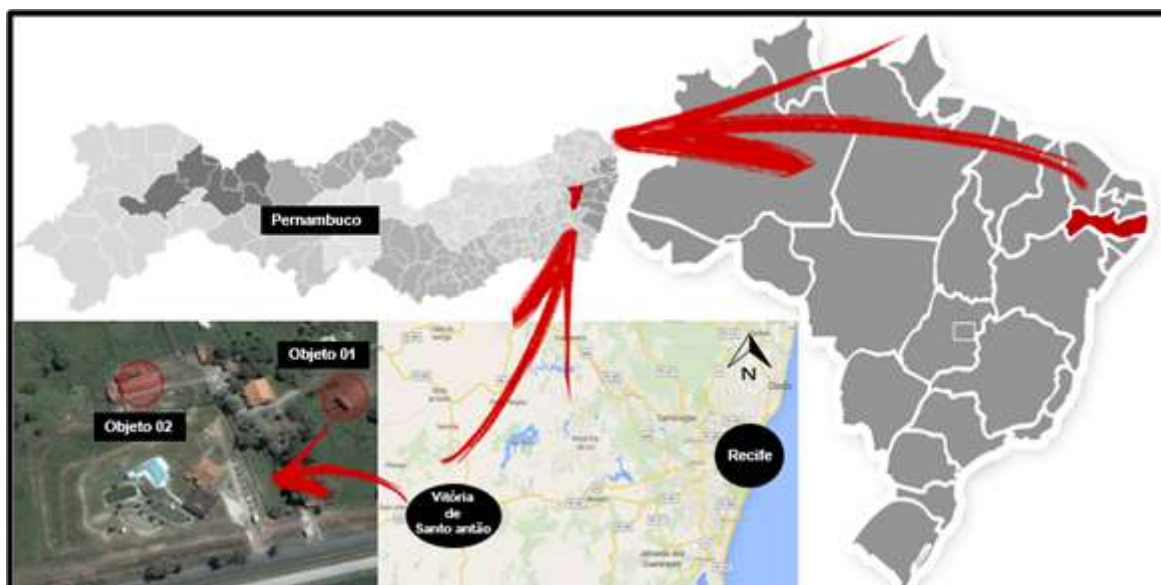


Figura 45- Localização dos objetos de estudo.

Fonte: Adaptado de *Google Maps* (2015). Disponível em: <<http://www.googlemaps.com.br>>. Acesso em: 31 out. 2015.

Posteriormente, foi desenvolvido o levantamento de dados físico-construtivos das edificações, com a solicitação de projetos arquitetônicos, descrição de materiais utilizados e levantamento fotográfico. Para esta pesquisa as edificações selecionadas foram denominadas como Objeto 01 e Objeto 02, cujas características serão apresentadas a seguir.

### 3.1.1 Objeto de Estudo 01

O Objeto 01 é referente a uma edificação habitacional térrea, unifamiliar, construída no ano de 2003. Possui 97,5m<sup>2</sup> de área construída e apresenta em sua configuração os seguintes ambientes: 4 quartos, sendo duas suítes, 1 lavabo, salas de estar e jantar integradas com cozinha tipo americana, área de serviço e varanda coberta. Apresenta pé direito de 2,70m. Não possui muro em seu perímetro externo (Figuras 46 e 47).

As características gerais do sistemas construtivo e seus subsistemas estão descritas no Quadro 23, e os detalhes das partições externas e internas nas Figuras 48 e 49.

Segundo a NBR 15.575-4:2013, enquadra-se na classe de ruído I, “Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas” (ABNT,2013, p.29). Já de acordo o HUD:1967, é condizente com a Categoria 2, aplicável para localidades residenciais urbanas e suburbanas avaliadas como geradoras de ruídos “médios”, e segundo o CEQR:2012 faz parte da Categoria 1, com ruído externo de 70 à 73 db(A). Para o HAL:2012 é considerada habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas (zona tranquila).



Figuras 46 e 47- Fachadas Objeto de estudo 01, com as paredes avaliadas e Planta baixa do Objeto 01.  
Fonte: Junho (2016).





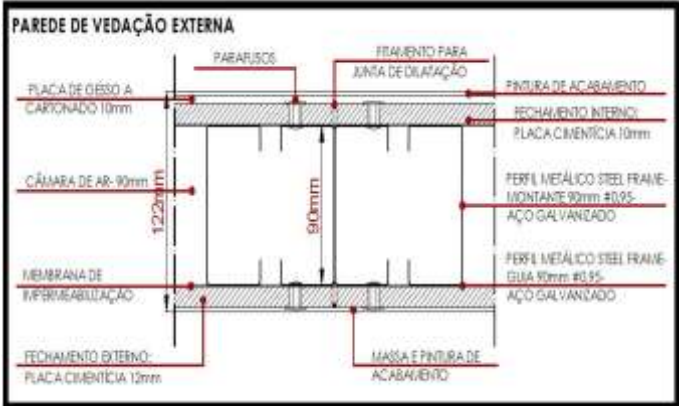

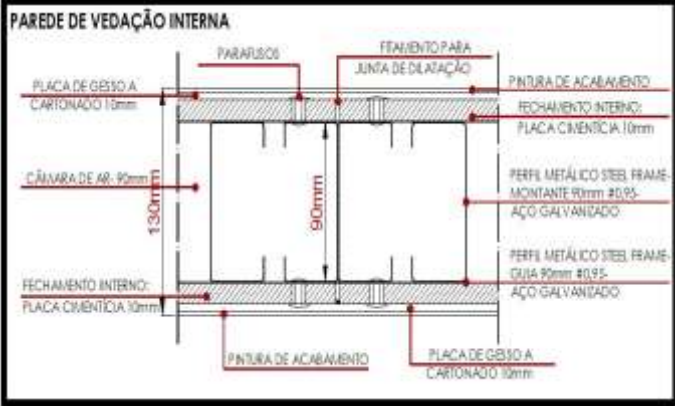



OBJETO 01		
Subsistema	Características Gerais	
<b>Fundação</b>	A fundação utilizada foi do tipo radier, com base em alvenaria dobrada para Distribuição tubulação hidro sanitário em PVC. O concreto aplicado foi com fck=15,0 Mpa, com teor de argamassa > 50% e < 58%, e consumo de cimento > 350 kg/m³. Após a cura, desforma total e limpeza total do pavimento para o início dos serviços de instalação dos painéis e fechamento das paredes.	
<b>Estrutura</b>	A estrutura de paredes de vedação e cobertura (tesouras) foi confeccionada em perfis de aço galvanizado estrutural tipo ZAR 230, e é constituída por montantes e guias, 0,95mm, com 90mm de largura, aparafusados uns nos outros com parafusos autobroantes de aço inox. Não foram utilizados materiais resilientes entre o contrapiso e a estrutura.	
<b>Paredes de Vedação Verticais Externas<sup>12</sup></b>	A estrutura das paredes de vedação externas é constituída por perfis de aço galvanizado 90mm, fechamento externo com placa cimentícia 12mm aparafusada diretamente nos perfis, manta de impermeabilização entre as placas e a estrutura e acabamento em massa e pintura, e fechamento interno com placa cimentícia 10mm aparafusada diretamente nos perfis, com placa de gesso cartonado RU de 10 mm sobre as placas cimentícias, com espessura total de 122mm, e acabamento em massa e pintura. As juntas de dilatação tanto nas placas cimentícias, quanto nas placas de gesso são tratadas com material para vedação das mesmas. Vale salientar que não foi utilizado absorvedor acústico na cavidade de ar entre as placas.  	

Figura 48- Esquema das paredes de vedação verticais externas.

<sup>12</sup> Continua na próxima página.

<p><b>Paredes de Vedação Verticais Internas</b></p>	<p>A estrutura das paredes de vedação internas é constituída por perfis de aço galvanizado 90mm, e fechamentos de ambos os lados com placa cimentícia 10mm aparafusada diretamente nos perfis, com placa de gesso cartonado RU de 10 mm sobre as placas cimentícias, com espessura total de 130mm, e acabamento em massa e pintura, com juntas de dilatação tratadas através de material para vedação específico. Nas paredes internas também não foi aplicado material para absorção sonora.</p> 	 <p>Figura 49 - Esquema das paredes de vedação verticais internas.</p>
<p><b>Esquadrias</b></p>	<p>As esquadrias utilizadas seguem as seguintes tipologias: Janelas altas e baixas de correr em vidro com perfis de alumínio anodizado preto em seu perímetro, contudo sem vedações entre as folhas de vidro; Porta principal de correr em vidro com perfis de alumínio anodizado preto em seu perímetro, contudo sem vedações entre as folhas de vidro; Portas internas (entre ambientes) com folha e caixa em madeira, com enchimento sarrafeado, semi-ôca, encabeçamento em todo o perímetro, e travessas de amarração embutidas, revestimento em ambas as faces com painel de madeira compensada e acabamento final com pintura, 60cm nos banheiros e 80cm nos dormitórios.</p>	
<p><b>Cobertura</b></p>	<p>A estrutura da cobertura é constituída por tesouras em perfis de aço galvanizado, com duas águas, e fechamento em telha termo acústica, com forro em gesso cartonado RU de 10 mm.</p>	
<p><b>Instalações Elétricas e Hidrossanitárias</b></p>	<p>As instalações elétricas e hidráulicas são embutidas nos vão internos das paredes de vedação, entre as placas de fechamento, e as instalações sanitárias foram efetuadas anteriormente à concretagem do radier.</p>	

Quadro 23- Características Gerais: Objeto 01.

Fonte: Outubro (2015).



### 3.1.2 Objeto de Estudo 02

O Objeto 02 constitui-se enquanto uma edificação habitacional com dois pavimentos, unifamiliar (porém com paredes de geminação) construída em 2010, com uma área total de 66m<sup>2</sup>, sendo 45m<sup>2</sup> no pavimento térreo, e 21m<sup>2</sup> no pavimento superior, possuindo em sua conformação os seguintes ambientes: 1 quarto, 1 banheiro social, salas de estar e jantar integradas, e cozinha, no térreo, além de 1 quarto e 1 banheiro no pavimento superior. Apresenta pé direito de 2,60m no térreo e 2,40m no 1º pavimento (Figuras 50, 51 e 52). Dispõe de um muro com altura 1,30m localizado na fachada posterior, que se configura como uma barreira acústica para a avaliação do desempenho acústico da fachada no térreo.



Figura 50- Fachadas objeto de estudo 02, com as paredes avaliadas.  
Fonte: Junho (2016).



Figura 51- Planta baixa Objeto de estudo 02- pavimento térreo.  
Fonte: Janeiro (2016).



Figura 52- Planta baixa Objeto de estudo 02- pavimento superior.  
Fonte: Janeiro (2016).

O Objeto 02 apresenta as mesmas configurações do Objeto 01 em relação à fundação, à estrutura, à esquadrias, à cobertura e às instalações elétricas e hidrossanitárias. No que se refere às paredes de vedação externas e internas, os detalhes estão descritos nas Figuras 53 e 54. É importante destacar a presença de absorvedor acústico (lã de rocha) na configuração dessas partições, aplicado na câmara de ar entre as placas. As partições internas e externas são semelhantes, exceto pela aplicação de uma membrana de impermeabilização nas paredes externas (face direcionada à área externa- fachada).

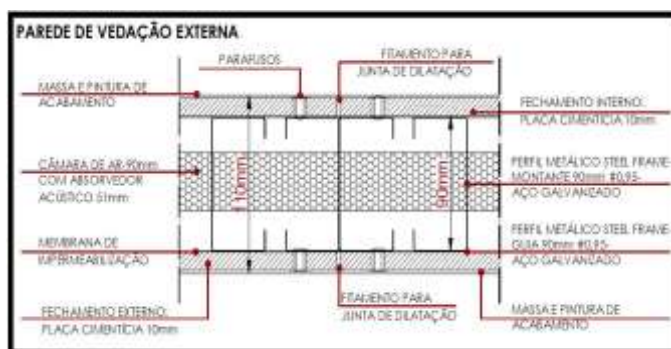


Figura 53- Esquema das paredes de vedação verticais externas.  
Fonte: Janeiro (2016).

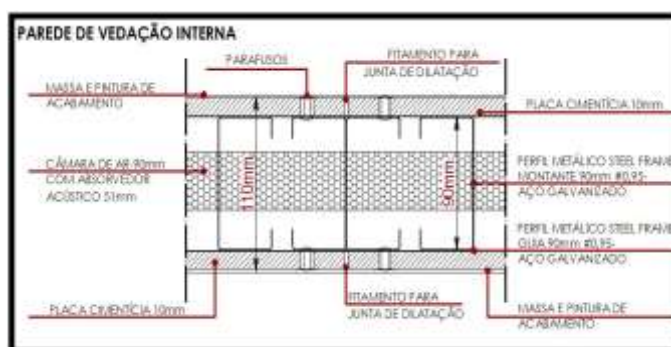


Figura 54- Esquema das paredes de vedação verticais internas.  
Fonte: Janeiro (2016).

Enquadra-se na classe de ruído I, “Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas” - NBR151575:2013 (ABNT,2013 p.29); Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas (zona tranquila) - HAL:2012, Habitação condizente com a Categoria 2, aplicável para localidades residenciais urbanas e suburbanas avaliadas como geradoras de ruídos “médios” – HUD:1967, e enquadra-se na Classe 1 segundo o CEQR:2012.

### **3.2 Etapa 2: Medições em Campo**

A etapa 2 ocorreu segundo medições *in loco* nos objetos de estudo. Em seguida, na etapa de Análise e Diagnóstico (3), os resultados encontrados foram sistematizados com o auxílio do *software* Solo 01 dB Bati 32 e inseridos nas equações determinadas nas normas técnicas para a obtenção dos resultados de isolamento sonoro em cada partição avaliada.

#### **3.2.1 Procedimentos de medição: Ensaios em Campo**

No Objeto de estudo 01 os ensaios em campo ocorreram entre os dias 06 e 08 de outubro de 2015, nos períodos da manhã e da tarde (8 às 12 horas e 14 às 18 horas). As medições no Objeto 02 foram realizadas entre os dias 27 e 29 de fevereiro de 2016, nos mesmos períodos. Em ambos os objetos, os ensaios seguiram rigorosamente os parâmetros descritos nas normas ISO 16283:2014 e ISO 3382:1997.

Os parâmetros avaliados nas medições incluíram: Diferença padronizada de nível (DnT), Tempo de reverberação (T), e Ruído de fundo (B2) para a obtenção da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) e Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros (D<sub>2m,nT,w</sub>) na sistematização dos resultados.

A metodologia dos ensaios em campo classificou as paredes de acordo com três parâmetros. O primeiro parâmetro foi o Grupo, considerando as partições verticais externas definidas como PE (fachadas), e as partições verticais internas denominadas como PI (entre ambientes). A nomenclatura das partições é constituída pelo grupo ao qual se insere PE ou PI + o número da partição. O segundo parâmetro refere-se a Categoria da partição, sendo determinadas de acordo com a presença ou não de portas em sua configuração. O terceiro parâmetro está relacionado às cores, que foram estabelecidas conforme a tipologia da parede: rosa (a)- parede externa (fachada); lilás (b)- parede externas (barreira acústica); vermelha (c) – parede interna entre um



dormitório e um banheiro; verde (d) – parede interna entre um dormitório e uma cozinha; amarela (e) parede interna entre um dormitório e uma circulação ou entre salas; roxa (f)- parede interna entre um dormitório e uma sala; azul (g)- parede interna entre dois dormitórios.

As medições *in loco* envolveram a quantificação do nível de pressão sonora (NPS) nas câmaras de recepção e emissão, sendo a câmara de emissão (CE) o ambiente no qual a fonte sonora foi posicionada para geração do ruído branco e a câmara de recepção (CR) o ambiente que recebeu o ruído gerado.

Em ambas as câmaras foram medidos os níveis de NPS com auxílio de um medidor de pressão sonora (sonômetro). O ruído branco apresenta um nível constante para todas as frequências do espectro e é geralmente utilizado para a medição de NPS como no caso desta pesquisa. Realizou-se também a medição do Tempo de Reverberação (T) e Ruído de fundo ou Residual (B2) nas câmaras de recepção. Para a medição do Tempo de Reverberação foi utilizada a fonte sonora com a emissão do ruído rosa, que apresenta um nível que decai 3dB por oitava, caracterizando assim, o método de interrupção de ruído descrito na ISO 3382-2:1997. Todas as medições foram realizadas com portas e janelas fechadas (na PE2 do Objeto de estudo 02, a janela permaneceu aberta, por se tratar de um ambiente localizado no pavimento superior) e sem mobiliário nos ambientes. As paredes selecionadas para avaliação e suas características podem ser visualizadas nas Figuras 55, 56, 57 e nos Quadros 24 e 25.

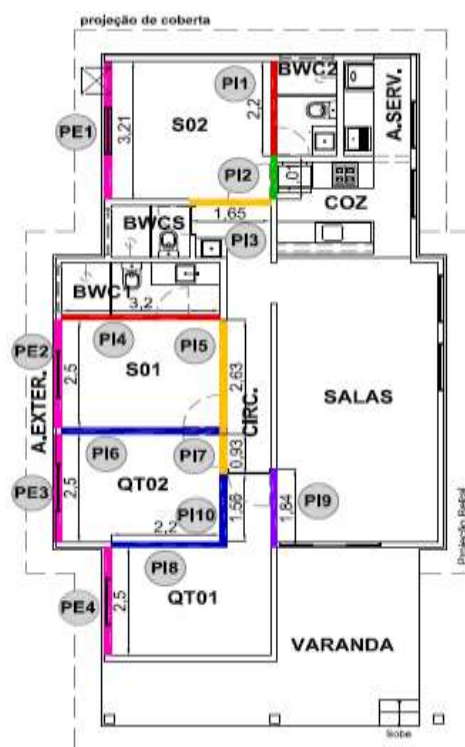

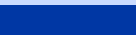













Figura 55- Planta baixa do Objeto 01 com as paredes avaliadas nos ensaios em campo.  
Fonte: Outubro (2015).

Grupo	Categoria	Nomenclatura	Parâmetro	Condição dos ambientes	Partição avaliada	Cor de referência	
PI Parede Interna	Entre Ambientes: Mesma unidade habitacional <b>Parede Cega</b>	<b>PI6</b> QT02xS01	DnT,w	QT02- Recepção S01- Emissão	Parede interna entre o Quarto 02 (dormitório) e a Suíte 01 (dormitório).		
		<b>PI8</b> QT02xQT01	DnT,w	QT02- Recepção QT01- Emissão	Parede interna entre o Quarto 02 (dormitório) e o Quarto 01 (dormitório).		
		<b>PI9</b> QT01xSALAS	DnT,w	QT01- Recepção SALAS- Emissão	Parede interna entre o Quarto 01 (dormitório) e as salas de estar e jantar.		
		<b>PI10</b> QT02xQT01	DnT,w	QT02- Recepção QT01- Emissão	Parede interna entre o Quarto 02 (dormitório) e o Quarto 01 (dormitório).		
	Entre Ambientes: Mesma unidade habitacional <b>Parede com Porta</b>	<b>PI1</b> S02xBWC2	DnT,w	S02- Recepção BWC2- Emissão	Parede interna entre a Suíte 02 (dormitório) e o Banheiro.		
		<b>PI2</b> S02xCOZ	DnT,w	S02- Recepção COZ- Emissão	Parede interna entre a Suíte 02 (dormitório) e a Cozinha.		
		<b>PI3</b> S02xCIRC	DnT,w	S02- Recepção CIRC- Emissão	Parede interna entre a Suíte 02 (dormitório) e a Circulação externa.		
		<b>PI4</b> S01xBWC1	DnT,w	S01- Recepção BWC1- Emissão	Parede interna entre a Suíte 01 (dormitório) e o Banheiro.		
		<b>PI5</b> S01xCIRC	DnT,w	S01- Recepção CIRC- Emissão	Parede interna entre a Suíte 01 (dormitório) e a Circulação externa.		
		<b>PI7</b> QT02xCIRC	DnT,w	QT02- Recepção CIRC- Emissão	Parede interna entre o Quarto 02 (dormitório) e a Circulação externa.		
		PE Parede Externa	Fachada <b>Parede com Janela</b>	<b>PE1</b> S02xA.EXTER.	D <sub>2m</sub> ,T,w	S02- Recepção A.EXTER.- Emissão	Parede Externa Fachada Suíte 02.
	<b>PE2</b> S01xA.EXTER.			D <sub>2m</sub> ,T,w	S01- Recepção A.EXTER.- Emissão	Parede Externa Fachada Suíte 01.	
	<b>PE3</b> QT02xA.EXTER.			D <sub>2m</sub> ,T,w	QT02- Recepção A.EXTER.- Emissão	Parede Externa Fachada Quarto 02.	
<b>PE4</b> QT01xA.EXTER.	D <sub>2m</sub> ,T,w			QT01- Recepção A.EXTER.- Emissão	Parede Externa Fachada Quarto 01.		

Quadro 24- Nomenclatura das partições selecionadas para avaliação do desempenho acústico do Objeto 01.

Fonte: Junho (2016).

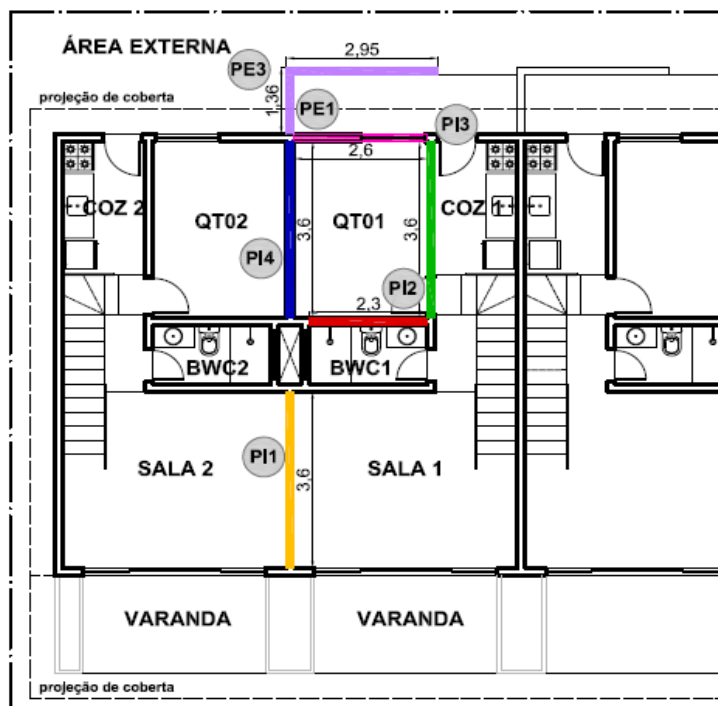


Figura 56- Planta baixa do Objeto 02 (pavimento térreo) com as paredes avaliadas nos ensaios em campo.  
Fonte: Janeiro (2016).

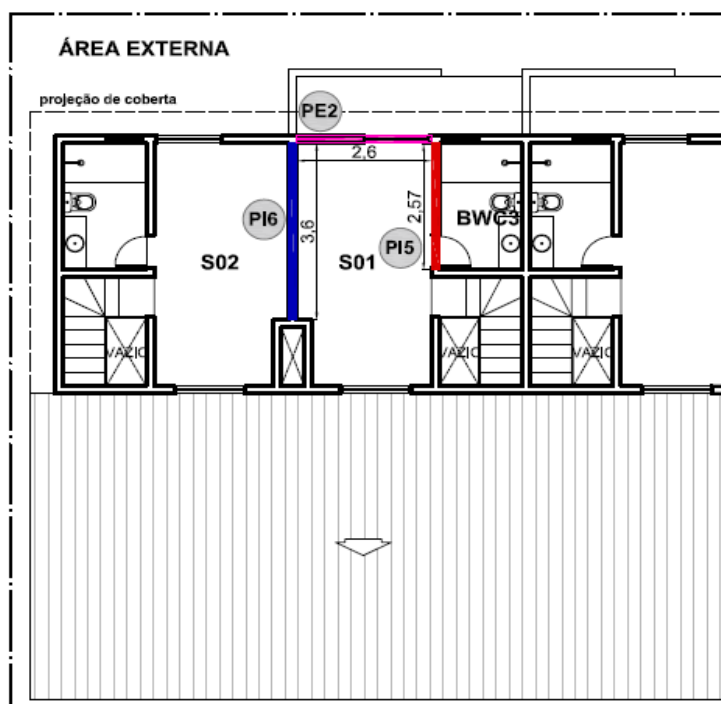


Figura 57- Planta baixa do Objeto 02 (pavimento superior) com as paredes avaliadas nos ensaios em campo.  
Fonte: Janeiro (2016).

Grupo	Categoria	Nomenclatura	Parâmetro	Condição dos ambientes	Partição avaliada	Cor de referência
PI Parede Interna	Entre Ambientes: Unidades habitacionais autônomas <b>Parede Cega</b>	<b>PI1</b> SALA01xSALA02 Térreo	DnT,w	SALA01- Recepção SALA02- Emissão	Parede de geminação entre a Sala de estar/jantar do objeto de estudo e a Sala de estar/jantar da edificação vizinha.	
		<b>PI2</b> QT01xBWC1 Térreo	DnT,w	QT01- Recepção BWC1- Emissão	Parede interna entre o Quarto 01 (dormitório) e o Banheiro.	
		<b>PI4</b> QT01xQT02 Térreo	DnT,w	QT01- Recepção QT02- Emissão	Parede de geminação entre o Quarto 01 (dormitório) do objeto de estudo e o Quarto 02 da edificação vizinha.	
		<b>PI6</b> S01xS02 Pavimento superior	DnT,w	S01- Recepção S02- Emissão	Parede de geminação entre a Suíte 01 (dormitório) do objeto de estudo e a Suíte 02 da edificação vizinha.	
	Entre Ambientes: Mesma unidade habitacional <b>Parede com Porta</b>	<b>PI3</b> QT01xCOZ Térreo	DnT,w	QT01- Recepção COZ- Emissão	Parede interna entre o Quarto 01 (dormitório) e a Cozinha.	
		<b>PI5</b> S01xBWC3 Pavimento superior	DnT,w	S01- Recepção BWC3- Emissão	Parede interna entre a Suíte 01 (dormitório) e o Banheiro.	
PE Parede Externa	<b>Fachada Parede com Janela</b>	<b>PE1</b> QT01xA.EXTER. Térreo	D <sub>2m</sub> ,T,w	QT01- Recepção A.EXTER.- Emissão	Parede Externa Fachada Quarto 01.	
		<b>PE2</b> S01xA.EXTER. Pavimento superior	D <sub>2m</sub> ,T,w	S01- Recepção A.EXTER.- Emissão	Parede Externa Fachada Suíte 01.	
	<b>Fachada Parede Cega</b>	<b>PE3</b> Muro	Não foi realizada medição.			

