



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

NÍVEL DE CONFORTO ACÚSTICO:
UMA PROPOSTA PARA EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

MARIA DE FATIMA FERREIRA NETO

Campinas, SP

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

N384n Neto, Maria de Fatima Ferreira
Nível de conforto acústico: uma proposta para
edifícios residenciais / Maria de Fatima Ferreira Neto. --
Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Acústica arquitetônica. 2. Edifícios - Desempenho.
3. Normas - Ruído. 4. Percepção da fala. I. Bertoli,
Stelamaris Rolla. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Acoustic comfort level: a proposal for residential buildings

Palavras-chave em Inglês: Architectural acoustics, Buildings performance, Standards -
Noise, Speech perception

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Gladis Camarini, Marina Sangoi de Oliveira Ilha, Ludmila
Rodrigues de Moraes, Luis Antonio Perrone de Brito

Data da defesa: 10/12/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

NÍVEL DE CONFORTO ACÚSTICO:
UMA PROPOSTA PARA EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Maria de Fatima Ferreira Neto

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



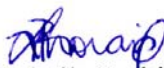
Profª. Drª Stelamaris Rolla Bertoli
Presidente e orientadora / FEC – UNICAMP



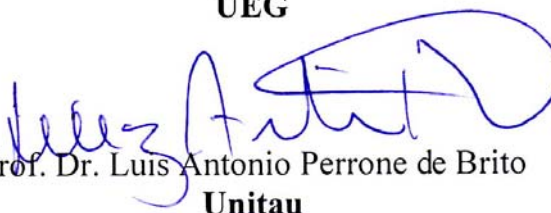
Profª. Drª Gladis Camarini
FEC – UNICAMP



Profª. Drª Marina Sangoi de Oliveira Ilha
FEC – UNICAMP



Profª. Drª Ludmila Rodrigues de Moraes
UEG



Prof. Dr. Luis Antonio Perrone de Brito
Unitau

Campinas, 10 de dezembro de 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

**NÍVEL DE CONFORTO ACÚSTICO:
UMA PROPOSTA PARA EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

MARIA DE FATIMA FERREIRA NETO

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Stelamaris Rolla Bertoli

Tese apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.

Campinas, SP

2009

AGRADECIMENTOS

“Tenho (...) enorme respeito e a mais elevada
admiração por todos os engenheiros,
especialmente pelo maior deles: Deus.”

Thomas Alva Edison

Primeiramente, os meus agradecimentos ao meu Deus, por me permitir a ousadia e fazer este trabalho e à Nossa Senhora, pela contínua intercessão.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Stelamaris pela orientação, pelo apoio, companheirismo e amizade.

Aos meus pais, Ramiro e Maria, pelo apoio de todas as formas.

Aos donos das vozes, feminina e masculina, a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Stelamaris e o Prof. Dr. José Augusto Mannis, do Departamento de Música do Instituto de Artes, da Unicamp, que gravaram o CD com as sentenças utilizadas no teste de avaliação subjetiva com o júri.

Ao Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, Peter J. Barry pelo enorme apoio acústico (co-orientador extra-oficial), inúmeros esclarecimentos e conversas descontraídas.

Às construtoras que permitiram a entrada e a realização dos testes em seus edifícios.

Ao pessoal que fez parte do meu júri, tanto no Brasil quanto em Portugal: Maria da Graça Rodrigues, Cadu, Margarete e Tony, Lucinha Oiticica, Tiago, Antônio Gentil e Amanda Nogueira, Amanda Asega, Luciano dos Santos, Gilberto Neto, Lígia, família Vaz: Sandra, Débora, Tatiana e sr. Pedro, meu irmão Manuel Ferreira Neto, Américo Neto, Emília de Jesus, Ludmila, aos engenheiros e estagiários das construtoras que gentilmente responderam ao convite para fazer parte do júri.

Ao Roberto Ferreira Neto, que além de fazer parte do júri, de um modo especial agradeço pelo empréstimo do seu portátil, sem o qual não teria feito as medições em Portugal,

Ao Paulo Carnio, Obadias Pereira, Daniel Celente e Christian dos Santos que além de participarem do júri, deram ajuda muito importante em medições.

Ao Prof. Dr. Daniel Araújo, da UFG e à Eng^a. Marisa Neto por muitos e muitos esclarecimentos.

À Prof^a. Dr^a. Julieta António e ao Prof. Dr. Luís Godinho do Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade de Coimbra, pelo empréstimo dos equipamentos necessários para a realização das medições em Portugal. Ao Marcos Piaí, da Brüel & Kjær, de São Paulo, pelas dicas para solucionar problemas instrumentais.

Aos meus amigos que torceram por mim para realizar este trabalho.

“Não vos conformeis com este mundo”.

São Paulo (Rm 12,2)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE QUADROS	xviii
LISTA DE TABELAS.....	xx
LISTA DE PRINCIPAIS SÍMBOLOS e SIGLAS	xxi
RESUMO	xxiii
ABSTRACT	xxiv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo geral	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 HIPÓTESES FORMULADAS	5
1.4 JUSTIFICATIVA	5
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
CAPÍTULO 2 – RUÍDO, DESCONFORTO E DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES	9
2.1 RUÍDO E DESCONFORTO	9
2.2 DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES	14
CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO ACÚSTICO (LABORATÓRIO E CAMPO).....	27
3.1 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO E EM CAMPO.....	29
3.2 MÉTODO DE LABORATÓRIO OU DE PRECISÃO	30
3.2.1 Câmaras reverberantes.....	30
3.2.2 Isolação sonora	32
3.2.2.1 Resultados dos testes de isolamento sonora	36
3.2.2.2 Coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} - entre 100 e 3150 Hz	38
3.2.2.3 Coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} - entre 50 e 5000 Hz	41
3.3 MÉTODO DE ENGENHARIA – CAMPO	43
3.4 MÉTODO SIMPLIFICADO DE CAMPO	49
3.5 ALGUNS RESULTADOS DE MEDIÇÕES	50

3.6	CORREÇÃO DO RUÍDO DE FUNDO	51
3.7	OUTROS PARÂMETROS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO	51
3.8	RESUMO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES	55
3.9	INCERTEZA ENVOLVIDA NAS MEDIÇÕES	56
CAPÍTULO 4 – AUDIBILIDADE E INTELIGIBILIDADE		59
4.1	AUDIBILIDADE OU <i>LOUDNESS</i>	59
4.2	TÉCNICA DA RESPOSTA IMPULSIVA.....	61
4.2.1	MLS (<i>maximum length sequences</i>).....	63
4.2.2	Varredura de senos (<i>sweep</i>).....	64
4.3	INTELIGIBILIDADE.....	64
4.3.1	Definição (<i>Definition, D₅₀</i>).....	64
4.3.2	Índice de transmissão da fala (<i>speech transmission index, STI</i>)	65
4.3.3	Perda da articulação das consoantes (<i>articulation loss of consonants,% ALC</i>)	68
4.4	PARÂMETROS ACÚSTICOS DE SALAS.....	68
4.4.1	Tempo de reverberação.....	69
4.4.2	Tempo de decaimento inicial (<i>early decay time, EDT</i>)	70
4.4.3	Ruído de fundo	71
CAPÍTULO 5 – CRITÉRIOS DE RUÍDO (OU DE INCOMODIDADE)		73
5.1	A IMPORTÂNCIA DOS CRITÉRIOS.....	73
5.2	CRITÉRIOS NACIONAIS: NORMAS E LEGISLAÇÃO BRASILEIRAS	75
5.2.1	ABNT NBR 10151 e ABNT NBR 10152	75
5.2.2	Legislação brasileira	77
5.2.3	ABNT NBR 15575 - Norma de desempenho de edifícios.....	79
5.3	CRITÉRIOS INTERNACIONAIS.....	81
5.3.1	África do Sul.....	82
5.3.2	Alemanha.....	83
5.3.3	Argentina	83
5.3.4	Austrália.....	83
5.3.5	Bélgica	84
5.3.6	Canadá	84
5.3.7	Chile.....	85
5.3.8	Espanha.....	85
5.3.9	Estados Unidos	86
5.3.10	Finlândia	87
5.3.11	França	87
5.3.12	Holanda.....	87
5.3.13	Itália.....	88

5.3.14	Japão	88
5.3.15	Noruega	90
5.3.16	Nova Zelândia.....	90
5.3.17	Polônia.....	91
5.3.18	Portugal.....	91
5.3.19	Reino Unido.....	92
5.3.20	Outros critérios internacionais.....	92
5.4	RESUMO DOS CRITÉRIOS ESTUDADOS	93
CAPÍTULO 6 – MATERIAIS E MÉTODOS.....		99
6.1	PAREDES AVALIADAS.....	100
6.2	AVALIAÇÃO OBJETIVA	102
6.2.1	Desempenho em laboratório – avaliação da isolamento sonora.....	102
6.2.2	Desempenho em campo – avaliação do isolamento sonoro.....	105
6.2.3	Correção do ruído de fundo	107
6.2.4	Audibilidade - Método de Stevens	107
6.2.5	Inteligibilidade da palavra falada.....	110
6.3	AVALIAÇÃO SUBJETIVA	114
6.4	PROPOSTA: NÍVEL DE CONFORTO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	115
CAPÍTULO 7 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES		119
7.1	AVALIAÇÃO OBJETIVA - DESEMPENHO	123
7.1.1	Desempenho em laboratório.....	123
7.1.1.1	BR2 - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	124
7.1.1.2	BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura.....	124
7.1.1.3	BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura.....	126
7.1.1.4	BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura.....	128
7.1.1.5	BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura.....	130
7.1.1.6	PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura	132
7.1.1.7	PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura	133
7.1.1.8	PT3 - Paredes duplas com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm	134
7.1.2	Desempenho em campo e audibilidade	135
7.1.2.1	BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura	136
7.1.2.2	BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura.....	137
7.1.2.3	BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	138
7.1.2.4	BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	139
7.1.2.5	BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura.....	141
7.1.2.6	BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura.....	141
7.1.2.7	BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura.....	143

7.1.2.8	BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura.....	144
7.1.2.9	PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura	145
7.1.2.10	PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura	146
7.1.2.11	PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm.....	147
7.1.2.12	PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm	149
7.1.2.13	Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio).....	150
7.1.3	Resumo dos resultados do desempenho e avaliação.....	151
7.2	AVALIAÇÃO OBJETIVA - INTELIGIBILIDADE DA FALA	154
7.2.1	Comparação entre D_nT e SNR	154
7.2.1.1	BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura	155
7.2.1.2	BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura.....	156
7.2.1.3	BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	157
7.2.1.4	BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	157
7.2.1.5	BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura.....	158
7.2.1.6	BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura.....	159
7.2.1.7	BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura.....	160
7.2.1.8	BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura.....	161
7.2.1.9	PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura	162
7.2.1.10	PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura	163
7.2.1.11	PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm.....	163
7.2.1.12	PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm	164
7.2.1.13	Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio).....	165
7.2.2	Comparação entre EDT e T_{20}	166
7.2.2.1	BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura	167
7.2.2.2	BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura.....	171
7.2.2.3	BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	172
7.2.2.4	BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	172
7.2.2.5	BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura.....	173
7.2.2.6	BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura.....	174
7.2.2.7	BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura.....	175
7.2.2.8	BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura.....	175
7.2.2.9	PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura	176
7.2.2.10	PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura	177
7.2.2.11	PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm.....	178
7.2.2.12	PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm	178
7.2.2.13	Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio).....	179
7.2.3	Definição, D_{50}	180
7.2.3.1	BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura	180
7.2.3.2	BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura.....	181

7.2.3.3	BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	182
7.2.3.4	BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	182
7.2.3.5	BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura.....	183
7.2.3.6	BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura.....	184
7.2.3.7	BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura.....	184
7.2.3.8	BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura.....	185
7.2.3.9	PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura	186
7.2.3.10	PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura	187
7.2.3.11	PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm.....	187
7.2.3.12	PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm.....	188
7.2.3.13	Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio).....	189
7.2.4	STI, Privacidade e %ALC	189
7.3	AVALIAÇÃO SUBJETIVA	192
7.3.1	BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura	192
7.3.2	BR1-B- Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura	196
7.3.3	BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura	197
7.3.4	BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura.....	198
7.3.5	BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura.....	199
7.3.6	BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura.....	199
7.3.7	BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura	200
7.3.8	BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura	201
7.3.9	PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura	201
7.3.10	PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura	202
7.3.11	PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação	203
7.3.12	PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação.....	203
7.3.13	Resumo dos resultados subjetivos	204
7.4	AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE CONFORTO ACÚSTICO, L_{CONF}	206
7.5	RESUMO DOS RESULTADOS DE DESEMPENHO, INTELIGIBILIDADE E CONFORTO.....	209
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES		213
8.1	AVALIAÇÃO OBJETIVA DO DESEMPENHO DE RUÍDO AÉREO.....	213
8.1.1	Desempenho em campo e em laboratório.....	214
8.1.2	Audibilidade e inteligibilidade da fala.....	217
8.2	AVALIAÇÃO SUBJETIVA	218
8.3	CONFORTO	219
8.4	SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.....	220
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		221
ANEXO A - LISTAS DE SENTENÇAS		232

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Pg
2.1 Rua Direita, São Paulo, 1916	18
2.2 Capa da Revista Veja São Paulo, Edição 2060, de 14/05/2008, Ed. Abril	19
3.1 Modelo esquemático das câmaras e do corpo de prova. (Fonte: Adaptado de BARRY, 2005)	30
3.2 Resumo dos parâmetros e grandezas obtidas em laboratório. (Fonte: Adaptado de BARRY, 2005)	36
3.3 Modelo esquemático da medição do isolamento sonoro em edifício, com as diferentes trajetórias do som. (Fonte: Adaptado de BARRY, 2005)	45
4.1 Escala da audibilidade (Fonte: Adaptado de GINN, 1978)	60
4.2 Sistema LIT em representação	62
4.3 Exemplo de resposta impulsiva. (Fonte: BRÜEL & KJÆR, 2003b)	63
4.4 Relação entre a energia dos primeiros 50ms, E1, e a energia total, E2. (Fonte: BRÜEL & KJÆR, 2003b)	65
4.5 Função transferência de modulação: comparação com o sinal de entrada e sinal de saída e influência do ruído, reverberação e ecos. (Fonte: Adaptado de BS EN 60268-16, 2003)	66
4.6 Influência de ruído e da reverberação na transferência de modulação. (Fonte: MÜLLER, 2005)	67
4.7 Som direto e som refletido. (Fonte: Adaptado de BRÜEL & KJÆR, 2003a)	70
5.1 Relação entre os números únicos obtidos segundo a norma ISO e método japonês para isolamento de ruído aéreo. (Fonte: KOYASU <i>et al.</i> , 2004)	90
5.2 Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído aéreo em partições verticais entre unidades habitacionais.	97
6.1 Montagem dos equipamentos para a realização do ensaio	103
6.2 Montagem de parede para teste de isolamento sonora, com detalhe à colocação da argamassa..	104
6.3 Montagem de parede para teste de isolamento sonora, com detalhe à colocação da argamassa..	104
6.4 Construção de parede de tijolos cerâmicos, em Portugal, com o uso da pá de pedreiro e, no detalhe, uma peça de tijolo cerâmico. (APICER, 2000)	105
6.5 Montagem dos equipamentos para avaliação da inteligibilidade da fala	110
6.6 Obtenção da resposta impulsiva por meio da técnica de varredura de senos. (Fonte: adaptado de MÜLLER e MASSARANI, 2001)	112
7.1 Amostras dos blocos utilizados na confecção da parede para teste de isolamento.	125

7.2	Montagem da parede, com visão para o preenchimento das juntas verticais e horizontais e a colocação da argamassa	125
7.3	Parede posicionada entre-câmaras para a realização do teste de isolamento sonora.....	125
7.4	BR3 - Desempenho da parede obtido pelo teste de isolamento sonora.....	126
7.5	Amostra dos blocos utilizados na construção da parede avaliada em teste de isolamento sonora.	127
7.6	Parede construída para o teste de isolamento sonora	127
7.7	Parede rebocada e posicionada entre-câmaras para a realização do teste de isolamento sonora .	127
7.8	BR4 - Resultados do desempenho avaliado em laboratório	128
7.9	Amostra dos blocos utilizados na confecção da parede para o teste de isolamento sonora.	129
7.10	Montagem da parede para o teste de isolamento sonora. As juntas verticais e horizontais foram cuidadosamente preenchidas com argamassa.....	129
7.11	Parede rebocada posicionada para o teste de isolamento sonora	129
7.12	BR5 - Resultados do desempenho avaliado em laboratório	130
7.13	Amostras dos blocos utilizados na confecção da parede para o teste de isolamento sonora.....	131
7.14	Montagem da parede no pórtico do laboratório	131
7.15	Parede na câmara reverberante, para o teste de isolamento sonora.....	131
7.16	BR6 - Resultados da avaliação do desempenho em laboratório	132
7.17	PT1 - Resultados do teste de isolamento sonora em parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 mm. (Fonte: Adaptado de PIÃO, 2007).....	133
7.18	PT2 - Resultados do teste de isolamento sonora em parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 150 mm. (Fonte: Adaptado de PIÃO, 2007).....	134
7.19	PT3 - Resultados do teste de isolamento sonora em parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 e 150 mm. (Fonte: Adaptado de PIÃO, 2007)	135
7.20	BR1-A - Resultados do desempenho da parede em campo	136
7.21	BR1-B - Resultados do desempenho da parede em campo	138
7.22	BR2-A - Resultados do desempenho da parede em campo	139
7.23	BR2-B - Resultados do desempenho da parede em campo	140
7.24	BR3 - Resultados do desempenho da parede em campo	141
7.25	BR4 - Resultados do desempenho da parede em campo	142
7.26	BR5 - Resultados do desempenho da parede em campo	143
7.27	BR6 - Resultados do desempenho da parede em campo.	145
7.28	PT1 - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 mm	146
7.29	PT2 - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 150 mm	147
7.30	PT3-A - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 + 150 mm.....	148

7.31	PT3-B - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 + 150 mm.....	149
7.32	Desempenho em campo da parede PT3-B.....	151
7.33	Desempenho em campo da parede PT3-C.....	151
7.34	BR1-A - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	155
7.35	BR1-B - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	156
7.36	BR2-A - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	157
7.37	BR2-B - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	158
7.38	BR3 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	159
7.39	BR4 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	160
7.40	BR5 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	161
7.41	BR6 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	162
7.42	PT1 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	162
7.43	PT2 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	163
7.44	PT3-A - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	164
7.45	PT3-B - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT}	165
7.46	Relação sinal ruído e desempenho em campo da parede PT3-B.....	166
7.47	Relação sinal ruído e desempenho em campo da parede PT3-C.....	166
7.48	BR1-A - EDT e $T_{20} - 0 \text{ m}^2$	168
7.49	BR1-A - EDT e $T_{20} - 11 \text{ m}^2$	168
7.50	BR1-A - EDT e $T_{20} - 15 \text{ m}^2$	168
7.51	Valores do tempo de reverberação nos dois pontos de medição e nas três condições da câmara de emissão, no LACAF.....	170
7.52	Valores de EDT nos dois pontos de medição e nas três condições da câmara de emissão, no LACAF.....	170
7.53	BR1-B - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.....	171
7.54	BR2-A - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.....	172
7.55	BR2-B - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.....	173
7.56	BR3 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.....	174
7.57	BR4 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.....	174
7.58	BR5 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.....	175
7.59	BR6 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.....	176

7.60	PT1 - Resultados de EDT e T ₂₀ e respectivos desvios padrão, SD.....	176
7.61	PT2 - Resultados de EDT e T ₂₀ e respectivos desvios padrão, SD.....	177
7.62	PT3-A - Resultados de EDT e T ₂₀ e respectivos desvios padrão, SD	178
7.63	PT3-B - Resultados de EDT e T ₂₀ e respectivos desvios padrão, SD.....	179
7.64	EDT e T ₂₀ - parede PT3-B.....	179
7.65	EDT e T ₂₀ - parede PT3-C.....	179
7.66	BR1-A - Valores da média da definição, D ₅₀ nas três condições da câmara de emissão, e os respectivos valores dos desvios padrão, SD	180
7.67	BR1-B - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD	181
7.68	BR2-A - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	182
7.69	BR2-B - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD	183
7.70	BR3 - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	183
7.71	BR4 - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	184
7.72	BR5 - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	185
7.73	BR6 - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	185
7.74	PT1 - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	186
7.75	PT2 - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	187
7.76	PT3-A - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD	188
7.77	PT3-B - Resultado da Definição, D ₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.....	188
7.78	Definição, D ₅₀ e desvio padrão, SD - parede PT3-B	189
7.79	Definição, D ₅₀ e desvio padrão, SD - parede PT3-C	189
7.80	Inteligibilidade da fala para a voz feminina em relação às diferentes áreas de material absorvedor colocado na câmara de emissão	194
7.81	Inteligibilidade da fala para a voz masculina em relação às diferentes áreas de material absorvedor colocado na câmara de emissão	194
7.82	BR1-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade para 0 m ² de material absorvedor.....	195
7.83	BR1-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade para 11 m ² de material absorvedor.....	196
7.84	BR1-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade para 15 m ² de material absorvedor.....	196
7.85	BR1-B - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.....	197
7.86	BR2-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.....	197

7.87	BR2-B - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.....	198
7.88	BR3- Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.....	199
7.89	BR4 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.....	200
7.90	BR5 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.....	200
7.91	BR6 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.....	201
7.92	PT1 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade	202
7.93	PT2 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade	202
7.94	PT3-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade	203
7.95	PT3-B - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade	204
7.96	Audibilidade proporcionada pelas paredes como função de $D_{nT,w}$	207
7.97	Relação entre STI e $D_{nT,w}$	208
7.98	Relação entre L_{conf} e $D_{nT,w}$	209

LISTA DE QUADROS

QUADROS	Pg
2.1	Percepção do som em relação às mudanças de nível de ruído 12
2.2	Resposta humana a aumento no nível de ruído 12
2.3	Relação entre Isolamento sonoro, R'_w e a percepção da inteligibilidade da fala 25
3.1	Valores da curva de referência 37
3.2	Coefficiente de adaptação em função do tipo de fonte sonora 39
3.3	Valores de referência para a obtenção dos coeficientes entre 100 e 3150 Hz 40
3.4	Valores de referência para a obtenção dos coeficientes entre 50 e 5000Hz 42
3.5	Resultados de medições de isolamento sonora, em laboratório 50
3.6	Resultados de medições de isolamento de ruído aéreo, em campo 50
3.7	Valores de referência para o cálculo do número único STC 53
4.1	Classificação de STI 68
5.1	Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes externos, em dB(A) 76
5.2	Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes internos, em dB(A) 76
5.3	Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes internos, em dB(A) 76
5.4	Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo e Índice de redução sonora ponderado dos elementos construtivos, R_w , para ensaio de laboratório 81
5.5	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$ necessário para diferentes níveis de ruído de fundo 82
5.6	Determinação dos requisitos acústicos dos edifícios, conforme a lei 447/95 e o Decreto do Presidente do Conselho de Ministros, DPCM 5/12/97 88
5.7	Outros Valores de Referência Internacionais – Nível de ruído aéreo entre unidades habitacionais 92
5.8	Critérios: nível de ruído aéreo entre unidades habitacionais 95
5.9	Valores de isolamento de ruído aéreo e equivalência com R'_w 95
6.1	Conversão do nível sonoro em índice de audibilidade 108
6.2	Exemplo de função transferência de modulação, MTF 113
A1	Sentenças da lista 1A 232
A2	Sentenças da lista 1B 232

A3	Sentenças da lista 2B.....	232
A4	Sentenças da lista 3B.....	233
A5	Sentenças da lista 4B.....	233
A6	Sentenças da lista 5B.....	233
A7	Sentenças da lista 6B.....	233

LISTA DE TABELAS

TABELA	Pg
3.1 Parâmetros acústicos utilizados na isolação sonora segundo as normas ISO - Testes em Laboratório	55
3.2 Parâmetros acústicos utilizados no isolamento sonoro segundo as normas ISO - Testes em Campo.....	55
3.3 Parâmetros acústicos utilizados na isolação sonora (laboratório) e no isolamento sonoro (campo), conforme as normas ASTM	56
5.1 Valores de Referência Internacionais – Isolamento de ruído aéreo entre unidades habitacionais.....	93
6.1 Identificação das paredes avaliadas.....	101
6.2 Classificação de Privacidade	114
6.3 Tabela para avaliação subjetiva da percepção da inteligibilidade de cada sentença de cada grupo de 10 sentenças.....	115
6.4 Classe de conforto, segundo os valores do nível de conforto, L_{conf}	117
7.1 Identificação das paredes avaliadas.....	119
7.2 Identificação das paredes avaliadas e influência do material utilizado no reboco	121
7.3 Resumo dos resultados de desempenho realizados em laboratório	152
7.4 Resumo dos resultados de desempenho realizados em campo	152
7.5 Resumo dos resultados obtidos em Portugal	153
7.6 Resultados dos parâmetros psicoacústicos referentes ao material de absorção na câmara de emissão	190
7.7 Análise dos resultados para os demais ambientes	192
7.8 Resultados da inteligibilidade para a voz feminina e masculina	193
7.9 Resumos dos resultados subjetivos, em percentual, da parede BR1-A	204
7.10 Resumos dos resultados subjetivos, em percentual, para as demais paredes	205
7.11 Cálculo da audibilidade a partir de D_{nT}	206
7.12 Resumo dos resultados em todas as paredes avaliadas.....	211

LISTA DE PRINCIPAIS SÍMBOLOS e SIGLAS

<i>A</i>	- Área equivalente de absorção
<i>ABNT</i>	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ASTM</i>	- American Society for Testing and Materials
%ALC	- Perda da articulação das consoantes (<i>articulation loss of consonants</i>)
<i>c</i>	- Velocidade do som
<i>C</i>	- Coeficiente de adaptação de espectro para avaliação do desempenho entre recintos
<i>CEN</i>	- <i>European Committee for Standardization</i>
<i>C_{tr}</i>	- Coeficiente de adaptação de espectro para avaliação do desempenho de fachadas para ruído de trânsito ou baixas frequências
<i>D</i>	- Diferença de nível
<i>D_{2m,nT}</i>	- Diferença padronizada de nível a 2 metros (<i>standardized level difference</i>)
<i>D_{2m,nT,w}</i>	- Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros (<i>weighted standardized level difference</i>)
<i>D₅₀</i>	- Definição (<i>definition</i>)
<i>D_n</i>	- Diferença normalizada de nível (<i>normalized level difference</i>)
<i>D_{n,w}</i>	- Diferença normalizada de nível ponderada (<i>weighted normalized level difference</i>)
<i>D_{nT}</i>	- Diferença padronizada de nível (<i>standardized level difference</i>)
<i>D_{nT,w}</i>	- Diferença padronizada de nível ponderada (<i>weighted standardized level difference</i>)
<i>EDT</i>	- Tempo de decaimento inicial (<i>early decay time</i>)
IFACO	- Isolamento sonoro bruto proporcionado pelo conjunto fachada/cobertura
IPAIN	- Isolamento sonoro bruto proporcionado por parede interna à habitação
<i>ISO</i>	- <i>International Organization for Standardization</i>
<i>L_{B2}</i>	- Nível do ruído de fundo no ambiente de recepção
<i>L_{conf}</i>	- Nível de conforto acústico
<i>L_{Pr}</i>	- Nível de privacidade
<i>L₁</i>	- Nível de pressão sonora no ambiente de emissão
<i>L₂</i>	- Nível de pressão sonora no ambiente de recepção
<i>MLS</i>	- <i>Maximum length sequences</i>

<i>MTF</i>	- Função transferência de modulação
<i>MTI</i>	- Índices da transferência de modulação
<i>NCA</i>	- Nível Critério de Avaliação
<i>PT</i>	- Perda por transmissão sonora (<i>Sound transmission loss</i>)
<i>Pr</i>	- Privacidade
<i>R</i>	- Índice de redução sonora (<i>Sound reduction index</i>)
<i>R'</i>	- Índice de redução sonora aparente (<i>Apparent sound reduction index</i>)
<i>R'_w</i>	- Índice de redução sonora aparente ponderado (<i>Weighted apparent sound reduction index</i>)
<i>R_w</i>	- Índice de redução sonora ponderado (<i>Weighted sound reduction index</i>)
<i>S</i>	- Área do corpo-de-prova
<i>STC</i>	- Classe de transmissão sonora (<i>Sound transmission class</i>)
<i>STI</i>	- Índice de transmissão da fala (<i>speech transmission index</i>)
<i>T</i>	- Temperatura do ar
<i>T₂</i>	- Tempo de reverberação (<i>reverberation time</i>)
<i>T₂₀</i>	- Tempo de reverberação (<i>reverberation time</i>)
<i>T_o</i>	- Tempo de reverberação de referência, em edificações
<i>T_s</i>	- Tempo central (<i>central time</i>)
<i>V</i>	- Volume do ambiente

RESUMO

NETO, Maria de Fatima Ferreira. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais.** Campinas, 2009. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.

O desempenho de uma edificação envolve aspectos fundamentais, como conforto, segurança e durabilidade. Dentro desses aspectos, podem ser avaliados os confortos acústico e térmico, segurança contra incêndio e, resistência estrutural, aos agentes agressivos e à água. Muitas vezes é somente após a entrega do edifício que, ao item *conforto*, passa a ser dada maior atenção, principalmente, pelo usuário que sente que o conforto acústico recebeu pouca importância durante o projeto e execução da obra. A questão do conforto acústico em edificações pode não estar ligada somente ao valor do isolamento da partição entre ambientes. A percepção total, parcial ou nula da conversação da vizinhança adjacente proporciona níveis de conforto que vão do indesejável ao ideal. Essa percepção da palavra falada pode ser um indicativo do nível de conforto que o usuário anseia. Para avaliar o desempenho de paredes entre unidades habitacionais e o conforto proporcionado foram avaliadas partições em edifícios residenciais no Brasil e em Portugal. No Brasil, as paredes avaliadas eram compostas por blocos cerâmicos de vedação, com espessuras que variam de 115 mm a 140 mm, blocos de concreto de vedação, com espessuras que variam entre 90 a 140 mm e bloco estrutural de concreto, com espessura de 190 mm. Em Portugal foram avaliadas paredes simples e duplas compostas por tijolos cerâmicos com espessuras de 110 e 150 mm. A avaliação foi dividida em parte objetiva, onde é medido o desempenho em relação ao isolamento ao ruído aéreo em laboratório e em campo, a inteligibilidade da fala, além da audibilidade e, parte subjetiva, onde um júri responde sobre a percepção de sentenças faladas, de um ambiente para outro. Os valores obtidos das medições do desempenho em paredes foram comparados com critérios referentes a cada país de origem e também comparados com critérios dos demais países, a fim de verificar o quanto os critérios brasileiros e portugueses aproximam-se dos demais critérios. Dos valores de desempenho em campo, das paredes, e de parâmetros utilizados na avaliação da inteligibilidade da fala, obtém-se, como proposta, valores de nível de conforto para cada ambiente proporcionado pelas paredes em avaliação. Dos resultados obtidos verifica-se que tanto o Brasil quanto Portugal ainda precisam melhorar o desempenho acústico das edificações residenciais porém, o Brasil, de um modo especial, deve melhorar ainda mais a qualidade acústica de suas edificações a fim de proporcionar aos usuários os níveis desejáveis de conforto e privacidade, oriundos do desempenho das partições e dos ambientes ocupados.

Palavras-chave: Acústica arquitetônica; Edifícios – Desempenho; Normas – Ruído; Percepção da fala.

ABSTRACT

NETO, Maria de Fatima Ferreira. **Acoustic comfort level: a proposal for residential buildings.** Campinas, 2009. 257 f. Thesis (PhD in Civil Engineering) – School of Civil Engineering and Architecture, State University of Campinas.

The performance of a building involves fundamental aspects such as structural strength, durability, fire safety, impermeability and corrosion. Also fundamental are user related aspects such as acoustic and thermal comfort. These can be designed, measured and evaluated. However, it is often only after occupation of the building that the comfort item is given any attention by the user, who begins to feel that acoustic comfort received very little thought during the design and construction of the building. The issue of acoustic comfort may be not linked to just the value of the insulation of the partition between rooms. The perception, total, partial or inexistent, of conversation in an adjacent dwelling also contributes to comfort levels which may range from unpleasant to ideal. This perception of speech can be an indicator of the comfort level that the user considers desirable. In this thesis, the acoustic performance of walls between housing units was measured and the corresponding degree of comfort evaluated for some residential buildings in Brazil and Portugal. In Brazil, the walls measured were composed of infill ceramic bricks, with thicknesses ranging from 115 mm to 140 mm, infill concrete blocks, with thicknesses ranging from 90 to 140 mm and structural concrete blocks with a thickness of 190 mm. In Portugal single and double walls composed of bricks with thicknesses of 110 and 150 mm were measured. The evaluation was divided into two parts: objective, where the airborne sound insulation in both laboratory and field tests, speech intelligibility and audibility were measured; and subjective, where a jury responded to questions on the perception of sentences spoken in an adjacent environment. The values of wall performance were confronted with the criteria for each country and were also compared with the criteria of other countries, in order to ascertain how the Brazilian and the Portuguese criteria compare internationally. A new parameter for evaluation of acoustic comfort level in a room is proposed. This incorporates the field performance figures of sound insulation and parameters of speech intelligibility. The results indicate that both Brazil and Portugal still have to improve the acoustic performance of residential buildings. Brazil, especially, has a considerable way to go to improve the acoustic quality of its residential buildings in order to provide users with appropriate comfort and privacy levels.

Keywords: Architectural acoustics; Buildings - performance; Standards - Noise; Speech perception.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O desempenho de uma edificação envolve aspectos fundamentais, como conforto, segurança e resistência. Dentro desses aspectos, podem ser avaliados os confortos acústico e térmico, segurança contra incêndio e, resistência estrutural e à água. Todos fundamentais para um desempenho adequado de uma edificação.

Durante o projeto da edificação é comum o item “conforto” não receber a importância adequada. Muitas vezes, é somente depois do edifício pronto e entregue, que esse item passa a ser mencionado e, geralmente, pelo usuário. Um exemplo para essa situação é o trabalho de Grimwood publicado em 1997, cujos entrevistados mencionaram que sentem, a partir do desconforto causado pelo ruído, além de efeitos emocionais, consequências na vida social, já que tinham que produzir o mínimo ruído possível quando recebiam ou quando faziam visitas. Esse desconforto reflete a necessidade de haver um bom isolamento acústico entre unidades residenciais e entre ambientes internos da mesma unidade residencial. Também é desejável um bom isolamento ao ruído de impacto, para que esse tipo de ruído não tenha níveis que causem desconforto para os usuários dos andares inferiores. Finalmente, destaca-se a importância de um bom isolamento de fachadas, a fim de que o ruído ambiental não adentre aos ambientes internos das unidades residenciais, incomodando seus moradores.

É importante que se pense em conforto acústico ainda durante o projeto porque depois de concluída a edificação pode ser mais difícil, dispendioso ou até mesmo impossível de se realizar as devidas adequações para atingir as condições mínimas de conforto.

Para definir parâmetros de desempenho, entre eles o desempenho acústico, foi aprovada em 2008 a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), intitulada “*Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho*” (ABNT NBR 15575, 2008), cuja entrada em vigor está prevista para 2010. Essa norma é um documento importante, pois estabelece

parâmetros de desempenho que até então não existiam (MITIDIERI FILHO, 2004) e tem por finalidade a avaliação final do produto para que uma edificação seja entregue aos seus usuários com as condições mínimas de conforto, habitabilidade e uso (ABNT NBR 15575, 2008).

Ao comprar um apartamento a maioria dos consumidores busca por conforto mas, não necessariamente, o acústico. Desejam ter um apartamento grande, com grande varanda, churrasqueira, *playground*, um verdadeiro clube no condomínio. Atualmente, a atenção do consumidor está voltada para as dezenas de itens de lazer que as construtoras oferecem em um único condomínio. Muitas vezes, o conforto acústico só é lembrado quando o morador percebe que, em sua residência, pode-se escutar, por exemplo, a conversação dos vizinhos do lado, a brincadeira das crianças no lado externo do edifício ou o impacto do sapato do vizinho de cima; quando o ruído atrapalha o sossego desejado.

Para obter o conforto acústico como meio de alcançar o bem-estar, é necessário pensar em isolamento acústico a fim de evitar ou minimizar, a transmissão do ruído aéreo entre cômodos de uma mesma unidade residencial ou entre unidades residenciais, bem como, o isolamento acústico entre a comunidade e as unidades residenciais. É necessário pensar também, em reduzir, caso não se consiga evitar, a transmissão sonora pela estrutura das edificações. A transmissão sonora do ruído de impacto pode levar a laje a vibrar, transmitindo o ruído para o ambiente inferior ou até amplificando esse ruído (GERGES, 2000), aumentando o incômodo.

O isolamento acústico perfeito seria aquele em que um morador não percebesse nenhum ruído do vizinho de cima ou dos lados. Isso é possível, mas não acontece na maioria das edificações residenciais porque torna a obra imensamente dispendiosa. Entretanto, deve-se destacar que, por exemplo, segundo Rasmussen e Rindel¹ (1996, *apud* Thaden, 2005), os alemães estariam dispostos a pagar o acréscimo de 2 a 3% para poder ter conforto acústico em suas residências.

O isolamento acústico de partições em campo segue os procedimentos de medição e formas de cálculo, por meio de parâmetros objetivos descritos em normas internacionais (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 140-4, 1995;

¹ RASMUSSEN, B. e RINDEL, J. H. Wohnungen für die Zukunft: Das Konzept des akustischen Komforts und welcher Schallschutz von der Bewohnern als zufriedenstellend beurteilt wird. **Wksb** 42, nº. 38, 4-11. 1996.

ISO 140-5, 1998; ISO 717-1, 1996). O uso dessas normas se faz por estarem indicadas na norma de desempenho de edifícios habitacionais, ABNT NBR 15575 (2008), e por não haver ainda, normas brasileiras que apresentem os procedimentos de medição e cálculo para a avaliação do desempenho de edificações. Esses parâmetros objetivos são ferramentas essenciais utilizadas neste trabalho para avaliação do isolamento de ruído aéreo de partições e do sistema construtivo em edifícios.

A norma ABNT NBR 15575 (2008) é um importante documento e sua aplicação implicará numa ferramenta essencial para as construtoras, pois as auxiliará a conhecer o desempenho de seus edifícios e melhorá-lo, se for o caso, ou se assim o desejarem. Para os fabricantes de materiais para a construção civil, também será uma ferramenta importante, pois por meio dela terão a base para produzir os materiais construtivos com melhor qualidade. Para os consumidores será útil para saber o que esperar do desempenho de um edifício, seja para moradia ou trabalho (MITIDIERI FILHO, 2004). Com a norma de desempenho de edifícios em vigor, as construtoras que não a seguirem poderão ter problemas judiciais por oferecer ao consumidor um produto de baixa qualidade (SANCHES, 2003). Essa norma terá impacto sobre as construtoras e os fornecedores de materiais, além dos projetistas, incorporadoras e órgãos de financiamento (MITIDIERI FILHO, 2004).

Em termos de percepção da fala, o que pode ser considerado confortável? Ouvir a conversação dos vizinhos porém, sem entender nada? Entender algumas partes? Não ouvir? Não entender? Parâmetros psicoacústicos como o índice de transmissão da fala (*speech transmission index*, STI) e a definição (*definition*, D₅₀) podem ser úteis para fazer essa avaliação da percepção da palavra falada, e a audibilidade (*loudness*) pode mostrar o quanto o desempenho da partição influencia no conforto acústico, reduzindo o nível da conversação da unidade residencial adjacente. São ferramentas adicionais propostas a serem utilizadas neste trabalho para a avaliação do conforto acústico proporcionado por uma partição vertical entre unidades residenciais em edifícios.