Quadro 25- Nomenclatura das partições selecionadas para avaliação do desempenho acústico do Objeto 01.

Fonte: Junho (2016).

### 3.2.1.1 Equipamentos utilizados

Para realização dos ensaios em campo foram utilizados equipamentos específicos, conforme recomendações das normas ISO 16283:2014 e ISO 3382:1997, conforme o esquema de montagens dos equipamentos demonstrado da Figura 52.

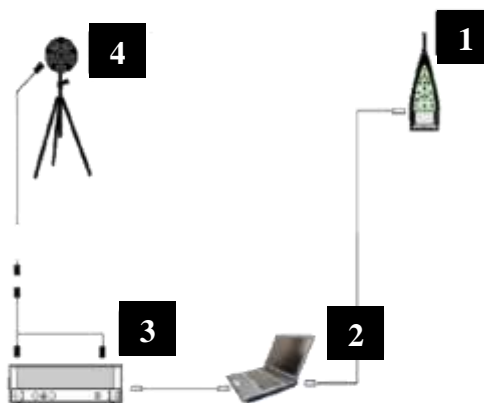


Figura 58- Esquema equipamentos utilizados nas medições.

Fonte: Adaptado de Ferreira Neto (2009).

1. Medidor de pressão sonora (sonômetro) SOLO (*sonometre*) classe 1<sup>13</sup>, com microfone modelo MCE 215 e Calibrador CAL 3009000 classe 1;
2. Computador com *Software Solo 01dB Bati 32*;
3. Amplificador;
4. Fonte sonora – Dodecaedro com *subwoofer* para geração do ruído branco (medição de NPS) e do ruído rosa (medição de T), utilizada em duas posições para cada medição das partições avaliadas.

Um aparelho celular com os ruídos em sua memória foi agrupado ao amplificador. Além da calibração obrigatória do microfone com o calibrador do próprio aparelho, antes de cada medição foi realizada uma calibração através do software para garantir uma maior exatidão (Figura 59). O sonômetro foi testado antes das medições, através do funcionamento da fonte com a emissão do ruído branco a 100 dB, para verificar se o equipamento estava marcando corretamente o nível sonoro emitido pela fonte.

O sonômetro com microfone foi acoplado a um tripé, com altura final de 1,2m, sendo interligado ao computador por meio de um cabo *USB*, para utilização com o *software Solo 01 dB* no modo escravo. A fonte sonora omnidirecional foi conectada a um tripé, na altura final de 1,50m ligada a um amplificador para geração dos ruídos (Figuras 60 e 61).

Foi necessário configurar o software Solo 01 dB a partir dos critérios necessários para aquisição dos parâmetros acústicos, vislumbrando a obtenção do isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições avaliadas. Foi determinada a aplicação de bandas de 1/3 de oitava, de 50 a 5000Hz, com o tempo de 6s para cada medição (NSP, T, e B2). A obtenção do valor global

<sup>13</sup> Equipamento exigido pela norma ISO 16283:2014, por se tratar de um instrumento que proporciona maior precisão nos resultados.

único está condicionada aos requisitos previstos na ISO 717-1:1996. Esses resultados foram sistematizados na etapa 3, Análise e Diagnóstico.



Figuras 59, 60 e 61- Preparação para as medições- Calibração do sonômetro e Montagem dos equipamentos internos.

Fonte: Outubro (2015).

A locação dos pontos de medição nas câmaras de recepção e de emissão (fonte sonora e sonômetro com microfone) foi previamente determinada, segundo as distâncias estabelecidas na ISO 16.283:2014, com a utilização de fita adesiva para marcação dos pontos no piso, trena manual para medição das distâncias e caneta hidrográfica para numerar os pontos.

Adotou-se a seguinte nomenclatura para os pontos de medição, com símbolos e cores diferentes: fonte sonora (F), ponto do sonômetro para medição de NPS na emissão (E), ponto do sonômetro para medição de NPS na recepção (R), ponto para medição de T e B2 (R- com simbologia diferenciada- ver legenda dos quadros).

### 3.2.1.2 Seleção dos pontos de medição

A definição das paredes a serem avaliadas ocorreu em função do tipo de parede, interna ou externa e sua intercessão com os ambientes adjacentes. A especificação das paredes foi determinada por cores e nomenclatura, sendo PE + o número da partição parede externa e PI + o número da partição parede interna, conforme demonstram os Quadros 24 e 25. Além disso, foram selecionadas as câmaras de emissão (CE) e de recepção (CR) em virtude das paredes avaliadas.

A seguir serão apresentados os pontos selecionados para realização das medições de isolamento sonoro das partições externas e das partições internas, nos Objetos 01 e 02, cujos resultados foram analisados no capítulo 4.

*a) Partições verticais externas*

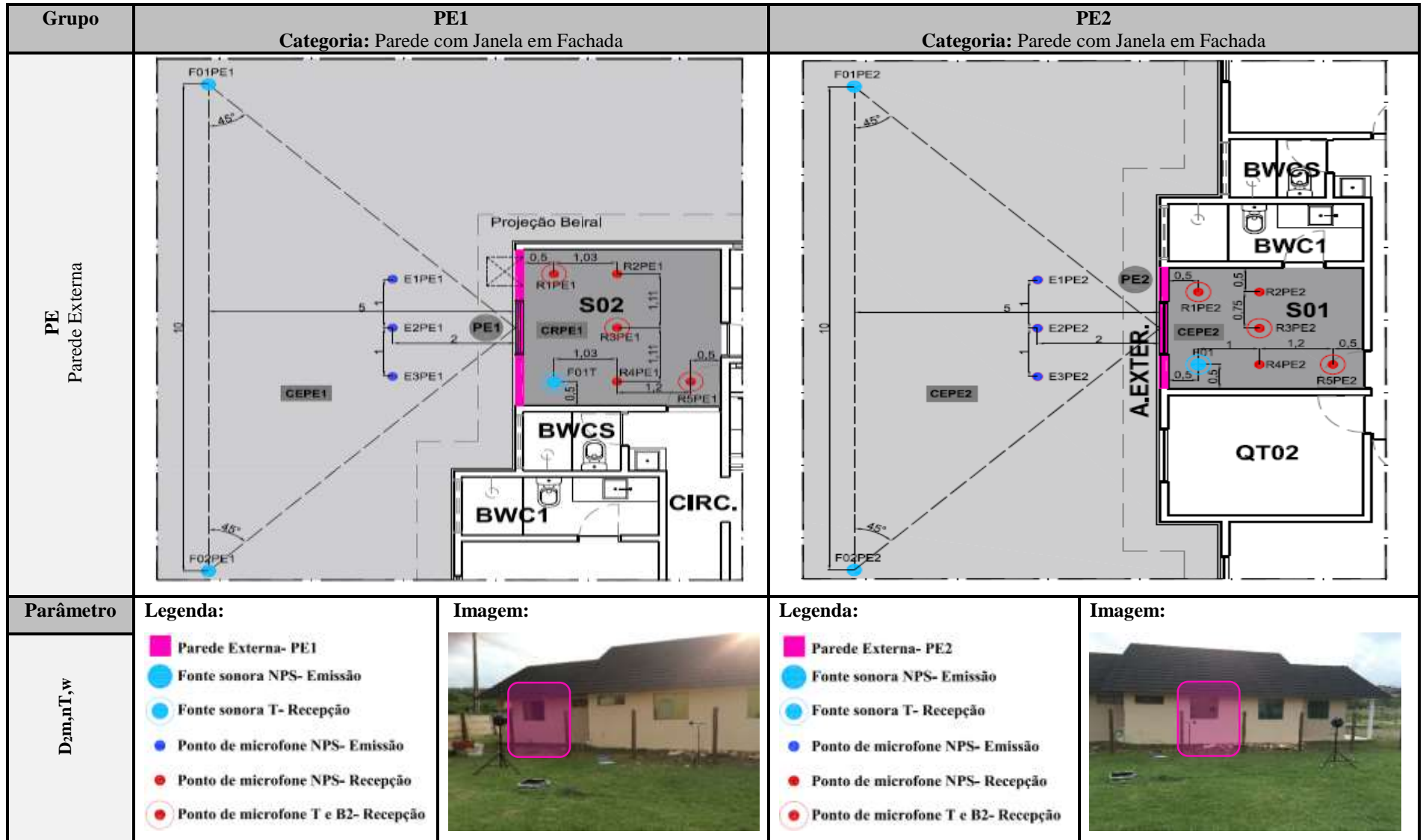
Para as partições externas avaliadas (PE + o número da partição), determinou-se 5 pontos para medição de NPS na câmara de recepção CRPE + o número da partição: denominados R<sub>1</sub>PE, R<sub>2</sub>PE, R<sub>3</sub>PE, R<sub>4</sub>PE, e R<sub>5</sub>PE (+ o número da partição) e 3 pontos para medição de NPS na câmara de emissão (CEPE + o número da partição), E<sub>1</sub>PE, E<sub>2</sub>PE, e E<sub>3</sub>PE (+ o número da partição). Foram definidos 3 pontos para medição de T e B2 na CRPE + o número da partição.

Utilizou-se uma fonte sonora em duas posições F<sub>01</sub>PE e F<sub>02</sub>PE (+ o número da partição), à 45° da normal da fachada, localizada na CEPE + o número da partição, para geração do ruído branco, a fim de mensurar o NPS, e uma fonte sonora em uma única posição (F<sub>02</sub>T), para geração do ruído rosa, com o intuito de medir o T na CRPE + o número da partição. As distâncias e locação dos pontos podem ser visualizadas nos Quadros 26, 27 e 30.

*c) Partições verticais Internas*

As partições internas selecionadas para a análise foram definidas como PI + o número da partição. Para as medições de NPS nessas paredes, considerou-se uma câmara de recepção (CRPI + o número da partição), e uma câmara de emissão (CEPI + o número da partição) com 5 pontos na CRPI + o número da partição, R<sub>1</sub>PI, R<sub>2</sub>PI, R<sub>3</sub>PI, R<sub>4</sub>PI, e R<sub>5</sub>PI + o número da partição e 5 pontos em cada câmara de emissão (CEPI + o número da partição), E<sub>1</sub>PI, E<sub>2</sub>PI, E<sub>3</sub>PI, E<sub>4</sub>PI, e E<sub>5</sub>PI (+ o número da partição).

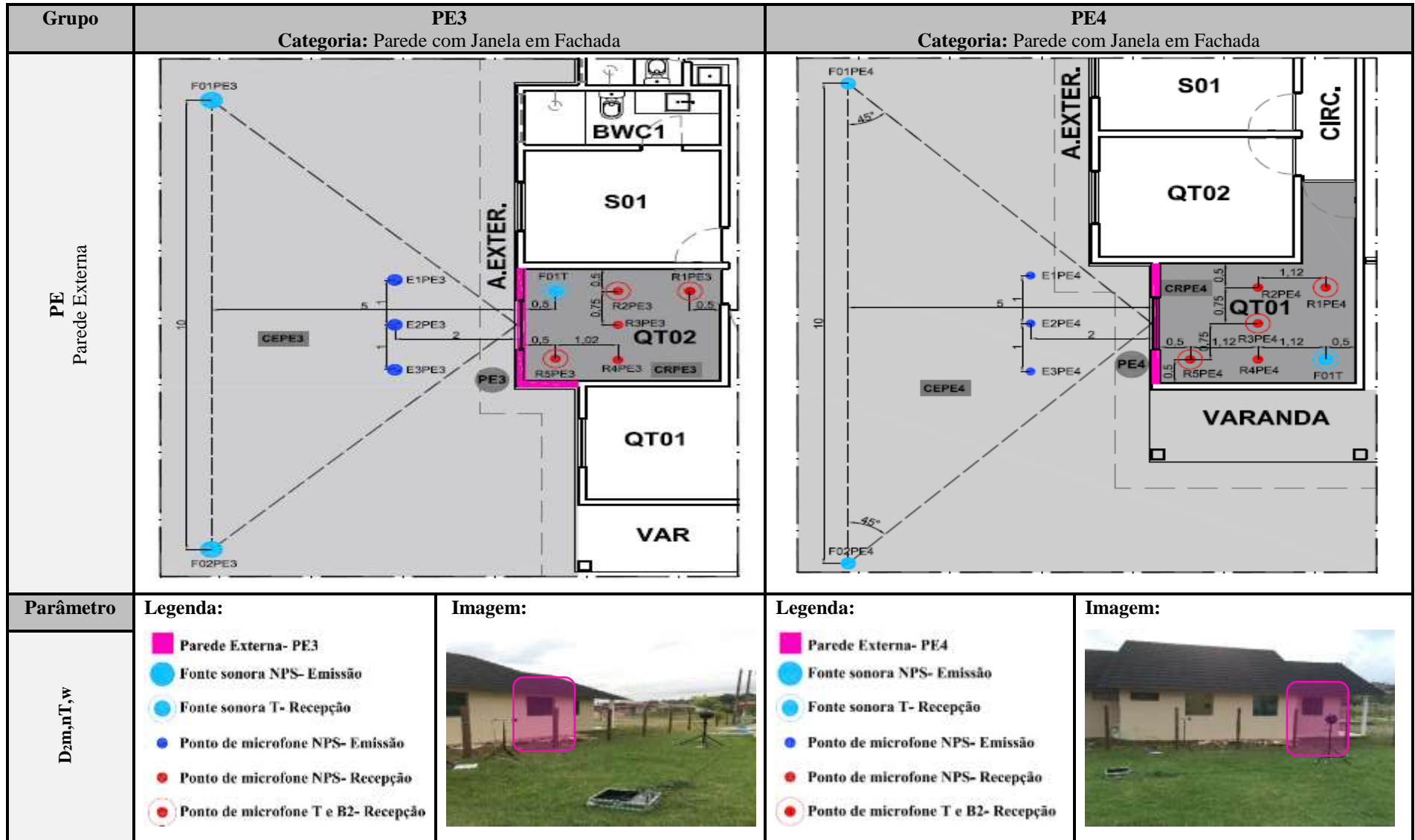
A fonte sonora omnidirecional foi utilizada em cada CE em duas posições para emissão do ruído branco: F<sub>01</sub>PI e F<sub>02</sub>PI (+ o número da partição). Os dados para mensuração de T e B2, foram utilizados segundo medições das partições externas (PE + o número da partição), tendo em vista que se referem aos mesmos ambientes analisados, não sendo necessário, assim, repetir as medições desses parâmetros. As distâncias e locação dos pontos podem ser visualizadas nos Quadros 28, 29, 31 e 32.



Quadro 26- Posicionamento dos pontos de medição das fachadas PE1 e PE2 do Objeto 01.

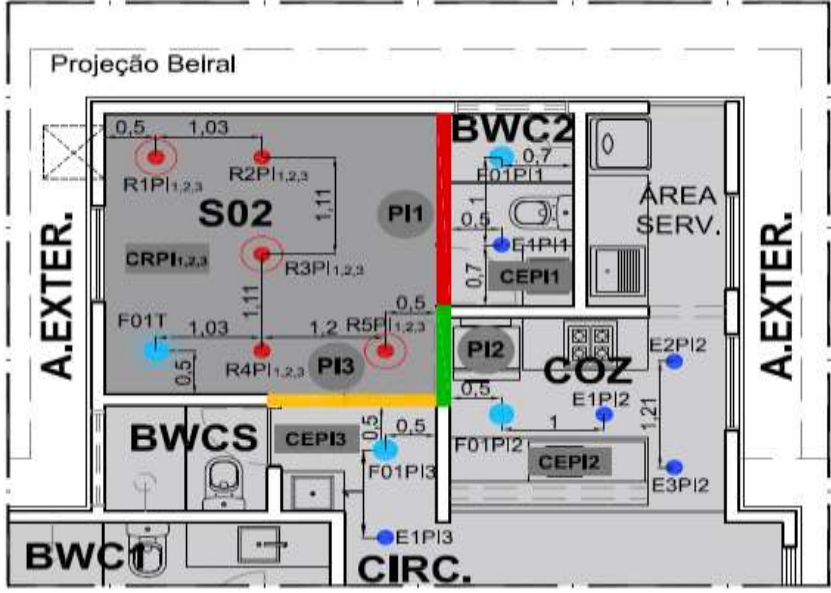
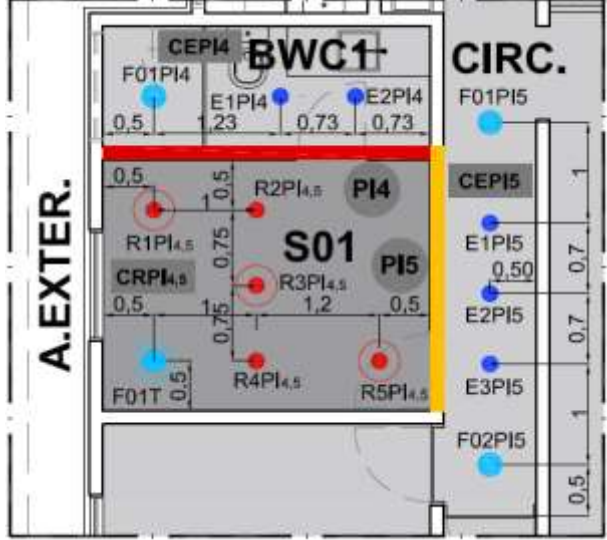


Fonte: Outubro (2015).





Quadro 27- Posicionamento dos pontos de medição das fachadas PE3 e PE4 do Objeto 01.

Fonte: Outubro (2015).

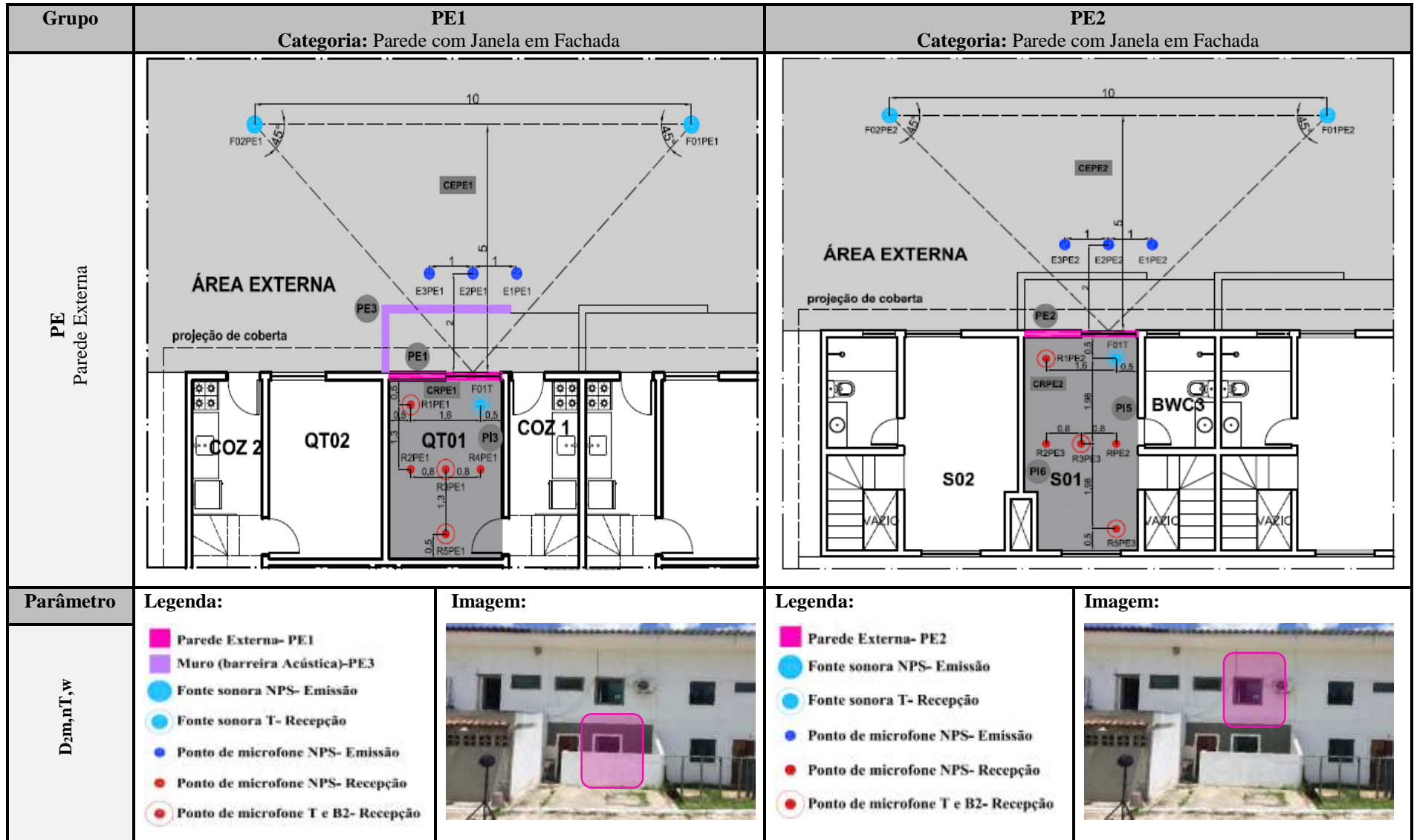
Grupo	S02 – RECEPÇÃO Categoria: Paredes com Porta e Paredes Cegas entre recintos de uma mesma unidade habitacional		S01- RECEPÇÃO Categoria: Paredes com Porta entre recintos de uma mesma unidade habitacional	
<p>PI Parede Interna</p>				
Parâmetro	<p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> Parede Interna- PI1</li> <li><span style="color: green;">■</span> Parede Interna- PI2</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Parede Interna- PI3</li> <li><span style="color: cyan;">●</span> Fonte sonora NPS- Emissão</li> <li><span style="color: lightblue;">●</span> Fonte sonora T- Recepção</li> <li><span style="color: blue;">●</span> Ponto de microfone NPS- Emissão</li> <li><span style="color: red;">●</span> Ponto de microfone NPS- Recepção</li> <li><span style="color: red;">●</span> Ponto de microfone T e B2- Recepção</li> </ul>	<p>Imagem:</p> 	<p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> Parede Interna- PI4</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Parede Interna- PI5</li> <li><span style="color: cyan;">●</span> Fonte sonora NPS- Emissão</li> <li><span style="color: lightblue;">●</span> Fonte sonora T- Recepção</li> <li><span style="color: blue;">●</span> Ponto de microfone NPS- Emissão</li> <li><span style="color: red;">●</span> Ponto de microfone NPS- Recepção</li> <li><span style="color: red;">●</span> Ponto de microfone T e B2- Recepção</li> </ul>	<p>Imagem:</p> 
DnT,w				

Quadro 28- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos S02 e S01 do Objeto 01.  
Fonte: Outubro (2015).

Grupo	<b>QT02 – RECEPÇÃO</b> Categoria: Paredes Cegas e Parede com Porta entre recintos de uma mesma unidade habitacional	<b>QT01- RECEPÇÃO</b> Categoria: Parede Cega entre recintos de uma mesma unidade habitacional		
<b>PI</b> Parede Interna				
Parâmetro	<b>Legenda:</b> ■ Parede Interna- PI6, PI8, PI10 ■ Parede Interna- PI7 ● Fonte sonora NPS- Emissão ● Fonte sonora T- Recepção ● Ponto de microfone NPS- Emissão ● Ponto de microfone NPS- Recepção ● Ponto de microfone T e B2- Recepção	<b>Imagem:</b>	<b>Legenda:</b> ■ Parede Interna- PI9 ● Fonte sonora NPS- Emissão ● Fonte sonora T- Recepção ● Ponto de microfone NPS- Emissão ● Ponto de microfone NPS- Recepção ● Ponto de microfone T e B2- Recepção	<b>Imagem:</b>
DnT,w				


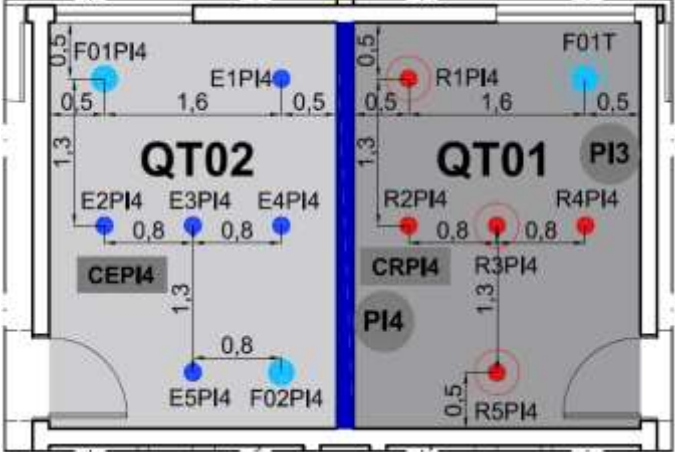


Quadro 29- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos S02 e S01 do Objeto 01.

Fonte: Outubro (2015).

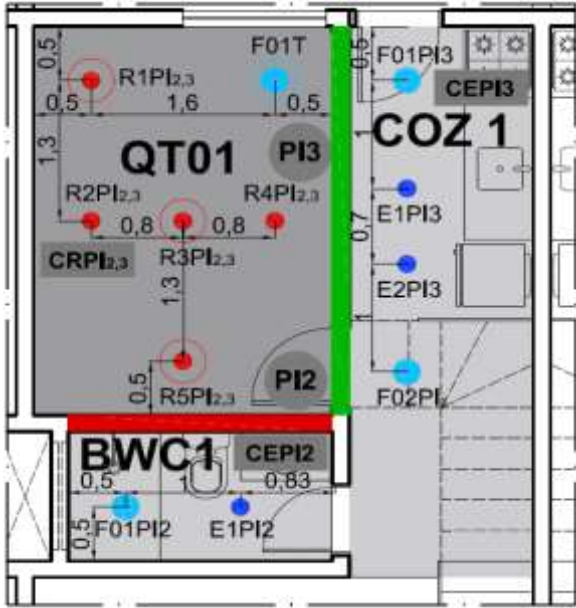
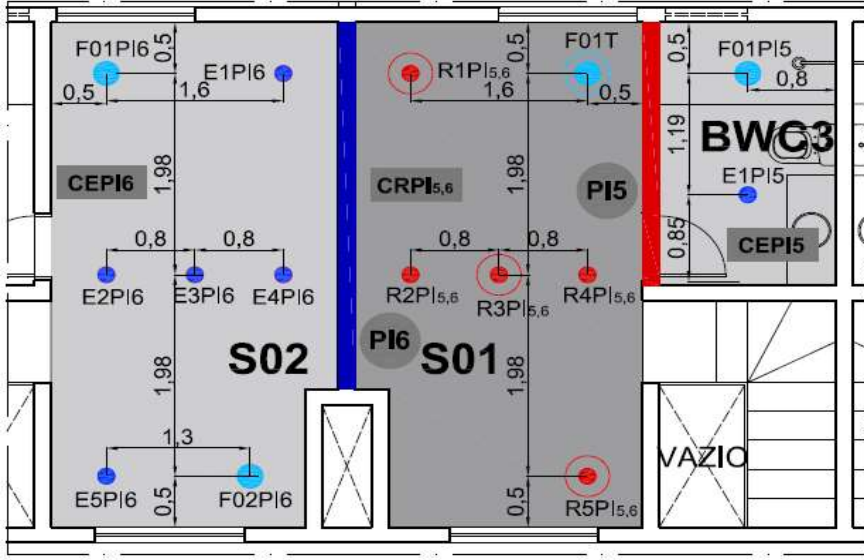




Quadro 30- Posicionamento dos pontos de medição das fachadas PE1 e PE2 do Objeto 02.  
Fonte: Fevereiro (2016).