A avaliação objetiva das partições verticais com o uso dos parâmetros das normas ISO, os critérios estabelecidos pela norma de desempenho de edifícios habitacionais, a avaliação com o uso de parâmetros psicoacústicos com o STI, D₅₀ e a audibilidade permitirão visualizar a real

condição entre desempenho e o conforto obtido, e o conforto desejado pelos usuários em edifícios residenciais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral caracterizar o nível de conforto acústico proporcionado por partição vertical entre unidades habitacionais de edifícios residenciais em função do isolamento de ruído aéreo, privacidade e de parâmetros psicoacústicos que avaliam a inteligibilidade da fala entre ambientes adjacentes.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho em campo e em laboratório, de paredes de alvenaria de concreto e cerâmica, no Brasil e em Portugal;
- Comparar os resultados de isolamento sonoro com os critérios locais: do Brasil, a norma de desempenho de edifícios habitacionais, ABNT NBR 15575 (2008), e de Portugal, o Decreto-Lei nº 96/2008;
- Verificar o grau de exigência dos níveis de desempenho acústico da norma da ABNT e a compatibilidade com normas ou documentos similares de outros países.
- Avaliar objetiva e subjetivamente a inteligibilidade da palavra falada em recinto adjacente ao recinto onde está a fonte sonora, por meio de software e de júri, respectivamente;
- Comparar os resultados objetivos e subjetivos da inteligibilidade da fala com os resultados objetivos de medição de isolamento sonoro em campo, das paredes de alvenaria.
- Apresentar o novo parâmetro de avaliação do conforto para ambientes residenciais, relacionando o desempenho de partições verticais, com a privacidade e audibilidade proporcionada por elas: Nível de conforto acústico de um ambiente.

1.3 Hipóteses formuladas

As hipóteses para este trabalho são:

- Os parâmetros acústicos utilizados para avaliação da inteligibilidade da palavra falada podem ser utilizados em avaliações de desempenho acústico de paredes entre unidades habitacionais.
- O nível de conforto acústico entre dois ambientes adjacentes em uma edificação está intimamente ligado à inteligibilidade da fala, audibilidade e privacidade, além, e não somente, do isolamento da partição.

1.4 Justificativa

Com a aprovação da norma de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos (ABNT NBR 15575, 2008), a indústria da construção civil terá que se adequar para atendê-la. Até então, sem um documento que definisse critérios mínimos de desempenho, o mercado oferece edificações com desempenho acústico pobre, acarretando desconforto ao usuário e intermináveis discussões com vizinhos chegando, não raras vezes, às portas da justiça.

Os critérios de desempenho definidos na norma deverão ser aplicados pela indústria da construção civil e poderão ser exigidos pelos consumidores. Questiona-se se o valor do isolamento definido pela norma é o suficiente para proporcionar o conforto acústico realmente desejado pelo consumidor. De igual modo, questiona-se se os parâmetros psicoacústicos de avaliação da inteligibilidade da fala, como o índice de transmissão da fala, STI (*speech intelligibility index*), a definição D_{50} (*definition*) e a audibilidade (*loudness*) podem disponibilizar novas ferramentas de avaliação do conforto acústico proporcionado pelo isolamento de uma partição. Nesse caso, essas ferramentas poderão ser utilizadas futuramente na avaliação de desempenho de edifícios e até ser incluída na norma como forma de avaliação do conforto como informação adicional à avaliação do desempenho.

Inicialmente, o objeto principal deste trabalho era o desempenho de edifícios brasileiros e a comparação dos critérios do Brasil com os critérios de demais países. O leque de informações, primitivamente restringido apenas ao Brasil, foi ampliado com a oportunidade de realizar

medições em edificações em Portugal, poder analisar os resultados e também compará-los com os demais critérios. Dessa forma, o trabalho foi enriquecido com informações oriundas de dois países, duas culturas, duas formas de olhar o mesmo objeto: desempenho e conforto acústico em edificações residenciais.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em 8 Capítulos distribuídos da seguinte forma:

No Capítulo 1 é feita uma breve introdução sobre o trabalho, com a justificativa de sua importância, além dos objetivos, geral e específicos, a serem atendidos e as hipóteses elaboradas.

Apresenta-se, no Capítulo 2, uma breve explanação sobre o problema do ruído da vizinhança, o desconforto causado pelo ruído e o que pode ser feito para reduzi-lo. Apresenta-se ainda, a importância das normas que auxiliam para que os produtos, entre eles, a própria edificação como um todo, chegue ao mercado com a qualidade esperada pelos usuários, ainda segue com um breve histórico sobre o desempenho das edificações e alguns trabalhos publicados.

Os métodos e cálculos de avaliação da isolamento sonora em laboratório e do isolamento sonoro *in situ*, baseados nas normas internacionais em vigor e utilizadas no trabalho são apresentados no Capítulo 3.

No Capítulo 4 apresenta-se uma pequena explanação sobre a inteligibilidade da palavra falada e os parâmetros que envolvem a sua avaliação.

Os critérios de ruído (ou de incomodidade) utilizados no Brasil e no exterior são apresentados no Capítulo 5 e também uma comparação entre os critérios brasileiros e internacionais.

Destacam-se, no Capítulo 6, os métodos para a avaliação objetiva com a apresentação dos procedimentos recomendados pelas normas internacionais para a avaliação do isolamento sonoro e da inteligibilidade da fala.

No Capítulo 7 são apresentados os resultados de medições realizadas em campo e em laboratório e as respectivas análises. São resultados das medições realizadas em edifícios residenciais em São Paulo, no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada, LACAF, da

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP, em Campinas, São Paulo e em edifícios residenciais, em Portugal.

Finalmente, no Capítulo 8, são apresentadas as conclusões deste trabalho.

Na sequência do Capítulo 8 encontram-se as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho e o Anexo A, que contém as sentenças utilizadas na avaliação da percepção da fala, com o júri.

CAPÍTULO 2 – RUÍDO, DESCONFORTO E DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

O conforto acústico pode ser um conceito subjetivo ou uma exigência objetiva. De uma forma ou de outra, esse conceito tem sido cada vez mais exigido por proprietários ou usuários de edificações. O conceito formal pode não ser compreendido pela maioria da população, mas a ausência do conforto acústico está cada vez mais perceptível e, por isso, a exigência objetiva de morar ou trabalhar em ambientes acusticamente confortáveis está se tornando cada vez mais frequente.

A privacidade é um requisito que os moradores desejam encontrar ao regressar para a sua residência, para o convívio familiar e o repouso. O conforto acústico tem ligação com a privacidade, entretanto, questiona-se qual deve ser o nível ideal?

Em relação às partições verticais, o grau de reclamação depende do nível da fonte sonora (televisão, aparelho de som, *home theater*...) ou da palavra falada no apartamento adjacente ao do reclamante.

O ruído pode causar, além do incômodo, inúmeros danos à saúde física, psicológica e social e a desvalorização dos imóveis. Por exemplo, em 1992, a *Folha de São Paulo* apresentou em um artigo, a informação de que imóveis residenciais nas proximidades da Av. Paulista podem sofrer desvalorização em até 35%, por razão da intensa poluição sonora (Folha de São Paulo, 28-06-92, p. 8-1 *apud* CARNEIRO, 2004).

2.1 Ruído e desconforto

O desconforto acústico surge quando o nível de ruído ao redor atrapalha a execução de algumas atividades que necessitam de um certo nível de silêncio. Surgindo o desconforto físico, surge o desconforto psicológico, não necessariamente nessa ordem, e a partir daí surgem os elevados índices de reclamação.

Segundo Croome (1977), o desconforto causado pelo ruído é dependente de vários fatores, como a forma espectral (frequência e intensidade) da onda sonora; conteúdo espectral (largura da banda, valores de pico, etc.); duração do ruído; número de repetições do evento ruidoso; tarefas individuais envolvidas; suscetibilidade individual; interação com outros fatores ambientais; níveis de sensibilidade física e psicológica individual; experiência anterior com o tipo de ruído.

Sob o ponto de vista psicológico, Levi-Leboyer e Naturel (1991) afirmam que os fatores envolvidos no desconforto causado pelo ruído são: tipo de ruído; audibilidade (*loudness*); aceitabilidade ou inaceitabilidade ao ruído; modo de se produzir o ruído (intencional ou não intencional); aspecto temporal da onda sonora; atividade realizada no momento do ruído; a reação individual ao ruído; a relação com a pessoa que está produzindo o ruído.

Em 1929, o trabalho de Laird e Coye mostrou que o desconforto é mais sentido em altas do que em baixas frequências. Também mostrou que há relação entre a audibilidade e o desconforto porém, na época, não conseguiu quantificar o desconforto.

Em 1955, Bitter e Van Veen² (*apud* CROOME, 1977) mostraram em seu trabalho que os ruídos que causam mais desconforto são provenientes de impacto de portas em batida, sons da queda de objetos, caminhar e impactos em pisos. Os ruídos de crianças brincando, rádio, TV ou conversação causam um desconforto moderado.

Utley e Buller (1988) afirmaram que na Inglaterra, o ruído da vizinhança (vizinhos, crianças e animais) é a fonte de ruído que causa mais desconforto, perdendo apenas para o ruído do tráfego rodoviário. A música alta e os latidos dos cães são a principal queixa dos vizinhos, representando 2/3 do total de reclamações aos órgãos ingleses competentes, respectivamente, no período noturno e diurno. Um histórico de incomodidade causado pelo ruído, na Inglaterra, apresentado por Utley e Buller, mostra que a tendência é que o ruído de tráfego seja a segunda razão de maior incômodo, sendo superado pelo ruído da vizinhança.

² BITTER, C. e VAN VEEREN, P. **Report 24**, Research Institute for Public Health Engineering, TNO, The Hague, Holland. 1955.

O trabalho publicado por Guski (1977) mostra que o ruído do tráfego na Alemanha, semelhante ao que acontece na Inglaterra, é o ruído que mais causa incômodo. Em segundo lugar, porém, estão os ruídos provenientes da indústria e comércio. Somente em terceiro lugar aparece o ruído de vizinhos como razão de incomodidade (eletrodomésticos, animais, crianças e adolescentes e sistemas de aquecimento). A pesquisa de Guski foi baseada no número de reclamações que os órgãos competentes receberam e, segundo o autor, não representa o total da população, visto que quem reclama pode estar mais sensibilizado por questões pessoais ou psicológicas. Para os alemães, segundo esse estudo, o ruído ambiental é o que causa mais desconforto. As edificações alemãs e inglesas necessitam de um bom isolamento térmico para que seus usuários suportem o inverno rigoroso. O isolamento acústico é mais que uma consequência do isolamento térmico, é uma exigência dos usuários, para poder haver o conforto adequado no interior das edificações.

No trabalho de Gibbs e Maluski (2004) as baixas frequências são novamente o alvo do aumento das queixas da vizinhança, devido ao aumento de potência sonora em aparelhos de som e equipamentos de *home theater* adicionado ao baixo desempenho das paredes em edifícios residenciais, para essas frequências.

A poluição sonora ambiental tem elevado os níveis de ruído urbano a índices que tem comprometido o ambiente e a qualidade de vida (GUEDES, 2005), mostrando que os sistemas construtivos que compõem as fachadas das edificações devem ter desempenho acústico tal para minimizar esse impacto.

Esses são alguns dos itens que compõem a lista das condições para obter melhor qualidade de vida e conforto. No entanto, questiona-se: o que é conforto? Essa é uma pergunta difícil de responder, visto que, conforto é um conceito muito subjetivo. Como obtê-lo? Essa é a questão que todos que o buscam fazem. O conceito de conforto abrange vários fatores e o conforto acústico foi tratado por Freitas (2005) como um dos fatores que implicam na qualidade de vida e no bem-estar.

O conforto então está relacionado a questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, assim como a condições físicas de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica. (FREITAS, 2005, p. 728).

Na literatura científica encontram-se inúmeros estudos da percepção e resposta humana em função de alterações no nível de ruído. Diversos autores, entre eles Mehta *et al.* (1999) e Bistafa (2006), apontam os resultados de estudos da percepção humana ao som e sua reação. Um resumo desses resultados é apresentado no Quadro 2.1, onde se verifica que a percepção do ruído é clara após um acréscimo de 5 dB(A) sobre o ruído de referência.

Quadro 2.1 - Percepção do som em relação às mudanças de nível de ruído

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

Fonte: Adaptado de METHA *et. al.*, 1999.

A resposta humana ao aumento de ruído ambiental foi apresentada, em 1971, na norma ISO R 1996, *Acoustics - Assessment of noise with respect to community response*, cuja tradução segue no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Resposta humana ao aumento no nível de ruído

Valor em que o ruído excede a referência (dB(A))	Categoria de resposta	Reação humana à perturbação ao ruído
0	Nenhuma	Nenhuma reação
5	Baixa	Reclamações esporádicas a freqüentes
10	Média	Reclamações generalizadas
15	Forte	Ações e ameaças da comunidade
20	Muito forte	Ação vigorosa e agressiva da comunidade

Fonte: Adaptado de ISO R1996, 1971.

Os critérios de conforto, segundo a ISO, devem ser definidos por entidades nacionais e locais, por envolver inclusive, questões culturais. Por essa razão, na versão 2003 da norma ISO

1996, não constam as informações do Quadro 2.2. Porém, os critérios da versão de 1971 continuam sendo largamente utilizados e comprovados na avaliação de ruído comunitário³. O Quadro 2.2 também foi apresentado na versão de 1987 da norma ABNT NBR 10151 (*Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade*) e retirada na versão mais recente em vigor, de 2000 e na versão atualmente em revisão.

Diversos trabalhos que tratam da influência do ruído sobre a saúde humana são encontrados na literatura. Há trabalhos do final da década de 20 que já mencionavam a influência no aparelho digestivo e no metabolismo (LAIRD e COYE, 1929), no aparelho respiratório (KENNEDY, 1936⁴ *apud* CROOME, 1977), cardiovascular (LEHMANN e TAMN, 1956⁵ *apud* CROOME, 1977), entre outros.

Miller (1974) especifica os efeitos do ruído sobre as pessoas mostrando os efeitos físicos, como os danos auditivos permanentes ou temporários e distúrbios do sono, reduzindo a qualidade de vida; efeitos sociais, visto que a interferência do ruído de fundo causa dificuldade na comunicação, dificulta também a concentração e prejudica o desempenho de aprendizado. Até 1970, havia poucas evidências de que há adaptação devido a exposição ao ruído (BORSKY, 1970⁶ *apud* MILLER, 1974).

Não constitui escopo deste trabalho detalhar a influência do ruído na saúde física e mental, individual ou pública, mas sim, mostrar que o ruído é uma questão importante de saúde pública, como trata a Organização Mundial da Saúde. O ruído como terceiro maior causador de poluição ambiental (a poluição da água e do ar estão no primeiro e segundo lugar BERGLUND *et. al.* 1999) deve ser evitado e, se não for possível, pelo menos mitigados os seus impactos com a valorização do conforto acústico em edificações.

Mesmo encarecendo a obra final entre 1 e 7% (KOSTER, 2007), o conforto acústico não deve ser visto como luxo ou algo supérfluo e sim, como necessidade ligada à saúde, ao bem-estar

³ BARRY, Peter J. Comunicação pessoal. 2008. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, SP.

⁴ KENNEDY, F. Fatigue and noise in industry. **New York State Journal of Medicine**. v. 36, pp. 1927. 1936.

⁵ LEHMANN, G. e TAMM, J. Über Veränderungen der Kreislauf-dynmik des ruhenden Menschen unter Einwirkung von Geräuschen. **Int. Z. Angew. Psychiol.** v. 16, pp. 127-227. 1956.

⁶ BORSKY, P. N. **The Use of Social Surveys for Measuring Community Response to Noise Environments**, In: J.D. Chalupnik (Ed.), **Transportation Noises**. Seattle: University of Washington Press. 1970. pp. 219-227.

e à qualidade de vida. O próprio Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990) reconhece tal importância, no Artigo 4º do Segundo Capítulo:

A Política Nacional das Relações de Consumo tem por objetivo o atendimento das necessidades dos consumidores, o respeito a sua dignidade, saúde e segurança, a proteção de seus interesses econômicos, a melhoria da sua qualidade de vida, bem como a transparência e harmonia das relações de consumo.

A política da boa vizinhança é uma prática que deve ser constante. A partir do momento em que se iniciam os problemas causados pelo ruído, a busca da solução por meio do diálogo até a finalização da solução necessária, a política da boa vizinhança deve estar sempre presente.

Para alguns dos problemas, a substituição do calçado com salto por um chinelo de borracha ou a colocação de um tapete ou a diminuição no volume da televisão, do rádio ou do aparelho de som, pode trazer os resultados desejados. Na Austrália, por exemplo, há uma cartilha que orienta em como lidar com o ruído do vizinho. O primeiro passo a ser dado, caso tenha um vizinho barulhento, é recorrer ao diálogo (AUSTRÁLIA, 2006). Nessa hora, coloca-se em prática a cidadania, o bom senso e a política da boa vizinhança. Caso não funcione, essa cartilha apresenta os contatos dos órgãos responsáveis por cada tipo de queixa. Os advogados também são muitas vezes requisitados para tratar com esse tipo de incômodo. Infelizmente, não são poucas as vezes em que questões entre vizinhos são resolvidas na justiça.

Os usuários e moradores de edifícios não estão interessados nos aspectos físicos do ruído que lhes causa incômodo, da mesma forma que não estão interessados no valor do isolamento que as partições proporcionam. O interesse dos usuários está voltado para que o ruído que está no interior de seus lares corresponda às suas expectativas de conforto e privacidade (BARRY, 2005).

2.2 Desempenho das edificações

Há mais de 4000 anos, foi erguida a pirâmide de Queóps, no Egito. Para manter o formato arquitetônico, assegurar o desempenho construtivo desejado e facilitar a execução foram empregadas pedras com medidas iguais. A padronização e a normalização foram essenciais na construção das pirâmides (NAKAMURA, 2003). Atualmente, a importância das normas técnicas se faz para garantir a qualidade em qualquer processo produtivo, inclusive na construção civil.

O Artigo 8º do CAPÍTULO IV do Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990a) menciona que:

Os produtos e serviços colocados no mercado de consumo não acarretarão riscos à saúde ou segurança dos consumidores, exceto os considerados normais e previsíveis em decorrência de sua natureza e fruição, obrigando-se os fornecedores, em qualquer hipótese, a dar as informações necessárias e adequadas a seu respeito.

O parágrafo seguinte acrescenta que:

Em se tratando de produto industrial, ao fabricante cabe prestar as informações a que se refere este artigo, através de impressos apropriados que devam acompanhar o produto.

Essa colocação reflete a responsabilidade direta do produtor e até do construtor sobre a qualidade do produto que está disponibilizando ao mercado. A co-responsabilidade fica ao encargo dos agentes promotores e financeiros na qualidade final dos edifícios habitacionais (MITIDIERI FILHO, 1998).

É indiscutível a importância das normas técnicas, visto que são a base para a garantia da qualidade de qualquer produto que seja colocado no mercado. De acordo com as necessidades do mercado as normas precisam ser criadas ou revisadas. O mercado da construção civil brasileira até 2008 estava carente de uma norma que indicasse o desempenho mínimo que as edificações e sistemas construtivos deveriam apresentar, antes de serem disponibilizadas ao mercado.

A Europa tem grande preocupação com o desempenho de edificações e com as normas utilizadas para ajudar a manter adequadas as condições de uso e habitabilidade dos edifícios. No trabalho de Goydke (1997) é apresentada a cooperação entre a *International Organization for Standardization* (ISO) e *European Committee for Standardization* (CEN) com o objetivo de revisar ou atualizar as normas que tratam de desempenho acústico de edifícios.

A norma de desempenho de edifícios habitacionais, da ABNT, aprovada em 2008, NBR 15575, é a primeira do gênero no país. É um documento importante que reflete a preocupação na melhoria das condições de uso e habitabilidade das edificações brasileiras, apresentando critérios de desempenho acústico. Por essa razão, espera-se que seja uma nova base, mais clara e objetiva, para os processos jurídicos, visto que, atualmente, em se tratando do incômodo de moradores por ruído produzido pela vizinhança, a norma ABNT NBR 10152

(1987), *Níveis de ruído para conforto acústico* é uma das bases mais importantes para os laudos periciais. Porém, segundo Baring (2002), a norma ABNT NBR 10152 (1987) é utilizada de forma indevida, visto que o texto é exíguo e evasivo, o que a torna facilmente contestável nos processos jurídicos.

A norma ABNT NBR 15575, de 2008 (*Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho*) está dividida em seis partes: a Parte 1 refere-se aos requisitos gerais; Parte 2, requisitos para os sistemas estruturais; Parte 3, requisitos para sistemas de pisos internos; Parte 4, requisitos para sistemas de vedações internas e externas; Parte 5, requisitos para sistemas de coberturas e, finalmente, a Parte 6, sistemas hidrossanitários. Embora a norma trate de edifícios de até cinco pavimentos, na parte 1 há uma nota localizada dentro do Escopo (Item 1), que explicita que:

Os requisitos e critérios estabelecidos nesta Norma podem ser aplicados a edifícios habitacionais ou sistemas com mais de cinco pavimentos, excetuados aqueles que dependem diretamente da altura do edifício habitacional. (ABNT NBR 15575-1, 2008, p. 1).