Grupo	<b>SALA 01 – RECEPÇÃO</b> Categoria: Parede Cega entre Unidades Habitacionais Autônomas	<b>QT01- RECEPÇÃO</b> Categoria: Parede Cega entre Unidades Habitacionais Autônomas		
PI Parede Interna				
Parâmetro  DnT,w	<b>Legenda:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Parede Interna- PI1</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightblue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Fonte sonora NPS- Emissão</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Fonte sonora T- Recepção</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Ponto de microfone NPS- Emissão</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Ponto de microfone NPS- Recepção</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: white; border: 1px solid red; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> Ponto de microfone T e B2- Recepção</li> </ul>	<b>Imagem:</b> 	<b>Legenda:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Parede Interna- PI4</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightblue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Fonte sonora NPS- Emissão</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Fonte sonora T- Recepção</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Ponto de microfone NPS- Emissão</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Ponto de microfone NPS- Recepção</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: white; border: 1px solid red; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> Ponto de microfone T e B2- Recepção</li> </ul>	<b>Imagem:</b> 

Quadro 31- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos SALA 01 e QT01 do Objeto 02.  
 Fonte: Fevereiro (2016).

Grupo	<b>QT01 – RECEPÇÃO</b> Categoria: Parede Cega e Parede com Porta entre recintos de uma mesma unidade habitacional		<b>S01- RECEPÇÃO</b> Categoria: Parede com Porta e Parede Cega entre recintos de uma mesma unidade habitacional	
PI Parede Interna				
Parâmetro	<b>Legenda:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> Parede Interna- PI2</li> <li><span style="color: green;">■</span> Parede Interna- PI3</li> <li><span style="color: cyan;">●</span> Fonte sonora NPS- Emissão</li> <li><span style="color: lightblue;">●</span> Fonte sonora T- Recepção</li> <li><span style="color: blue;">●</span> Ponto de microfone NPS- Emissão</li> <li><span style="color: red;">●</span> Ponto de microfone NPS- Recepção</li> <li><span style="color: red; border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">●</span> Ponto de microfone T e B2- Recepção</li> </ul>	<b>Imagem:</b> 	<b>Legenda:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> Parede Interna- PI5</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Parede Interna- PI6</li> <li><span style="color: cyan;">●</span> Fonte sonora NPS- Emissão</li> <li><span style="color: lightblue;">●</span> Fonte sonora T- Recepção</li> <li><span style="color: blue;">●</span> Ponto de microfone NPS- Emissão</li> <li><span style="color: red;">●</span> Ponto de microfone NPS- Recepção</li> <li><span style="color: red; border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">●</span> Ponto de microfone T e B2- Recepção</li> </ul>	<b>Imagem:</b> 
DnT,w				

Quadro 32- Posicionamento dos pontos de medição dos recintos internos QT01 e S01 do Objeto 02.  
 Fonte: Fevereiro (2016)

### 3.2.1.3 Etapas das medições de isolamento acústico aéreo

#### a) Partições verticais externas

A primeira etapa realizada foi a medição dos parâmetros acústicos de NPS, T, e B2, nas partições externas dos objetos de estudo demonstradas nos Quadros 26, 27 e 30.

As câmaras de emissão foram definidas nos ambientes externos à edificação. As fontes sonoras posicionaram-se à 45° da normal da esquadria da partição avaliada, nas câmaras de emissão, a uma distância de 5m da mesma, sendo utilizada uma única fonte em duas posições.

Foram definidos 3 pontos de medição (sonômetro com microfone), estabelecidos à 2m das partições avaliadas com uma distância de 1m entre eles (Figura 62), sendo geradas 3 medições em cada ponto para cada posição de fonte, para cada partição avaliada.

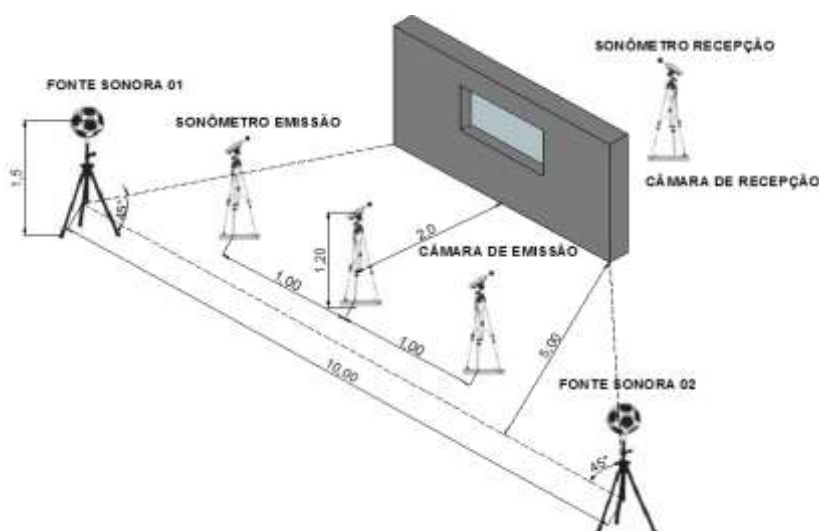


Figura 62- Perspectiva de medições de isolamento sonoro em fachadas.  
Fonte: Julho (2016).

As câmaras de recepção (CR) foram definidas na parte interna dos ambientes das partições em análise, onde foram estabelecidos 5 pontos de medição para NPS, 3 pontos para T e 3 pontos para B2.

Foram realizadas 3 medições para cada um dos parâmetros avaliados, para cada posição de fonte localizada na câmara de emissão, para cada partição. As medições iniciaram-se nas câmaras receptoras (CRs), nas quais foram mensurados os níveis de NPS, T e B2, respectivamente e posteriormente nas emissoras (CEs), com a quantificação dos níveis de NPS. Para a realização das medições de T, a fonte foi estabelecida em uma única posição nas câmaras de recepção (CRs). E para mensuração de B2, a fonte foi desligada. Todas as medições foram

realizadas nas bandas de 1/3 de oitava, nas frequências de 50 a 5000Hz, com duração de 6s para cada medição.

O corte esquemático exposto na Figura 63 demonstra como foram realizadas as medições nas fachadas do Objeto 02. O mesmo procedimento efetuado no térreo do Objeto 02 foi aplicado nas fachadas do Objeto 01.

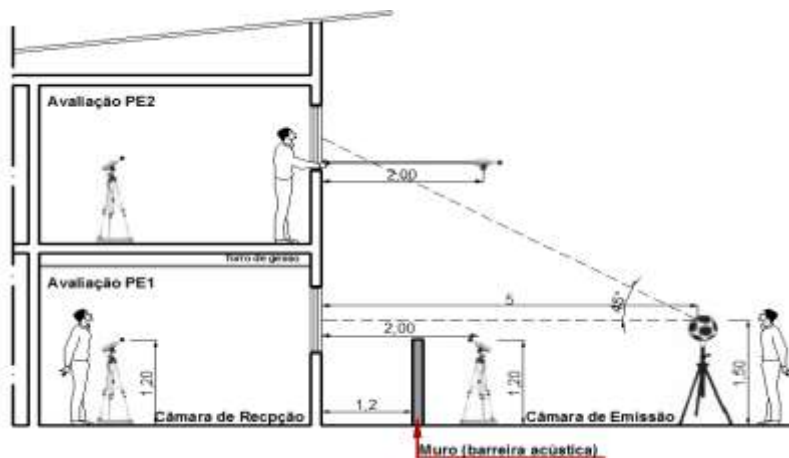


Figura 63- Corte esquemático medições de isolamento sonoro nas fachadas do Objeto 02.  
Fonte: Junho (2016).

#### *b) Partições verticais internas*

A segunda etapa procedeu com as medições do NPS nas partições internas dos objetos de estudo explanadas nos Quadros 28, 29, 31 e 32.

As câmaras de emissão foram definidas nos ambientes adjacentes às câmaras de recepção de cada partição averiguada. As fontes sonoras foram posicionadas nos cantos dos ambientes (uma única fonte com duas posições), com 5 pontos de medição (sonômetro com microfone), conforme distâncias definidas nos quadros supracitados, onde ocorreu a realização de 3 medições em cada ponto, para cada posição de fonte, salvo as exceções demonstradas nos Quadros 28, 29 e 32, quando o ambiente emissor é pequeno e não foi possível utilizar duas posições de fonte (banheiros) ou 5 pontos de emissão (cozinhas, circulações e banheiro) .

As câmaras de recepção foram estabelecidas na parte interna dos ambientes de cada partição avaliada, sendo definidos 5 pontos de medição para NPS, e 3 pontos para T e 3 pontos para B2. Foram efetuadas 3 medições para cada um dos parâmetros avaliados, para cada posição de fonte sonora localizada na câmara de emissão.



As medições começaram nas câmaras receptoras, com a medição dos níveis de NPS, prosseguindo em seguida para a quantificação do NPS nas câmaras emissoras. Como os níveis de T e de B2 já haviam sido quantificados nas medições das partições externas, uma vez que os ambientes receptores eram os mesmos, não foi necessário repetir essas medições. Todas as medições foram realizadas nas bandas de 1/3 de oitava, nas frequências de 50 a 5000Hz, com duração de 6s para cada medição.

## 4 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO

### 4.1 Análise Quantitativa

A análise quantitativa das medições se processou por intermédio da averiguação dos resultados obtidos com auxílio do *software* Solo 01 dB Bati 32 (Figura 64) com o intuito de gerar relatórios dos ensaios, com a sistematização dos resultados e verificação dos dados necessários para a confecção das equações e gráficos determinados pela ISO 717-1:1996 e assim a obtenção dos níveis de isolamento sonoro por frequência para cada parede avaliada.

Desse modo, buscou-se caracterizar o desempenho acústico das partições dos objetos de estudo selecionadas para a avaliação, em relação aos ruídos aéreos, através da obtenção da diferença padronizada de nível ponderada a dois metros da fachada ( $D_{2m,nT,w}$ ) para as partições verticais externas (fachadas) e da diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes ( $D_nT,w$ ) para as partições verticais internas (entre ambientes).

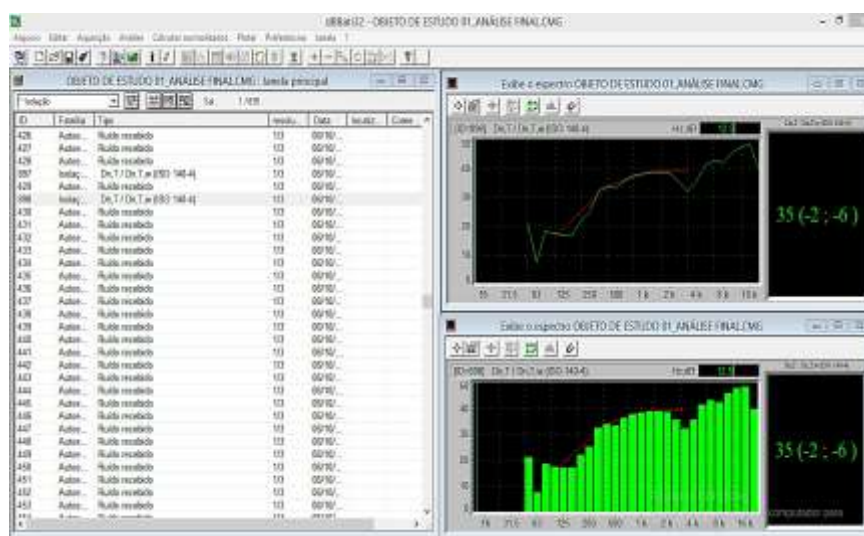


Figura 64- Sistematização dos dados no *software*.  
Fonte: Julho (2016).

#### 4.1.1 Sistematização dos resultados das medições

Os resultados fornecidos pelo *software* foram organizados e sistematizados em planilhas, para a posterior análise dos dados. Os Apêndices B e C demonstram os resultados compilados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos e em fachadas, dos parâmetros necessários para obtenção do valor global único, no Objeto 01 e os Apêndices D e E no Objeto 02.

Após a sistematização dos dados em planilhas procedeu-se com a verificação da necessidade de aplicar as correções aos resultados do ruído de fundo. De acordo a ISO 16283:2014, caso a diferença entre o nível de pressão sonora na câmara receptora (L2) e o nível de ruído de fundo (B2) seja menor que 6dB, é necessário subtrair 1,3dB de L2. Se a diferença entre o nível de pressão sonora e o de ruído de fundo for entre 6dB e 10dB, deve-se aplicar a Equação 20<sup>14</sup> descrita no capítulo 2.

Posteriormente às correções dos resultados de ruído de fundo e de posse dos valores de NPS nas câmaras receptoras (L2) e emissoras (L1), além dos valores dos tempos de reverberação (T) aplicou-se a Equação 16, exposta no capítulo 2, para a obtenção do DnT<sup>15</sup> por frequência em cada partição avaliada.

A etapa seguinte foi referente a obtenção dos valores globais ou números únicos da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w para partições internas) e da Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros (D2m,nT,w para partições externas), em razão dos procedimentos descritos na ISO 717-1:1996, determinando assim, o índice de isolamento sonoro de cada partição avaliada *in loco*. Foram calculados ainda os coeficientes de adaptação de espectro de ruído rosa (C) e de adaptação de espectro de ruído de trânsito (Ctr) (Equação 23, capítulo 2)<sup>16</sup>.

Os dados de DnT por frequência foram compilados em tabelas de acordo com o Grupo (PE ou PI) e o objeto de estudo (Objeto 01 ou Objeto 02), resultando em quatro tabelas expostas a seguir. As ordens dos resultados nas partições internas seguiu o parâmetro Categoria (parede com porta ou parede cega) para que fosse possível avaliar o desempenho acústico em virtude da composição da parede, uma vez que não é possível comparar os desempenhos de paredes com portas com os desempenhos de paredes cegas, tendo em vista que o isolamento de uma parede composta (com porta) em geral, é menor frente ao isolamento de uma parede sem aberturas.

Foram confeccionadas também duas tabelas (uma para cada objeto de estudo) com o intuito de descrever detalhadamente a composição de cada partição avaliada, indicando as áreas de cada componente e sua relação percentual com a totalidade da parede.

As curvas de isolamento sonoro por frequência, segundo os parâmetros estabelecidos na ISO 717-1:1996, em função da curva de referência e o deslocamento da mesma a partir

<sup>14</sup>  $L = 10 \log (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10})$  dB

<sup>15</sup>  $DnT = D + 10 \log (T/T_0)$  dB

<sup>16</sup>  $C_j = X_{A_j} - X_w$  dB

da adaptação dos espectros C e Ctr de cada partição estão explanadas em gráficos nos Apêndices F e G para o Objeto 01, e Apêndices H e I para o Objeto 02.

#### 4.1.1.1 Resultados de isolamento sonoro- Objeto 01

As características gerais de cada partição avaliada do Objeto 01, com os resultados de isolamento sonoro correspondentes, bem como os resultados por frequência e a planta baixa com as paredes avaliadas e respectivos índices de isolamento sonoro estão expostos na Figura 65 e nas Tabelas 16 e 17.

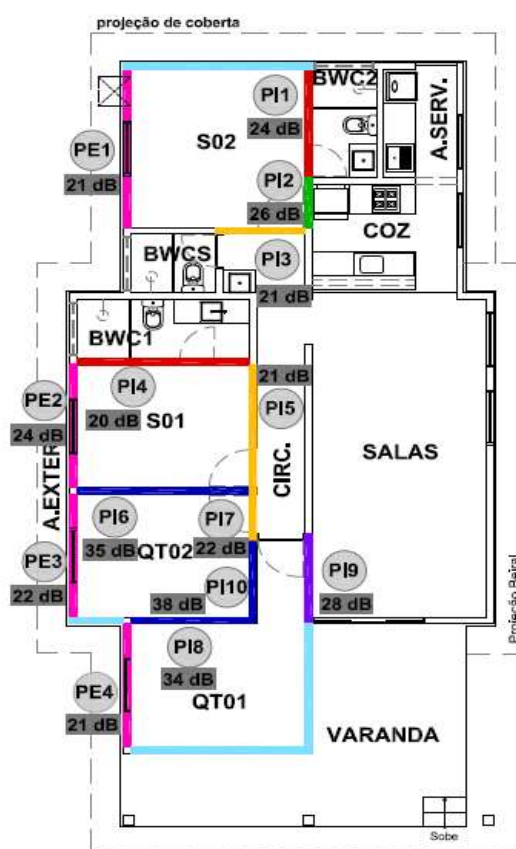


Figura 65- Planta baixa Objeto 01 com as partições avaliadas e resultados de isolamento sonoro.  
Fonte: Julho (2016).

A partir da análise dos resultados de isolamento sonoro das partições internas avaliadas elucidados na Tabela 16, comprova-se que o desempenho acústico nas paredes com porta em suas configurações é prejudicado em função da presença desse elemento. Notam-se desempenhos mais eficientes para as paredes cegas, obtendo-se diferenças de mais de 15 dB, quando comparados os índices de isolamento sonoro de paredes com portas e de paredes cegas.

Dessa forma, é importante destacar que as paredes compostas que possuem esquadrias tendem a apresentar um isolamento sonoro minorado em razão desses elementos.

Tabela 17- Caracterização da composição das partições avaliadas no Objeto 01 e os índices de isolamento sonoro

Nomenclatura	Parâmetro	Categoria	Material construtivo	Área (m <sup>2</sup> )	% Partição	Resultados em Campo dB
PI1 S02xBWC2	D <sub>nT,w</sub>	Entre recintos Parede com porta de giro (1 folha)	Perfis de aço galvanizado 90mm + placas cimentícias 10mm + placas de gesso acartonado 10mm com acabamento em massa e pintura (sem utilização de lâ de rocha). Porta de madeira 80cm (dormitórios) e 60cm (banheiros) sarrafeada semi-ôca com acabamento em pintura.	4.68	78.79	24 (-2;-1)
				1.26	21.21	
PI3 S02xCIRC	D <sub>nT,w</sub>			2.775	62.29	21 (0;-1)
				1.68	37.71	
PI4 S01xBWC1	D <sub>nT,w</sub>			7.38	85.42	20 (0;0)
				1.26	14.58	
PI5 S01xCIRC	D <sub>nT,w</sub>			5.07	75.11	21 (-1;-1)
				1.68	24.89	
PI7 QT02xCIRC	D <sub>nT,w</sub>			0.83	33.10	22 (-3;-3)
				1.68	66.90	
PI2 S02xCOZ	D <sub>nT,w</sub>	Entre recintos Parede cega	Perfis de aço galvanizado 90mm + placas cimentícias 10mm + placas de gesso acartonado 10mm com acabamento em massa e pintura (sem utilização de lâ de rocha).	3.078	100	26 (2;-2)
PI6 QT02xS01	D <sub>nT,w</sub>			8.64	100	35 (-5;-10)
PI8 QT02xQT01	D <sub>nT,w</sub>			5.64	100	34 (1;-3)
PI9 QT01xSALAS	D <sub>nT,w</sub>			4.62	100	38 (-10;-10)
PI10 QT02xQT01	D <sub>nT,w</sub>			4.24	100	33 (0;-6)
PE1 S02	D <sub>2m,nT,w</sub>	Fachada Parede com Janela de correr (2 folhas)	Perfis de aço galvanizado 90mm + placas cimentícias 10mm + manta de impermeabilização, com acabamento em massa e pintura + lâ de rocha 51mm. Janela de alumínio + vidro 4mm translúcido (sem vedação entre as folhas). Vão da caixa do ar-condicionado preenchido com isopor com espessura de 40 mm	7.24	83.80	21 (0;1)
		Vão da caixa do ar- condicionado		1.10	12.73	
	0.30			3.47		
PE2 S02	D <sub>2m,nT,w</sub>	Fachada Parede com Janela de correr (2 folhas)		5.65	83.70	24 (-2;-2)
				1.10	16.30	
PE3 QT02	D <sub>2m,nT,w</sub>			5.65	83.70	22 (-3;-3)
				1.10	16.30	
PE4 QT01	D <sub>2m,nT,w</sub>	5.65		83.70	21 (-5;-5)	
		1.10		16.30		

Fonte: Julho (2016).

Tabela 18- Isolamento Sonoro em função da frequência- Objeto 01 (paredes internas)

Categoria	Nomenclatura	Ambientes	DnT (dB) por Frequência (Hz)																			Parâmetro Acústico		
			50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	DnT,w (C;Ctr) (dB)
Entre Recintos- Interna Parede com Porta	(PI1)	S02xBWC2 Suíte 02 x BWC2	18,8	23,5	24,2	22,8	26,5	20,3	26,2	26	18	22,6	23,9	21,7	24,9	24,9	23,8	26	23,1	22,7	19,4	20,7	22,6	24 (-2;-1)
	(PI3)	S02xCIRC. Suíte 02 x Circulação	18,9	28	23,6	17,1	8,6	15	14,3	18	18	20,8	21,3	22,3	21,9	21,8	24,3	22,7	21,9	20,2	20,2	21,1	22,1	21 (0;-1)
	(PI4)	S01xBWC1 Suíte 01 x BWC1	19,6	12,9	18,9	21,2	24,4	17,1	22,3	18,9	20,7	18,4	19,6	20,5	19,8	20,6	21,3	21,3	21,1	19	16,9	18	20,5	20 (0;0)
	(PI5)	S01xCIRC. Suíte 01 x Circulação	25,6	18,8	19,4	17,8	21,2	22,4	20,5	19,1	19,8	22,3	21,4	21,5	21,9	22,6	23,4	21,4	22,5	21,1	20,4	22,5	24,9	21 (-1;-1)
	(PI7)	QT02xCIRC. Quarto 02 x Circulação	26,4	13,1	21,2	20,3	22	22,7	22	22,3	21,3	23,5	22	21,2	21,4	21,2	22,7	228,8	227,7	21,9	19,7	20,2	22,7	22 (-3;-3)
Entre Recintos- Interna Parede Cega	(PI2)	S02xCOZ Suíte 02 x Cozinha	21,8	24,9	33,3	30,3	23,6	24,1	28	28	27,3	25,7	26	28,1	27,8	29	29	29,5	29,3	28,3	26,6	26,6	27,8	26 (2;-2)
	(PI6)	QT02xS01 Quarto 02 x Suíte 01	26,5	17,1	15,2	14,6	12,8	14,5	18,8	25,4	32,2	32,9	34,5	38	39,4	40,3	41,4	41,8	41,5	39,2	35,2	38,8	44,1	35 (-5;-10)
	(PI8)	QT02xQT01 Quarto 02 x Quarto 01	25,9	29,5	22	25,8	19	20,1	24	26,4	33,7	33,5	34	37,6	39,4	40	40,9	40,1	39,9	37,2	33,7	37,1	42,8	34 (1;-3)
	(PI9)	QT01xSALAS Quarto 01 x Salas	30,1	22,5	22,9	24	24,9	23,4	27	27,7	28,2	28,7	38,1	28,6	29,1	28,7	28,7	28,8	28,3	27,1	25,1	25,8	28,5	38 (-10;-10)
	(PI10)	QT02xQT01 Quarto 02 x Quarto 01	22,4	8	17,1	17,1	16,3	17,3	21,6	25,2	32	33,3	33,1	35,8	37,4	37,9	38,7	38,5	38,3	35,5	32,1	35,4	41,3	33 (0;-6)
Fachada- Externa Parede com Janela	(PE1)	S02 Suíte 02 x Área Externa	15,1	18,9	25,4	26	16,5	15,4	20,6	24,4	21,2	23,3	21,1	20,4	20,6	22,5	23,5	24,9	22,9	20,8	21,2	23,4	24,5	21 (0;1)
	(PE2)	S01 Suíte 01 x Área Externa	19,3	15	23,3	20,9	22,6	20,2	23,7	26,9	27,2	26,5	23,7	25,4	24,2	25,9	27,1	28,1	25,8	24,6	20,8	22,9	26,1	24 (-2;-2)
	(PE3)	QT02 Quarto 02 x Área Externa	25,6	11,8	18,3	16,6	21,2	18	19,8	23,8	22,3	24,7	21,8	22,6	20,5	22,9	23,9	23	18,8	18	18,3	19,6	23,1	22 (-3;-3)
	(PE4)	QT01 Quarto 01 x Área Externa	25,1	25,2	23,8	18,8	14,2	13,3	17,6	22,6	24,8	24,9	20,8	18,1	20,6	21,1	22	20,3	15,3	18,4	17,9	18,2	19,8	21 (-5;-5)

Fonte: Julho (2016).

Em ambas as categorias, os desempenhos acústicos foram semelhantes, com exceção da PI2, que demonstrou um índice de isolamento sonoro abaixo da média das outras paredes de sua categoria (paredes cegas), sendo seu comportamento acústico semelhante aos desempenhos das paredes da categoria com porta. Essa deficiência, pode ter ocorrido, em virtude da área reduzida, em relação às demais paredes de sua categoria, bem como da proximidade com as paredes PI1 e PI3, que apresentam portas em sua composição.

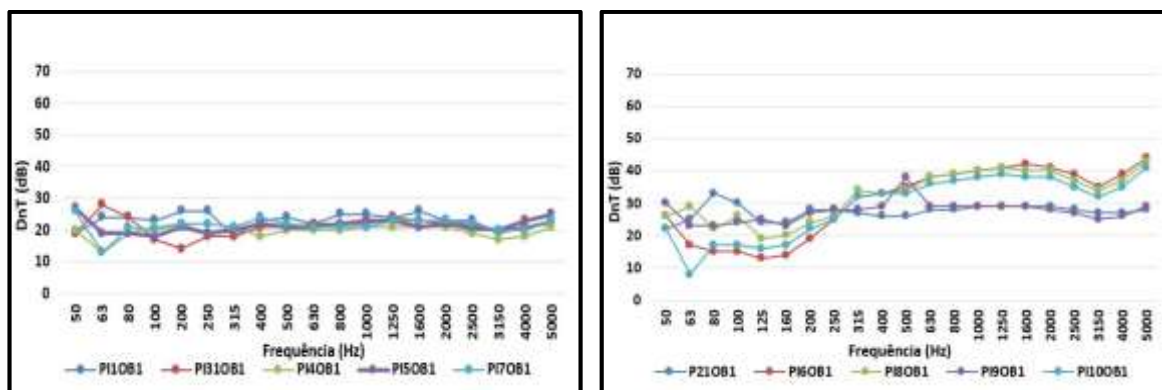


Gráfico 1 e 2- Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes internas com portas e paredes cegas respectivamente (Objeto 01).  
Fonte: Julho (2016).