Portanto, o desempenho acústico tratado na norma poderá ser ampliado para edifícios com mais de cinco pavimentos.

A norma de desempenho (ABNT NBR 15575, 2008) é importante tanto para o consumidor como para a indústria da construção civil. O consumidor estará confiante de que o produto que está adquirindo tem a qualidade mínima especificada por normas técnicas e pelo Código de Defesa do Consumidor. A indústria da construção civil terá a base para poder colocar no mercado um produto com a qualidade mínima para habitabilidade e uso, obtida com o respeito às normas técnicas.

Espera-se que essa norma de desempenho tornando-se, agora, referência técnica para os projetistas, fornecedores de materiais para a construção civil, construtores e consumidores, diminuam os índices de reclamação dos usuários e os processos judiciais a que estão sujeitos os que a desrespeitarem.

A convivência pacífica entre vizinhos depende necessariamente de um bom isolamento acústico proporcionando o conforto e privacidade. O nível de isolamento acústico para atender aos anseios dos usuários em relação à privacidade será estudado neste trabalho.

Viver em comunidade é uma tarefa difícil. Tem-se que abdicar da realização de algumas vontades e desejos, como colocar o aparelho de som no máximo para ouvir uma música ou colocar o volume do aparelho de televisão também no máximo, para ouvir o filme, em respeito ao vizinho.

Não faz parte deste trabalho passar lição de cidadania para quem quer que seja, mas mostrar a existência de um problema sério, que traz danos à saúde física e psíquica e à vida social: a incomodidade causada pelo ruído. Esse problema não é recente mas, com a aglomeração nos meios urbanos, a tecnologia ao serviço da população com a chegada dos veículos automotores, a indústria, aparelhos audiovisuais, aparelhos eletrodomésticos, entre outros, o homem passou a ser vítima cada vez maior do ruído e do aumento da poluição sonora.

Diante de tantas atividades diferentes a serem realizadas, se coincidirem duas ou mais com fins antagônicos, como por exemplo, brincadeiras de crianças e leitura, o que não é raro, pelo contrário, faz parte do dia-a-dia, o bom isolamento das edificações se faz necessário. Segundo Barry (2008), um recinto de uma edificação deve proporcionar ao usuário conforto e privacidade acústicos condizentes à finalidade desse ambiente, sobretudo quando se destina ao repouso ou trabalho intelectual.

Embora o incômodo causado pelo ruído não seja um problema recente, a preocupação com o bom isolamento acústico em edifícios residenciais é relativamente recente, ao se pensar na história da construção civil, mas não, em termos de aglomeração urbana. A Figura 2.1 representa a imagem da Rua Direita, no centro da cidade de São Paulo, em 1916. A movimentação de veículos e pessoas nas ruas e as construções da época, muito próximas umas das outras e com muitas janelas, indicam que o ruído já estava presente na vida dos paulistanos e, possivelmente, estava produzindo desconforto.



Figura 2.1: Rua Direita, São Paulo, 1916.⁷

São Paulo não era uma cidade diferente de outras de seu porte. A vida na cidade e o próprio crescimento produzia ruídos e desconforto. Porém, somente em 1929, com o surgimento da revista conhecida pelos acústicos como JASA (*The American Journal of Acoustical Society*), uma das principais fontes de informação nas diversas áreas da Acústica, a questão do desconforto em edifícios começou a ser tratada pela comunidade científica. Já na primeira edição da revista, em 1929, Laird e Coye trataram do assunto com o artigo *Psychological measurements of annoyance as related to pitch and loudness*.

No decorrer dos anos, obviamente, o assunto voltou a ser tratado pela JASA, em outras revistas de caráter científico que surgiram posteriormente e em diversos meios de comunicação. Em 2008, o desconforto acústico em edifícios residenciais foi tratado, em assunto de capa, desta vez por uma revista que não tem caráter científico, porém, tem grande cobertura no território brasileiro e atinge os “leigos” que sentem o desconforto em suas residências. A revista *Veja São Paulo*, cuja capa está representada na Figura 2.2, mostra que em condomínios residenciais verticais, o ruído é um dos itens que causam maior desconforto. Tal informação é confirmada pelos depoimentos de Márcio Rachkorsky.

⁷ Fonte: *Associação dos Engenheiros Ferroviários no Estado de São Paulo* – Disponível em: <http://www.assef.com.br/sao_paulo_antiga.htm>. Acesso em: 20 Jan. 2009.

...os [problemas] de mais difícil solução envolvem barulho. (advogado e síndico Márcio Rachkorsky - Veja São Paulo, Ed. 2060, de 14/05/2008, p.38).

Muitas vezes, é complicado até identificar de onde vem o ruído, pois tem de tudo: de salto alto a festinhas nos apartamentos. (advogado e síndico Márcio Rachkorsky - Veja São Paulo, Ed. 2060, de 14/05/2008, p.38).



Figura 2.2: Capa da Revista Veja São Paulo, Edição 2060, de 14/05/2008, Ed. Abril.

Na capa dessa revista está representado um resumo dos resultados de fontes de ruído que incomodam, confirmando uma das conclusões feita vinte anos antes por Utley e Buller (1988), onde diziam que o latido dos cachorros é uma razão de queixa e motivo de discussões entre os vizinhos. A repercussão da reportagem fez com que leitores se manifestassem na edição seguinte, de número 2061, de 21/05/08, da revista:

Sem sombra de dúvida, o barulho é o grande causador de briga entre vizinhos. (Izabel Avallone - Veja São Paulo, Ed. 2061, de 21/05/2008).

Do ponto de vista científico, em 1962, Cavanaugh *et al.* demonstraram em artigo publicado pelo *The Journal of the Acoustical Society of America* a preocupação com a

privacidade em edifícios, onde os autores questionavam sobre os valores de isolamento dos materiais obtidos na época. Insistiam na realização de testes de laboratório, embora ainda não houvesse normas específicas para a avaliação. Afirmavam ainda, que o nível de privacidade dependia das atividades a serem exercidas. Por essa razão, fizeram estudos sobre a privacidade da fala em vários ambientes, entre eles, residenciais, escritórios, hotéis e outros.

Outros trabalhos foram publicados a fim de mostrar o quanto o ruído da vizinhança provoca desconforto e, em algumas vezes, aumento da agressividade. Grimwood (1997) mostra que o incômodo em residências que causa desconforto entre vizinhos, provém de música, televisão, rádio, conversação, caminhar, impactos de portas e janelas e armários e de eletrodomésticos, como máquina de lavar, aspirador de pó e telefone. Em seu trabalho, Grimwood mostra ainda que as queixas são feitas por moradores cujas edificações estão com os índices de isolamento abaixo do recomendado pela regulamentação específica, como era de se esperar ou, por moradores, cujas edificações atendem às regulamentações específicas, porém, as causas do ruído não são controladas pelas regulamentações, como por exemplo, impacto de portas, causando insatisfação com a edificação onde residem. Mostra também, que a agressividade pode aumentar juntamente com a intensidade do incômodo causado pelo ruído.

Levy-Leboyer e Naturel (1991) mostraram que o incômodo produzido pelo ruído, geralmente acontece no período noturno. Como razões para o aumento do número de queixas na França, os autores justificam com o baixo desempenho acústico das paredes, o aumento nas vendas de aparelhos de som cada vez mais potentes e o desemprego, que faz com que os adultos passem mais tempo em casa. As queixas são ainda mais frequentes, podendo ser acompanhadas por reações agressivas, no verão, quando as janelas ficam mais tempo abertas. Complementando as análises do trabalho de Guski (1977), Levy-Leboyer e Naturel afirmam que o registro das queixas do ruído da vizinhança não é um índice fiel ao real incômodo, visto que muitos dos que são realmente incomodados não prestam queixa.

Em 1993, Mathys indica em seu trabalho que os códigos de edificações da Bélgica, França, Inglaterra, Alemanha e Holanda apresentam uma visão parcial do que definem como conforto acústico em edificações, visto que vai além do valor do isolamento das paredes ou pisos. O conforto dependerá também, do ruído externo, do tempo de reverberação nos ambientes internos. Porém, os códigos de edificações, além de não considerarem esses parâmetros, não

consideram o ruído proveniente da cozinha e das instalações hidrossanitárias. De uma forma especial, Mathys chama a atenção para os incômodos causados por fontes de ruído com predominância nas baixas frequências.

A elaboração de documentos, sejam normas, decretos-lei ou regulamentações específicas, que tratam do assunto relativo ao isolamento sonoro em edificações é ainda mais recente. No Brasil, por exemplo, o conceito do desempenho aplicado à construção, como se conhece hoje, começou no final da década de 60 (MITIDIERI FILHO, 1998). De lá para cá aumentou o número de veículos nas estradas, o número de fontes de ruído e, como vários edifícios residenciais foram erguidos aumentou a preocupação com o conforto acústico e tende a aumentar ainda mais.

A ISO (*International Organization for Standardization*) iniciou seus trabalhos oficialmente em fevereiro de 1947, com o objetivo de unificar padrões industriais⁸. A preocupação com o ruído em relação ao conforto veio com a criação das primeiras normas que tratavam de conforto nas décadas de 60 e 70. A norma ISO R1996, que apresenta a tabela com a reação comunitária em relação ao aumento do ruído (*vide* Quadro 2.2), só surgiu em 1971. Como foi mencionado, a versão posterior à 1971 retirou essa tabela. A versão mais atual dessa norma⁹, está dividida em duas partes e também não apresenta tal tabela, deixando a critério de cada comunidade.

No final do século XIX, as regulamentações para edifícios eram específicas para a redução do risco de incêndio e estabilidade estrutural. No início do século XX os engenheiros verificaram que o baixo isolamento sonoro das paredes entre unidades habitacionais, poderia iniciar conflitos entre vizinhos e reduzir o bem-estar dos moradores dos edifícios residenciais. As primeiras regulamentações voltadas para o desempenho e conforto acústico eram frequentemente comparativas e qualitativas, como por exemplo, “um isolamento sonoro tão bom quanto o de uma parede de tijolos ou outra construção que provenha o mesmo isolamento sonoro”. Em 1960 a norma ISO/R 140 apresenta os procedimentos para a medição do desempenho acústico, porém, somente em 1968, surge a primeira norma internacional que trata da avaliação do isolamento

⁸ Fonte: <www.iso.ch>. Acesso em 03 Jan. 2008.

⁹ ISO 1996-1, 2003; ISO 1996-2, 2007.

sonoro das habitações: ISO/R 717, baseada em pesquisas de Gösele¹⁰ e Fasold¹¹ (RASMUSSEN e RINDEL, 2005).

Em Delft, na Holanda, aconteceu na década de 50, o primeiro Congresso Internacional sobre Acústica (*1st International Congress on Acoustics*, ICA). Nele ocorreu um simpósio sobre isolamento sonoro com apresentações feitas por Kosten, Cremer e Gösele. Na década de 60 surge a primeira versão da norma holandesa de desempenho NEN 1070¹² (GERRETSEN, 2003b), que era similar à ISO R 140.

Em 1972 ocorreu, no Estado da Philadelphia, nos EUA, o primeiro simpósio (*Performance concept in building*) sobre o conceito de desempenho aplicado ao edifício (MITIDIERI FILHO, 1998).

Na França, o histórico de regulamentações para limitação do nível de ruído em edificações habitacionais é recente. A primeira deliberação relativa ao isolamento acústico das edificações habitacionais (Código da Construção e Habitação) é datada de 14 de Junho de 1969, aplicável por decreto em 1º de Janeiro de 1970. As habitações construídas entre 1955 e 1969 estavam sujeitas à uma regulamentação imprecisa que impunha aos construtores uma limitação qualitativa para o isolamento acústico, definida apenas como "suficiente". Os edifícios anteriores à 1955 não estavam sujeitos à nenhuma norma regulamentar em relação ao conforto acústico. Atualmente, a nova regulamentação, mais exigente que a anterior, que segue a normalização europeia foi deliberada em 30 de Junho de 1999, com aplicação a partir de 1º de Janeiro de 2000, fixa os critérios apresentados na NRA (*Nouvelle Réglementation Acoustique des Bâtiments*).¹³

No Brasil, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, esteve bem atuante no início dos trabalhos sobre desempenho de edificações. Na década de 70, por exemplo, o IPT realizou várias medições de ruído na cidade de São Paulo, com o objetivo de fazer um mapeamento de ruído da cidade. Esse trabalho, mostrando o nível da poluição sonora na

¹⁰ GÖSELE, K., Zur Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen nach Sollkurven, *Acustica* Vol. 15, 1965, p 264-270.

¹¹ FASOLD, W., Untersuchungen über den Verlauf der Sollkurve für den Trittschallschutz im Wohnungsbau, Mitteilung aus dem Institut für Elektro- und Bauakustik der Technischen Universität, Dresden. *Acustica* Vol. 15, 1965, p. 271-284.

¹² A primeira versão dessa norma data de 1962. A versão mais atual tem data de 1999.

¹³ Fonte: CIDB, *Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit*. Disponível em www.infobruit.org. e *Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables*. Disponível em <http://www.ecologie.gouv.fr/>. Acesso em 08 Jan. 2008.

cidade, foi o embrião da Lei do Silêncio e, ao que hoje é conhecido como o programa PSIU (Programa Silêncio Urbano), criado pela Resolução CONAMA, nº 2, de 08 de Março de 1990 (BRASIL, 1990c).

A avaliação inicial do desempenho de edifícios habitacionais foi desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, porém, para habitações térreas, no início da década de 80 (MITIDIERI FILHO, 1998). O Relatório IPT nº 16277, com data de publicação de 1981, foi um dos primeiros documentos elaborados com essa preocupação, tratando não somente do conforto acústico, mas também de outros aspectos da edificação, como conforto térmico, segurança ao fogo, etc. (IPT, 1981)

Ainda na década de 80, juntamente com a editora PINI, o IPT lançou o livro “Tecnologia das Edificações” onde deu mais ênfase a todos os aspectos da edificação, com o agrupamento de vários artigos que foram publicados na revista “A Construção São Paulo”, por vários pesquisadores do IPT (IPT, 1988; MITIDIERI FILHO, 1998).

Em 1995, o IPT fez uma revisão de uma série de critérios de desempenho, relativamente aos estabelecidos no início dos anos 80 (MITIDIERI FILHO, 2002). Nesse trabalho, publicado sob o título “*Crítérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social*” foram propostos critérios mínimos menos rigorosos, em relação à versão anterior. Segundo esses novos critérios, para a fachada e cobertura de dormitórios ou sala de estar, o valor do isolamento sonoro bruto mínimo (IFACO - isolamento sonoro bruto proporcionado pelo conjunto fachada/cobertura) deveria ser igual a 30 dB e para a parede comum a casas geminadas ou conjunto de parede comum e forro passante em casas geminadas, o valor do isolamento sonoro bruto mínimo (IPAIN – isolamento sonoro bruto proporcionado por parede interna à habitação) deveria ser igual a 45 dB (IPT, 1995).

Dentre os trabalhos pesquisados sobre isolamento sonoro em edificações, muitos tratam sobre o desempenho de componentes e elementos construtivos, outros tratam sobre o desempenho do sistema construtivo. Sob pontos de vista diferentes, todos contribuem de alguma forma para a melhoria no desempenho das edificações. No estudo que resultou na tese de doutorado, Paixão (2002) caracterizou acusticamente os processos construtivos da parede de alvenaria de tijolo maciço cerâmico, por meio da simulação numérica com aplicação da técnica

SEA (Análise Estatística de Energia), cálculos analíticos e ensaios experimentais. Nesse trabalho houve a união dos conhecimentos de acústica, vibração e edificações.

Entre os estudos de isolamento sonoro em edificações pode-se citar os trabalhos de Gerretsen (2003a; 2003b), onde apresenta os critérios de normas holandesas que a parede deve atender. Expõe ainda, dois dos cinco níveis de desempenho que a norma holandesa apresenta, em similaridade com diferentes níveis de desempenho, como a norma brasileira ABNT NBR 15575 (2008).

Em um dos trabalhos de Andreas Novak que lhe deram o título de doutor, cujo tema foi Estudos em Isolamento Sonoro em Edificações (*Studies of Sound Insulation in Buildings*), Novak tratou do isolamento de partições duplas leves, com densidade superficial entre 9 e 14,5 kg/m², levando em consideração a isolação sonora de ruído aéreo em laboratório e a transmissão por *flanking* (*flanking transmission*) *in situ*. A norma utilizada para o teste de laboratório foi a versão *draft* da ISO 140-3, visto que só entrou em vigor em 1995, três anos após a publicação do artigo (NOVAK, 1992¹⁴ *apud* NOVAK, 1995). Os outros trabalhos de Novak, também de interesse para a avaliação do isolamento sonoro em edificações, direcionaram-se para o material que compõe as partições.

O trabalho de Lahtela (2005) apresenta de forma didática, um guia de isolamento sonoro para edificações de madeira, comuns na Finlândia. Nesse trabalho, o autor também teve o cuidado de mostrar os valores mínimos de isolamento de ruído aéreo para paredes e pisos, e impacto de piso, estabelecidos no código de edificações. A Finlândia utiliza como parâmetro de isolamento de ruído aéreo o índice de redução sonora aparente, R'_{w} (explicitado no Capítulo 3); Lahtela apresenta uma relação entre o isolamento sonoro dado pelo índice de redução sonora aparente ponderado, R'_{w} e a percepção da inteligibilidade da fala. Essa relação está apresentada no Quadro 2.3.

¹⁴ NOVAK, Andreas. Sound insulation of lightweight double walls. **Applied Acoustics**. v. 37 n. 4, p.281-303. 1992.

Quadro 2.3 - Relação entre Isolamento sonoro, R'_{w} , e a percepção da inteligibilidade da fala

Índice de redução sonora aparente ponderado, R'_{w} (dB)	Percepção da Fala
< 30	A parede não impede um vizinho de ouvir o outro
< 35	Discussão normal pode ser ouvida
< 40	Discussão normal pode ser ouvida, mas as palavras podem não ser compreendidas
< 45	Discussão normal não pode ser ouvida
> 50	Fala alta pode ser ouvida, mas as palavras podem não ser compreendidas
> 55	Fala alta não pode ser ouvida
> 60	Grito alto pode ser ouvido, mas as palavras podem não ser compreendidas

Fonte: Adaptado de LAHTELA, 2005.

Ainda, em relação ao isolamento sonoro e a percepção da inteligibilidade da fala, Thaden (2005), na sua tese de doutorado, avaliou o isolamento sonoro de edifícios por meio do método da auralização, utilizando a resposta impulsiva do ambiente para suas análises. Vários outros trabalhos já foram realizados no sentido de estudar melhor a propagação do som nos edifícios a fim de atenuar os ruídos que são cada vez mais intensos.

O conforto depende do desempenho da parede, das características acústicas do ambiente de recepção e dos aspectos físicos do edifício. Desempenho de edificações, inteligibilidade da fala, normatizações, enfim, são ferramentas que podem, e devem, ser utilizadas para a melhoria do conforto acústico nas edificações habitacionais, na busca do bem-estar e melhoria na qualidade de vida.

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO ACÚSTICO (LABORATÓRIO E CAMPO)

A norma de desempenho de edifícios habitacionais define, no item 3 da Parte 1, desempenho como sendo o comportamento em uso de um edifício e de seus sistemas (ABNT NBR 15575-1, 2008, p.5). Sobre o desempenho acústico, em laboratório, um material pode ser avaliado por meio de testes de isolamento ou de absorção sonora. Em campo, o desempenho acústico do edifício e de seus sistemas é avaliado por meio de testes de isolamento de ruído aéreo e de nível de impacto padronizado. Ainda em campo, por meio da medição do tempo de reverberação tem-se o conhecimento da capacidade de absorção sonora de um ambiente.

Neste trabalho, o desempenho acústico de elementos ou sistemas construtivos refere-se à avaliação por meio de testes de isolamento, em laboratório e, isolamento, em campo. Não serão mencionados testes de absorção ou medições de nível de impacto padronizado em pisos.

Ao tratar de desempenho acústico em laboratório e em campo são utilizados dois termos que aparentemente são iguais e, geralmente, são confundidos: isolamento e isolamento. Por essa razão, é importante apresentar as definições desses termos, visto que serão amplamente utilizados no decorrer do trabalho.