Ao analisar a Tabela 17 e os Gráficos 1 e 2 fica evidente que isolamento sonoro das paredes é fortemente dependente da frequência do som incidente. As paredes com portas apresentam melhores índices de desempenho acústico na faixa das baixas frequências (50 à 200 Hz), e as paredes cegas nas faixas das médias (200 à 2000 Hz) e das altas frequências (2000 à 5000 Hz). Isso demonstra que o potencial de isolamento das paredes com portas, por apresentarem uma densidade menor, tendo em vista a existência das aberturas, está associado a frequência de ressonância que condiciona seu desempenho acústico. Por outro lado, nas paredes cegas o isolamento sonoro é controlado pela massa e pelo fenômeno da coincidência. À vista disto, constata-se que como nas paredes com portas as frequências predominantes são as baixas, o isolamento sonoro global é menor, já que as baixas frequências são menos passíveis ao isolamento que as altas frequências.

Os resultados adquiridos nas partições internas foram correlacionados com os critérios de percepção da fala elencados por Gerges (2000) no capítulo 02, com o intuito de verificar a qualificação do isolamento em razão da percepção da fala (Tabela 18).

Percebe-se que todas as paredes com porta apresentaram uma qualificação do isolamento “pobre”, ou seja, uma conversação normal através da parede é facilmente compreendida. As paredes cegas demonstraram qualificação do isolamento regular e bom, o que significa que das

quatro paredes avaliadas, apenas na PI9, a conversa normal é audível, porém em voz alta é minorada, nas demais paredes, é possível ouvir a conversação em voz alta, contudo a conversação normal não é bem compreendida.

Tabela 19- Qualificação do isolamento sonoro em razão da percepção da fala das partições internas do Objeto 01

Partição		Resultados em Campo (dB)	Referência para Qualificação do Isolamento (dB)				
			< 30 Pobre	30 à 35 Regular	35 à 40 Bom	40 à 45 Muito bom	>45 Excelente
Com Porta	(PI1)	24	X				
	(PI3)	21	X				
	(PI4)	20	X				
	(PI5)	21	X				
	(PI7)	22	X				
Cega	(PI2)	26	X				
	(PI6)	35		X			
	(PI8)	34		X			
	(PI9)	38			X		
	(PI10)	33		X			

Fonte: Julho (2016).

No que tange ao desempenho acústico das paredes externas, da categoria fachadas, com janelas em sua composição, averiguou-se comportamentos similares, com diferenças de no máximo 3 dB entre os índices de isolamento sonoro. As partições PE1, PE3 e PE4 retrataram índices de isolamento mais baixos que a PE2, possivelmente devido a existência de paredes externas adjacentes (Figura 65- paredes destacadas na cor azul clara), o que não acontece na PE2. Além disso, a PE1 possui em sua conformação a presença da caixa do ar condicionado, elemento que também pode ter contribuído para a atenuação do seu desempenho.

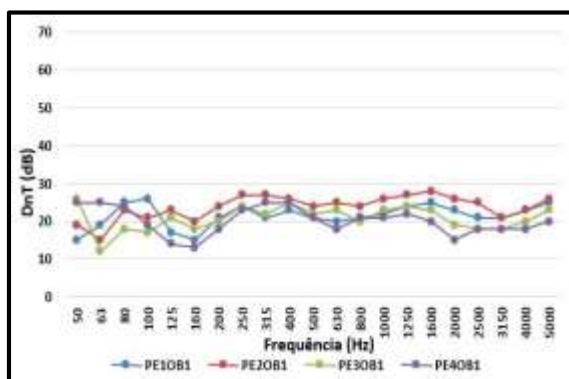


Gráfico 3 - Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes externas (Objeto 01).  
Fonte: Julho (2016).

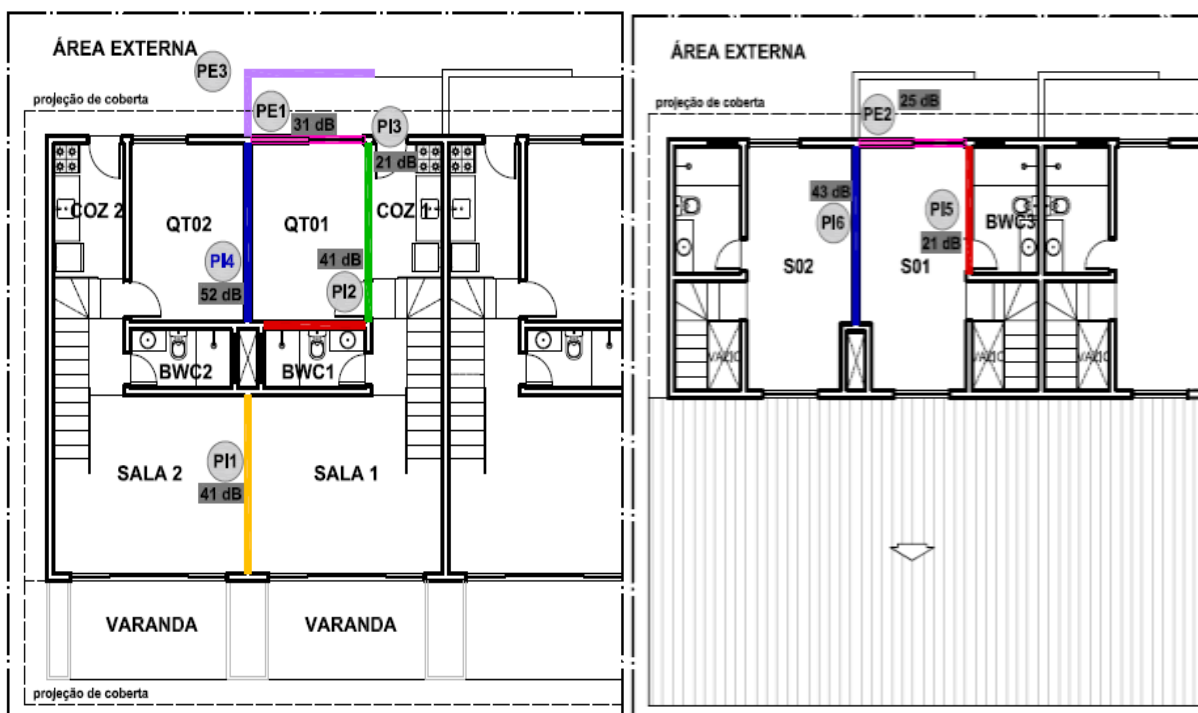
A partir da observação dos dados da Tabela 17 e do Gráfico 3 verifica-se na PE1, PE3 e PE4 que o desempenho acústico apresenta maior eficiência na faixa das baixas



frequências, assim como, atestou-se nas paredes internas com portas, em função da menor densidade das partições devido a existência de aberturas. Contudo, na PE2, apesar de apresentar uma janela em sua configuração, assim como as demais partições externas, o desempenho é mais efetivo na faixa das médias frequências, o que possibilitou um índice de isolamento global mais significativo, uma vez que, as faixas de frequências mais altas possibilitam desempenho acústico mais eficazes.

#### 4.1.1.2 Resultados de isolamento sonoro- Objeto 02

As características gerais de cada partição avaliada do Objeto 02 e os resultados de isolamento sonoro estão expostos na Tabela 19 e nas Figuras 66 e 67, além dos resultados de isolamento sonoro por frequência na Tabela 20.



Figuras 66 e 67- Plantas baixas Objeto 02 com as partições avaliadas e resultados de isolamento sonoro.  
Fonte: Julho (2016).

Tabela 20- Caracterização da composição das partições avaliadas no Objeto 02 e resultados das medições

Nomenclatura	Parâmetro	Categoria	Material construtivo	Área (m <sup>2</sup> )	% Partição	Resultados em Campo (dB)
PI3 QT01xCOZ	D <sub>nT,w</sub>	Entre recintos Parede com porta de giro (1 folha)	Perfis de aço galvanizado 90mm + placas cimentícias 10mm + placas de gesso acartonado 10mm com acabamento em massa e pintura (sem utilização de lâ de rocha). Porta de madeira 80cm (dormitórios) e 60cm (banheiro) sarrafeada semi-ôca com acabamento em pintura.	7.68	82.05	21 (1;1)
				1.68	17.95	
PI5 S01xBWC3	D <sub>nT,w</sub>			4.93	79.65	21 (-1;-1)
				1.26	20.35	
PI1 SALA01xSALA02	D <sub>nT,w</sub>			1.26	20.35	
				9.10	100	
PI2 QT01xBWC1	D <sub>nT,w</sub>	Entre recintos Parede cega	Perfis de aço galvanizado 90mm + placas cimentícias 10mm com acabamento em massa e pintura + lâ de rocha 51mm.	5.98	100	41 (-1;-10)
PI4 QT01xQT02	D <sub>nT,w</sub>			9.36	100	52 (-5;-16)
PI6 S01xS02	D <sub>nT,w</sub>			8.64	100	43 (-2;-7)
PE1 QT01	D <sub>2m,nT,w</sub>			Fachada Parede com Janela de correr (2 folhas)	Perfis de aço galvanizado 90mm + placas cimentícias 10mm + manta de impermeabilização, com acabamento em massa e pintura + lâ de rocha 51mm. Janela de alumínio + vidro 4mm translúcido (sem vedação entre as folhas).	4.99
		1.25	20.04			
PE2 S01	D <sub>2m,nT,w</sub>	4.99	79.96			25 (-4;-4)
		1.25	20.04			

Fonte: Julho (2016).

Assim como na análise dos resultados das partições internas do Objeto 01, averiguou-se, a partir da observação dos dados das partições do Objeto 02 (Tabela 19) que as paredes com portas expressam menores índices de isolamento sonoro quando comparadas as paredes cegas, conforme foi apurado na seção anterior, devido a densidade menor dessa categoria de partições, graças a existência das aberturas. Porém, como a composição das paredes nos dois objetos é diferente (o Objeto 02 possui lâ de rocha na cavidade de ar e o Objeto 01 não possui), o desempenho acústico das paredes cegas no Objeto 02 foi mais elevado, constatando-se que a presença do absorvedor acústico na conformação dessa categoria de paredes configura-se como elemento de relevância para obtenção de níveis de isolamento sonoro mais eficientes.

Tabela 21- Isolamento Sonoro em função da frequência- Objeto 02 (paredes internas)

Categoria	Nomenclatura	Ambientes	DnT (dB) por Frequência (Hz)																			Parâmetro Acústico		
			50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	DnT,w (C;Ctr) (dB)
Entre Recintos- Interna Parede com Porta	(PI3)	<b>QT01xCOZ</b> Quarto 01 x Cozinha	29,7	34,1	32,3	27,6	23,6	19,7	18,6	20,8	19,5	16,1	20,7	23,3	23,1	25	24,6	24,4	24,4	22,6	20,4	21,2	24,7	21 (1;-1)
	(PI5)	<b>S01xBWC3</b> Suíte 01 x BWC3	35,6	35,7	17,7	20,9	27,5	24,7	22,5	25	19,4	19,2	21,3	21,8	23,8	26,1	25,4	24,8	24,8	22,9	20,1	21,5	23,1	21 (-1;-1)
Entre Recintos- Interna Parede Cega	(PI1)	<b>SALA01xSALA02</b> Sala 01 x Sala 02	20,7	26,8	31,8	24,7	33,1	37,9	38,4	39,7	40,6	40,4	40,8	40,3	42,3	43,1	44,2	43,7	44,7	45,1	46,1	47,4	47,9	41 (2;-3)
	(PI2)	<b>QT01xBWC1</b> Quarto 01 x BWC1	32,7	31,3	22,3	12,1	36,4	33,3	34,3	33,9	36,9	36,5	41,4	42,2	43,9	45,6	44,5	47,2	47,6	43,2	39,1	42,4	47,4	41 (-10;-10)
	(PI4)	<b>QT01xQT02</b> Quarto 02 x Quarto 01	27,2	18,1	19,6	23,4	36	33,4	38,4	44,4	44,7	48,1	51,8	53	54,2	56	58	58,7	58,3	53,8	53,1	59,1	62,8	52 (-5;-16)
	(PI6)	<b>S01xS02</b> Suíte 01 x Suíte 02	25,6	29,1	20,6	23,7	32,7	35,9	35,1	39,4	36,8	39,6	43,2	44,1	41,9	42,2	44,2	45,7	46,6	44,4	43	46,1	48,9	43 (-2;-7)
Fachada- Externa Parede com Janela	(PE1)	<b>QT01</b> Quarto 01 x Área Externa	29	33,2	32,8	30,8	35,6	27,6	25,4	25,6	26,3	27,4	31,4	29,1	25,7	26,3	30,2	29,7	26,2	27,9	27,5	28,1	26,3	31 (-7;-7)
	(PE2)	<b>S01</b> Suíte 01 x Área Externa	32,3	33	17,6	21,4	28,7	27	24,8	28,9	23,8	25,4	24,7	23,9	22	25,6	27,2	24,6	20,4	21,3	22,2	22,3	25,3	25 (-4;-4)

Fonte: Julho (2016)

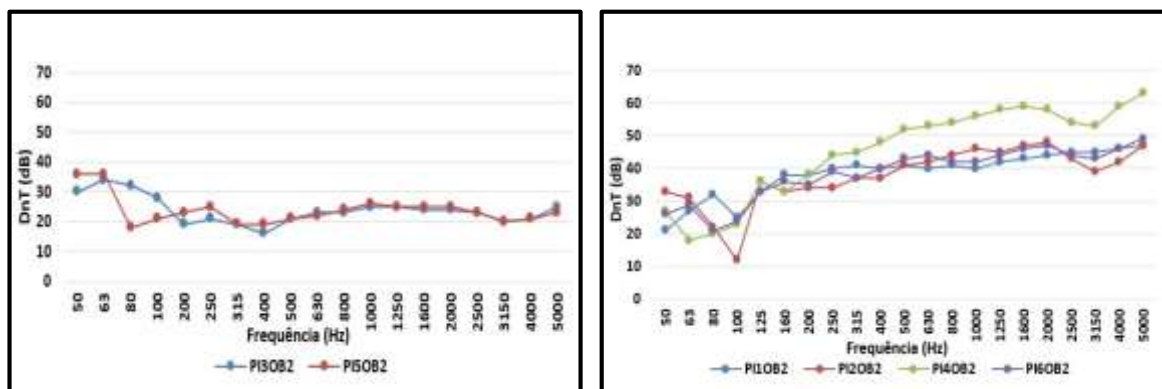


Gráfico 4 e 5- Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes internas com portas e paredes cegas respectivamente (Objeto 02).

Fonte: Julho (2016).

De acordo com a análise dos dados da Tabela 20, bem como dos Gráficos 3 e 4 percebe-se que as partições internas com portas indicam índices de isolamento sonoro mais efetivos na faixa das baixas frequências, e em contrapartida, as paredes cegas denotam índices mais elevados na faixa das altas frequências, assim como foi atestado nas análises do Objeto 01. É relevante destacar que, apesar da utilização da lã de rocha na cavidade de ar em todas as paredes de ambas as categorias, os valores de isolamento sonoro das paredes com porta são semelhantes aos resultados das partições do Objeto 01 que não possui o absorvedor acústico. Essa constatação pode ser visualizada no Gráfico 6. Logo, é possível concluir que a aplicação do absorvedor acústico é relevante para o aperfeiçoamento do desempenho acústico em partições simples, não atuando de forma significativa em paredes compostas.

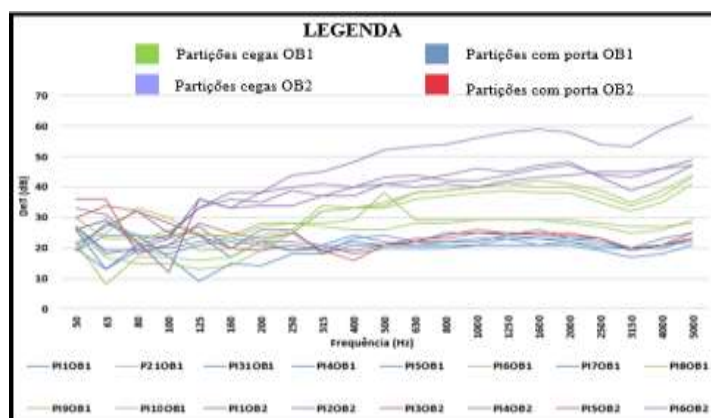


Gráfico 6 –Comparativo do isolamento sonoro em função da frequência em paredes internas- Objeto 01 e Objeto 02.

Fonte: Julho (2016).

Nas paredes cegas os índices de isolamento sonoro são similares, contudo, a PE4 apresenta um valor de 52 dB, com 9 dB a mais que a PE6, e ambas são partições entre recintos com uma mesma tipologia (dormitório-dormitório) e possuem a mesma composição. Possivelmente o

desempenho menor da PE6 está associado ao fato do ambiente apresentar maior área, já que ambientes menores tendem a retratar índices de isolamento mais elevados, tal como, da presença de uma janela alta na parede adjacente, ou ainda, por imperfeições ocasionadas na montagem. Contudo, o último aspecto não pode ser comprovado, tendo que em vista que para comprová-lo, a pesquisa precisaria ter acompanhado a obra desde sua concepção para verificar as técnicas e mão de obra empregadas.

Ao analisar a qualificação isolamento sonoro promovido pela partições internas do Objeto 02 em função da percepção da fala, a partir dos requisitos explanados por Gerges (2000) no Quadro 2 do capítulo 2, denota-se, assim como foi evidenciado no Objeto 01, que as paredes com porta demonstraram uma qualidade de isolamento “pobre”. Já as paredes cegas apresentaram isolamento “Muito bom”, no qual a conversa normal é audível, mas em voz alta é amenizada e “Excelente”, o que significa que os sons muito altos são percebidos de forma branda, atestando a significância do absorvedor acústico para a melhoria do desempenho sonoro nessas partições (Tabela 21).

Tabela 22- Qualificação do isolamento sonoro em razão da percepção da fala das partições internas do Objeto 02

Partição		Resultados em Campo (dB)	Referência para Qualificação do Isolamento (dB)				
			< 30 Pobre	30 à 35 Regular	35 à 40 Bom	40 à 45 Muito bom	>45 Excelente
Com Porta	(PI3)	21	X				
	(PI5)	21	X				
Cega	(PI1)	41				X	
	(PI2)	41				X	
	(PI4)	52					X
	(PI6)	43				X	

Fonte: Julho (2016).

Em relação as paredes externas (fachadas com esquadrias) do Objeto 02, os índices de isolamento sonoro também assemelham-se aos valores adquiridos no Objeto 01 (Gráfico 7). A PE1 apresentou um valor de isolamento de 31 dB, contudo, conforme foi descrito na etapa 1 do capítulo 3, possivelmente a existência da barreira acústica (muro) beneficiou o desempenho acústico dessa partição. Ambas as partições, PE1 e PE2 demonstraram índices de isolamento maiores nas baixas frequências, o que pode ser verificado no Gráfico 8.

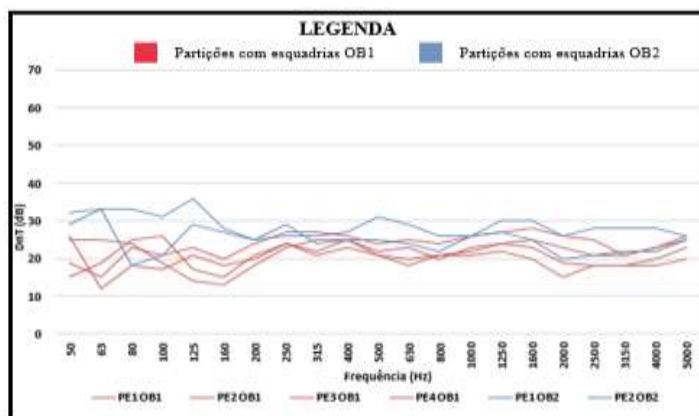


Gráfico 7 - Comparativo do isolamento Sonoro em função da frequência em paredes externas- Objeto 01 e Objeto 02.

Fonte: Julho (2016).

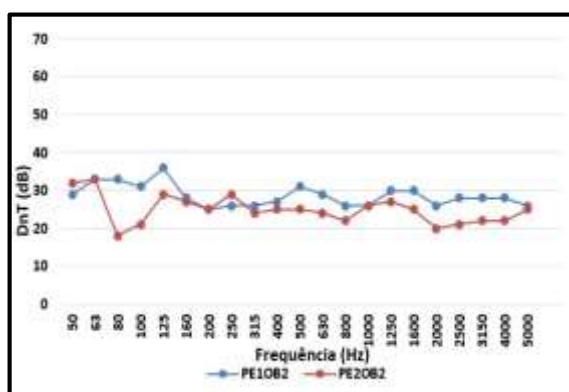


Gráfico 8 - Isolamento Sonoro em função da frequência em paredes externas- Objeto 02.

Fonte: Julho (2016).

## 4.2 Análise Qualitativa

A NBR 15575:2013 contempla índices de referência para partições externas de dormitórios em fachadas, para partições internas entre edificações autônomas e para partições internas entre edificações e áreas sociais comuns à diversas residências, não estimando requisitos para isolamento entre ambientes de uma mesma edificação, enfatizando assim, parâmetros de isolamento apenas em habitações multifamiliares ou geminadas.

Contudo, em virtude das diversificadas funções desenvolvidas em uma residência, é essencial a existência de referências para prever o isolamento em partições internas de uma mesma unidade habitacional, possibilitando assim assegurar os limites máximos de ruído em um ambiente, com o intuito de propiciar conforto acústico em todas as edificações residenciais, independente se possuem ligação com outras edificações ou não.

Dessa forma, foi fundamental a pesquisa de normas que considerassem critérios para avaliação em paredes de uma mesma unidade habitacional, uma vez que o Objeto 01 é uma edificação unifamiliar e suas paredes internas não são geminadas, visando a realização de uma análise qualitativa completa nos dois objetos de estudo. Optou-se pela realização dos ensaios em todas as partições que apresentam características significativas para a obtenção do conforto acústico, sendo elas pertencentes a uma mesma unidade habitacional, ou a unidades habitacionais autônomas.

Assim, as partições concernentes a uma mesma unidade habitacional que não apresentam associação com outra unidade foram avaliadas segundo as normas HUD:1967 e HAL:2012, descritas no capítulo 2. Mesmo diante da utilização normas supracitadas além da norma nacional, vale salientar, que nenhuma das normas empregadas para as análises comparativas dispunha de parâmetros que se enquadrassem em todas as partições consideradas nesse estudo.

A análise qualitativa realizou-se segundo a confecção de tabelas, apresentando a comparação dos resultados adquiridos na análise e diagnóstico, com os índices de isolamento previstos na NBR 15575-4:2013 (a), além da equiparação com os regulamentos acústicos internacionais, dos Estados Unidos- HUD:1967 e CEQR:2012 (b) e da França- HAL:2012 (c), descritos no capítulo 2, e com estudos existentes em sistemas construtivos em alvenaria (d) e outros sistemas construtivos industrializados (e), também citados no capítulo 02. Foram confeccionadas tabelas distintas para cada um dos itens acima explanados.

O objetivo desta análise comparativa foi verificar se o desempenho acústico dos objetos de estudo adequa-se aos parâmetros estabelecidos nas normas nacionais e internacionais, averiguando se os índices de isolamento em campo aferidos são capazes de proporcionar conforto acústico, segundo os critérios definidos nas normas. Além de atestar se o sistema construtivo em questão apresenta valores de isolamento sonoro compatíveis com outros sistemas construtivos difundidos no mercado da construção civil nacional.





#### 4.2.1 NBR 15575:2013 (a)

Os resultados de isolamento sonoro de todas as partições internas e externas dos Objetos 01 e 02 foram comparados com os critérios previstos na NBR 15575:2013 (Tabelas 22 e 23), com o intuito de constatar o nível de desempenho desses elementos, se atendem ou não a norma, verificando também, a que nível atendem (mínimo, intermediário, ou superior). A norma

considera os Objetos 01 e 02 como uma habitações localizadas distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas. (Classe de ruído I- até 60 dB). Os resultados estão descritos nas Tabelas 22 e 23.

Destaca-se que a norma não define critérios de avaliação para nenhuma das paredes internas do Objeto 02. Dessa forma, foi possível somente avaliar o nível de desempenho das paredes externas (Tabela 22). Como a edificação enquadra-se na Classe de Ruído I, os parâmetros de classificação do desempenho considerados são  $\geq 20$  (mínimo),  $\geq 25$  (intermediário) e  $\geq 30$  (superior), conforme elucida a Tabela 22, constata-se que todas as fachadas analisadas (PE1, PE2, PE3 e PE4) obtiveram valores de isolamento sonoro que correspondem ao requisito mínimo, atendendo assim aos requisitos presentes na norma.

Tabela 23- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes do Objeto 01 e os parâmetros da NBR 15575:2013






Grupo Categoria	Nomenclatura	Ambientes	Parâmetro Acústico	Critérios de Isolamento Sonoro			Nível de Desempenho (ND)		
				NBR 15575:2013 (dB)			1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma	
			DnT,w D <sub>2m,n</sub> T,w (C;Ctr) (dB)	Mín.	Int.	Sup.			
PI Parede Interna	PI1 <sup>1</sup>	S02xBWC2	24 (-2;-1)	-	-	-	-	-	
	PI3 <sup>1</sup>	S02xCIRC	21 (0;-1)	-	-	-	-	-	
	Entre Recintos Parede com Porta	PI4 <sup>1</sup>	S01xBWC1	20 (0;0)	-	-	-	-	-
		PI5 <sup>1</sup>	S01xCIRC	21 (-1;-1)	-	-	-	-	-
	PI7 <sup>1</sup>	QT02xQT01	22 (-3;-3)	-	-	-	-	-	
PI Parede Interna	PI2 <sup>1</sup>	S02xCOZ	26 (2;-2)	-	-	-	-	-	
	PI6 <sup>1</sup>	QT02xS01	35 (-5;-10)	-	-	-	-	-	
	Entre Recintos Parede Cega	PI8 <sup>1</sup>	QT02xQT01	34 (1;-3)	-	-	-	-	-
		PI9 <sup>1</sup>	QT01xSALAS	38 (-10;-10)	-	-	-	-	-
		PI10 <sup>1</sup>	QT02xQT01	33 (0;-6)	-	-	-	-	-
PE Parede Externa	PE1	S02xÁrea Ext.	21 (0;1)	$\geq 20$	$\geq 25$	$\geq 30$			
	PE2	S01xÁrea Ext.	24 (-2;-2)	$\geq 20$	$\geq 25$	$\geq 30$			
	Fachada Parede com Janela	PE3	QT01xÁrea Ext.	22 (-3;-3)	$\geq 20$	$\geq 25$	$\geq 30$		
		PE4	QT02xÁrea Ext.	21 (-5;-5)	$\geq 20$	$\geq 25$	$\geq 30$		

<sup>1</sup> A norma não determina parâmetro para essa categoria de partição.