O termo ***Isolação*** refere-se ao fenômeno acústico. A isolação é avaliada em laboratório e refere-se ao comportamento acústico de um único elemento construtivo isoladamente (BARING, 1988). A avaliação provém da relação entre a energia sonora incidente e a energia sonora transmitida pelo corpo de prova.

O termo ***Isolamento*** refere-se à redução do som entre dois recintos, proporcionado pelo sistema construtivo entre eles, que pode ser a fachada, parede ou piso. É a capacidade de um ambiente de ser protegido de ruídos externos ou de confinar fontes de ruído. (BARING, 1988).

Essas duas definições mostram que no Brasil há diferença quanto ao uso dos termos *isolação* e *isolamento*. Em Portugal não há uso do termo *isolação*, somente *isolamento*. A partir

deste momento o termo *isolação* será utilizado como referente a testes em laboratório e o termo *isolamento* será utilizado como referente a testes em campo, independentemente do país a que se refere o teste.

Acrescenta-se ainda a definição de outros termos que são muito comuns na construção civil, são facilmente confundidos e também serão muito utilizados neste trabalho; definições estas, que foram extraídas da norma de desempenho de edifícios (ABNT NBR 15575-1, 2008, p.5-7):

Componente construtivo é a unidade integrante de determinado elemento do edifício, com forma definida e destinada a cumprir funções específicas (exemplos: bloco de alvenaria, telha, folha de porta).

Elemento construtivo refere-se à parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (exemplo: parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura).

Sistema construtivo representa a maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macro-função que a define (exemplo: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura).

O uso das palavras *tijolo* e *bloco* depende da região e, por vezes, na literatura parecem sinônimos. Na região Centro Oeste do Brasil, por exemplo, a palavra “tijolo” refere-se às peças de alvenaria de cerâmica e o uso da palavra “bloco” restringe-se à alvenaria de concreto¹⁵.

As definições para uso no Brasil foram extraídas do Manual Técnico de alvenaria (ABCI, 1990, p.17) e são:

Tijolo representa a unidade de alvenaria de dimensões máximas de 250 mm x 120 mm x 55 mm (comprimento x largura x altura).

Bloco representa a unidade de argamassa que excede em comprimento, largura ou altura, as máximas que definem tijolo.

¹⁵ ARAÚJO, Daniel. Comunicação Pessoal. UFG, 2009.

Em Portugal as definições de *bloco* e *tijolo* seguem as mesmas utilizadas na região Centro-Oeste do Brasil, isto é, são considerados *blocos* as unidades de alvenaria feitas de concreto e *tijolos*, as feitas de cerâmica¹⁶ (ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA - APICER, 2000). Neste trabalho, serão utilizadas as definições de *bloco* e *tijolo* respeitando o uso local.

3.1 Métodos de avaliação em laboratório e em campo

Para a avaliação acústica de elementos e sistemas construtivos existem três métodos diferentes: método de laboratório ou de precisão, método de engenharia e método simplificado de campo (ABNT NBR 15575, 2008). Estes métodos serão descritos nos próximos itens.

O **método de laboratório** ou **de precisão** apresenta os procedimentos para a medição da isolamento sonora, sendo o método mais preciso para a obtenção do índice de redução sonora, visto que em laboratório as condições necessárias para a realização dos testes são controladas.

Em laboratório os elementos construtivos, por exemplo, parede, porta, janela, etc., são avaliados independentemente. O resultado indica o desempenho acústico desse elemento construtivo isoladamente.

O **método de engenharia** indica os procedimentos para a medição do isolamento sonoro em campo, de sistemas construtivos entre dois ambientes (paredes internas de edificações, parede com janela, parede com porta, fachada, fachada com cobertura, etc.). Segundo Barry (2006), em campo, o método de engenharia é mais rigoroso, tecnicamente mais completo e, portanto, recomenda-se utilizá-lo.

O **método simplificado de campo** indica os procedimentos para a estimativa do isolamento sonoro de partição externa ou interna de edificações, em condições específicas, onde não há instrumentação específica para medição de tempo de reverberação ou quando o alto nível de ruído de fundo não permite obter esse parâmetro.

¹⁶ NETO, Marisa. Comunicação Pessoal. 2009.

3.2 Método de laboratório ou de precisão

Como o próprio nome já diz, esse método é executado em laboratório, com a precisão que o ambiente proporciona, visto que as condições são controladas e o teste é considerado completo, sob o ponto de vista técnico. Em laboratório, geralmente, são avaliados elementos construtivos, como paredes, janelas, portas, divisórias, entre outros, e são realizados em câmaras reverberantes.

3.2.1 Câmaras reverberantes

O procedimento para o teste em laboratório requer duas câmaras reverberantes sendo uma de emissão e a outra de recepção. O corpo de prova, que pode ser composto por mais de um elemento construtivo, deve ser posicionado entre as duas câmaras. Geralmente é avaliado somente um elemento construtivo. As paredes das câmaras não devem ser paralelas para ajudar na difusão da energia sonora (GERGES, 2000) e para evitar a formação de ondas estacionárias. As câmaras reverberantes são especialmente construídas e qualificadas para testes de isolamento sonora de ruído aéreo. A Figura 3.1 mostra o modelo esquemático das câmaras e do corpo de prova.

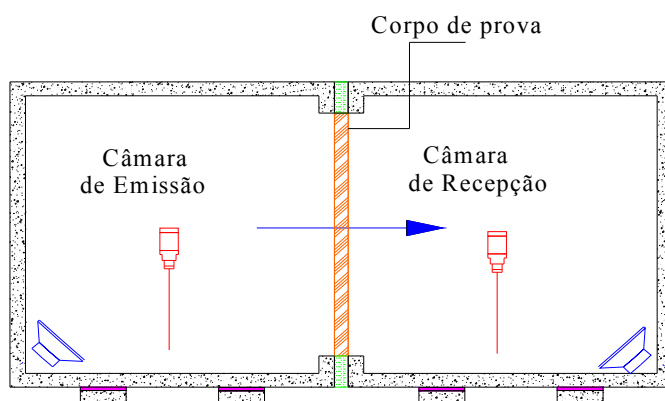


Figura 3.1: Modelo esquemático das câmaras e do corpo de prova.
(Fonte: Adaptado de BARRY, 2005).

A norma ISO 140-1 (1997) apresenta outras características para câmaras reverberantes utilizadas em testes de isolamento sonora. Determina que para esses testes as câmaras de recepção e emissão devam ter volume mínimo de 50 m^3 (recomenda entre 50 e 60 m^3), não devem ter o

mesmo volume e recomenda que a diferença entre as dimensões lineares entre uma e outra câmara deve ser, no mínimo, de 10%. A área do corpo de prova deve ser de aproximadamente 10 m². O tempo de reverberação nas câmaras, como diz a norma, não deve ser grande nem pequeno. A câmara de recepção deve ser devidamente qualificada para os testes de isolamento sonora, com o controle da reverberação por meio de difusores de modo que, para as baixas frequências, seja atingida a seguinte relação:

$$1(s) \leq T \leq \left(\frac{V}{50} \right)^{2/3} (s) \quad (3.1)$$

Onde,

V – é o volume da câmara, em m³

T – é o tempo de reverberação, em s.

Vale salientar que em laboratório é analisado o desempenho acústico somente do elemento construtivo, ou seja, porta, parede, janela ou divisória, porque é possível isolar do restante da estrutura da câmara. Eventualmente pode-se avaliar o componente construtivo, como por exemplo, uma folha de porta ou uma folha de vidro.

Os testes realizados em laboratório apresentam o diferencial de que as condições, como temperatura, umidade, a própria montagem para a realização dos testes, são controladas. No Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, que conta com uma estrutura laboratorial para a realização de testes de isolamento sonora, a montagem do corpo de prova é feita em um pórtico específico para paredes ou portas e janelas. O pórtico para parede apresenta uma área total de 12 m². O pórtico para portas e janelas apresenta um vão menor, em torno de 3,2 m². O vão que resta entre o pórtico e o corpo de prova, se houver, deve ser preenchido com material que tenha isolamento sonora estimada superior ao do corpo de prova, como por exemplo, tijolo maciço, garantindo que o som seja transmitido somente pelo corpo de prova. A câmara tem estrutura densa suficiente para impedir também, que o som seja transmitido por suas paredes. O corpo de prova e o pórtico mantêm-se isolados da estrutura da câmara por meio de câmaras pneumáticas, impedindo que o som seja retransmitido por via estrutural pela vibração do conjunto composto pelo corpo de prova e pelo pórtico. Dessa forma, a vibração que o corpo de prova venha sofrer

não será transmitida para a estrutura da câmara reverberante, pois será absorvida pelas câmaras pneumáticas. Adicionalmente, a câmara reverberante está isolada de qualquer vibração que possa ser propagada da vizinhança da câmara, por meio de material resiliente localizado entre as câmaras reverberantes e sua base. As condições de temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara de recepção são mantidas sob controle a fim de que sejam obedecidos os limites estabelecidos pela norma. Pode-se garantir, dessa forma, que o ambiente das câmaras reverberantes e as condições de ensaio são controlados.

A descrição da avaliação do desempenho acústico de elementos construtivos em laboratório, utilizando o método específico para laboratórios, está apresentada no item 3.2.2.

3.2.2 Isolação sonora

Os testes de isolamento sonora obedecem aos procedimentos estabelecidos em normas internacionais, visto que são indicadas pela norma de desempenho, ABNT NBR 15575 (2008) e por não haver, no momento, normas brasileiras que os especifiquem para a realização desses testes. As normas utilizadas em laboratório para o teste de isolamento sonora são:

- ISO 140-3 (1995) – *Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements.*
- ISO 717-1 (1996) – *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.*
- ISO 354 (2003) - *Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room.*

A norma ISO 140-3 (1995) apresenta os procedimentos para a realização do ensaio de isolamento sonora e obtenção do **índice de redução sonora, R** , por faixa de frequência em bandas de 1/1 e 1/3 de oitava. A partir desses dados, com os procedimentos apresentados na norma ISO 717-1 (1996), é feito o cálculo para a ponderação do índice de redução sonora, R , e obtido o valor único da isolamento sonora, isto é, **índice de redução sonora ponderado, R_w** . A norma ISO 354 (2003) apresenta os procedimentos para a medição do tempo de reverberação na câmara

receptora. Os resultados obtidos entram no cálculo do índice de redução sonora (equação 3.2) que é dado em decibels¹⁷.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.2)$$

Onde,

L_1 = nível médio na câmara de emissão, em dB

L_2 = nível médio na câmara de recepção, em dB

S = área do corpo-de-prova, em m²

A = absorção sonora na câmara de recepção, em m²

Como se justifica a equação 3.2? Da Física, tem-se que a potência é a variação de energia em função do tempo. Sabe-se que a potência W resulta do produto da intensidade sonora pela área de emissão. Considerando que o tempo é o mesmo para a avaliação da energia nas câmaras de emissão e de recepção e, considerando ainda, que da câmara de emissão, a potência é dada pelo produto da intensidade sonora, I_1 e pela área do corpo de prova, S e, da câmara de recepção, a potência depende da intensidade sonora, I_2 da área das superfícies, S_2 e do coeficiente de absorção sonora das superfícies, α , tem-se, então:

$$R = 10 \log \left(\frac{I_1 S}{I_2 S_2 \alpha} \right) \quad (3.3)$$

Mas, $S_2 \cdot \alpha = A$, então:

$$R = 10 \log \left(\frac{I_1 S}{I_2 A} \right) \quad (3.4)$$

A intensidade sonora pode ser representada pelo quadrado da pressão sonora, isto é,

$$R = 10 \log \left(\frac{P_1^2 S}{P_2^2 A} \right) \quad (3.5)$$

¹⁷ Segundo a Resolução CONMETRO N°12, o plural de decibel é dado por decibels e não decibéis. Isso porque, em se tratando de nome (caso de Bel, oriundo de Grahman Bel), para o plural só se deve acrescentar o “s” (BRASIL, 1988).

E, conseqüentemente,

$$R = 10 \log \left(\frac{P_1^2}{P_2^2} \right) + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.6)$$

Resultando em,

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.7)$$

A explicação dessa fórmula em termos de energia é dada da seguinte forma: a energia sonora na câmara de emissão, ε_s , é distribuída por meio da parcela direta (que dependerá do coeficiente de transmissão do material em teste, τ e de sua área, S), das parcelas refletida e absorvida pelas superfícies da câmara de emissão (que depende do coeficiente de reflexão r , e absorção α) e pela via indireta (que depende do coeficiente de transmissão por *flanking*¹⁸, β) (CROOME, 1977). Então, temos:

$$\alpha + r + \tau + \beta = 1 \quad (3.8)$$

A energia sonora na câmara de recepção, ε_r , dependerá dos fatores τ e β e da absorção sonora da câmara de recepção, A , resultando em,

$$A \varepsilon_r = S \varepsilon_s \tau + \beta \varepsilon_s \quad (3.9)$$

Em laboratório, pode-se negligenciar o valor de β e, portanto, tem-se:

$$\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_s} = \frac{S \tau}{A} \quad (3.10)$$

Acrescentando logaritmos, tem-se:

$$10 \log \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_s} \right) = 10 \log S + 10 \log \tau - 10 \log A \quad (3.11)$$

¹⁸ Não existe tradução única para essa palavra em português do Brasil. Em Portugal, a palavra foi traduzida como “transmissão marginal” (PATRÍCIO, 2007).

Mas, $R = 10 \log \frac{1}{\tau}$, então, substituindo, tem-se:

$$10 \log \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_r} \right) = R - 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.12)$$

Expressando os níveis de energia e termos de níveis de pressão sonora, e considerando a câmara de emissão como 1 e a câmara de recepção como 2, tem-se:

$$L_1 - L_2 = R - 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.13)$$

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.14)$$

A absorção sonora na câmara de recepção é dada pela seguinte equação:

$$A = \frac{55,3V}{cT} \quad (3.15)$$

Onde,

V – é o volume da câmara de recepção, em m^3 ;

T – é o tempo de reverberação, em s;

c – é a velocidade do som no ar.

O valor de c é dado por:

$$c = 331 + 0,6t(^{\circ}C) \quad (3.16)$$

Sendo que a temperatura t é dada em $^{\circ}C$. Essa equação poderá ser utilizada se a temperatura na câmara de recepção estiver entre $15^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$. Se a temperatura c estiver fora desse intervalo, deverá ser utilizada a equação 3.17, onde c é dada por:

$$c = 20\sqrt{t(K)} \quad (3.17)$$

Onde, t é a temperatura dada em Kelvin.

Substituindo os resultados dos parâmetros medidos na equação 3.14, fornecida pela norma, são obtidos os resultados do desempenho acústico dos elementos construtivos.

Como foi mencionado, anteriormente, nos testes de laboratório são obtidos os valores do desempenho acústico do elemento construtivo, isoladamente. Por essa razão, em testes de laboratório pode-se afirmar que uma porta apresenta o índice de redução sonora ponderado, R_w , de 30 dB, por exemplo. Em campo, essa mesma porta não poderá ser testada, porque o resultado do isolamento sonoro obtido abrangerá a porta mais a parede onde está inserida, outros elementos construtivos, que porventura fazem parte da parede onde está a porta, além do piso, da laje e as outras paredes. Isto é, o isolamento sonoro em campo, refere-se a todo “envoltório” do ambiente e não somente a um elemento construtivo, visto que é muito difícil garantir que o som que incida sobre um elemento construtivo do ambiente seja transmitido somente por esse elemento. Em campo é avaliado o isolamento do sistema construtivo entre dois ambientes.

Todo o procedimento de medição com detalhes especificados pela norma ISO 140-3 (1995) está apresentado no Capítulo 6.

3.2.2.1 Resultados dos testes de isolação sonora

Em laboratório são feitas medições de parâmetros nas duas câmaras. Na câmara de emissão mede-se o nível de pressão sonora da fonte, L_1 , na câmara de recepção são medidos o nível de pressão sonora da fonte, L_2 , e do ruído de fundo, B_2 , e o tempo de reverberação, T_2 . A Figura 3.2 apresenta um modelo esquemático dos parâmetros medidos em cada câmara.

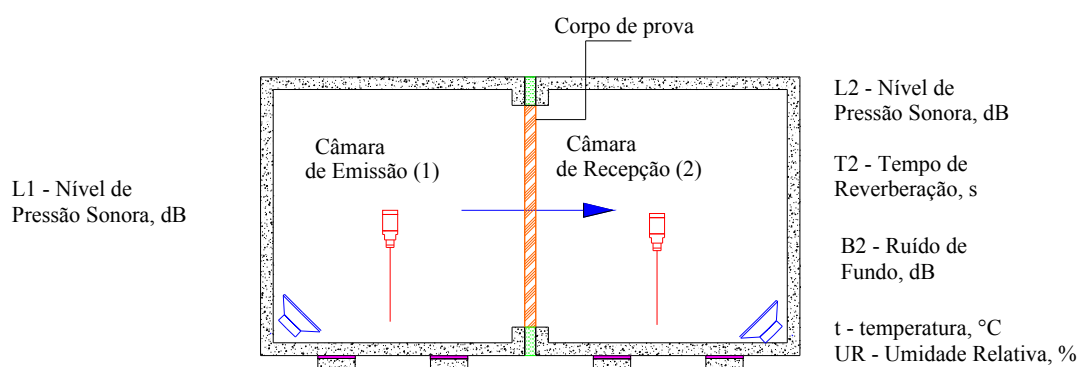


Figura 3.2: Resumo dos parâmetros e grandezas obtidas em laboratório.
(Fonte: Adaptado de BARRY, 2005).

De posse desses parâmetros é obtido, por meio de cálculo, o índice de redução sonora, R , apresentada na equação 3.2, em função da frequência em faixas de 1/3 de oitava, conforme estabelece a norma ISO 140-3 (1995).

Seguindo os procedimentos dados pela norma ISO 140-3 (1995) é realizada a medição e obtido o índice de redução sonora por faixa de frequência. O passo seguinte necessita da parte 1 da norma ISO 717 (1996) para a obtenção do número único de isolamento, R_w , índice de redução sonora ponderado.

Para obter o valor de R_w , os valores do espectro de R em função da frequência, seja em 1/1 oitava ou em 1/3 de oitava devem ser confrontados e ponderados com a curva de referência dada pela norma ISO 717-1 (1996). Os valores da curva de referência estão apresentados no Quadro 3.1:

Quadro 3.1 - Valores da curva de referência

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

Fonte: Adaptado de ISO 717-1, 1996.

O procedimento para a ponderação do índice de redução sonora, R_w , é o seguinte: os resultados obtidos da medição de isolamento (índice de redução sonora por faixa de frequência devem ser plotados sobre o gráfico com os valores de referência, cedidos pela norma e apresentados no Quadro 3.1. A curva de referência deverá ser deslocada na vertical até que a soma das deficiências (considera-se uma deficiência um ponto da curva dos resultados que esteja abaixo da curva de referência) seja menor ou igual a 32,0 dB nas 16 faixas de frequência, entre 100 e 3150 Hz, em bandas de 1/3 de oitava ou menor ou igual a 10,0 dB nas 5 faixas de frequência, entre 125 e 2000 Hz, em bandas de 1/1 oitava. Definida a nova posição da curva de referência, obtém-se o valor único do R_w , pelo valor da curva de referência deslocada, em 500 Hz.

3.2.2.2 Coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} - entre 100 e 3150 Hz

Tomando como exemplo o índice de redução sonora resultante de medição da isolamento em laboratório, é apresentada neste item, a inclusão dos coeficientes de adaptação do espectro, segundo recomendação da norma ISO 717-1 (1996), cujos resultados dos índices de isolamento e isolamento devem ser apresentados na forma da Equação 3.18:

$$R_w(C; C_{tr}) = 43 (0; -2) \quad (3.18)$$

Onde:

C = coeficiente de ‘adaptação de espectro’ para avaliação da isolamento entre recintos.

C_{tr} = coeficiente de ‘adaptação de espectro’ para avaliação da isolamento de fachadas para ruído de trânsito.

Esses coeficientes de adaptação do espectro foram criados para poder avaliar espectros de diferentes fontes de ruído, como ruído rosa e ruído de tráfego rodoviário e poder estimar o valor da isolamento sonora em curvas que apresentem valores muito baixos em uma única faixa de frequência (ISO 717-1, 1996).