De acordo com a Tabela 23 nota-se que, no Objeto 02 não houve a possibilidade de avaliar as partições internas PI3 e PI5 pois são referentes à paredes divisórias entre ambientes de uma mesma unidade habitacional e a norma não prevê critérios para essa tipologia. As demais paredes foram analisadas segundo as definições e índices estabelecidos na norma, resultando nas seguintes constatações: das três paredes cegas entre ambientes de unidades habitacionais autônomas, duas (PI1 e PI4) atendem à norma no critério mínimo e uma (PI2) não atende à norma em nenhum dos critérios determinados. Em relação as paredes externas (PE1 e PE2), ambas apresentam níveis de desempenho condizentes com o critério mínimo da norma, por pertencerem a Classe de Ruído I. Vale salientar que o isolamento sonoro da PE1 foi favorecido em função da barreira acústica existente (muro), caso esse elemento não existisse na configuração da fachada, certamente o índice seria menor.

Tabela 24- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes internas do Objeto 02 e os parâmetros da NBR 15575:2013

Grupo Categoria	Nomenclatura	Ambientes	Parâmetro Acústico	Critérios de Isolamento Sonoro			Nível de Desempenho (ND)	
				NBR 15575:2013 (dB)			1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma
			DnT,w D2m,nT,w (C;Ctr) (dB)	Mín.	Int.	Sup.		
PI Parede Interna	PI3 <sup>1</sup>	QT01xCOZ	21 (1;1)	-	-	-	-	-
	Entre Recintos Parede com Porta	PI5 <sup>1</sup>	S01xBWC3	21 (-1;-1)	-	-	-	-
PI Parede Interna	PI1 <sup>2</sup>	SALA01xSALA02	41 (2;-3)	≥40	≥45	≥50		
	Entre Recintos Parede Cega	PI2 <sup>1</sup>	QT01xBWC1	41 (-10;-10)	-	-	-	-
Entre Recintos Parede Cega	PI4 <sup>3</sup>	QT01xQT02	52 (-5;-16)	≥45	≥50	≥55		
	PI6 <sup>3</sup>	S01xS02	43 (-2;-7)	≥45	≥50	≥55		
PE Parede Externa	PE1*	QT01xÁrea Ext.	31 (-7;-7)	≥20	≥25	≥30		
	Fachada Parede com Janela	PE2	S01xÁrea Ext.	25 (-4;-4)	≥20	≥25	≥30	

<sup>1</sup>A norma não determina parâmetro para essa categoria de partição.

<sup>2</sup>Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório.

<sup>3</sup>Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.

\* O isolamento sonoro dessa partição foi beneficiado em razão da barreira acústica existente (o muro- PE3).

Fonte: Julho (2016).

#### 4.2.2 HUD:1967 e CEQR:2012 (b)

O HUD é uma norma americana e determina parâmetros de isolamento sonoro entre partições de uma mesma unidade habitacional e entre partições de unidades habitacionais

autônomas, por essa razão foi selecionada para a análise comparativa. Por outro lado não estabelece critérios para paredes externas em fachadas, sendo necessária a utilização de outra normativa americana, o CEQR:2012 para completar a avaliação.

Como os índices previstos no HUD são definidos em dB(A) fez-se necessário converter os valores de isolamento sonoro adquiridos em campo que foram medidos em dB para a ponderação A (Tabela 13). Para a conversão foi utilizado o número único, ou seja, o índice de redução sonora na frequência de 500 Hz. Além disso, o STC é uma parâmetro aferido em laboratório, sendo assim, para realizar este estudo comparativo, foi considerado um acréscimo de 5dB nos valores únicos obtidos *in loco*, anteriormente à conversão para dB(A), já que as medições em campo determinam uma margem de 5dB a menos para demonstrar as conformidades em relação as medições em laboratório, devido às condições e variáveis presentes nesse tipo de avaliação.

Segundo a norma os Objetos 01 e 02 são habitações que se enquadram na categoria 2: aplicável para localidades residenciais urbanas e suburbanas avaliadas como geradoras de ruídos “médios”, com níveis sonoros externos em torno de 40-45 dB(A) no período noturno. Os resultados estão evidenciados nas Tabela 24 e 25.








Apesar de indicar critérios para avaliação de partições internas de uma mesma unidade habitacional, não foi possível avaliar todas as partições internas do Objeto 01, pois esta norma não propõe índices de isolamento para partições divisórias nas quais um dos ambientes seja uma circulação. Assim, as paredes PI3, PI5 e PI7 não foram avaliadas.

Os índices de isolamento sonoro foram considerados em virtude da categoria a qual a edificação se enquadra (Categoria II), e verificou-se que nenhuma das partições atingiu níveis de desempenho compatíveis com os requisitos descritos, não atendendo à norma.

Segundo a Tabela 24 observa-se que nas partições PI6, PI8, PI9 e PI10 (paredes cegas) os índices mensurados em campo encontram-se abaixo dos parâmetros da norma em torno de 10 dB(A).

Todavia nas partições PI1, PI2 e PI4 (paredes com portas) as diferenças chegam à 30 dB(A), o que demonstra mais uma vez que as paredes com aberturas apresentam seu desempenho acústico prejudicado em função desses elementos. Os resultados comprovam que o isolamento sonoro das partições averiguadas não é eficaz, segundo as exigências previstas pela norma.

Tabela 25- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes internas do Objeto 01 e os parâmetros do HUD:1967

Nomenclatura	Ambiente Receptor Função da partição	Ambiente Emissor Função da partição	Localização	Parâmetro Acústico	HUD:1967 <sup>1</sup> STC- dB(A)	Nível de Desempenho (ND)	
				DnT,w dB(A)	Categoria II Análise em campo dB(A)	1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma
PI01 <sup>3</sup>	S02 Dormitório	BWC2 Banheiro	Mesma unidade habitacional	26	52		
PI02 <sup>2</sup>	S02 Dormitório	COZ Cozinha	Mesma unidade habitacional	28	55		
PI03 <sup>1,2</sup>	S02 Dormitório	CIRC Corredor	Mesma unidade habitacional	23	-	-	-
PI04 <sup>2</sup>	S01 Dormitório	BWC1 Banheiro	Mesma unidade habitacional	22	52		
PI05 <sup>1,2</sup>	S01 Dormitório	CIRC Corredor	Mesma unidade habitacional	23	-	-	-
PI06 <sup>3</sup>	QT02 Dormitório	S01 Dormitório	Mesma unidade habitacional	37	47		
PI07 <sup>1,2</sup>	QT02 Dormitório	CIRC Corredor	Mesma unidade habitacional	24	-	-	-
PI08 <sup>3</sup>	QT02 Dormitório	QT01 Dormitório	Mesma unidade habitacional	36	44		
PI09 <sup>3</sup>	QT01 Dormitório	SALAS Sala de estar	Mesma unidade habitacional	40	46		
PI10 <sup>3</sup>	QT02 Dormitório	QT01 Dormitório	Mesma unidade habitacional	35	44		







<sup>1</sup> A norma não determina parâmetro para essa categoria de partição.

<sup>2</sup> Parede com Porta.

<sup>3</sup> Parede Cega.

Fonte: Julho (2016).

Tabela 26- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes internas do Objeto 02 e os parâmetros do HUD:1967

Nomenclatura	Ambiente Receptor Função da partição	Ambiente Emissor Função da partição	Localização	Parâmetro Acústico	HUD:1967 <sup>1</sup> STC- dB(A)	Nível de Desempenho (ND)	
				DnT,w dB(A)	Categoria II Análise em campo dB(A)	1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma
PI01 <sup>2</sup>	SALA 01 Sala de estar	SALA 02 Sala de estar	Unidades habitacionais distintas	43	52		
PI02 <sup>2</sup>	QT01 Dormitório	BWC1 Banheiro	Mesma unidade habitacional	43	52		
PI03 <sup>1</sup>	QT01 Dormitório	COZ Cozinha	Mesma unidade habitacional	23	55		
PI04 <sup>2</sup>	QT01 Dormitório	QT02 Dormitório	Unidades habitacionais distintas	54	52		
PI05 <sup>1</sup>	S01 Dormitório	BWC3 Banheiro	Mesma unidade habitacional	23	52		
PI06 <sup>2</sup>	S01 Dormitório	S02 Dormitório	Unidades habitacionais distintas	45	52		

<sup>1</sup> Parede com Porta.

<sup>2</sup> Parede Cega.





Fonte: Julho (2016).

No Objeto 02 todas as partições foram avaliadas de acordo com os critérios estipulados pelo HUD (Tabela 25). Como foi demonstrando no Objeto 01 as paredes internas com portas obtiveram índices de isolamento inferiores aos índices das paredes cegas, com uma diferença de 32 dB na PI3 e 29 dB na PI5 em relação aos requisitos determinados na norma. Conforme já foi exposto anteriormente, a deficiência no isolamento sonoro dessa categoria de partições se deve a presença de aberturas em sua composição. Já nas paredes cegas, essas diferenças são menores, de 2 à 9 dB, o que comprova uma maior eficiência no isolamento dessas partições para propiciar conforto acústico.

Os requisitos para isolamento sonoro em paredes externas (fachadas) determinados no CEQR também são apresentando em dB(A), isto posto os valores de isolamento sonoro adquiridos em campo (dB) foram convertidos para a ponderação A, bem como foram acrescidos 5dB nos valores únicos das medições *in loco*, visto que o OITC é um parâmetro de laboratório, assim como foi realizado com as partições internas na análise comparativa com o HUD:1967.

A norma considera os Objeto 01 e 02 como pertencentes a Categoria 1, na qual o nível de ruído externo previsto é  $70 < L_{10} \leq 73$  dB(A). Os resultados da análise comparativa estão expostos nas Tabelas 26 e 27.

Tabela 27- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes externas do Objeto 01 e os parâmetros do CEQR:2012

Nomenclatura	Ambiente Receptor Função da partição	Ambiente Emissor Função da partição	Localização	Parâmetro Acústico	CEQR:2012 <sup>1</sup> OITC- dB(A)	Nível de Desempenho (ND)	
				D <sub>2m,nT,w</sub> dB(A)	Categoria I Análise em campo dB(A)	1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma
PE1	S02 Dormitório	Área Externa	Fachada	23	28		
PE2	S01 Dormitório	Área Externa	Fachada	26	28		
PE3	QT02 Dormitório	Área Externa	Fachada	24	28		
PE4	QT01 Dormitório	Área Externa	Fachada	23	28		

Fonte: Julho (2016).

Após comparar os índices de isolamento em campo das paredes do Objeto 01 com os requisitos da norma (Tabela 26), observa-se que nenhuma das paredes externas atendeu aos parâmetros da norma.

A PE2, que apresentou melhor desempenho acústico frente às demais, apresenta uma diferença de 2 dB em relação ao critério estabelecido, contudo não atingiu o valor mínimo

estabelecido, demonstrando a ineficiência no isolamento sonoro das paredes avaliadas, em virtude das condições exigidos por essa norma.

Tabela 28- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes externas do Objeto 02 e os parâmetros do CEQR:2012

Nomenclatura	Ambiente Receptor Função da partição	Ambiente Emissor Função da partição	Localização	Parâmetro Acústico	CEQR:2012 <sup>1</sup> OITC- dB(A)	Nível de Desempenho (ND)	
				D <sub>2m,nT,w</sub> dB(A)	Categoria I Análise em campo (dB)	1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma
PE1	QT01 Dormitório	Área Externa	Fachada	31	28		
PE2	S01 Dormitório	Área Externa	Fachada	25	28		

Fonte: Julho (2016).

Os resultados da análise comparativa entre os índices aferidos em campo das paredes externas no Objeto 02 com os parâmetros da norma (Tabela 27) evidenciam que a PE1 atende aos padrões determinados, contudo é relevante ressaltar que o desempenho acústico dessa partição possivelmente foi aperfeiçoado pela presença da barreira acústica (muro). O índice de isolamento sonoro da PE2 não é condizente com o padrão definido pela norma.

#### 4.2.3 HAL:2012 (c)

O HAL:2012 é referente a uma proposta de classificação acústica francesa para edificações habitacionais. Define seis classes (A à F), sendo a primeira com melhor desempenho e a última com pior desempenho. Enquadra os Objetos 01 e 02 na categoria de habitações localizadas distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas (zona tranquila).

Os parâmetros acústicos determinados por essa proposta de classificação sonora são o  $DnTA = DnT, w + C$  (para paredes internas) e o  $DnTA = DnT, w + C_{TR}$  (para paredes externas), dessa forma os coeficientes de adaptação C e  $C_{TR}$  foram incorporados aos índices de isolamento sonoro aferidos em campo.

A norma permite a classificação geral das partições por categoria (entre recintos e fachadas), porém a menor classe obtida na análise individual das partições prevalece sobre as demais. Os resultados das análises comparativas dos Objetos 01 e 02 com os critérios para classificação acústica definidos no HAL podem ser visualizados nas Tabelas 28 e 29.

Tabela 29- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes do Objeto 01 e os parâmetros do HAL:2012

Nomenclatura	Ambiente Receptor	Ambiente Emissor	Localização	Parâmetros Acústicos	HAL:2012 (dB)					
				DnTA (dB)	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E	Classe F
PI01	S02 Dormitório	BWC2 Banheiro	Mesma unidade habitacional	22	≥45	≥35	≥25	≥20	≥20	<20
PI02	S02 Dormitório	COZ Cozinha	Mesma unidade habitacional	28	≥45	≥35	≥25	≥20	≥20	<20
PI03 <sup>1</sup>	S02 Dormitório	CIRC Corredor	Mesma unidade habitacional	21	-	-	-	-	-	-
PI04	S01 Dormitório	BWC1 Banheiro	Mesma unidade habitacional	21	≥45	≥35	≥25	≥20	≥20	<20
PI05 <sup>1</sup>	S01 Dormitório	CIRC Corredor	Mesma unidade habitacional	20	-	-	-	-	-	-
PI06 <sup>1</sup>	QT02 Dormitório	S01 Dormitório	Mesma unidade habitacional	30	-	-	-	-	-	-
PI07 <sup>1</sup>	QT02 Dormitório	CIRC Corredor	Mesma unidade habitacional	19	-	-	-	-	-	-
PI08 <sup>1</sup>	QT02 Dormitório	QT01 Dormitório	Mesma unidade habitacional	35	-	-	-	-	-	-
PI09	QT01 Dormitório	SALAS Sala de estar	Mesma unidade habitacional	28	≥53	≥43	≥33	≥27	≥22	<22
PI10 <sup>1</sup>	QT02 Dormitório	QT01 Dormitório	Mesma unidade habitacional	33	-	-	-	-	-	-
PE01	S02	Área Externa	Fachada	22	≥40	≥35	≥30	≥25	≥20	<20
PE02	S01	Área Externa	Fachada	22	≥40	≥35	≥30	≥25	≥20	<20
PE03	QT02	Área Externa	Fachada	19	≥40	≥35	≥30	≥25	≥20	<20
PE04	QT01	Área Externa	Fachada	16	≥40	≥35	≥30	≥25	≥20	<20

<sup>1</sup> A norma não determina parâmetro para essa tipologia de partição.

Fonte: Julho (2016).

Tabela 30- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes do Objeto 02 e os parâmetros do HAL:2012

Nomenclatura	Ambiente Receptor	Ambiente Emissor	Localização	Parâmetros Acústicos	HAL:2012 (dB)					
				DnTA (dB)	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E	Classe F
<b>PI01</b>	<b>SALA 01</b> Sala de estar	<b>SALA 02</b> Sala de estar	Unidades habitacionais distintas	<b>44</b>	≥63	≥58	≥53	≥48	≥43	<43
<b>PI02</b>	<b>QT01</b> Dormitório	<b>BWC1</b> Banheiro	Mesma unidade habitacional	<b>31</b>	≥45	≥40	≥35	≥25	≥20	<20
<b>PI03</b>	<b>QT01</b> Dormitório	<b>COZ</b> Cozinha	Mesma unidade habitacional	<b>22</b>	≥45	≥40	≥35	≥25	≥20	<20
<b>PI04<sup>1</sup></b>	<b>QT01</b> Dormitório	<b>QT02</b> Dormitório	Unidades habitacionais distintas	<b>47</b>	-	-	-	-	-	-
<b>PI05</b>	<b>S01</b> Dormitório	<b>BWC3</b> Banheiro	Mesma unidade habitacional	<b>20</b>	≥45	≥40	≥35	≥25	≥20	<20
<b>PI06<sup>1</sup></b>	<b>S01</b> Dormitório	<b>S02</b> Dormitório	Unidades habitacionais distintas	<b>41</b>	-	-	-	-	-	-
<b>PE01</b>	QT01	Área Externa	Fachada	<b>24</b>	≥40	≥35	≥30	≥25	≥20	<20
<b>PE02</b>	S01	Área Externa	Fachada	<b>21</b>	≥40	≥35	≥30	≥25	≥20	<20

<sup>1</sup> A norma não determina parâmetro para essa tipologia de partição.

Fonte: Julho (2016).

De acordo com os dados expostos na Tabela 28 verifica-se que esta proposta de classificação não estabelece critérios para avaliação das partições internas PI3, PI5, PI6, PI7, PI8, e PI10 no Objeto de estudo 01.

Todavia, as partições PI1 (classe D), PI2 (classe C), PI4 (classe D) e PI9 (classe D) foram analisadas segundo os requisitos descritos na proposta. Mesmo não sendo possível caracterizar o desempenho global dessa categoria, posto que a proposta de classificação não dispõe de parâmetros para todas as partições internas do Objeto 01, levando em consideração as partições avaliadas, obteve-se o nível de classificação D, abaixo da classificação média (classe C).

No tocante às paredes externas do Objeto 01 (Tabela 28), as classes atingidas foram as seguintes: PE1 classe E, PE2 classe E, PE3 classe F e PE4 classe F, estimando uma classificação global nível F para essa categoria de partição, o que comprova a ineficiência do isolamento acústico nessa categoria para proporcionar conforto acústico, visto que apresenta-se no último nível de classificação, de acordo com as exigências desta proposta.

No Objeto 02 todas as partições internas foram comparadas aos critérios definidos na norma (Tabela 29). Observa-se os seguinte resultados: PI1 classe E, PI2 classe D, PI3 classe E e PI4 classe E, presumindo assim um nível de classificação E para o isolamento global dessa categoria de partições.

Em relação as paredes externas do Objeto 02 (Tabela 29), ambas de adequaram a classe E, estabelecendo assim uma classificação global E para essa categoria.

#### 4.2.4 Síntese dos resultados

As Tabelas 30 e 31 explanam a compilação dos resultados das análise comparativas entre as medições *in loco* nos Objetos 01 e 02, respectivamente, e os critérios das quatro referências utilizadas nessa análise, NBR 15575:2013, HUD:1967, CEQR:2012 e HAL:2012.
















De acordo com a análise dos dados em relação NBR 15575:2013, como grande parte das partições analisadas (internas e externas) em ambos os objetos de estudo atenderam aos requisitos impostos pela norma, conclui-se que o sistema apresenta desempenho eficiente perante as exigências determinadas na norma para possibilitar conforto acústico nas edificações.



Segundo a averiguação dos resultados a partir dos critérios do HUD:1967 e do CEQR:2012 a maioria das paredes tanto internas quanto externas dos dois objetos de estudo (01 e 02) não atingiram os índices exigidos pela norma, e portanto apresentam isolamento sonoro insuficiente para proporcionar conforto acústico nas habitações avaliadas.











Conforme os resultados obtidos após a comparação entre os índices medidos em campo e os requisitos estabelecidos pelo HAL:2012, de forma geral, as classes determinadas para as paredes avaliadas em ambos os objetos (01 e 02) expressam que o desempenho acústico global do sistema não é suficiente para possibilitar conforto acústico em razão dos critérios definidos na proposta de classificação elucidada.

Tabela 31- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes internas e externas do Objeto 01 e os parâmetros das Normas: NBR 15575:2013; HUD:1967; CEQR:2012; HAL:2012

Nomenclatura	Entre recintos PI	Fachadas PE	Nível de Desempenho (ND) NBR 15575:2013		Nível de Desempenho (ND) HUD:1967 CEQR:2012		Classificação HAL:2012
	Parâmetros Acústicos		1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma	1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma	
	DnT,w (C;Ctr) (dB)	D <sub>2m,nT,w</sub> (C;Ctr) (dB)					
PI01	24(-2;-1)	-	-	-			CLASSE D
PI02	26(2;-2)	-	-	-			CLASSE C
PI03	21(0;-1)	-	-	-	-	-	-
PI04	20(0;0)	-	-	-			CLASSE D
PI05	21(-1;-1)	-	-	-	-	-	-
PI06	35(-5;-10)	-	-	-			-
PI07	22(-3;-3)	-	-	-	-	-	-
PI08	34(1;-3)	-	-	-			-
PI09	38(-10;-10)	-	-	-			CLASSE D
PI10	33(0;-6)	-	-	-			-
PE01	-	21(1;0)					CLASSE E
PE02	-	24(-2;-2)					CLASSE E
PE03	-	22(-3;-3)					CLASSE F
PE04	-	21(-5;-5)					CLASSE F

X - A norma não determina parâmetro para essa tipologia de partição.

Tabela 32- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) das paredes internas e externas do Objeto 02 e os parâmetros das Normas: NBR 15575:2013; HUD:1967; CEQR:2012; HAL:2012

Nomenclatura	Entre recintos PI	Fachadas PE	Nível de Desempenho (ND) NBR 15575:2013		Nível de Desempenho (ND) HUD:1967 CEQR:2012		Classificação HAL:2012
	Parâmetros Acústicos				1. Atende à Norma	2. Não Atende à Norma	
	DnT,w (C;Ctr) (dB)	D <sub>2m,nT,w</sub> (C;Ctr) (dB)					
PI01	41(2;-3)	-	-	-			CLASSE E
PI02	41(-3;-3)	-	-	-			CLASSE D
PI03	21(1;1)	-	-	-			CLASSE E
PI04	52(-5;-16)	-	-	-			-
PI05	21(-1;-1)	-	-	-			CLASSE E
PI06	43(-2;-7)	-	-	-			-
PE01	-	31(-7;-7)					CLASSE E
PE02	-	25(-4;-4)					CLASSE E

X - A norma não determina parâmetro para essa tipologia de partição.

Fonte: Julho (2016).

#### 4.2.5 Sistemas Construtivos em Alvenaria (d) e Sistemas Construtivos Industrializados (e)<sup>17</sup>

Os índices de isolamento sonoro resultantes das medições em campo do sistema construtivo em LSF foram comparados com os índices de alguns sistemas construtivos em alvenaria e também com outros sistemas construtivos industrializados pesquisados na literatura especializada. Todos os sistemas que integram essa análise comparativa foram descritos no capítulo 2.

Como esses índices são definidos por medições em laboratório, fez-se necessário diminuir 5 dB do valor global (número único) para possibilitar a comparação com os valores obtidos em campo. Para a referida análise comparativa foram selecionadas uma parede cega de cada objeto de estudo: a PI9 do Objeto 01 e a PI4 do Objeto 02, cujos índices de isolamento sonoro foram mais significativos, posto que em laboratório as partições avaliadas não

<sup>17</sup> As referências dos índices de redução sonora (Rw) dos sistemas construtivos utilizados para esta análise comparativa estão descritas no Quadro 12 (sistemas em alvenaria) e no Quadro 19 (sistemas industrializados) expostos no capítulo 02.

apresentam aberturas em sua composição. Os resultados estão expostos nas Tabelas 32 e 33 e nos Gráficos 9 e 10.

Tabela 33- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) e Sistemas Construtivos em Alvenaria

Referência	Sistemas Construtivos	RW (dB)	DnT,w <sup>9</sup> (dB)
A	Parede de vedação externa e interna em tijolo cerâmico maciço, blocos retangulares 19x9x5,7cm, sem revestimento.	50	45
B	Parede de vedação externa e interna em tijolo cerâmico furado, blocos retangulares 8 furos- 19x9x19cm; 6 furos- 24x9x14cm, com revestimento em argamassa (ambos os lados).	38	33
C	Parede estrutural, podendo substituir pilares e vigas de concreto em bloco cerâmico, meio bloco- 19x14x19cm, bloco principal 29x14x19cm, bloco de amarração 44x14x19cm, sem revestimento.	36	31
D	Parede estrutural, podendo substituir pilares e vigas de concreto em bloco cerâmico, meio bloco- 19x14x19cm, bloco principal 29x14x19cm, bloco de amarração 44x14x19cm, com revestimento.	40	35
E	Parede estrutural em bloco de concreto, blocos retangulares 39x14 x19 cm, sem revestimento.	44	39
F	Parede de vedação externa e interna em bloco sílico-calcareo, Blocos maciços, furados, perfurados ou vazados dimensões mínimas 24x11.5x5.2cm, sem revestimento.	43	38
G	Parede de vedação externa e interna em bloco de concreto celular autoclavado, blocos ou painéis, com dimensões e espessuras variadas, até 60x20x40cm, sem revestimento.	44	39
H	Parede de vedação externa e interna em bloco de concreto celular autoclavado, blocos ou painéis, com dimensões e espessuras variadas, até 60x20x40cm, com revestimento.	46	41
I	Parede de vedação externa e interna em tijolo de solo cimento estabilizado ou solo cimento, blocos retangulares 30x15x8cm, com revestimento.	45	40
J	Parede de vedação externa e interna em blocos de gesso compactos 66x7x50cm com revestimento.	34	29
K	Parede de vedação externa e interna em blocos de gesso vazados 66x7x50cm com revestimento.	32	27
L	Parede de vedação externa e interna em blocos de gesso compactos 66x10x50cm com revestimento.	38	33
M	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 130mm sem lâ de rocha objeto de estudo 01_ medições <i>in loco</i> - Parede Cega PI9 Ob 01	-	38
N	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 110mm com lâ de rocha objeto de estudo 02_ medições <i>in loco</i> - Parede Cega PI4 Ob 02	-	52

Fonte: Julho (2016).

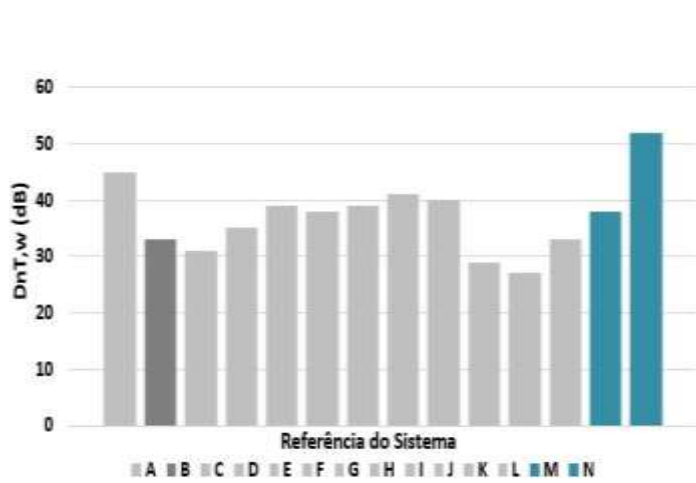


Gráfico 9 – Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) e Sistemas Construtivos em Alvenaria.  
Fonte: Julho (2016).

A partir dos dados expostos na Tabela 32 e no Gráfico 9 apura-se que a parede em LSF (objeto de estudo 01) com espessura de 130mm e sem lâ de rocha apresenta um desempenho acústico compatível com as paredes dos sistemas construtivos que compõem a referida análise comparativa. A parede em LSF (objeto de estudo 02) com espessura de 110mm e com lâ de rocha em sua configuração atesta um desempenho superior aos demais sistemas construtivos

explanados. Vale destacar que as duas paredes em LSF avaliadas nessa pesquisa demonstraram um índice de isolamento sonoro mais elevado frente à tradicional parede em tijolo cerâmico furado, que se caracteriza como o principal sistema construtivo empregado no Brasil.

Tabela 34- Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) e Sistemas Construtivos Industrializados

Referência	Sistemas Construtivos	RW (dB)	DnT,w (dB)
A	Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos com espessura 110mm	37	32
B	Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos com espessura 115mm	45	40
C	Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados em concreto e blocos cerâmicos com espessura 150mm	50	45
D	Sistema construtivo pré-fabricado em concreto: Painéis pré-moldados maciços de concreto armado com espessura 100mm	46	41
E	Sistema construtivo em painéis de aço galvanizado com espessura 100mm	39	34
F	Sistema construtivo em painéis de concreto/PVC com espessura 64mm	42	37
G	Sistema construtivo em painéis de concreto/PVC com espessura 100mm	48	43
H	Sistema construtivo em painéis de concreto moldados com EPS com espessura 140mm	35	30
I	Sistema construtivo <i>Wood Framing</i> com espessura 142mm	38	33
J	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 73mm sem lâ de rocha	36	31
K	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 73mm com lâ de rocha	44	39
L	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 98mm com lâ de rocha	50	45
M	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 95mm sem lâ de rocha	38	33
N	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 95mm com lâ de rocha	45	40
O	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 115mm com lâ de rocha	51	46
P	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 120mm com lâ de rocha	45	40
Q	Sistema construtivo <i>Drywall</i> com espessura 195mm com lâ de rocha	61	56
R	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 110mm sem lâ de rocha	45	40
S	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 130mm com lâ de rocha	57	52
T	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 117mm com lâ de rocha	47	42
U	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 121mm com lâ de rocha	55	50
V	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 130mm sem lâ de rocha objeto de estudo 01_ medições <i>in loco</i> - Parede Cega PI9 Ob 01	-	38
W	Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i> com espessura 110mm com lâ de rocha objeto de estudo 02_ medições <i>in loco</i> - Parede Cega PI4 Ob 02	-	52

Fonte: Julho (2016).

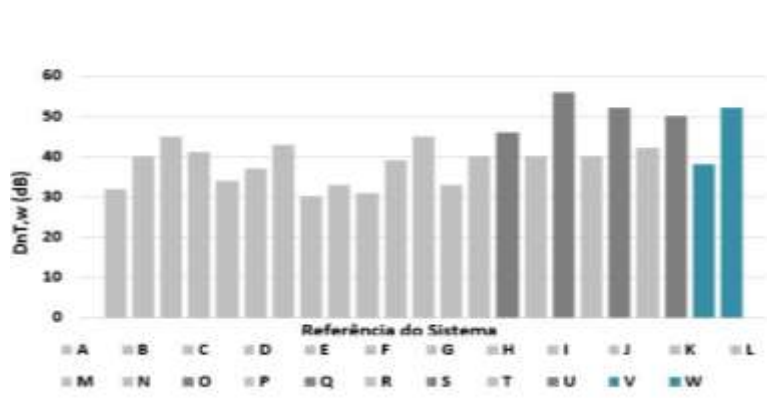


Gráfico 10 – Comparativo isolamento sonoro LSF (medições *in loco*) e Sistemas Construtivos Industrializados. Fonte: Julho (2016).

Em relação ao desempenho acústico das paredes dos dois objetos de estudo selecionadas para essa análise quando comparadas a outros sistemas industrializados (Tabela 33 e Gráfico 10), percebe-se que a parede em LSF (objeto de estudo 01) com espessura de 130mm e sem lã de rocha demonstra um desempenho acústico inferior em relação a maioria dos sistemas industrializados. Por outro lado, a parede em LSF (objeto de estudo 02) com espessura de 110mm e com lã de rocha, apresenta o segundo índice de isolamento sonoro mais elevado, se equiparando ao sistema construtivo em LFS com espessura 130mm com lã de rocha. Constatase que esse índice é inferior apenas ao sistema *Drywall* com espessura 195mm com lã de rocha, contudo possui uma espessura 85mm menor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento das cidades ocorreu de forma intensa e acelerada, gerando graves problemas ambientais, dentre eles a poluição sonora. Os ruídos urbanos se acentuaram de forma exorbitante em virtude da diversificação das atividades humanas e do aumento demasiado da frota de veículos, deteriorando a qualidade sonora dos espaços e ocasionando impactos significativos na saúde das pessoas. A atenuação do ruído com o intuito de minimizar a energia sonora entre ambientes através do isolamento sonoro, se constitui como um instrumento fundamental em busca do conforto acústico nas edificações.

É relevante destacar ainda, impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil, devido à elevada quantidade de recursos consumidos e dos resíduos produzidos, contribuindo substancialmente para a degradação ambiental. Todavia nota-se uma tendência desse setor em atuar segundo os conceitos de sustentabilidade, com a inserção de sistemas construtivos inovadores e mais eficientes sob o ponto de vista ambiental. Contudo, no Brasil, apesar dos avanços tecnológicos que possibilitaram o aprimoramento dos sistemas construtivos com a introdução de variáveis de conforto ambiental é notório um retrocesso no que se refere ao desempenho acústico das edificações.

Por outro lado vale ressaltar a importância da NBR 15575:2013 para assegurar os critérios mínimos de conforto acústico em edificações habitacionais, através de parâmetros de isolamento sonoro. Anteriormente a essa norma, o controle do ruído processava-se segundo normativas que não determinavam índices de isolamento sonoro, bem como não estabeleciam critérios para avaliação de desempenho. Assim, a NBR 15575:2013 constitui-se como a principal referência brasileira no que tange ao desempenho acústico, e pode ser considerada um marco para o progresso dos estudos acústicos no país.

Entretanto, mesmo diante da evolução proporcionada pela NBR15575:213 para o desempenho acústico em habitações, é importante salientar que esta norma está relacionada à edificações multifamiliares, e dessa forma define critérios apenas para partições internas em unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), não determinando requisitos para isolamento sonoro em partições internas de uma mesma edificação. O que se configura como uma lacuna na norma, já que em razão das diversas atividades exercidas em uma edificação habitacional é essencial a existência de referências para prever o isolamento em partições internas de uma mesma unidade, possibilitando parâmetros para estabelecer conforto acústico em qualquer edificação habitacional.

Além disso, estabelece três níveis de critérios (mínimo, intermediário e superior), índices que encontram-se abaixo da média dos valores de isolamento sonoro exigida nas normativas internacionais, não determinando também, qual tipologia habitacional (baixa, média ou alta renda) deve atender a cada critério, nem quando é necessário que os sistemas atinjam os níveis intermediários e superiores. Esses aspectos tornam a norma ambígua, pois se por um lado estabelece três critérios que poderiam funcionar como requisitos de uma classificação, por outro exige apenas que o critério mínimo seja alcançado.

Posto isto, o presente estudo avaliou o desempenho acústico do Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) em campo de duas edificações habitacionais construídas com o sistema LSF, na cidade de Vitória do Santo Antão, no estado de Pernambuco, Brasil. As edificações foram selecionadas em função dos materiais de sua composição (uma apresenta absorvedor acústico e a outra não), bem como em relação a sua tipologia habitacional (sendo uma unifamiliar independente e a outra unifamiliar com paredes de geminação com outra unidade habitacional).

A pesquisa foi realizada sob duas abordagens, uma quantitativa, com as medições em campo do isolamento sonoro das partições selecionadas nos dois objetos de estudo. Destacando a importância dos estudos relacionados aos níveis de isolamento sonoro nas edificações com medições em campo, uma vez que os resultados adquiridos são condizentes com a situação real da edificação, envolvendo variáveis que não são consideradas nas análises em laboratório. E a outra de cunho qualitativo com a comparação dos resultados adquiridos *in loco* com os critérios definidos em normativas acústicas, uma nacional e duas internacionais, além confrontar os dados quantitativos obtidos com índices de isolamento acústico de outros sistemas construtivos utilizados na construção civil brasileira.

Inicialmente a análise comparativa seria desenvolvida apenas com relação a NBR 15575:2013 e outros sistemas construtivos, contudo devido à insuficiência de parâmetros para avaliar o Objeto 01 em sua plenitude foi necessário recorrer a outras normativas que englobassem esses critérios. Apesar de dispor de mais duas normas (internacionais) não foi possível averiguar qualitativamente todas as partições selecionadas, visto que nenhuma das normas estabelecia requisitos condizentes à todas as partições consideradas nessa pesquisa.

Como foram realizadas medições em paredes com e sem esquadrias em sua composição, averiguou-se uma deficiência substancial no isolamento sonoro das partições que apresentam aberturas, o que possivelmente ocorre em função da presença desses elementos. Dessa forma, é fundamental atentar-se para a escolha de esquadrias com isolamento acústico eficiente, bem

como para a montagem das mesmas, evitando assim, o comprometimento do desempenho acústico das partições.

Os resultados da análise comparativa atestaram que as paredes avaliadas apresentam no geral, desempenho acústico compatível com as exigências da NBR 15575:2013, sendo considerados assim, eficientes, todavia não atenderam aos critérios das normas internacionais, HUD:1967, CEQR:2012 e HAL:2012, constatando que, em relação aos parâmetros internacionais, o desempenho acústico global do sistema é ineficiente. No tocante à comparação com outros sistemas construtivos verificou-se que as paredes selecionadas para tal, apresentam índices de isolamento sonoro equiparados ou superiores.

A importância da utilização de sistemas eficientes sob o ponto de vista acústico envolve desde o conforto e satisfação do usuário até questões sobre a produtividade e saúde das pessoas. A escolha dos sistemas construtivos e dos materiais adotados nas edificações são de extrema relevância em virtude da qualidade ambiental nos espaços construídos e devem ser considerados durante a concepção do projeto de arquitetura.

O LSF é um sistema construtivo que está sendo utilizado amplamente em diversos países, principalmente por reduzir o desperdício de materiais e energia gerados. É fundamental contudo, romper o paradigma existente no setor da construção civil brasileira para que seja possível a inserção e consolidação de novos sistemas construtivos, vislumbrando a minimização da degradação ambiental.

Mesmo diante dos resultados obtidos nesse trabalho, não é possível generalizar o desempenho acústico do sistema construtivo investigado, uma vez que, a performance acústica do mesmo está diretamente relacionada a fatores diversos, tais como, tecnologia aplicada, materiais empregados, e mão de obra para execução, e ocasionalmente o sistema pode ser comprometido em detrimento da execução da obra e do tipo de materiais adotados.

#### Limitações do trabalho

Embora os objetivos da referida pesquisa tenham sido alcançados, o trabalho apresentou algumas limitações. A Universidade Federal de Alagoas não possui os equipamentos necessários para as medições, e por se tratarem de equipamentos particulares, dependiam de um cronograma desenvolvido pelo proprietário, fato que restringiu as possibilidades de data para a realização das medições, tendo em vista que como os objetos de estudo não se localizavam em Maceió, foi preciso ainda ajustar esse cronograma com a disponibilidade da construtora que ofereceu as edificações para as avaliações.



Bem como, pelo fato das edificações selecionadas se localizarem em outro estado, e os equipamentos de medição serem pesados, os ensaios precisavam de mais de uma pessoa, e assim, o trabalho ficou subordinado à condição de um auxiliar para acompanhar a pesquisadora nas medições.

Outro aspecto ao qual o trabalho condicionou-se foi a dificuldade de acesso às normas internacionais.

#### Sugestões para trabalhos futuros

O intuito inicial dessa pesquisa era avaliar o desempenho acústico de partições verticais e horizontais em LSF, com o objetivo de verificar o desempenho geral do sistema, relacionado ao isolamento de paredes externas e internas (como foi realizado) e de pisos ou lajes. Porém, o equipamento necessário para as medições de isolamento sonoro em pisos, a *tapping machine* não estava disponível. Dessa forma, pretende-se explorar essa temática no futuro.

Outro tópico que poderá ser abordado em pesquisas futuras é a lacuna existente na NBR 15575:2013 em relação aos critérios para avaliação de partições de uma mesma edificação.

Planeja-se ainda, o aprofundamento teórico referente à classificação acústica de edificações, já que o Brasil não dispõe de referências concernentes a essa abordagem.

## REFERÊNCIAS

**A Estação da Luz.** Disponível em:

<<http://tudoporsaopaulo1932.blogspot.com.br/2013/10/estacao-da-luz.html>>. Acesso em: 24 set. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10.151/2000:** Acústica- Avaliação do Ruído em áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.152/1987:** Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575-4/2013** Edificações habitacionais-Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15873:2010:** Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 15p.

\_\_\_\_\_. **NBR 8798:** Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

Associação Brasileira de Drywall. **Desempenho acústico em sistemas drywall.** Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/biblioteca.php/1/3>>. Acesso em: 03 out. 2015.

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil:** uma abordagem atualizada. Coleção Habitare, ANTAC, Porto Alegre, v.9, 2007. 72p.

**Balloon Framing e Platform Framing.** Disponível em:

<<https://urbancraftuah.wordpress.com/2012/11/13/sistema-constructivo/>>. Acesso em: 02 out. 2015.

BARING, Joao Gualberto de Azevedo. **Isolação sonora de paredes e divisórias.** In: Tecnologia de Edificações. São Paulo. PINI/ IPT, 1988. p. 429-434.

BERARDI, Umberto; RASMUSSEN, Birgit. **A Comparison Between National Scheme for the Acoustic Classification of Dwellings in Europe and in the U.S.** In: International Journal of Acoustics and Vibration, v.20, n.2, p.63-68, 2015.

BERTOLI, Stelamaris Rolla; NETO, Maria de Fatima Ferreira. **Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico:** uma comparação entre Brasil e Portugal.

Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas Unicamp. 2010.p.160-180.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2.ed, São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2011. 380 p.

**Bloco de concreto celular autoclavado**. Disponível em: <<http://www.construpor.com.br/index.php?p=item2-1>>. Acesso em: 03 out. 2015.

**Bloco de gesso**. Disponível em: <<http://gessopremio.com.br>>. Acesso em: 24 set. 2015.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 03 out. 2015. 1981.

BRUNA, Paulo J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2.ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1976. 312p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010. 204p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL-CEF & CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO- CBCA. **Sistema construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aço revestidos (Steel Framing)**: requisitos e condições mínimos para financiamento pela caixa. 2003. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/manuais-caixa-economica-federal.php>>. Acesso em: 16 dez.2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO- CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 300p.

\_\_\_\_\_. **Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da Construção**. Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2012. 160p.

\_\_\_\_\_. **Desenvolvimento de Tecnologia Wood Frame para Habitações de Interesse Social**. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/premioinovacaoesustentabilidade>>. Acesso em: 03 out. 2015.

**Catálogo Técnico de produtos**. Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/>>. Acesso em: 03 out. 2015.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006. 167 p.

**Cobertura convencional em madeira.** Disponível em: <<http://www.fkct.com.br>>. Acesso em: 21 out. 2015.

COSTA, Enio Cruz da. **Acústica Técnica.** 3ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2012. 127p.

COSTA, S.B; GOMES DE BARROS, C.P; OITICICA, M. L.G.R. **Avaliação do desempenho acústico de partições verticais em construção seca na cidade de Maceió-AL.** In: ENCAC/ELACAC, Campinas, 2014.

COWELL, J. R; PARKIN, P.H; HUMPHREYS, H.R. **Acoustics, noise and Buildings.** Faber & Faber; 4th edition. Boston, 1979. 304p.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, 2005. 254p.

**Deposição ilegal de resíduos da construção na malha urbana da cidade de Maceió.** Disponível em: <<http://www.alagoas24horas.com.br>>. Acesso em: 02 out. 2015.

DUARTE, Elisabeth de Albuquerque Cavalcanti. **Estudo do isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da história.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo. Florianópolis, 2005. 99p.

DUARTE, R. B. **Elementos de Avaliação da Industrialização na Construção por Sistemas no Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 1982. 165p.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustics.** New York: McGraw-Hill, 1988. 411p.

EDWARDS, Brian. **Projeto sustentável e construção.** In: EDWARDS, B. O guia básico para a sustentabilidade. Barcelona. Ed. Gustavo Gilli, 2008. p. 110-158.

**Elementos da Alvenaria.** Disponível em: <<http://pedreiro.com.br/alvenarias-e-reboco/conceitos-de-alvenaria-estrutural-passo-a-passo/>>. Acesso em: 03 out. 2015.

EUROPEAN COOPERATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY- COST. **COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions.** Brussels, 2014.

EUROPEAN LIGHT STEEL CONSTRUCTION ASSOCIATION- LSK. **European lightweight steel-framed construction.** Brussels, 2002.

FERREIRA, José Augusto Coelho; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. **Determinação de coeficientes de isolamento acústico**: medições in situ e simulação computacional. In: Ambiente construído, Porto Alegre, v.7, n.2, p.15-29, abr./jun. 2007.

FERREIRA NETO, Maria de Fatima. **Estudo de barreiras acústicas ao ar livre, sob a perspectiva de eficiência e qualidade sonora**. Tese de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas/SP, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2002.104p.

FERREIRA NETO, Maria de Fatima. **Nível de conforto acústico**: uma proposta para edifícios residenciais. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas/SP, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2009.257p.

**Fibra cerâmica**. Disponível em: <<http://www.retrafil.com.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI-FCAV. **Referencial técnico de certificação**: Edifícios habitacionais - Processo AQUA. Versão 1. São Paulo, 2013. 122p.

GARCIA, Danielly. **Análise do isolamento sonoro de sistemas construtivos residenciais estruturados em aço**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de pós-graduação em engenharia de estruturas. Belo Horizonte, 2004. 126p.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído**: fundamentos e controle. 2. ed. Florianópolis, 2000. 676p.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC BRASIL). **Certificação**. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em: 12 out. 2015.

GRÜNBERG, Paula Regina Mendes; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de, TAVARES, Sergio Fernando. **Certificação ambiental de habitações**: comparação entre Leed for homes, processo Aqua e Selo Casa Azul. Ambiente & Sociedade, São Paulo v. XVII, n. 2, 2014. p. 195-214.

HOPKINS, Carl. **Revision of international standards on field measurements of airborne, impact and facade sound insulation to form the ISO 16283 series**. ScienceDirect. Building and Environment journal homepage: [www.elsevier.com/locate/buildenv](http://www.elsevier.com/locate/buildenv). Acoustics Research Unit, School of Architecture, University of Liverpool, Liverpool, L69 7ZN, UK. 2015. 703-712p.

HOPKINS, Carl. **Sound Insulation**. Slovenia: Elsevier Ltda, 2007. 622p.

**Instalações elétricas e hidráulicas.** Disponível em: <<http://www.100pepinos.com.br>>. Acesso em: 21 out. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS- IPT. Laboratório de conforto ambiental e sustentabilidade dos edifícios. **Relatório de ensaio n° 963 298-203. 2007.** Disponível em: <<http://www.ecol-tijolo.eco.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION-ISO. **ISO 140-4:** Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Genève, 1998.

\_\_\_\_\_. **ISO 140-5:** Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Genève, 1998.

\_\_\_\_\_. **ISO 717-1:** Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 1: Airborne sound insulation. Genève, 1996.

\_\_\_\_\_. **ISO 3382.** Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Genève, 1997.

\_\_\_\_\_. **ISO 16.283-1:** Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements- Part 1: Airborne sound insulation. Brussels, 2014.

\_\_\_\_\_. **ISO 16.283-3:** Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements- Part 3: Façade sound insulation. Brussels, 2014.

**Isoconcreto.** Disponível em: <<http://www.inconcreto.com.br/documentos-e-publicacoes.php>>. Acesso em: 03 out. 2015.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de alvenarias de materiais cerâmicos à penetração de água da chuva:** uma análise de fatores condicionantes. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

**Lã de rocha e lã de vidro.** Disponível em: <<http://www.masterla.com.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.

LONG, Marshal. **Architectural Acoustics.** EUA: Elsevier Inc, 2006. 844p.

LUKASIK, J. Stephen; NOLLE, A. **Wilson. Handbook for acoustic noise control.** Volume I. Physical Acoustics. Supplement 1. Ohio: Bolt Beranek and Newman Inc, 1955. 322p.

MEHTA, Madan; JOHNSON, Jim; ROCAFORT, Jorge. **Architectural acoustics: principles and design**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1999. 445p.

MELLO, César Winter de. **Avaliação de sistemas construtivos para habitações de interesse social**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2004. 171p.

MILITO, José Antônio de. **Técnicas de construção civil e construção de edifícios**. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/>>. Acesso em: 24 set. 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. PBPQ-HABITAT. **Sistema de avaliação da conformidade de empresas de serviços e obras da construção civil – SIAC**. Brasília: Governo Federal, 2005. 14p.

\_\_\_\_\_. Diretriz SINAT nº 003. **Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”)**. Brasília: Governo Federal, 2012. 48p.

\_\_\_\_\_. SINAT. DATec nº008 A. **Painéis JETCASA pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes**. Brasília: Governo Federal, 2014a.

\_\_\_\_\_. SINAT. DATec nº009 B. **Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes- Casa Express**. Brasília: Governo Federal, 2014b.

\_\_\_\_\_. SINAT. DATec nº007 A. **Painéis pré-moldados maciços de concreto armado para a execução de paredes-Rossi**. Brasília: Governo Federal, 2014c.

MOLINA, Júlio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. **Sistema construtivo em Wood Frame para casas de madeira**. Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, 2010. 143-156p.

MOURA, Artur. **Influência da racionalização e industrialização na construção sustentável**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de pós graduação em engenharia civil, 2013. 64-77p.

MULTIPERFIL GRASSER. **Perfis para LSF e Drywall**. Disponível em: <<http://www.multiperfil.com.br/paginas/produtos.php>>. Acesso em: 03 out. 2015.

NEW YORK. **City Environmental Quality Review Technical Manual- CEQR**. New York, 2012.

**O Edifício Avenida Central.** Disponível em:

<<http://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/fragmentos-do-real-10-bienal-internacional-de-arquitetura-de-sao-paulo>>. Acesso em: 24 set. 2015.

**O Edifício Escritório Central da CSN.** Disponível em: <

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1092567>>. Acesso em: 24 set. 2015.

**O Edifício Garagem América.** Disponível em: <

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1223417>>. Acesso em: 24 set. 2015.

OITICICA, Maria Lucia Gondim da Rosa. **Desempenho acústico de diferentes tipologias de peitoris ventilados.** Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas/SP, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2010. 266p.

OLIVEIRA, Ana Beatriz de Figueiredo. **Inserção de sistemas construtivos industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil, 2013. 155p.

OSB. Disponível em: <<http://www.archiexpo.com.br>>. Acesso: 03 out. 2015.

PAIXÃO, Dinara Xavier da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA).** Tese de doutorado, Programa de pós-graduação em engenharia de produção, UFSC. Florianópolis. 2002. 182p.

PENEDO, Rafaella Cristina Teixeira Penedo. **Isolamento sonoro aéreo de partições verticais em habitações multifamiliares em Maceió-AL.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e urbanismo. Maceió, 2014. 185p.

PINI. **Tijolo cerâmico maciço sem função estrutural.** Disponível em:

<[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/69\\_alternativas.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/69_alternativas.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Bloco cerâmico estrutural.** Disponível em:

<[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/59\\_075-083.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/59_075-083.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Bloco de concreto estrutural.** Disponível em: <

[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/58\\_075-083.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/58_075-083.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.



\_\_\_\_\_. **Bloco sílico-calcário sem função estrutural.** Disponível em: <[http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/66\\_alternativas.pdf](http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/66_alternativas.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Desempenho de blocos de gesso- Dados nacionais.** Disponível em: <http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/079-086%203b.pdf>. Acesso em: 03 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **ISOCRET do Brasil.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/136/imagens/Isocret.pdf>> Acesso em: 03 out. 2015.

PALATNIK, SIDNEI. **Steel Framing:** versatilidade na construção industrializada. Disponível em: < <http://www.cbic.org.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.

**Placas cimentícias.** Disponível em: <<http://www.viroc.pt>>. Acesso em: 03 out. 2015.

**Placas de gesso acartonado.** Disponível em:<<http://www.placo.com.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.

POMARO, Heloisa. **Os cinco desafios do Light Steel Frame para 2011.** Disponível em: < <http://www.metalica.com.br/os-cinco-desafios-do-light-steel-frame-para-2011>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PROACÚSTICA. **Manual Proacústica sobre a norma de desempenho:** Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho. 2013. Disponível em: <<http://www.proacustica.org.br/publicacoes/manuais>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

RADAVELLI, Graziella Ferrer. **Avaliação experimental da perda de transmissão sonora em paredes externas de light steel frame.** Dissertação de Mestrado. Universidade federal de Santa Maria, Centro de tecnologia programa de pós-graduação em engenharia civil. Santa Maria, 2014. 158p.

REGO, Diogo José Martins. **Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing.** Dissertação de mestrado em engenharia. Universidade técnica de Lisboa, Instituto superior técnico. Lisboa. 2012, 154p.

REYNOLDS, D. D. **Engineering Principles of Acoustics:** Noise and Vibration Control. Boston: Allyn and Bacon, Inc., 1981.

REZENDE, Marco Antônio Penido de. **Inovação tecnológica nas edificações e a introdução da estrutura metálica em Minas Gerais.** Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, escola politécnica, São Paulo, 2003. 248p.