Alguns países, como a Austrália e a Polônia, utilizam o parâmetro R_w seguido de um dos coeficientes de correção. Outros países, como o Reino Unido, Nova Zelândia, Suíça, Holanda, utilizam $D_{nT,w}$ seguido também de um dos coeficientes.

Esses coeficientes surgiram porque foi percebido que a curva padrão precisava de um ajuste para espectros com características específicas, nomeadamente, ruído rosa e ruído de tráfego rodoviário urbano (PATRÍCIO, 2007). Para não alterar a curva padrão e poder manter a comparação entre os resultados já obtidos e os futuros, foram criados os coeficientes C e C_{tr} , que fazem a correção do espectro obtido¹⁹.

O Quadro 3.2 apresenta diferentes tipos de fonte sonora cujos espectros são indicados por espectros de ruído rosa ou de tráfego urbano:

Quadro 3.2 - Coeficiente de adaptação em função do tipo de fonte sonora

Tipo de Fonte Sonora	Coeficiente de Adaptação do Espectro indicado
• Atividades comuns (palavra, música, rádio, TV); • Crianças brincando; • Tráfego ferroviário a velocidade média ou alta; • Tráfego rodoviário em rodovias (> 80 km/h); • Avião a jato em curta distância; • Indústrias emitindo ruído em médias e altas frequências	C (Espectro Ruído Rosa)
• Tráfego rodoviário urbano; • Tráfego ferroviário em baixa velocidade; • Avião a hélice; • Avião a jato em grande distância; • Discoteca; • Indústrias emitindo ruído em baixas e médias frequências.	C_{tr} (Espectro de Ruído de Tráfego)

Fonte: Adaptado de ISO 717-1, 1996.

Para a obtenção dos coeficientes de adaptação do espectro, utiliza-se o Quadro 3.3, onde são apresentados os valores relativos às curvas de referência.

¹⁹ BARRY, Peter J. Comunicação pessoal. 2007. (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, SP).

Quadro 3.3 - Valores de referência para a obtenção dos coeficientes entre 100 e 3150 Hz

Frequência, Hz	Espectro nº1 para o cálculo de C		Espectro nº2 para o cálculo de C_{tr}	
	1/3 Oitava	1/1 Oitava	1/3 Oitava	1/1 Oitava
100	-29	-21	-20	-14
125	-26		-20	
160	-23		-18	
200	-21	-14	-16	-10
250	-19		-15	
315	-17		-14	
400	-15	-8	-13	-7
500	-13		-12	
630	-12		-11	
800	-11	-5	-9	-4
1000	-10		-8	
1250	-9		-9	
1600	-9	-4	-10	-6
2000	-9		-11	
2500	-9		-13	
3150	-9	---	-15	---

Fonte: Adaptado de ISO 717-1, 1996.

Para obter os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , estes devem ser calculados juntamente com o espectro sonoro da fonte e devem ser utilizados os valores de referência do Quadro 3.3 na equação:

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (3.19)$$

Onde,

j – é referente ao espectro nº1 para o cálculo de C ou do espectro nº2 para o cálculo de C_{tr} ;

X_w – é o número único calculado para a ponderação de R , R' , D_n ou D_{nT} ;

X_{Aj} – é calculado por:

$$X_{A j} = -10 \log \sum (L_{ij} - X_i) / 10 \quad (3.20)$$

Onde,

i – refere-se a cada banda de frequência entre 100 e 3150 Hz, para 1/3 de oitava ou banda de 125 a 2000 Hz, para 1/1 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 D_{ni} , ou diferença padronizada de nível, D_{nTi} para a frequência i .

Encontrados os valores dos coeficientes, o resultado final é apresentado na forma $R_w(C; C_{tr})$, ou $R_w + C$ ou $R_w + C_{tr}$.

Essa forma de expressão do resultado final é aplicada também para R'_w , $D_{n,w}$ e $D_{nT,w}$, isto é, para os resultados de testes realizados em laboratório ou em campo. No Capítulo 5, onde são apresentados os níveis critérios utilizados por alguns países, verifica-se que alguns deles utilizam o valor único de isolamento complementado pelo coeficiente de adaptação do espectro.

Como se verá no Capítulo 5 alguns países utilizam índices que não foram ainda mencionados. Porém, não são índices novos, apenas apresentam formas diferentes de expressar os seus resultados. É uma forma de já incluir os coeficientes de adaptação do espectro²⁰, conforme (3.21) e (3.22).

$$R_A = R_w + C \quad (3.21)$$

$$R_{A,tr} = R_w + C_{tr} \quad (3.22)$$

3.2.2.3 Coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} - entre 50 e 5000 Hz

Os coeficientes de adaptação do espectro podem ter algumas variáveis em relação à faixa de frequência utilizada. Toda explicação dada no item anterior sobre a forma de como obtê-

²⁰ Fonte: ISO 717-1:1996 e <www.isover.fr>. Acesso em 20 Fev. 2007.

los refere-se à gama de frequências ente 100 Hz e 3150 Hz. Porém, pode-se expressar esses coeficientes em intervalos específicos de frequência, como por exemplo, entre 50 Hz e 5000 Hz, obtendo-se $C_{50-5000}$ ou entre 100-5000 Hz, obtendo-se $C_{100-5000}$ ou ainda, entre 50-3150 Hz, obtendo-se $C_{50-3150}$. Qualquer outro intervalo que não seja entre 100 e 3150 Hz deve ser explicitado juntamente com o coeficiente de adaptação do espectro, conforme recomendação da norma ISO 717-1 (1996).

Para obter esses coeficientes em uma faixa mais larga de frequências deve-se utilizar os valores do Quadro 3.4. O cálculo para a aquisição desses coeficientes segue o mesmo procedimento que o utilizado para a obtenção dos coeficientes entre 100 Hz e 3150 Hz, apresentado no item anterior.

Quadro 3.4 - Valores de referência para a obtenção dos coeficientes entre 50 e 5000Hz

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

(continua)

(continuação)

1600	-9	-4	-10	-5	-10	-6
2000	-9		-10		-11	
2500	-9		-10		-13	
3150	-9	---	-10	-5	-15	-11
4000	---		-10		-16	
5000	---		-10		-18	

Fonte: Adaptado de ISO 717-1, 1996.

Como já foi mencionado, esses coeficientes podem ser aplicados para testes em laboratório ou em campo e para faixas de frequências em bandas de 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava.

Segundo a norma ISO 717-1 (1996), de posse desses coeficientes, o valor único de um elemento construtivo ou uma partição pode ser apresentado na forma mais completa:

$$R_w(C; C_{tr}; C_{50-3150}; C_{tr50-3150}) = 43 (0; -2; -1; -4) \text{ dB} \quad (3.23)$$

Nota 3.1: Este item teve como objetivo complementar a informação sobre os coeficientes de adaptação de espectro, embora, os resultados das medições, aqui realizadas, não serão expressos dessa forma. Acrescenta-se ainda, que dentre as pesquisas em documentos internacionais, não foi encontrado nenhum país que utilizasse essa forma mais completa de caracterização acústica de elementos ou sistemas construtivos.

3.3 Método de engenharia – campo

O método de engenharia em campo se aplica aos testes de isolamento de ruído aéreo de uma partição entre dois ambientes. Dos métodos utilizados em campo este é o tecnicamente mais completo e, portanto, recomenda-se a sua utilização (BARRY, 2006). A seguir, apresenta-se a descrição desse método para cada tipo de avaliação de isolamento.

Os testes de isolamento de ruído aéreo em campo também obedecem aos procedimentos das normas ISO, nomeadamente:

- ISO 140-4 (1998) – *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.*

Para a obtenção do número único de isolamento é utilizada a norma ISO 717-1:

- ISO 717-1 (1996) – *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.*

A avaliação do tempo de reverberação é realizada seguindo a norma ISO 354, de 2003:

- ISO 354 (2003) – *Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room.*

A norma ISO 140-4 (1998) apresenta os procedimentos para a realização da medição do isolamento sonoro e obtenção, entre outros parâmetros, da **diferença padronizada de nível, D_{nT}** , por faixa de frequência de 1/1 e 1/3 de oitava. A partir desses dados, com os procedimentos apresentados na norma ISO 717-1 (1996), é feito o cálculo para a ponderação da diferença de nível padronizado, D_{nT} , e obtido o valor único do isolamento sonoro, isto é, **diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$** .

Os testes em campo não apresentam o controle das condições ambientais como ocorre nos testes realizados em laboratório. Em campo, também não é possível isolar a parede que está sendo avaliada, como em laboratório e, de um modo especial a parede de alvenaria, que está rigidamente ligada ao piso e ao teto. Por isso, o som que chega ao ambiente de recepção é o som transmitido pela parede em avaliação, pelo piso e pelo teto, conforme é apresentado em desenho esquemático, na Figura 3.3. Da mesma forma, a temperatura e a umidade relativa não podem ser controlados, como em laboratório. Por isso, em campo, é obtido o valor do isolamento da partição entre ambientes. Não se pode dizer que a parede do prédio “A” apresenta o mesmo isolamento da parede do prédio “B” apenas por serem compostas pelo mesmo componente construtivo. Há que ser levado em consideração o sistema construtivo do prédio, área da parede, área equivalente de absorção do ambiente de recepção, o *layout* do ambiente de recepção, entre outros.

A Figura 3.3 apresenta o modelo esquemático da avaliação do desempenho acústico de uma parede entre dois apartamentos, com as trajetórias do som pela parede, pelo teto e pelo piso.

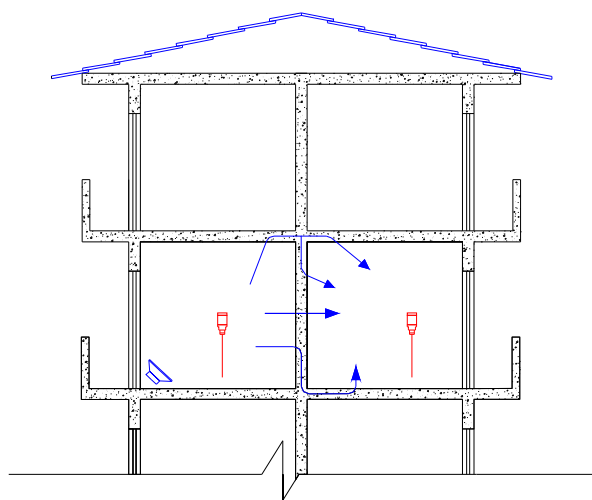


Figura 3.3: Modelo esquemático da medição do isolamento sonoro em edifício, com as diferentes trajetórias do som. (Fonte: Adaptado de BARRY, 2005).

A realização desses testes também obedece a procedimentos estabelecidos em normas internacionais, visto não haver, no momento, normas brasileiras que especifiquem os procedimentos para a realização dos testes e, porque essas normas são indicadas pela norma de desempenho, ABNT NBR 15575 (2008).

Para os testes de isolamento de partições entre unidades habitacionais será utilizada a norma ISO 140-4 (1998). Os procedimentos dessa medição com detalhes especificados pelas normas estão apresentados no Capítulo 6.

Para a avaliação do isolamento de ruído aéreo em campo é necessário medir o nível de pressão sonora do ruído da fonte na sala denominada de emissão, L_1 , o nível de pressão sonora na sala denominada de recepção, L_2 , além do tempo de reverberação, T_2 , e o nível do ruído de fundo, L_{B2} , na sala de recepção. A medição dos parâmetros acústicos em campo é similar à medição dos mesmos parâmetros em laboratório.

Como o que se avalia em campo é o isolamento do sistema construtivo e não a isolação sonora de elementos construtivos, o cálculo a ser feito é diferente. Em laboratório obtém-se o

índice de redução sonora, R , e o índice de redução sonora ponderado, R_w . Em campo, obtém-se a diferença de nível entre as salas de emissão e recepção, simplesmente D . Posteriormente, pode-se obter a diferença normalizada de nível, D_n , que tem como referência a área equivalente de absorção, A_o , da sala de recepção, e com a sua ponderação, obtém-se a diferença normalizada de nível ponderada, $D_{n,w}$. Ainda em campo, pode-se também obter a diferença padronizada de nível, D_{nT} , que tem como referência o tempo de reverberação, T_o , também da sala de recepção, e com a ponderação obtém-se a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$.

Os cálculos desses valores de isolamento sonoro, dados pela norma ISO 140-4 são apresentados a seguir:

- A **diferença de nível**, D , é obtida da diferença entre os níveis de pressão sonora da fonte, na sala de emissão e na sala de recepção e é dada em decibels, dB:

$$D = L_1 - L_2 \quad (3.24)$$

Onde,

L_1 – é a média temporal e espacial do nível de pressão sonora da fonte na sala de emissão;

L_2 – é a média temporal e espacial do nível de pressão sonora da fonte na sala de recepção;

- A **diferença normalizada de nível**, D_n , é obtida da diferença entre os níveis de pressão sonora da fonte, na sala de emissão e na sala de recepção, tendo como referência a área equivalente de absorção da sala de recepção, e é dada em decibels:

$$D_n = D - 10 \log \frac{A}{A_o} \quad (3.25)$$

Onde,

D – é a diferença de nível, em decibels, dB;

A – é a área equivalente de absorção da sala de recepção, em m^2 ;

A_o – é a área equivalente de absorção de referência, em m^2 , sendo $A_o = 10 m^2$ para ambientes em edificações.

- A **diferença padronizada de nível**, D_{nT} , é obtida da diferença entre os níveis de pressão sonora da fonte, na sala de emissão e na sala de recepção, tendo como referência o tempo de reverberação da sala de recepção, e é dada em decibels:

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (3.26)$$

Onde,

D – é a diferença de nível, em decibels, dB;

T – é o tempo de reverberação da sala de recepção, em segundos;

T_0 - é o tempo de reverberação de referência, em edificações, $T_0 = 0,5s$.

Nota 3.2: Segundo a norma ISO 140-4 (1998) o valor de referência é $T_0 = 0,5s$ porque se toma como padronização que, em uma residência com móveis, o tempo de reverberação encontrado, que é razoavelmente independente do volume e da frequência, apresenta o valor de 0,5s.

Nota 3.3: Em 2004, Lopes e Rodrigues contestaram os valores padronizados da área de absorção, A_0 e do tempo de reverberação, T_0 , utilizados para o cálculo de D_n . Segundo os autores, esses valores padronizados são válidos para salas receptoras de até $100m^3$. Acima desse volume, aos valores reais de área de absorção e tempo de reverberação, não se aplicam os valores padronizados. Essa contestação é válida, porém, para a maioria das edificações residenciais, onde o volume de cada ambiente dificilmente supera os $100m^3$ e, portanto, o uso dos valores de A_0 e T_0 são perfeitamente aplicáveis.

Medições em campo ainda podem resultar no **índice de redução sonora aparente**, R' , que é o equivalente para campo das medições em laboratório. Porém, para obter o valor de R' de uma partição vertical entre duas unidades habitacionais, por exemplo, há que se poder garantir, que o som emitido por uma fonte no ambiente de emissão seja praticamente todo transmitido por essa partição, e não haja parcelamento dessa onda sonora incidente passando pela laje e pelo piso.

O valor do índice de redução sonora aparente, R' , é obtido por meio da equação abaixo, em decibels:

$$R' = D + 10 \log \frac{S}{A} \quad (3.27)$$

Onde,

D – é a diferença de nível, em decibels, dB;

S – é a área da partição;

A – é área equivalente de absorção na sala de recepção.

Na prática, em edificações brasileiras, onde as paredes são feitas de alvenaria e estão rigidamente ligadas à laje, é muito difícil poder considerar que o som seja quase totalmente transmitido pela partição. Por essa razão, não é utilizado o índice de redução sonora aparente. Por questões de facilidade de medição e cálculo é utilizada a diferença padronizada de nível para avaliar o isolamento de ruído aéreo em partições, em campo.

Nota 3.4: A norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2008) apresenta critérios para desempenho em fachada e em pisos. A avaliação do isolamento de fachada segue os procedimentos da norma ISO 140-5 (1998) – *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades*. E também a ISO 717-1 (1996) para a obtenção do número único de isolamento. Os parâmetros acústicos relacionados ao isolamento de fachada não são diferentes dos parâmetros relacionados com isolamento de paredes internas. A diferença está na forma de obter o nível de pressão sonora da fonte sonora, L_1 . A fonte deve ser colocada a 4 metros da fachada e o microfone a 2 metros da fachada. Os demais parâmetros, como L_2 , B_2 e T_2 são obtidos na sala de recepção da mesma forma como menciona a norma ISO 140-4 (1998), para partições internas. Neste trabalho, porém, não será tratado o isolamento de ruído aéreo de fachadas, apenas de paredes entre unidades residenciais.

Nota 3.5: A avaliação de nível de pressão sonora de impacto padronizado de piso, realizada em campo, segue a norma ISO 140-7 (1998) – *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors*, que apresenta os procedimentos para a medição do nível de pressão sonora de impacto padronizado, de uma partição horizontal, L'_{nT} , por faixa de frequência em banda de 1/3 de oitava. A parte 2 da norma ISO 717 (1996) *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation*, apresenta a curva de referência para ponderar os resultados obtidos e chegar ao valor único de

nível ponderado de ruído de impacto padronizado, $L'_{nT,w}$. A medição do nível de pressão sonora utiliza uma máquina de impacto, *Tapping Machine*, que produz o impacto padronizada no ambiente de emissão. No ambiente imediatamente abaixo, ambiente de recepção, é medido o nível de pressão sonora de impacto, L'_2 , o ruído de fundo, B_2 , e o tempo de reverberação, T_2 .

Como foi mencionado anteriormente, os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} podem ser acrescentados aos resultados dos testes em campo, gerando um resultado completo da avaliação do isolamento de ruído aéreo da partição. Especificamente em relação a C_{tr} , a idéia por trás desse coeficiente de avaliação de isolamento sonoro entre habitações é de ter em conta o desempenho da partição em relação às baixas frequências sem realmente testá-las (RASMUSSEN e RINDEL, 2005). O cálculo dos coeficientes de adaptação do espectro já foi apresentado no item 3.2.2. e sub-itens.

3.4 Método simplificado de campo

A seguir são descritos os procedimentos para a avaliação do desempenho acústico de elementos ou sistemas construtivos em campo, pelo método simplificado de campo, da norma ISO 10052 (2004).

O método simplificado de medição do isolamento de ruído aéreo segue os procedimentos estabelecidos na norma ISO 10052 (2004). Este método segue, em grande parte, o método de engenharia, que é mencionado no item 3.3, com a diferença de que não há medição do tempo de reverberação no ambiente receptor. O método de engenharia estabelece que o tempo de reverberação deve ser medido. Já o método simplificado apresentado na norma ISO 10052 (2004) não exige a realização dessa medição, seja pela inexistência de equipamentos adequados ou pela impossibilidade de medir devido ao alto nível do ruído de fundo. Sem a medição do tempo de reverberação a norma estabelece que sejam utilizados o valor do tempo de reverberação, T , estimado a partir de tabelas dadas pela norma e o valor do tempo de reverberação de referência, $T_0 = 0,5s$, para a realização dos cálculos.

3.5 Alguns resultados de medições

Em 2005 foi realizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas um seminário sobre habitação, desempenho e inovação tecnológica. Nesse seminário, o pesquisador Peter Barry apresentou alguns valores de medições de isolamento sonora de alguns materiais típicos utilizados nas construções e isolamento de ruído aéreo.

O Quadro 3.5 apresenta os resultados de medições de isolamento sonora em laboratório de alguns elementos construtivos utilizados em edificações habitacionais.

Quadro 3.5 - Resultados de medições de isolamento sonora, em laboratório

Descrição da Parede	Isolação sonora, R_w (dB)
Bloco de concreto, espessura de 90 mm e 15 mm de argamassa em cada face	40 (-1;-4)
Bloco de concreto, espessura de 140 mm e 15 mm de argamassa em cada face	43 (-1;-4)
Bloco cerâmico, espessura de 90 mm e 15 mm de argamassa em cada face	38 (-1;-3)
Bloco cerâmico, espessura de 140 mm e 15 mm de argamassa em cada face	38 (0;-2)
Tijolo cerâmico maciço, espessura de 100 mm e 25 mm de argamassa em cada face	45 (-1;-4)
Tijolo cerâmico maciço, espessura de 200 mm e 25 mm de argamassa em cada face	52 (-1;-4)

Fonte: BARRY, 2005.

O Quadro 3.6 apresenta os resultados de medições de isolamento de ruído aéreo de partições em campo.

Quadro 3.6 - Resultados de medições de isolamento de ruído aéreo, em campo

Descrição da Parede	Isolamento de ruído aéreo, $D_{nT,w}$ (dB)
Bloco de concreto, espessura de 140 mm e 10 mm de argamassa em cada face	41
Bloco de concreto, espessura de 140 mm e 5 mm de gesso em cada face	40

Fonte: BARRY, 2005.

3.6 Correção do ruído de fundo

Em todas as medições realizadas em campo ou em laboratório (isolamento de ruído aéreo, ruído de impacto, etc.), deve ser medido o ruído de fundo, que é todo o ruído de fontes secundárias que chega ao microfone, na posição do receptor, que não seja o ruído em análise (GERGES, 2000).

Essa correção está apresentada nas normas de procedimento de medição. Em todas as medições o nível de sinal em relação ao nível de ruído de fundo deve ser o mínimo de 6 dB superior (de preferência, maior que 10 dB). Para ajustar o nível do sinal em relação do nível do ruído de fundo, L_b , e obter o nível do sinal combinado com o ruído de fundo, L_{sb} , segue a seguinte regra:

- Se a diferença nos níveis (do sinal e ruído de fundo) for menor do que 6 dB em qualquer faixa de frequência, utiliza-se a correção de 1,3 dB correspondendo à diferença de 6 dB.
- Se estiver entre 6 e 10 dB, utiliza a seguinte equação:

$$L = 10 \log (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (3.28)$$

Onde,

L - é o nível do sinal ajustado, em dB

L_{sb} - é o nível do sinal e o ruído de fundo combinados, em dB.

L_b - é o nível de ruído de fundo, em dB.

- Se for superior a 10 dB, as condições de medição são ideais e não há necessidade de fazer ajuste com o ruído de fundo.

3.7 Outros parâmetros utilizados para avaliação do desempenho

Além das normas ISO há outras normas que indicam os procedimentos para a realização de testes de isolamento sonora, realizado em laboratório, como por exemplo, a norma americana da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), ASTM E 90 (2004) - *Standard test method for laboratory measurement of airborne sound transmission loss of building partitions and elements*. O procedimento de medição dessa norma é tecnicamente equivalente ao da norma ISO

(BARRY, 2005). A obtenção do número único de isolamento, *Sound transmission class*, *STC*, dado pela ASTM E 413 (2004) - *Classification for rating sound insulation* é diferente da norma ISO 717-1 (1996) e, portanto, *STC* e R_w podem ser diferentes.

Em campo, para a medição de isolamento, utiliza-se a norma ASTM E 336 (2004) - *Standard test method for measurement of airborne sound attenuation between rooms in buildings*, cujo procedimento de medição é similar ao da norma ISO 140-4 (1998), para paredes internas²¹. O número único de isolamento obtido é o *Field sound transmission class*, *FSTC*, e é dado pela norma ASTM E 413-04 (2004) - *Classification for rating sound insulation*.

As normas ISO são utilizadas em diversos países (161 é o número de países membros da ISO²²). Já as normas da ASTM são utilizadas principalmente, pelos Estados Unidos e pelo Canadá. Por recomendação da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT e do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, INMETRO, na ausência de normas brasileiras, o Brasil deve seguir as normas ISO (BARRY, 2005). Essa condição se dá porque o Brasil tem representação junto à ISO e não na ASTM.

O índice de redução sonora ponderado, R_w , é um parâmetro adotado pelas normas ISO, têm abrangência internacional e está sendo usado por muitos países, inclusive o Brasil, por recomendação da ABNT e do INMETRO, como já foi mencionado; é resultante da ponderação do índice de redução sonora em relação a uma curva de referência dada na norma ISO 717-1 (1996), como já foi apresentado.

A classe de transmissão sonora, *STC* (*sound transmission class*) é um parâmetro acústico adotado pelas normas ASTM e utilizado no mercado americano e canadense, principalmente. A obtenção do *STC* baseia-se na ponderação dos resultados obtidos da medição de isolamento, isto é, a perda por transmissão, *TL* (*transmission loss*), por faixa de frequência, em

²¹ Como informação adicional, a avaliação do desempenho de fachadas segue os procedimentos da norma ASTM E966 – 04, 2004 (*Standard Guide for Field Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Facades and Facade Elements*) e o número único, OITC (*outdoor-indoor transmission class*) é obtido pelas normas ASTM E 413-04, 2004 ou ASTM E 1332-90, 2003 (*Standard Classification for Determination of Outdoor-Indoor Transmission Class*).

²² Fonte: <www.iso.ch>. Acesso: 27 Jul. 2009. O fato de haver 161 países membros da ISO não quer dizer que esse mesmo número segue as normas ISO. Os EUA e o Canadá, por exemplo, são membros da ISO porém, seguem as normas ASTM.

relação a uma outra curva de referência, dada na norma ASTM E 413 (2004) e apresentados no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 - Valores de referência para o cálculo do número único *STC*

Frequência, Hz	Valores de Referência, dB
	1/3 Oitava
125	-16
160	-13
200	-10
250	-7
315	-4
400	-1
500	0
630	1
800	2
1000	3
1250	4
1600	4
2000	4
2500	4
3150	4
4000	4

Fonte: Adaptado de ASTM E 413-04, 2004.

A curva de referência deverá ser deslocada na vertical até que a soma das deficiências (considera-se uma deficiência um ponto da curva dos resultados que esteja abaixo da curva de referência) seja menor ou igual a 32 dB e a deficiência máxima seja de 8 dB, em cada faixa de frequência entre 125 e 4000 Hz. Definida a nova posição da curva de referência, obtém-se o valor único do *STC*, pelo valor da curva de referência deslocada, em 500 Hz.

Como foi mencionado anteriormente, o valor do *STC* é obtido por meio da ponderação da curva dos resultados da medição da isolamento e da curva de referência da norma ASTM E 413-04 (2004) entre 125 e 4000 Hz. Já o R_w é obtido por meio da ponderação da curva dos resultados

da medição da isolamento e da curva de referência da norma ISO 717-1 (1996) entre 100 e 3150 Hz. A diferença entre esses dois parâmetros acontecerá de modo significativo, para divisórias com baixo desempenho em baixas frequências (com redução do valor do STC) ou nas altas frequências (com redução do valor de R_w). Salienta-se, entretanto, que tecnicamente, os dois parâmetros são similares, embora possam apresentar valores numericamente diferentes.

Como se verá no Capítulo 5 países como a Austrália e Nova Zelândia alteraram os seus códigos de edificação substituindo os parâmetros americanos pelos parâmetros da ISO (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD - ABCB, 2004; BUILDING INDUSTRY AUTHORITY - BIA, 2004). A proposta da Nova Zelândia salienta que a mudança do parâmetro americano para o parâmetro ISO ocorre porque o STC avalia somente o elemento construtivo, já o R_w , com a adição dos coeficientes de adaptação do espectro, avalia o isolamento entre ambientes e o conforto que pode proporcionar. Ainda, segundo o documento neo-zelandês, dois elementos construtivos podem apresentar o mesmo valor de STC porém, ter desempenhos muito diferentes em baixas frequências. Essa diferença interfere na avaliação do ambiente ocupado.

Segundo Garcia e Vecchi (2005) a norma brasileira de desempenho de edifícios de até cinco pavimentos deveria adotar o parâmetro americano em partições verticais com o acréscimo de pesquisas de opinião de usuários.

Nota 3.6: Quando a norma ISO/R 717 foi publicada em 1968, apresentava como condição para obter o número único, a diferença máxima de 8 dB em cada frequência, entre a curva padrão e o espectro obtido, como ocorre na obtenção do STC ; a chamada regra de 8 dB. Na revisão de 1988, a norma foi dividida em 3 partes, mantendo a referência aos procedimentos mencionados na norma ISO/R 140, revisada em 1978, porém, a regra de 8 dB foi removida. Segundo a recomendação da norma, caso houvesse diferenças superiores aos 8 dB, estas deveriam ser registradas. Os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , foram acrescentados na última revisão da ISO 717, em 1996, depois de um estudo aprofundado sobre a necessidade de avaliação do isolamento de ruído de tráfego e a inclusão de baixas frequências, sob a influência de conceitos franceses, Rrose e Rroute (RASMUSSEN e RINDEL, 2005).

3.8 Resumo dos parâmetros utilizados nas medições

Baseado no trabalho de Barry (2005), neste item é apresentado um resumo de todos os parâmetros utilizados em medições laboratoriais e em campo, dados pelas normas ISO e ASTM, com os símbolos, nomenclaturas e a identificação das normas que apresentam os procedimentos para as medições. A Tabela 3.1 apresenta o resumo dos parâmetros acústicos utilizados segundo as normas ISO, em testes de laboratório.

Tabela 3.1 - Parâmetros acústicos utilizados na isolamento sonora segundo as normas ISO - Testes em Laboratório

Símbolo	Nomenclatura ²³	Aplicação	Norma
R	Índice de Redução Sonora (<i>Sound Reduction Index</i>)	Elementos de edificação	ISO 140-3
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado (<i>Weighted Sound Reduction Index</i>)		ISO 717-1

A Tabela 3.2 apresenta o resumo dos parâmetros acústicos utilizados segundo as normas ISO, em testes de campo.

Tabela 3.2 - Parâmetros acústicos utilizados no isolamento sonoro segundo as normas ISO - Testes em Campo

Símbolo	Nomenclatura	Aplicação	Norma
R'	Índice de Redução Sonora Aparente (<i>Apparent Sound Reduction Index</i>)	Sistemas de edificação	ISO 140-4
R'_w	Índice de Redução Sonora Ponderado (<i>Weighted Apparent Sound Reduction Index</i>)		ISO 717-1
D_n	Diferença Normalizada de Nível (<i>Normalized level difference</i>)	Sistemas construtivos – parede/ piso	ISO 140-4
$D_{n,w}$	Diferença Normalizada de Nível Ponderada (<i>Normalized level difference</i>)		ISO 717-1

(continua)

²³ A nomenclatura utilizada nas Tabelas 3.1 e 3.2 é obtida a partir da norma ABNT NBR 15575 (2008).

(continuação)

D_{nT}	Diferença Padronizada de Nível (<i>Standardized Level Difference</i>)	Sistemas construtivos – parede/ piso	ISO 140-4
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível ponderada (<i>Weighted Standardized Level Difference</i>)		ISO 717-1
$D_{2m,nT}$	Diferença Padronizada de Nível, a 2 metros (<i>Standardized Level Difference</i>)	Fachadas e coberturas	ISO 140-5
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível ponderada, a 2 metros (<i>Weighted Standardized Level Difference</i>)		ISO 717-1

A Tabela 3.3 apresenta o resumo dos parâmetros acústicos utilizados segundo as normas ASTM em testes de laboratório e em campo.

Tabela 3.3 - Parâmetros acústicos utilizados na isolamento sonora (laboratório) e no isolamento sonoro (campo), conforme as normas ASTM

Local	Símbolo	Nomenclatura	Aplicação	Norma
Laboratório	TL	Perda por Transmissão Sonora (PT) (<i>Sound Transmission Loss</i>)	Elementos de edificação	ASTM E 90
	STC	Classe de Transmissão Sonora (<i>Sound Transmission Class</i>)		ASTM E 413
Campo	FTL	Perda por Transmissão Sonora em Campo (<i>Field Transmission Loss</i>)	Sistemas Construtivos	ASTM E 336
	$FSTC$	Classe de Transmissão Sonora (<i>Field Sound Transmission Class</i>)		ASTM E 413

3.9 Incerteza envolvida nas medições

À incerteza envolvida nas medições soma-se entre outras, incertezas instrumentais, ambientais, de calibração, características das câmaras ou dos ambientes de medição.

Em se tratando de testes em laboratório, as câmaras reverberantes precisam garantir suas características por meio de dois índices: a repetitividade e a reprodutibilidade. O índice de repetitividade deve ser baixo e mantido sob controle, e o índice de reprodutibilidade, que,

segundo programas interlaboratoriais europeus, pode ser alto devido às características diferentes de cada laboratório.

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), editado pelo INMETRO (2005), repetitividade é “grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição” e reprodutibilidade é “grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição” (INMETRO, 2005). Mais detalhes sobre estes índices são encontrados na norma ISO 354 (2003).

As incertezas envolvidas nas medições em laboratório são do tipo A e tipo B. As incertezas do Tipo A referem-se às incertezas obtidas por meio da análise estatística das medições (desvio padrão de nível de pressão sonora no ambiente de emissão, recepção, ruído de fundo, tempo de reverberação) e as incertezas do Tipo B referem-se às incertezas obtidas por meios que não a análise estatística (ABNT/INMETRO, 2003), por exemplo, incerteza dos equipamentos, conforme certificados de calibração, arredondamento dos resultados para o inteiro mais próximo. Em laboratório a incerteza é inferior a 1dB.

Em campo as incertezas consideradas nas medições são, principalmente, do tipo A e a incerteza resultante é considerada de 1dB.

CAPÍTULO 4 – AUDIBILIDADE E INTELIGIBILIDADE

O desempenho das paredes entre unidades habitacionais promove o conforto acústico que pode ser o adequado ou não. A inteligibilidade da fala e a audibilidade são dois conceitos passíveis de avaliação objetiva e podem fornecer informações sobre a privacidade nos ambientes residenciais e agregar valor ao conceito de conforto acústico.

Embora a inteligibilidade e a audibilidade sejam conceitos diferentes (a primeira se refere à compreensão da palavra falada e a segunda à intensidade com que o som chega ao receptor), tanto um quanto o outro são respostas subjetivas avaliadas por meio de grandezas psicoacústicas a partir de um estímulo objetivo.

A audibilidade ou *loudness*, inicialmente utilizado para avaliar o sinal sonoro que chega diretamente a um receptor, será aqui adaptado para auxiliar na caracterização do conforto acústico em um ambiente residencial proporcionado por uma parede. Espera-se que a audibilidade esteja ligada ao desempenho da parede, de modo que alto desempenho de uma parede resulte em baixa audibilidade no outro ambiente. O resultado da audibilidade pode indicar o quão confortável pode ser o ambiente avaliado.

A inteligibilidade da palavra falada é um dos conceitos importantes e utilizados neste trabalho para a avaliação do conforto acústico. A compreensão ou não da palavra falada gerada no ambiente ao lado pode ser utilizado para caracterizar a privacidade de um ambiente acusticamente confortável.

4.1 Audibilidade ou *loudness*

O aparelho auditivo humano não apresenta sensibilidade equivalente em todas as frequências; é mais sensível nas altas frequências e menos sensível nas baixas. A área da fala, representada na Figura 4.1, mostra que compreende a faixa de frequência entre 170 Hz e 4000 Hz

e há uma escala dinâmica média, do nível de pressão sonora, de 42 dB (EVEREST, 2001).

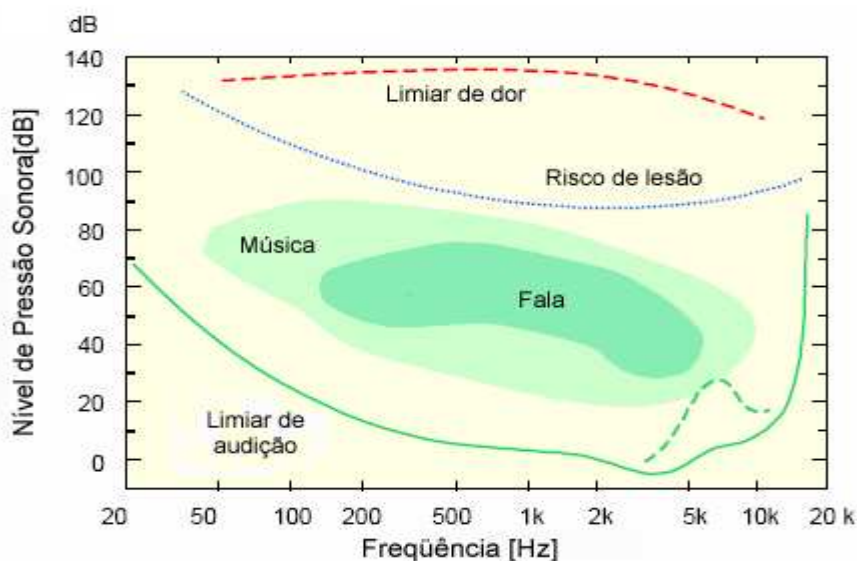


Figura 4.1: Escala da audibilidade (Fonte: Adaptado de GINN, 1978).

A norma ISO 532 (1975) - *Acoustics - method for calculating loudness level* apresenta dois métodos para a avaliação da audibilidade, sendo um deles, o método de Stevens (método A) e o outro, o método de Zwicker (método B).

O método de Stevens, utilizado neste trabalho, é aplicado em campo difuso onde se assume que o som chega ao receptor proveniente de todas as direções (som direto e refletido), com incidência aleatória, o que ocorre em edificações. O método de Stevens, conforme a norma ISO 532 (1975), utiliza medidas físicas obtidas de análise espectral em bandas de 1/1 oitava.

O método de Zwicker é aplicado em campo livre, onde se assume que o som chega ao receptor sem reflexões, ou em campo difuso. Esse método se baseia na análise espectral em bandas de 1/3 de oitava.

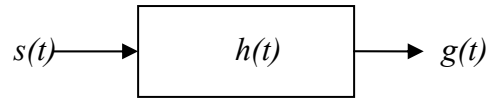
A norma com esses dois métodos de avaliação da audibilidade é relativamente antiga, datada de 1975, porém, permanece em vigor. Segundo Bistafa (2006), as medidas de audibilidade não se difundiram na área de controle de ruído devido à complexidade de cálculos, entre outras razões, porém, continuam sendo utilizadas na avaliação da qualidade acústica de produtos.

4.2 Técnica da resposta impulsiva

A base para a avaliação da inteligibilidade da fala é a resposta impulsiva de uma sala, que é determinada por uma excitação do tipo *delta de Dirac*, definida como um impulso com altura infinita, mas com área finita. Obtida a resposta impulsiva de uma sala em função do tempo, conhece-se as reflexões e o comportamento diante da reverberação da sala (PATRÍCIO, 2007). A norma ISO 3382 (1997) - *Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters* menciona diversos parâmetros acústicos que são obtidos diretamente da resposta impulsiva. Tais parâmetros são: nível de pressão sonora relativo (*source strength*, G), tempo de reverberação (*reverberation time*, T), tempo de decaimento inicial (*early decay time*, EDT), clareza (*clarity*, C₈₀), definição (*definition*, D₅₀), tempo central (*central time*, T_s), fração lateral (*lateral fraction*, LF), coeficiente inter aural de correlação cruzada (*inter-aural cross correlation coefficients*, IACC).

Segundo Schroeder (1965), conhecendo-se a Função de Transferência de uma sala, isto é, a resposta impulsiva, conhece-se as características acústicas desse ambiente, visto que a Função de Transferência informa sobre a densidade e a distribuição do som refletido no domínio do tempo e, conseqüentemente, muitos outros parâmetros podem ser calculados, como por exemplo, o tempo de reverberação (BOTTAZZINI, 2007).

Partindo da resposta impulsiva de um sistema LIT (é considerado um sistema linear a invariante no tempo, LIT, o sistema cuja relação entre o sinal de entrada e o de saída obedecem a uma lei linear e essa relação se mantém constante no tempo), pode-se obter a Função de Transferência, por meio da Transformada de Fourier. Dessa forma, os sistemas LIT podem ser plenamente caracterizados, seja no domínio do tempo ou da frequência. Se as características de transmissão de um sistema são apresentadas em função da frequência, a informação de especial interesse diz respeito à atenuação ou amplificação do sinal de excitação em uma determinada frequência. Apresentadas em função do tempo, obtém-se muitas informações sobre a acústica da sala; pode-se, por exemplo, calcular o tempo de reverberação, um dos parâmetros mais importantes da acústica de salas. (BERTOLI e GOMES, 2005). A Figura 4.2 representa um sistema LIT.



$s(t)$ – sinal de entrada (excitação da sala ou sistema LIT)

$h(t)$ – resposta impulsiva da sala ou sistema

$g(t)$ – sinal de saída

Figura 4.2: Sistema LIT em representação.

No sistema LIT o resultado é dado por meio do integral de convolução, apresentado na equação 4.1.

$$g(t) = s(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(\tau)h(t - \tau)d\tau \quad (4.1)$$

Aplicando-se a transformada de Fourier nas funções no domínio do tempo, obtém-se as funções no domínio da frequência e, finalmente, a resposta impulsiva em função da frequência, dada pela equação 4.2.

$$H(f) = \frac{G(f)}{S(f)} \quad (4.2)$$

Se o quociente entre os sinais de entrada e saída é determinado, a função resultante, $H(f)$ é chamada de Função de Transferência.