RIBAS, Rovadavia Aline de Jesus, et al. **Desempenho térmico e acústico de painéis de fechamento em Multicamadas**. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.6, n. 2, 2013.

ROSSO, Teodoro. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAU-USP, 1980. 300p.

SABBATINI, F.H. **A industrialização e o processo de produção de vedações**: Utopia ou elemento de competitividade empresarial. In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: seminário de vedações verticais, 1998. São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP, 1998. p. 01-20.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 1989.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria sílico-calcária**. São Paulo: USP, 1984. 298p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 1984.

SANTIAGO, Alexandre Kokke. **O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós- Graduação do Departamento de Engenharia Civil. Ouro preto, 2008. 153p.

SANTIGO, Alexandre; FREITAS, Arlene; CRASTO, Renata. **Steel Framing**: Arquitetura. (Série Manual de construção em Aço). 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Instituto Aço Brasil/CBCA, 2006. 121p.

SANTOS, Jorge Luiz Pizzuti dos. **Isolamento sonoro de partições arquitetônicas**. Santa Maria: Ed. Da UFSM, 2012.176p.

SCHMID, Aloísio Leoni. O significado de conforto. In: SCHMID, A. L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. p. 9-46.

SCHMIDT, Vinicius Leandro. **Paredes estruturais constituídas de painéis de pvc preenchidos com concreto**: análise das potencialidades do sistema. Trabalho de diplomação em engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de engenharia civil da Escola de engenharia. Porto alegre, 2013. 89 p.

SENADO FEDERAL. **Invisível, poluição sonora cresce e se agrava**. Jornal do Senado. Publicação em 19.06.2012. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/jornal/edicoes/2012/06/19/invisivel-poluicao-sonora-cresce-e-se-agrava>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

**Siding Vinílico, Siding cimentício e Siding em madeira.** Disponível em: <<http://www.globalplac.com.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.

SOCIÉTÉ FRANCAISE D'ACOUSTIQUE. **HAL-00810642:** Elements for an acoustic classification of dwellings and apartment buildings in France. Acoustics 2012, Apr 2012, Nantes, France.

SOUSA, Vitor Hugo Barros de. **Arquitetura, Sustentabilidade e Coordenação Modular:** Desenvolvimento de sistema construtivo modular. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Covilhã, 2011. 82p.

SOUZA, Henor Arthur de; BIELER, Helena Esteves; OLIVEIRA, Ana Beatriz de Figueiredo. **Inserção de sistemas de construção industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira.** Congresso Latino Americano da Construção Metálica-Construmetal, 2012.

SOUZA, Roberto de. **O conceito de desempenho aplicado às edificações.** Tula Melo: São Paulo, 2015. 52p.

STEEL FRAMING ALLIANCE-SFA. **Steel Framing Guide.** 2007, 12p. Disponível em: <<http://www.steel framing.org>>. Acesso em: 03 out. 2015.

TANIGUTI, Eliana Kimie. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado.** Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade de São Paulo, Escola politécnica, São Paulo, 1999, 283p.

TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said. **Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção.** Revista Engenharia e Vida, n.42, Janeiro 2008. p.2-5.

VALLE, Sólón do. **Manual prático de acústica.** 3 ed, Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009. 355 p.

VILLAR, Francelene Hermida Rezende. **Alternativas de sistemas construtivos para condomínios residenciais horizontais– estudo de caso.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. São Carlos, 2005. 150p.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A- Conceitos relacionados a Industrialização

CONCEITO	DEFINIÇÃO	AUTOR
Tecnologia construtiva	Tecnologia construtiva pode ser definida como um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos pertencente a um modo determinado de se construir um edifício. Não existe apenas uma tecnologia e sim várias interligadas a um determinado método construtivo.	SABBATINI (1989)
Técnica construtiva	Conjunto de ações que visam a confecção de parte de uma construção, como por exemplo, elevar uma parede	SABBATINI (1989)
Método construtivo	Associação de técnicas construtivas aplicadas para a confecção de uma edificação de forma independente e organizada.	SABBATINI (1989)
Processo construtivo	Refere-se a um modo ordenado para construir um edifício como um todo, a partir da associação de métodos específicos, como o processo construtivo de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos.	SABBATINI (1989)
Sistema construtivo	É um processo construtivo caracterizado por elevados níveis de industrialização, e organização, sendo formado por elementos e componentes intimamente relacionados e articulados pelo processo.  Do grego <i>systema</i> significa reunião, grupo, associação. Sistema Construtivo pode ser definido como um conjunto de subsistemas que se interligam constituindo a maior parte do edifício, com o intuito de efetivar a macro função a ele correspondente. São exemplos de subsistemas: a fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, e cobertura.	SABBATINI (1989)  ABNT (2013)
Subsistema	Está relacionado a uma parte da edificação que desempenha uma determinada função técnica, sendo capaz de exercê-la sozinho, em virtude de seu grau de elaboração, sendo constituído por componentes, produtos diretamente aplicados na construção, porém sem autonomia individual (exemplo: componente janela), semi-componentes, produto elaborado para constituir a construção, componentes ou materiais para a sua conformação (exemplo: telhas), e materiais, produtos naturais ou confeccionados pela indústria, utilizados nos canteiros de obra, empregado para usos diversos (exemplo: cimento, cal, areia) . Os principais subsistemas de um sistema construtivo são referentes a: estrutura (superestrutura- lajes, pilares e vigas, e infraestrutura- fundações), vedações internas e externas (paredes), cobertura, elétrico e hidráulico.	DUARTE (1982)
Inovação	“Introdução e difusão – no mercado – de mudanças qualitativas no conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos e nos meios materiais – elaborados dentro da ótica de eficiência produtiva que a sociedade possui – pertinentes a um modo específico de se construir uma edificação (ou uma sua parte) e empregados na criação, produção e difusão deste modo de construir”. Para que a tecnologia alcance a consolidação no mercado é fundamental que a mesma seja introduzida através de uma inovação. A inovação refere-se a alterações de cunho qualitativo na tecnologia, que podem ocorrer tanto no processo quanto na forma organizacional.	REZENDE (2003, p.52)
Racionalização <sup>18</sup>	A racionalização na construção civil está intimamente relacionada a sistematização do processo construtivo e abrange todas as ações da cadeia produtiva que visam potencializar todos os recursos envolvidos para a consumação da edificação em todas as suas fases, incluindo aspectos como materiais, pessoas, organizações, energia, tecnologia, tempo e finanças, tendo em vista a eficiência e otimização do sistema, proporcionando assim, economia, e a minimização do desperdício. Engloba a padronização, a componetização, pré-fabricação, e coordenação dimensional e modular.	SABBATINI (1989)  DUARTE (1982)

<sup>18</sup> Continua na próxima página.

	O processo de racionalização está diretamente associado a <i>Lean Construction</i> , conhecida no Brasil como Construção Enxuta, que é referente a uma mudança no conceito do processo produtivo, relacionado a percepção de valor agregado, evidenciando os processos, a eliminação de perdas e o incremento da produtividade.	SCHMIDT (2013)
Coordenação Modular	A coordenação modular relaciona-se a racionalização da obra, envolvendo todas as fases de produção, desde o projeto de arquitetura, os componentes aplicados, as matérias primas adotadas, o produto final desenvolvido, até a manutenção posterior do mesmo, com o intuito de evitar desperdícios e minimizar os custos, contribuindo para a qualificação da indústria da construção civil. Os componentes para a confecção do produto apresentam rigorosa padronização dimensional, proporcionando a diminuição na quantidade de componentes distintos empregados, segundo a aplicação de medidas de referência ou medidas modulares. A produção é seriada, e as dimensões dos componentes são múltiplas do módulo, e dessa forma, podem ser confeccionados em indústrias diferentes, já que possibilita a compatibilidade dimensional. A módulo base empregado na maioria dos países é de 10cm (decímetro).	SOUSA (2011)
Edificação	<p>“O edifício pode ser entendido como um sistema complexo, composto por vários subsistemas com funções distintas, que possuem relações intrínsecas entre si”.</p> <p>Os edifícios são classificados em função das características dos processos construtivos e da tipologia, em três subsetores: Construção Pesada, associada a obras de infraestrutura viária e urbana, bem como obras de arte e saneamento; Construção Industrial, referente a construção de indústrias, sistemas de geração e transmissão de energia e telecomunicações, além da extração de recursos naturais; e Construção de Edificações, relacionada a construção de edifícios residenciais, comerciais, institucionais e reformas.</p>	TANIGUTI (1999, p.10)  REZENDE (2003)
O desempenho aplicado às edificações	<p>Pode ser conceituado como a capacidade de um elemento em manter suas propriedades possibilitando realização efetiva de suas funções diante da influência de ações diversas, uma vez que os elementos que constituem as edificações estão submetidos a uma série de ações relacionadas aos fenômenos naturais, englobando os aspectos referentes ao clima da região na qual a edificação está inserida, tais como ventos, radiação solar, precipitações, umidade do ar, calor, frio, etc.; bem como resultantes de sua concepção e seu uso, como fogo, descargas permanentes, esforços de manuseio, ruídos internos e externos gerados, impactos de uso, ataques químicos, entre outros associados a confecção e utilização do edifício. A definição de padrões de desempenho é fundamental para propiciar os pressupostos mínimos de qualidade e durabilidade. A averiguação do potencial de um produto e o comportamento do mesmo é realizada através de uma avaliação de desempenho, e consiste “[...] prever o comportamento potencial do edifício e suas partes quando em utilização normal”.</p> <p>Souza (2015, p.12) versa sobre a utilização da alvenaria e seu comportamento enquanto parâmetro para a avaliação de desempenho de outros sistemas: “Avaliar soluções inovadoras para o edifício e suas partes, comparando-as com o tradicional, carece de uma base científica e metodológica. É uma tendência que, no estágio atual dos conhecimentos no campo das ciências da construção, pode e deve ser superada.”</p> <p>O conceito de desempenho de edificações surge no Brasil na década de 70, diante da introdução de uma série de sistemas construtivos inovadores, em virtude do desenvolvimento econômico que propiciou o desenvolvimento do setor da construção civil, justificando a necessidade de criação de novos instrumentos para avaliar a qualidade desses sistemas. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), destaca-se nesse aspecto, contribuindo de forma significativa para as discussões a respeito da temática em questão.</p>	SOUZA (2015 p.13)  SCHMIDT (2013)

Fonte: ABNT (2013); Duarte (1982); Rezende (2003); Sabbatini (1989); Schmidt (2013); Souza (2015); Taniguti (1999).

APÊNDICE B– Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições internas do Objeto 01

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI01 – S02 x BWC2</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	59,7	53,10	47,88	8,23	45,7
63	64,4	52,50	47,37	7,26	46,4
80	67,9	55,70	55,70	7,89	43,2
100	64,2	51,30	46,21	4,84	41
125	72,3	46,50	46,50	0,59	34,40
160	77,2	58,50	58,50	0,72	33,00
200	76,9	54,70	54,70	1,25	29,30
250	77,9	56,50	56,50	1,44	28,90
315	79,2	66,50	66,50	1,70	30,80
400	90,9	74,50	74,50	2,10	31,30
500	94,7	77,20	77,20	2,19	32,10
630	92,5	77,30	77,30	2,26	34,10
800	96,8	78,10	78,10	2,08	35,70
1000	93,8	75,00	75,00	2,02	36,30
1250	93,8	75,80	75,80	1,91	36,70
1600	94,3	73,90	73,90	1,82	34,90
2000	93,5	75,40	75,40	1,60	34,00
2500	93,2	75,00	75,00	1,41	33,90
3150	93,3	77,80	77,80	1,22	34,20
4000	93,7	77,20	77,20	1,33	30,10
5000	96,4	78,00	78,00	1,33	30,10
$\bar{x}$	<b>84,12</b>	<b>67,17</b>	<b>66,43</b>	<b>2,63</b>	<b>35,05</b>
<b>PI02 – S02 x COZ</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	64,1	54,5	49,11	8,23	45,7
63	66,4	53,1	47,89	7,26	46,4
80	69,1	47,8	46,50	7,89	43,2
100	67,2	46,8	45,50	4,84	41
125	69,3	46,4	46,4	0,59	34,40
160	75,8	53,3	53,3	0,72	33,00
200	76,1	52,1	52,1	1,25	29,30
250	79,1	55,7	55,7	1,44	28,90
315	83,2	61,2	61,2	1,70	30,80
400	89,0	69,5	69,5	2,10	31,30
500	90,9	71,3	71,3	2,19	32,10
630	93,6	72,0	72,0	2,26	34,10
800	95,0	73,4	73,4	2,08	35,70
1000	93,5	70,6	70,6	2,02	36,30
1250	94,8	71,6	71,6	1,91	36,70
1600	93,4	69,5	69,5	1,82	34,90
2000	94,9	70,6	70,6	1,60	34,00
2500	91,6	67,8	67,8	1,41	33,90
3150	92,5	69,8	69,8	1,22	34,20
4000	92,8	70,4	70,4	1,33	30,10
5000	94,8	71,2	71,2	1,33	30,10
$\bar{x}$	<b>84,15</b>	<b>62,79</b>	<b>62,16</b>	<b>2,63</b>	<b>35,05</b>

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI03 – S02 x CIRC</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	64,60	57,90	57,90	8,23	45,7
63	66,90	50,50	49,20	7,26	46,4
80	63,60	52,00	46,86	7,89	43,2
100	63,00	55,80	55,80	4,84	41
125	70,70	62,80	62,80	0,59	34,40
160	81,40	68,00	68,00	0,72	33,00
200	76,60	66,30	66,30	1,25	29,30
250	80,70	67,30	67,30	1,44	28,90
315	83,30	70,60	70,60	1,70	30,80
400	92,90	78,30	78,30	2,10	31,30
500	94,30	79,40	79,40	2,19	32,10
630	95,80	80,00	80,00	2,26	34,10
800	97,20	81,50	81,50	2,08	35,70
1000	94,80	79,10	79,10	2,02	36,30
1250	98,40	79,90	79,90	1,91	36,70
1600	95,50	78,40	78,40	1,82	34,90
2000	97,10	80,20	80,20	1,60	34,00
2500	93,70	78,00	78,00	1,41	33,90
3150	95,80	79,50	79,50	1,22	34,20
4000	96,10	79,20	79,20	1,33	30,10
5000	98,70	80,80	80,80	1,33	30,10
$\bar{x}$	<b>85,77</b>	<b>71,69</b>	<b>71,35</b>	<b>2,63</b>	<b>35,05</b>
<b>PI04 – S01 x BWC1</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	65,00	52,60	47,42	2,6	45,0
63	70,20	60,10	54,14	1,0	50,7
80	67,20	52,20	47,08	1,2	45,5
100	73,80	53,50	53,50	0,6	39,8
125	78,10	54,60	54,60	0,6	35,0
160	77,20	62,00	62,00	0,8	34,7
200	79,60	60,10	60,10	1,0	32,6
250	79,30	65,20	65,20	1,5	32,7
315	87,00	71,30	71,30	1,6	33,9
400	91,60	78,70	78,70	1,8	34,8
500	94,80	80,40	80,40	1,7	33,5
630	95,80	81,00	81,00	1,9	33,8
800	97,20	82,60	82,60	1,7	35,6
1000	96,20	80,70	80,70	1,6	36,1
1250	97,20	80,70	80,70	1,5	35,3
1600	96,10	79,60	79,60	1,5	34,3
2000	98,00	81,20	81,20	1,3	34,2
2500	94,60	79,50	79,50	1,2	34,9
3150	96,80	83,30	83,30	1,1	34,8
4000	96,20	81,80	81,80	1,1	31,5
5000	98,80	81,90	81,90	1,1	31,0
$\bar{x}$	<b>87,18</b>	<b>71,57</b>	<b>70,8</b>	<b>1,35</b>	<b>36,2</b>



<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI05 – S01 x CIRC</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	67,4	48,00	46,70	2,6	45,0
63	70,8	54,80	53,50	1,0	50,7
80	74,4	58,90	58,90	1,2	45,5
100	73,5	56,60	56,60	0,6	39,8
125	72,7	52,40	52,40	0,6	35,0
160	83,4	62,90	62,90	0,8	34,7
200	78,2	60,50	60,50	1,0	32,6
250	78,2	63,90	63,90	1,5	32,7
315	80,8	66,00	66,00	1,6	33,9
400	92,5	75,70	75,70	1,8	34,8
500	93,2	77,00	77,00	1,7	33,5
630	94,5	78,70	78,70	1,9	33,8
800	96,8	80,10	80,10	1,7	35,6
1000	94,7	77,20	77,20	1,6	36,1
1250	96,8	78,20	78,20	1,5	35,3
1600	95,2	78,60	78,60	1,5	34,3
2000	97,2	79,00	79,00	1,3	34,2
2500	94,0	76,80	76,80	1,2	34,9
3150	94,5	77,50	77,50	1,1	34,8
4000	94,9	76,00	76,00	1,1	31,5
5000	97,8	76,50	76,50	1,1	31,0
$\bar{x}$	<b>86,74</b>	<b>69,3</b>	<b>69,18</b>	<b>1,35</b>	<b>36,2</b>
<b>PI06 – QT02 x S01</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	61,4	42,10	40,80	2,6	45,0
63	74,4	60,10	54,14	1,0	50,7
80	73,0	61,70	61,70	1,2	45,5
100	72,6	58,90	58,90	0,6	39,8
125	71,3	59,40	59,40	0,6	35,0
160	79,4	66,80	66,80	0,8	34,7
200	77,6	61,60	61,60	1,0	32,6
250	80,8	60,20	60,20	1,5	32,7
315	85,9	58,70	58,70	1,6	33,9
400	92,8	65,40	65,40	1,8	34,8
500	95,0	65,70	65,70	1,7	33,5
630	97,7	65,40	65,40	1,9	33,8
800	99,1	64,90	64,90	1,7	35,6
1000	97,3	62,10	62,10	1,6	36,1
1250	98,9	62,30	62,30	1,5	35,3
1600	97,3	60,30	60,30	1,5	34,3
2000	99,1	61,90	61,90	1,3	34,2
2500	95,9	60,60	60,60	1,2	34,9
3150	96,2	64,40	64,40	1,1	34,8
4000	96,7	61,50	61,50	1,1	31,5
5000	99,3	58,80	58,80	1,1	31,0
$\bar{x}$	<b>87,7</b>	<b>61,09</b>	<b>60,74</b>	<b>1,35</b>	<b>36,2</b>

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI07 – QT02 x CIRC</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	67,4	51,10	49,80	5,16	46,5
63	70,8	60,30	54,34	0,91	51,8
80	74,4	56,10	56,10	0,98	41,1
100	73,5	53,20	53,20	0,50	37,4
125	72,7	52,00	52,00	0,67	29,9
160	83,4	63,00	63,00	0,85	31,6
200	78,2	59,10	59,10	0,98	29,6
250	78,2	61,00	61,00	1,61	29,1
315	80,8	64,70	64,70	1,67	30,9
400	92,5	74,60	74,60	1,83	30,0
500	93,2	76,90	76,90	1,87	30,2
630	94,5	79,20	79,20	1,95	31,4
800	96,8	81,10	81,10	1,85	32,2
1000	94,7	79,10	79,10	1,84	33,3
1250	96,8	79,50	79,50	1,73	33,9
1600	95,2	77,50	77,50	1,61	32,4
2000	97,2	79,00	79,00	1,40	32,3
2500	94,0	76,10	76,10	1,25	33,2
3150	94,5	78,10	78,10	1,07	33,2
4000	94,9	78,50	78,50	1,19	30,3
5000	97,8	78,80	78,80	1,16	30,2
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>86,74</b>	<b>69,47</b>	<b>69,13</b>	<b>1,53</b>	<b>33,83</b>
<b>PI08 – QT02 x QT01</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	61,4	50,60	45,66	16,35	44,50
63	74,5	54,20	54,20	4,18	43,20
80	73,0	58,20	58,20	2,62	42,40
100	72,6	51,00	45,95	1,30	41,10
125	71,3	52,20	52,20	0,49	32,90
160	79,4	60,40	60,40	0,65	34,00
200	77,6	57,40	57,40	1,20	33,00
250	80,8	58,20	58,20	1,20	31,00
315	85,9	57,50	57,50	1,68	33,20
400	92,8	65,10	65,10	1,89	31,60
500	95,0	66,80	66,80	1,89	30,50
630	97,7	65,70	65,70	1,82	30,80
800	99,1	65,40	65,40	1,85	32,50
1000	97,3	63,00	63,00	1,86	32,30
1250	98,9	63,40	63,40	1,73	32,90
1600	97,3	62,20	62,20	1,57	31,70
2000	99,1	63,70	63,70	1,43	32,20
2500	95,9	62,70	62,70	1,26	36,00
3150	96,2	65,90	65,90	1,08	36,70
4000	96,7	63,30	63,30	1,19	31,10
5000	99,3	60,20	60,20	1,18	31,90
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>87,7</b>	<b>60,34</b>	<b>59,86</b>	<b>2,31</b>	<b>34,55</b>

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI09 – QT01 x SALAS</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	62,9	47,90	46,60	16,35	44,50
63	69,1	55,80	55,80	4,18	43,20
80	70,7	55,00	55,00	2,62	42,40
100	72,1	52,30	52,30	1,30	41,10
125	70,9	45,90	45,90	0,49	32,90
160	78,5	56,20	56,20	0,65	34,00
200	78,2	55,00	55,00	1,20	33,00
250	79,2	55,30	55,30	1,20	31,00
315	82,6	59,70	59,70	1,68	33,20
400	90,1	67,20	67,20	1,89	31,60
500	91,6	59,30	59,30	1,89	30,50
630	93,2	70,20	70,20	1,82	30,80
800	95,3	71,90	71,90	1,85	32,50
1000	93,4	70,40	70,40	1,86	32,30
1250	95,0	71,70	71,70	1,73	32,90
1600	93,8	70,00	70,00	1,57	31,70
2000	95,5	71,70	71,70	1,43	32,20
2500	92,6	69,50	69,50	1,26	36,00
3150	93,4	71,70	71,70	1,08	36,70
4000	93,5	71,50	71,50	1,19	31,10
5000	95,8	71,00	71,00	1,18	31,90
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>85,11</b>	<b>62,82</b>	<b>62,76</b>	<b>2,31</b>	<b>34,55</b>
<b>PI10 – QT02 x QT01</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	61,5	49,20	47,90	5,16	46,5
63	66,9	61,50	55,40	0,91	51,8
80	71,2	57,00	57,00	0,98	41,1
100	72,6	55,50	55,50	0,50	37,4
125	70,2	55,20	55,20	0,67	29,9
160	77,3	62,30	62,30	0,85	31,6
200	77,4	58,70	58,70	0,98	29,6
250	78,9	58,80	58,80	1,61	29,1
315	84,9	58,10	58,10	1,67	30,9
400	93,2	65,50	65,50	1,83	30,0
500	94,6	67,20	67,20	1,87	30,2
630	96,0	66,10	66,10	1,95	31,4
800	97,4	65,70	65,70	1,85	32,2
1000	96,4	64,10	64,10	1,84	33,3
1250	97,3	64,00	64,00	1,73	33,9
1600	96,2	62,80	62,80	1,61	32,4
2000	98,3	64,50	64,50	1,40	32,3
2500	94,7	63,20	63,20	1,25	33,2
3150	95,2	66,40	66,40	1,07	33,2
4000	95,4	63,80	63,80	1,19	30,3
5000	98,2	60,60	60,60	1,16	30,2
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>86,37</b>	<b>61,44</b>	<b>61,09</b>	<b>1,53</b>	<b>33,83</b>

APÊNDICE C– Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições externas do Objeto 01

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições externas- Objeto 01</b>					
<b>PE1 – S02 x Área Externa</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	57,2	54,30	48,93	8,23	45,7
63	59,9	52,60	47,46	7,26	46,4
80	61,7	48,30	47,00	7,89	43,2
100	63,7	47,60	42,95	4,84	41
125	60,7	44,90	44,90	0,59	34,40
160	56,6	42,80	38,57	0,72	33,00
200	60,0	43,40	43,40	1,25	29,30
250	63,0	43,20	43,20	1,44	28,90
315	65,9	50,00	50,00	1,70	30,80
400	71,7	54,60	54,60	2,10	31,30
500	72,5	57,80	57,80	2,19	32,10
630	75,0	61,10	61,10	2,26	34,10
800	77,1	62,70	62,70	2,08	35,70
1000	75,9	59,50	59,50	2,02	36,30
1250	77,5	59,80	59,80	1,91	36,70
1600	76,7	57,40	57,40	1,82	34,90
2000	77,3	59,40	59,40	1,60	34,00
2500	73,4	57,10	57,10	1,41	33,90
3150	73,8	56,50	56,50	1,22	34,20
4000	73,7	54,50	54,50	1,33	30,10
5000	78,2	57,90	57,90	1,33	30,10
$\bar{x}$	<b>69,12</b>	<b>53,59</b>	<b>52,61</b>	<b>2,63</b>	<b>35,05</b>
<b>PE2 – S01 x Área Externa</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	56,1	44,00	42,70	2,6	45,0
63	61,2	49,00	47,70	1,0	50,7
80	63,0	43,60	42,30	1,2	45,5
100	62,9	42,90	41,60	0,6	39,8
125	61,4	39,70	38,40	0,6	35,0
160	55,8	37,50	36,20	0,8	34,7
200	60,0	39,10	35,30	1,0	32,6
250	62,7	40,60	36,62	1,5	32,7
315	67,1	44,90	44,90	1,6	33,9
400	70,7	49,70	49,70	1,8	34,8
500	71,4	52,90	52,90	1,7	33,5
630	74,2	54,50	54,50	1,9	33,8
800	76,6	57,60	57,60	1,7	35,6
1000	74,4	53,60	53,60	1,6	36,1
1250	76,4	54,10	54,10	1,5	35,3
1600	75,4	52,10	52,10	1,5	34,3
2000	76,8	55,30	55,30	1,3	34,2
2500	73,1	52,40	52,40	1,2	34,9
3150	72,0	54,60	54,60	1,1	34,8
4000	72,4	53,10	53,10	1,1	31,5
5000	78,4	55,90	55,90	1,1	31,0
$\bar{x}$	<b>68,67</b>	<b>48,91</b>	<b>48,17</b>	<b>1,35</b>	<b>36,2</b>

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições externas- Objeto 01</b>					
<b>PE3 – QT02 x Área Externa</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	59,2	43,70	42,40	5,16	46,5
63	60,6	51,40	50,10	0,91	51,8
80	60,6	45,20	43,90	0,98	41,1
100	60,2	43,60	39,36	0,50	37,4
125	58,3	38,40	34,63	0,67	29,9
160	55,1	39,40	35,54	0,85	31,6
200	57,7	40,80	40,80	0,98	29,6
250	60,0	41,30	41,30	1,61	29,1
315	63,2	46,10	46,10	1,67	30,9
400	69,5	50,40	50,40	1,83	30,0
500	69,4	53,30	53,30	1,87	30,2
630	71,2	54,50	54,50	1,95	31,4
800	73,4	58,60	58,60	1,85	32,2
1000	71,9	54,60	54,60	1,84	33,3
1250	73,4	54,90	54,90	1,73	33,9
1600	72,4	54,50	54,50	1,61	32,4
2000	73,0	58,70	58,70	1,40	32,3
2500	71,5	57,50	57,50	1,25	33,2
3150	69,6	54,60	54,60	1,07	33,2
4000	70,8	55,00	55,00	1,19	30,3
5000	77,3	57,90	57,90	1,16	30,2
$\bar{x}$	<b>66,59</b>	<b>50,21</b>	<b>49,46</b>	<b>1,53</b>	<b>33,83</b>
<b>PE2 – QT01 x Área Externa</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	57,8	47,80	46,50	16,35	44,50
63	61,5	45,50	44,20	4,18	43,20
80	61,1	44,50	43,20	2,62	42,40
100	59,6	45,00	43,70	1,30	41,10
125	56,4	42,10	37,95	0,49	32,90
160	54,2	42,00	37,87	0,65	34,00
200	56,4	42,60	38,39	1,20	33,00
250	59,1	40,30	36,32	1,20	31,00
315	63,7	44,20	44,20	1,68	33,20
400	69,8	50,70	50,70	1,89	31,60
500	69,2	54,20	54,20	1,89	30,50
630	70,4	57,90	57,90	1,82	30,80
800	73,5	58,60	58,60	1,85	32,50
1000	71,7	56,30	56,30	1,86	32,30
1250	73,7	57,10	57,10	1,73	32,90
1600	73,1	57,80	57,80	1,57	31,70
2000	74,4	63,60	63,60	1,43	32,20
2500	71,6	57,20	57,20	1,26	36,00
3150	69,7	55,20	55,20	1,08	36,70
4000	70,3	55,90	55,90	1,19	31,10
5000	74,6	58,50	58,50	1,18	31,90
$\bar{x}$	<b>66,28</b>	<b>51,29</b>	<b>50,25</b>	<b>2,31</b>	<b>34,55</b>

APÊNDICE D– Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições internas do Objeto 02

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI01 – SALA 01 x SALA 02</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	51,1	45,10	43,80	14,63	51,2
63	52,8	41,80	40,50	18,84	47,8
80	54,9	40,60	39,30	27,84	43,1
100	58,7	43,80	39,53	4,77	37,3
125	61,0	36,60	35,30	3,67	32,80
160	67,2	39,80	38,50	5,58	36,30
200	70,2	38,80	37,50	2,49	37,50
250	74,6	40,40	39,10	1,78	37,30
315	78,1	42,30	38,15	1,51	34,60
400	82,8	46,90	46,90	1,41	31,90
500	83,5	47,20	47,20	1,40	32,00
630	85,5	49,80	49,80	1,45	32,30
800	87,9	50,20	50,20	1,45	32,10
1000	85,9	47,50	47,50	1,48	31,20
1250	87,5	47,70	47,70	1,38	30,80
1600	86,0	46,70	46,70	1,37	30,90
2000	88,2	47,50	47,50	1,24	31,30
2500	85,2	43,50	43,50	1,09	31,90
3150	86,2	43,30	43,30	1,06	32,00
4000	86,7	42,60	42,60	1,08	30,00
5000	89,7	45,00	45,00	1,03	29,50
$\bar{x}$	<b>76,4</b>	<b>44,15</b>	<b>43,31</b>	<b>4,6</b>	<b>34,94</b>
<b>PI02 – QT01 x BWC1</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	57,2	38,4	37,10	12,4	37,2
63	68,7	49,2	49,2	7,7	30,9
80	61,4	50,2	50,2	6,5	28,3
100	55,9	49,2	49,2	1,7	27,7
125	62,6	35,8	32,28	4,5	26,6
160	76,0	47,6	47,6	1,6	28,3
200	72,3	43,3	43,3	1,7	27,7
250	77,5	49,5	49,5	2,0	27,2
315	82,7	53,4	53,4	2,9	27,2
400	86,9	56,4	56,4	2,0	26,8
500	91,7	57,5	57,5	2,6	27,6
630	91,8	55,4	55,4	1,9	28,9
800	93,6	55,0	55,0	1,7	29,6
1000	92,5	52,1	52,1	1,7	30,1
1250	93,0	53,6	53,6	1,6	30,1
1600	93,1	50,9	50,9	1,6	28,9
2000	95,8	52,9	52,9	1,5	28,0
2500	93,2	53,9	53,9	1,2	27,2
3150	94,0	58,2	58,2	1,1	26,5
4000	94,2	55,4	55,4	1,2	25,6
5000	97,2	53,3	53,3	1,1	24,8
$\bar{x}$	<b>82,44</b>	<b>51,01</b>	<b>50,78</b>	<b>2,86</b>	<b>28,34</b>

<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI03 – QT01 x COZ</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	54,70	38,90	37,60	12,4	37,2
63	59,10	36,80	35,50	7,7	30,9
80	63,70	42,50	42,50	6,5	28,3
100	66,20	44,00	44,00	1,7	27,7
125	62,20	48,20	48,20	4,5	26,6
160	69,40	54,60	54,60	1,6	28,3
200	67,50	54,20	54,20	1,7	27,7
250	74,50	59,60	59,60	2,0	27,2
315	76,50	64,60	64,60	2,9	27,2
400	82,20	72,10	72,10	2,0	26,8
500	86,10	72,60	72,60	2,6	27,6
630	87,80	70,30	70,30	1,9	28,9
800	88,80	71,00	71,00	1,7	29,6
1000	87,00	67,20	67,20	1,7	30,1
1250	88,70	69,20	69,20	1,6	30,1
1600	87,10	67,70	67,70	1,6	28,9
2000	89,10	69,40	69,40	1,5	28,0
2500	86,90	68,20	68,20	1,2	27,2
3150	88,20	71,10	71,10	1,1	26,5
4000	87,90	70,30	70,30	1,2	25,6
5000	91,90	70,70	70,70	1,1	24,8
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>78,36</b>	<b>61,1</b>	<b>60,98</b>	<b>2,86</b>	<b>28,34</b>
<b>PI04 – QT01 x QT02</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	55,00	41,70	40,40	12,4	37,2
63	56,60	50,30	50,30	7,7	30,9
80	59,10	50,60	50,60	6,5	28,3
100	60,80	42,80	42,80	1,7	27,7
125	59,90	33,50	30,25	4,5	26,6
160	72,00	43,50	43,50	1,6	28,3
200	74,60	41,50	41,50	1,7	27,7
250	80,80	42,30	42,30	2,0	27,2
315	82,30	45,20	45,20	2,9	27,2
400	87,20	45,10	45,10	2,0	26,8
500	89,50	44,90	44,90	2,6	27,6
630	90,90	43,70	43,70	1,9	28,9
800	92,20	43,30	43,30	1,7	29,6
1000	90,20	39,40	35,51	1,7	30,1
1250	92,10	39,20	35,34	1,6	30,1
1600	90,70	37,00	33,37	1,6	28,9
2000	92,80	39,20	39,20	1,5	28,0
2500	89,80	39,90	39,90	1,2	27,2
3150	90,50	40,70	40,70	1,1	26,5
4000	91,20	35,70	35,70	1,2	25,6
5000	94,00	34,70	31,28	1,1	24,8
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>80,58</b>	<b>41,63</b>	<b>40,71</b>	<b>2,86</b>	<b>28,34</b>

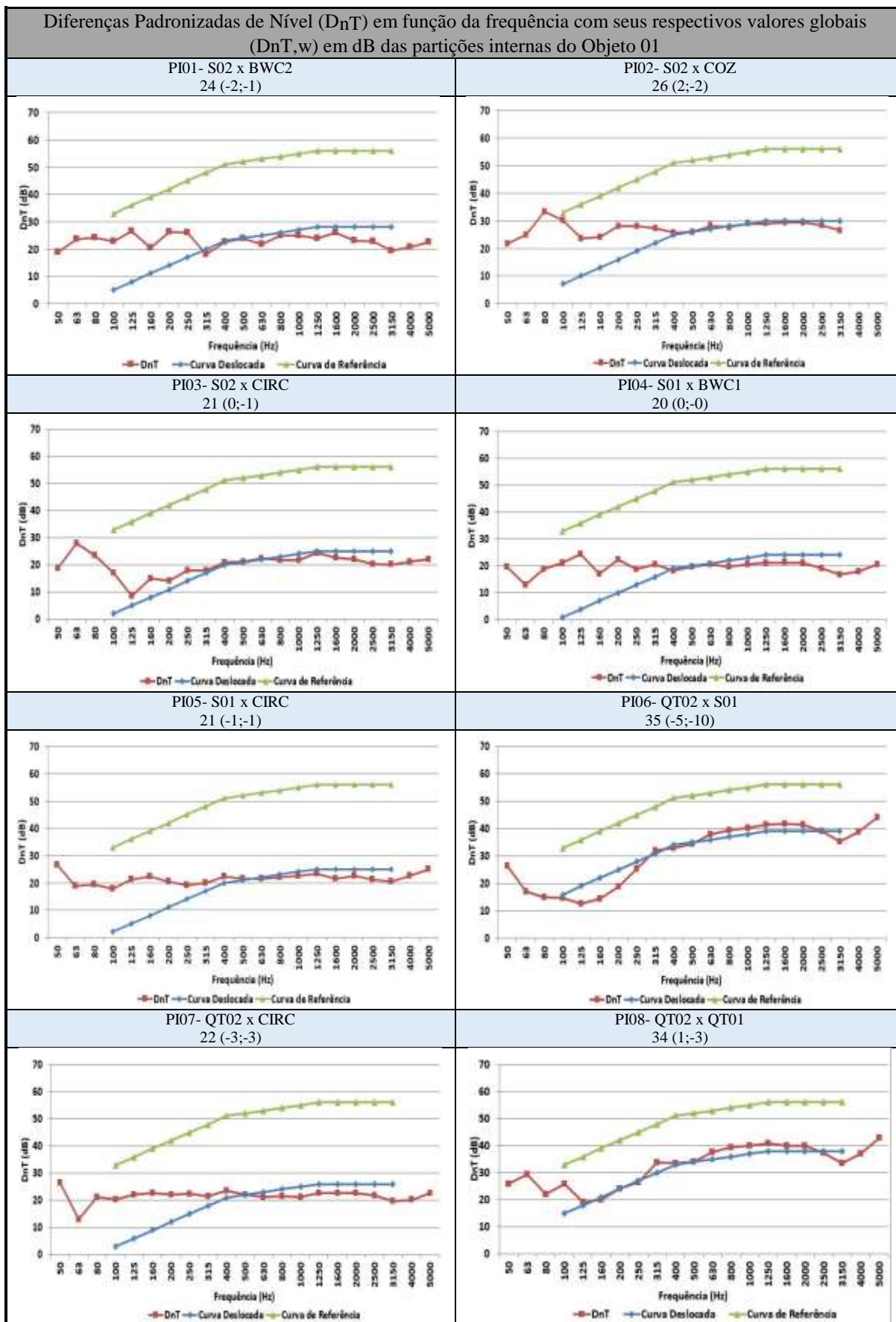
<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições internas- Objeto 01</b>					
<b>PI05 – S01 x BWC3</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	56,9	39,50	38,20	33,14	39,90
63	61,6	46,30	45,00	54,29	42,10
80	52,4	45,90	44,60	6,55	42,50
100	61,5	47,00	47,00	2,17	28,30
125	68,9	50,60	50,60	4,20	24,50
160	71,2	55,80	55,80	4,26	28,50
200	73,3	55,90	55,90	1,63	29,30
250	81,8	63,60	63,60	2,40	28,40
315	82,5	67,40	67,40	1,35	28,50
400	89,5	75,00	75,00	1,46	31,00
500	90,1	73,10	73,10	1,35	29,00
630	90,9	73,60	73,60	1,39	31,90
800	93,6	74,00	74,00	1,30	32,60
1000	92,2	70,40	70,40	1,36	31,30
1250	93,1	71,90	71,90	1,31	30,30
1600	91,8	71,00	71,00	1,26	29,60
2000	93,5	72,40	72,40	1,17	29,50
2500	91,2	71,50	71,50	1,04	29,70
3150	92,7	75,40	75,40	0,96	31,70
4000	93,4	75,10	75,10	1,04	29,80
5000	96,0	76,00	76,00	1,02	28,60
$\bar{x}$	<b>81,81</b>	<b>64,35</b>	<b>64,17</b>	<b>5,94</b>	<b>31,29</b>
<b>PI06 – S01 x S02</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	48,9	41,50	40,20	33,14	39,90
63	55,8	47,10	45,80	54,29	42,10
80	62,6	53,20	53,20	6,55	42,50
100	57,5	40,20	40,20	2,17	28,30
125	53,2	29,70	28,40	4,20	24,50
160	66,7	40,10	40,10	4,26	28,50
200	72,7	42,70	42,70	1,63	29,30
250	76,4	43,80	43,80	2,40	28,40
315	78,8	46,30	46,30	1,35	28,50
400	83,7	48,80	48,80	1,46	31,00
500	85,7	46,80	46,80	1,35	29,00
630	88,2	48,60	48,60	1,39	31,90
800	89,3	51,60	51,60	1,30	32,60
1000	87,3	49,40	49,40	1,36	31,30
1250	89,3	49,30	49,30	1,31	30,30
1600	87,7	46,00	46,00	1,26	29,60
2000	89,9	47,00	47,00	1,17	29,50
2500	87,2	46,00	46,00	1,04	29,70
3150	87,6	47,40	47,40	0,96	31,70
4000	87,9	45,00	45,00	1,04	29,80
5000	90,8	45,00	45,00	1,02	28,60
$\bar{x}$	<b>77,49</b>	<b>45,5</b>	<b>45,31</b>	<b>5,94</b>	<b>31,29</b>

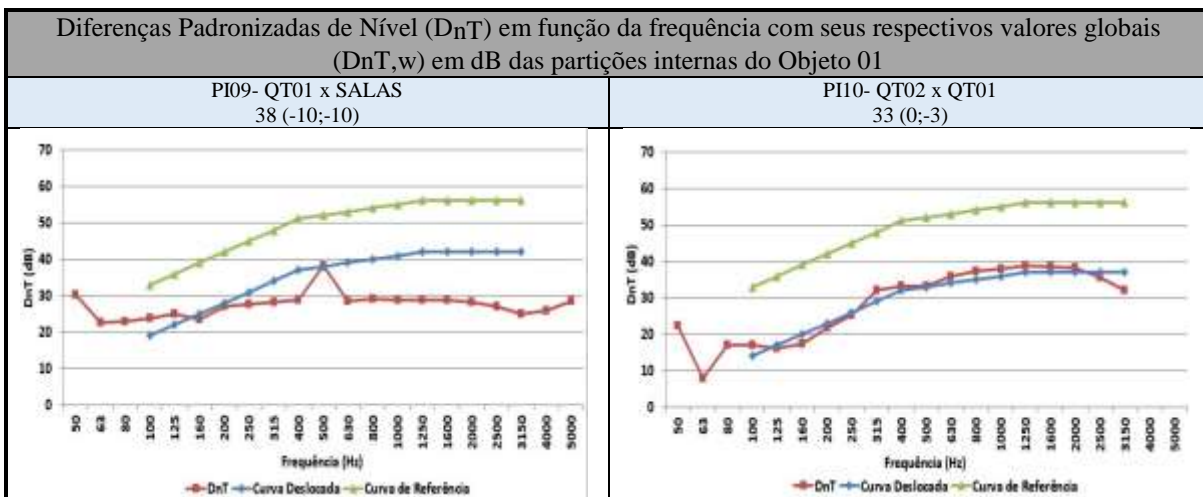


APÊNDICE E- Tabelas com a sistematização dos resultados das medições em campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições externas do Objeto 02

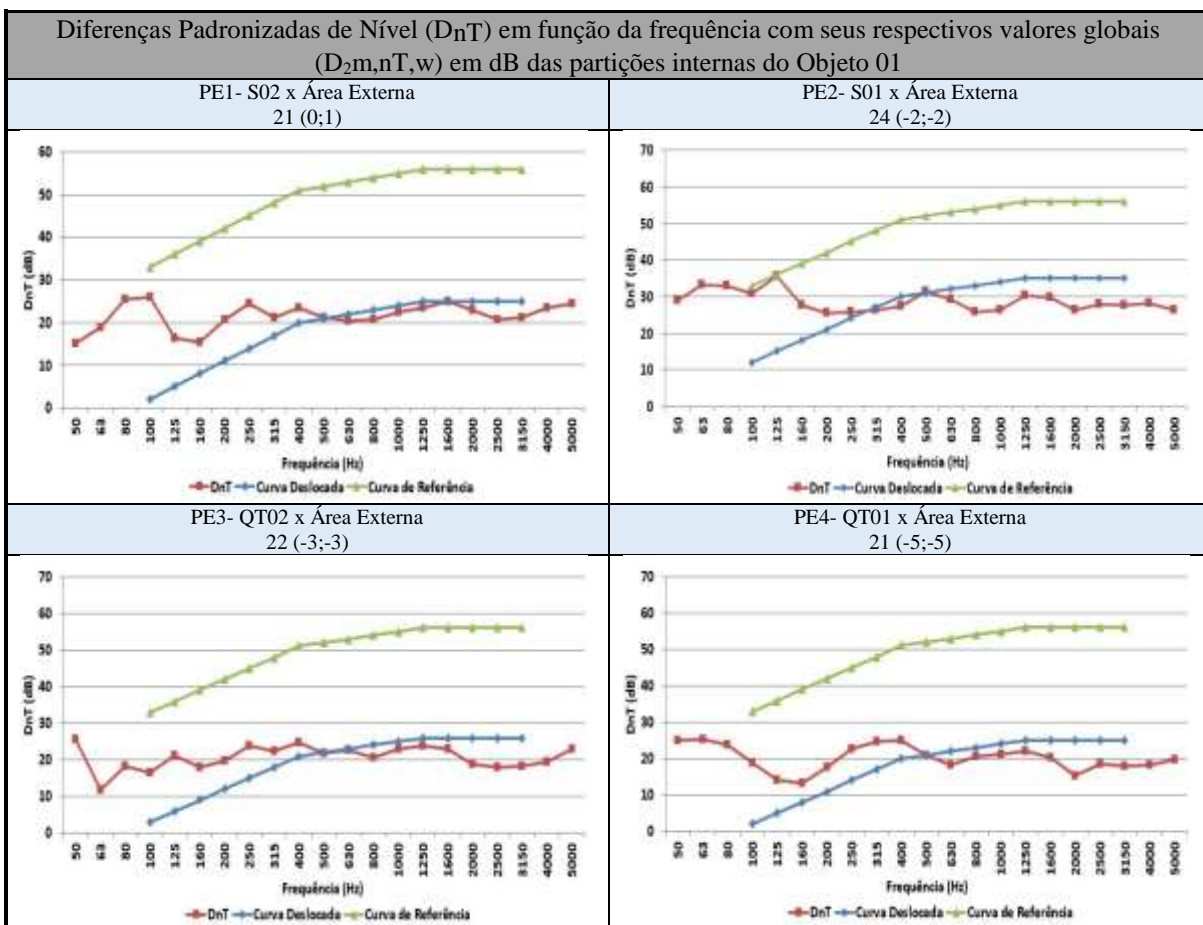
<b>Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições externas- Objeto 02</b>					
<b>PE1 – QT01 x Área Externa</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	50,6	35,50	34,20	12,4	37,2
63	52,8	31,40	30,10	7,7	30,9
80	54,3	32,60	31,30	6,5	28,3
100	54,8	29,40	28,10	1,7	27,7
125	54,0	28,00	26,70	4,5	26,6
160	52,0	29,30	28,00	1,6	28,3
200	54,7	34,60	31,24	1,7	27,7
250	56,7	37,00	33,35	2,0	27,2
315	61,2	42,50	42,50	2,9	27,2
400	67,1	45,70	45,70	2,0	26,8
500	72,0	47,80	47,80	2,6	27,6
630	72,9	49,60	49,60	1,9	28,9
800	73,3	52,90	52,90	1,7	29,6
1000	71,0	49,90	49,90	1,7	30,1
1250	74,2	49,10	49,10	1,6	30,1
1600	72,5	47,80	47,80	1,6	28,9
2000	74,4	52,90	52,90	1,5	28,0
2500	73,3	49,30	49,30	1,2	27,2
3150	73,1	48,90	48,90	1,1	26,5
4000	73,2	48,70	48,70	1,2	25,6
5000	77,7	54,90	54,90	1,1	24,8
$\bar{x}$	<b>65,04</b>	<b>42,75</b>	<b>42,05</b>	<b>2,86</b>	<b>28,34</b>
<b>PE2 – S01 x Área Externa</b>					
<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB</b>	<b>Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB</b>	<b>Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s</b>	<b>Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB</b>
50	55,7	41,60	40,30	33,14	39,90
63	56,9	44,30	43,00	54,29	42,10
80	52,2	45,80	44,50	6,55	42,50
100	48,0	33,00	31,70	2,17	28,30
125	47,8	28,30	27,00	4,20	24,50
160	51,8	34,10	32,80	4,26	28,50
200	56,0	36,30	32,77	1,63	29,30
250	59,0	36,90	33,28	2,40	28,40
315	59,1	39,60	39,60	1,35	28,50
400	64,6	43,90	43,90	1,46	31,00
500	66,3	45,90	45,90	1,35	29,00
630	66,9	47,50	47,50	1,39	31,90
800	68,9	51,10	51,10	1,30	32,60
1000	67,4	46,10	46,10	1,36	31,30
1250	70,7	47,70	47,70	1,31	30,30
1600	69,8	49,20	49,20	1,26	29,60
2000	70,6	53,90	53,90	1,17	29,50
2500	67,0	48,90	48,90	1,04	29,70
3150	68,6	49,20	49,20	0,96	31,70
4000	67,9	48,80	48,80	1,04	29,80
5000	72,4	50,20	50,20	1,02	28,60
$\bar{x}$	<b>62,27</b>	<b>43,92</b>	<b>43,21</b>	<b>5,94</b>	<b>31,29</b>

APÊNDICE F- Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível (D<sub>nT</sub>) em função da frequência com seus respectivos valores globais (D<sub>nT,w</sub>) em dB das partições internas do Objeto 01

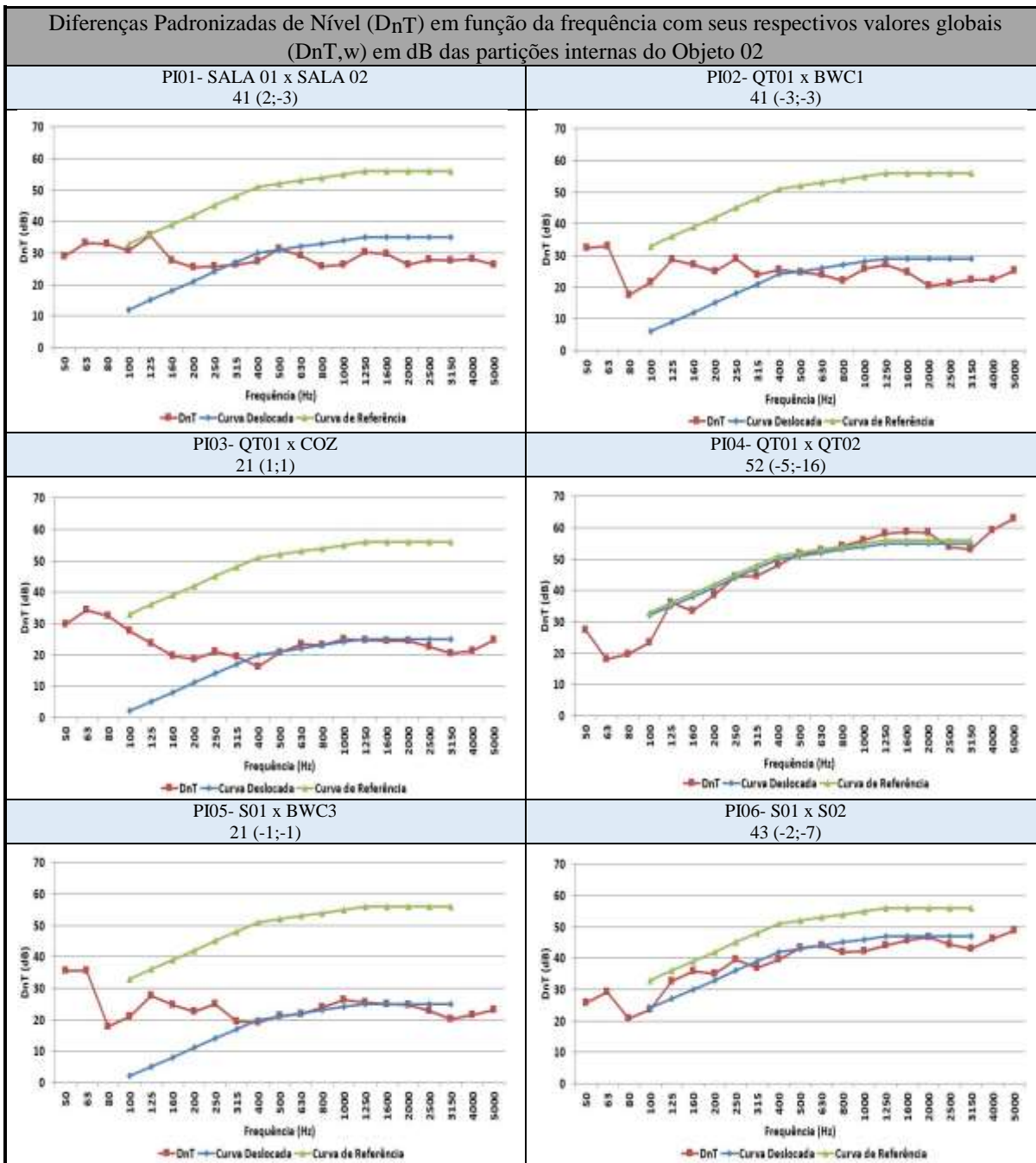




APÊNDICE G– Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível ( $D_nT$ ) em função da frequência com seus respectivos valores globais ( $D_{2m,nT,w}$ ) em dB das partições internas do Objeto 01



APÊNDICE H– Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível (D<sub>nT</sub>) em função da frequência com seus respectivos valores globais (D<sub>nT,w</sub>) em dB das partições internas do Objeto 02



APÊNDICE I– Quadro com gráficos das Diferenças Padronizadas de Nível ( $D_{nT}$ ) em função da frequência com seus respectivos valores globais ( $D_{2m,nT,w}$ ) em dB das partições internas do Objeto 02