A resposta impulsiva de um sistema pode ser obtida sem a necessidade de ter como sinal de entrada, um impulso. No domínio do tempo, nenhuma exigência quanto ao sinal de entrada é feita. Mas, no domínio da frequência, é importante a largura da banda dos espectros. Isso porque, se for muito pequena ou nula, a Função de Transferência apresentará valores muito elevados, visto que o sinal de entrada, $S(f)$, está no denominador, como se pode verificar na equação 4.2. Sinais estocásticos ou determinísticos de banda larga, ou varreduras de senos, são sinais apropriados. Alguns desses sinais estão descritos a seguir.

Vários são os sinais utilizados para a avaliação de uma sala por resposta impulsiva, entre eles, excitação por impulsos, *Maximum Length Sequences*, MLS, *Time Delay Spectrometry*, TDS, varredura de senos (*sweep*). Segundo Farina (2000) os dois primeiros métodos são os mais comuns.

A Figura 4.3 mostra um exemplo de resposta impulsiva, no domínio do tempo.

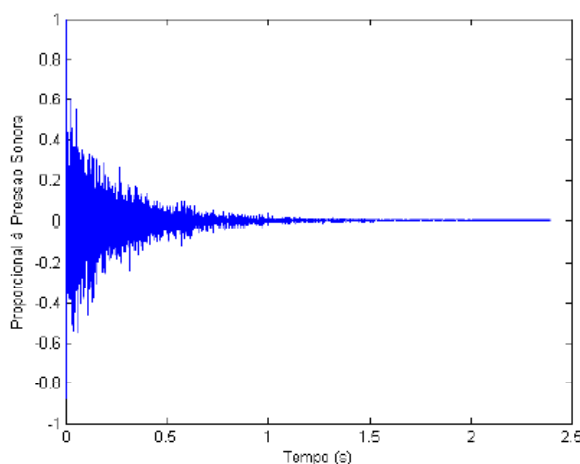


Figura 4.3: Exemplo de resposta impulsiva. (Fonte: BRÜEL & KJÆR, 2003b).

4.2.1 MLS (*maximum length sequences*)

Na década de 80 o uso da técnica de MLS popularizou-se na área da acústica. Embora a técnica utilize sinal determinístico (exatamente reproduzível), os seus espectros são iguais aos do ruído branco aleatório.

Uma MLS é um sinal periódico pseudo-aleatório; é uma sequência binária formada por pulsos e possui comprimento $N = 2^n - 1$, onde N e n são inteiros. Facilmente gerada por meio de software, rapidamente obtém a resposta impulsiva por meio da transformada de Hadamard (FHT) (MÜLLER e MASSARANI, 2005).

Embora a técnica de MLS seja rápida, apresente alta resolução, exatidão e confiabilidade, além da geração fácil do sinal, segundo Müller e Massarani (2005) a técnica apresenta como desvantagens a baixa relação sinal-ruído em baixas frequências, alta vulnerabilidade a variâncias no tempo e a não linearidades, não sendo por isso, adequado para avaliação de grandes espaços (MASIERO e IAZZETTA, 2004).

A resposta impulsiva resultante não se deve, no entanto, a uma medição direta, mas sim, a um processamento de sinais. (BERTOLI e GOMES, 2005).

4.2.2 Varredura de senos (*sweep*)

A varredura de senos é um sinal que passa por todas as frequências de forma contínua, para que o sistema seja excitado sequencialmente em cada uma das frequências. É caracterizada por um sinal, que varia com a frequência, porém, a intensidade é invariável no tempo.

4.3 Inteligibilidade

Os parâmetros utilizados para a avaliação da inteligibilidade da palavra falada são:

- Definição (*definition*, D₅₀);
- Índice de transmissão da fala (*speech transmission index*, STI);
- Percentagem da perda da de articulação de consoantes (*percentage articulation loss of consonants*, %ALC).

Esses parâmetros dependem das condições acústicas do ambiente, como:

- Tempo de reverberação (*reverberation time*, T);
- Tempo de decaimento inicial (*early decay time*, EDT);
- Ruído de fundo.

4.3.1 Definição (*Definition*, D₅₀)

A reverberação de um ambiente contribui para que as reflexões iniciais, que chegam ao ouvinte em até 50 ms (chamadas reflexões “úteis”), somem-se ao som direto contribuindo com a inteligibilidade da fala. As reflexões mais tardias podem atrapalhar a percepção da fala com efeitos de mascaramento e até ecos. (METHA *et. al.*, 1999; BISTAFA, 2006).

A Definição, D₅₀, definida como a razão entre a energia da resposta impulsiva no intervalo de tempo entre 0 e 50ms (E₁) que chega ao ouvinte, pela energia total da resposta impulsiva (E₂). Matematicamente é calculada conforme a equação 4.3, segundo a norma ISO 3382 (1997). O valor da Definição varia entre 0 (péssima definição) e 1 (excelente definição) e é um parâmetro adimensional.

$$D_{50} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\int_0^{0,05\text{ s}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (4.3)$$

A Figura 4.4 representa a razão entre a energia dos primeiros 50ms, E1 e energia total E2 utilizadas no cálculo da Definição.

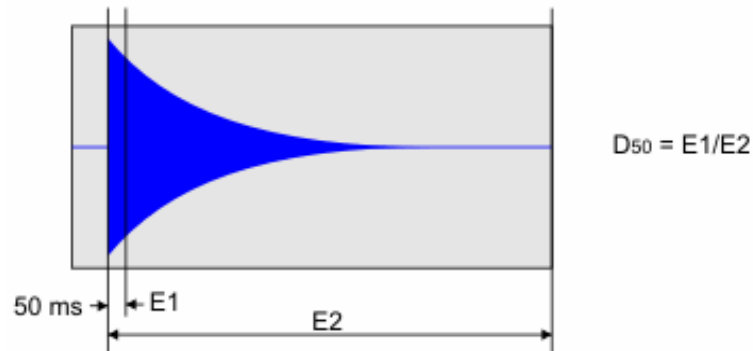


Figura 4.4: Relação entre a energia dos primeiros 50ms, E1, e a energia total, E2.
(Fonte: BRÜEL & KJÆR, 2003b)

4.3.2 Índice de transmissão da fala (*speech transmission index*, STI)

Criado por dois holandeses, Tammo Houtgast e Herman J.M. Steeneken²⁴, no final da década de 60, o índice de transmissão da fala, STI, avalia a inteligibilidade da fala levando em consideração a reverberação e o ruído de fundo do ambiente (MÜLLER, 2007).

Segundo a norma BS EN 60268-16 (BSI, 2003) - *Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*, o índice de transmissão da fala, STI, é uma quantidade física que representa a transmissão da qualidade da fala com respeito à inteligibilidade. Este parâmetro é adimensional.

O método para obtenção do índice de transmissão da fala, STI, é baseado na determinação da função transferência de modulação $m(f)$ para 98 pontos obtidos de 14

²⁴ TAMMO Houtgast, HERMAN J.M. Steeneken, Evaluation of Speech Transmission Channels by Using Artificial Signals. *Acústica* v.25, pp.355-367. 1971.

frequências de modulação em 1/3 de oitava em intervalos de 0,63Hz e 12,5Hz e para cada 7 frequências em banda de oitava entre 125 e 8kHz.

A fala pode ser considerada como uma sequência de pequenos fragmentos chamados “fonemas”. Cada fonema é caracterizado por um espectro de frequência específico. As diferenças espectrais podem ser representadas por uma função envelope dentro de várias faixas de frequência. Distorção no sinal da fala causada pela reverberação ou ruído de fundo resulta na redução da diferença espectral entre fonemas e, portanto, na modulação da intensidade. A Figura 4.5 exemplifica a influência do ruído de fundo, reverberação e ecos no sinal de saída em relação ao sinal de entrada. A redução no sinal de saída causada por reverberação ou ruído de fundo pode ser expressa pela MTF, função transferência de modulação (*modulation transfer function*), que representa a transferência $m(f)$ do envelope da intensidade no sinal de saída, m_o , em relação ao de entrada, m_i , com dependência da frequência de modulação (BS EN 60268-16, 2003; MÜLLER, 2007).

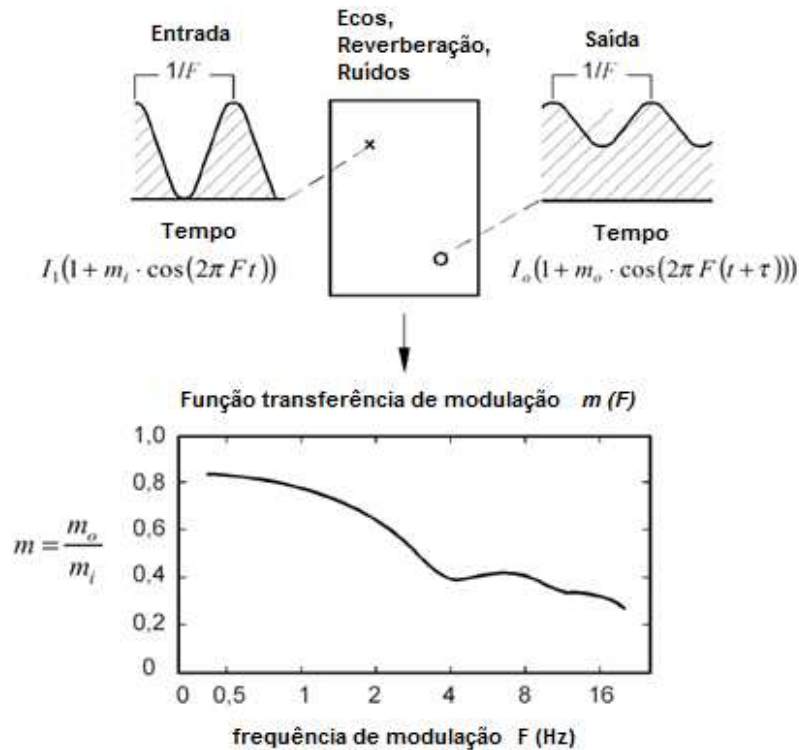


Figura 4.5: Função transferência de modulação: comparação com o sinal de entrada e sinal de saída e influência do ruído, reverberação e ecos. (Fonte: Adaptado de BS EN 60268-16, 2003).

A Figura 4.6 mostra a influência do ruído de fundo e reverberação no sinal de saída, em relação ao sinal de entrada. Exemplo na banda de 1 kHz com frequência de modulação de 2 Hz.

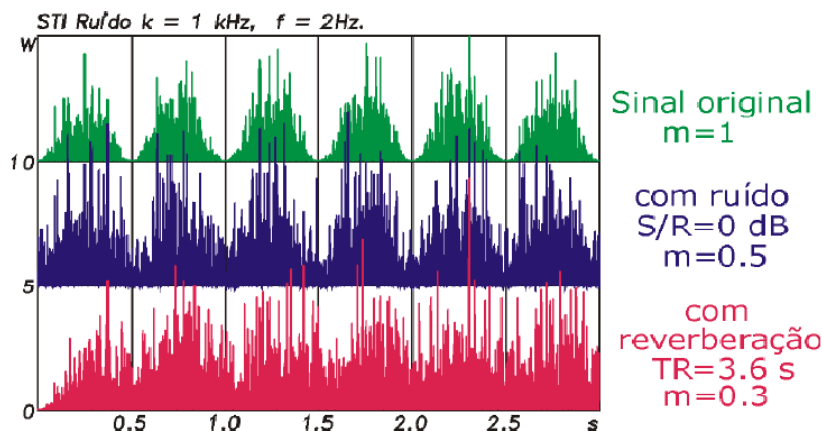


Figura 4.6: Influência de ruído e da reverberação na transferência de modulação.
(Fonte: MÜLLER, 2005).

Com a reverberação a MTF tem a forma de um filtro passa-baixa, isto é, as flutuações mais rápidas são mais afetadas. A reverberação provoca mais nivelamento em flutuações rápidas da intensidade do que em trechos com frequência de modulação lenta e o intervalo entre dois máximos da modulação, a reverberação cai muito. Para o ruído de fundo a MTF é definida como razão sinal-ruído e independe da frequência de modulação. O ruído, por aumentar a intensidade média, reduz o índice de modulação em todas as frequências de modulação. (BS EN 60628-16, 2003; MÜLLER, 2007).

Aplicando em um edifício residencial: quanto menor é a influência do ruído de fundo ou da reverberação do ambiente do vizinho incomodado sobre o sinal do vizinho barulhento, m_i , melhor é a percepção da fala no vizinho do incomodado, m_o . Não se deseja, porém, aumentar a interferência do ruído de fundo ou reverberação no sinal da palavra falada de modo a melhorar a privacidade do vizinho incomodado, mas sim, deseja-se um isolamento adequado da partição entre unidades habitacionais de modo a reduzir o sinal m_i .

Os parâmetros da inteligibilidade da fala são baseados na relação entre a inteligibilidade da fala percebida pelo receptor e a intensidade de modulação na voz da fonte. O STI é calculado

como a soma ponderada dos índices da transferência de modulação, MTI, para cada frequência de 125 Hz e 8 kHz, que são as frequências específicas da voz humana. Como há diferença nas frequências das vozes de homens e mulheres é possível avaliar o STI para um e para outro, sendo que a voz feminina retira de sua avaliação a frequência mais baixa, isto é, 125 Hz.

Os valores de STI variam entre 0 (péssima inteligibilidade) e 1 (excelente inteligibilidade). Esses valores são classificados por faixas, conforme a norma BS EN 60268-16 (BSI, 2003) e são apresentados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Classificação de STI

STI	Inteligibilidade da Fala
0,00 – 0,30	Ruim
0,30 – 0,45	Pobre
0,45 – 0,60	Razoável
0,60 – 0,75	Boa
0,75 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de BS EN 60268-16, 2003.

4.3.3 Perda da articulação das consoantes (*articulation loss of consonants*, % ALC)

O valor da perda da articulação das consoantes, %ALC, está diretamente ligado ao STI e é baseado na recepção das palavras pelos ouvintes (BRÜEL & KJÆR, 2003b). A equação 4.4 indica como obter o %ALC a partir de STI:

$$\%ALC = 170,5405 e^{-5,419(STI)} \quad (4.4)$$

4.4 Parâmetros acústicos de salas

A inteligibilidade da fala depende das características acústicas de salas como o tempo de reverberação, o tempo de decaimento inicial (*early decay time*, EDT) e o ruído de fundo.

4.4.1 Tempo de reverberação

O tempo de reverberação é um dos mais importantes e mais conhecidos parâmetros utilizados na avaliação acústica de salas e é definido pela norma ISO 354 (2003), como o tempo necessário para que o nível de pressão sonora em uma sala caia de 60 dB após a interrupção da fonte sonora, obtendo-se o T_{60} . A definição dada pela norma ISO 3382 (1997) é o tempo necessário, dado em segundos, para que o nível de pressão sonora decaia 60 dB, na inclinação da curva de decaimento, do nível 5 dB abaixo do inicial até 35 dB, obtendo-se T_{30} . Se não for possível fazer o cálculo de T_{30} obtém-se o tempo na inclinação da curva do decaimento entre 5 dB e 25 dB, resultando em T_{20} , ou entre 5 dB e 15 dB, resultado em T_{10} .²⁵ Segundo Gerges (2000), o tempo de reverberação está relacionado com a inteligibilidade da fala. Isso se justifica porque, se o tempo de reverberação for excessivo, as reflexões de uma palavra serão sobrepostas ao som direto e às reflexões de outra palavra, prejudicando a inteligibilidade. Por outro lado, tempo de reverberação muito baixo, reduzirá o nível de pressão sonora da palavra falada, pela alta absorção e, conseqüentemente, reduzindo a sua percepção.

Uma das equações clássicas para o cálculo do tempo de reverberação é a equação de Sabine, que é dado por:

$$T = \frac{0,161V}{\sum_i^n S_i \alpha_i} \quad (4.5)$$

Onde,

V é o volume na sala em avaliação, em m^3 ;

S_i é a área de cada superfície da sala em m^2 ;

α_i é o coeficiente de absorção sonora do material que recobre cada superfície da sala.

²⁵ Como se verifica neste item, a forma de expressão do tempo de reverberação pode variar, embora a definição seja única. Neste trabalho, são utilizadas as seguintes formas de expressão: T_2 , identifica o tempo medido no ambiente de recepção e T_{20} , que é o tempo utilizado pelo software DIRAC para a avaliação da inteligibilidade, também no ambiente de recepção.

Da resposta impulsiva de uma sala é possível obter a curva de decaimento de energia, expresso em dB, por meio de:

$$E(t) = 10 \log \frac{\int_0^t p^2(t) dt}{\int_0^\infty p^2(t) dt} \quad (4.6)$$

A reverberação é um reforço ao som direto que chega ao ouvinte. A Figura 4.7 mostra um modelo esquemático do som direto e do som refletido que chega ao ouvinte. Esse reforço pode ser útil, desde que, a parte inicial do som refletido seja integrado pelo nosso mecanismo de audição, com o som direto, dentro do período de integração de até 50 ms. Em se tratando da inteligibilidade da fala, a energia que não é usada no reforço do som direto torna-se meio de mascaramento da fala, reduzindo a inteligibilidade. (MEHTA *et. al.*, 1999).

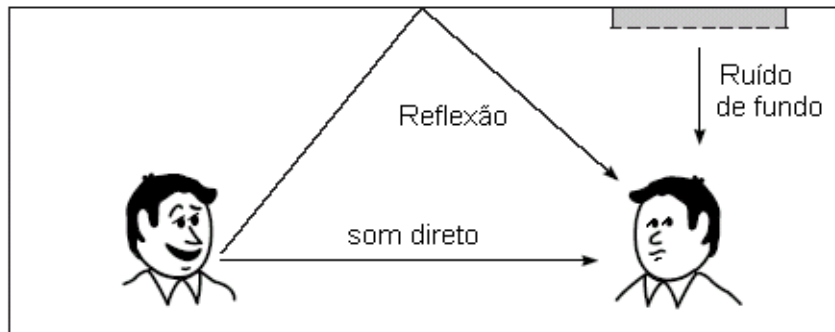


Figura 4.7: Som direto e som refletido. (Fonte: Adaptado de BRÜEL & KJÆR, 2003a).

4.4.2 Tempo de decaimento inicial (*early decay time*, EDT)

O tempo de decaimento inicial (*early decay time*, EDT) é o tempo estimado a partir dos primeiros 10 dB da curva de decaimento sonoro multiplicado por 6, para se poder fazer uma comparação com o tempo de reverberação, visto que 10 dB ocorre em um período equivalente a 1/6 do tempo necessário para o decaimento de 60 dB (MEHTA *et al.*, 1999; BISTAFÁ, 2006).

A parte inicial da curva do decaimento sonoro fornece a informação sobre a sensação da reverberância do ambiente. Enquanto o tempo de reverberação é composto por muitas reflexões, o tempo de decaimento inicial apresenta poucas reflexões. (MEHTA *et. al.*, 1999). Pelo resultado

do EDT, obtém-se uma resposta subjetiva em relação à reverberação do ambiente. O tempo de reverberação caracteriza a reverberação objetiva do ambiente.

Segundo a norma ISO 3382 (1997), o tempo de decaimento inicial, EDT, e o tempo de reverberação devem ser obtidos para a avaliação do ambiente. Cada um apresenta uma informação diferente: o EDT é subjetivamente mais importante, pois mostra a percepção da reverberação; já o tempo de reverberação mostra as propriedades físicas do ambiente.

4.4.3 Ruído de fundo

O ruído de fundo é todo o ruído que chega ao ponto do receptor, exceto o ruído que está sendo avaliado. A inteligibilidade das palavras ou sentenças pode ser prejudicada se houver, no ambiente, um nível de ruído de fundo tal, que provoque uma interferência negativa²⁶.

²⁶Como ocorre com o tempo de reverberação que pode ser expresso de formas diferentes, assim também acontece como ruído de fundo. A definição é única, porém, a forma de expressão pode mudar, seja por indicação na literatura, norma ou software. Neste trabalho, L_{B2} identifica o nível do ruído de fundo medido no ambiente de recepção e L_b é a forma de expressão do ruído de fundo apresentado pelas normas ISO.

CAPÍTULO 5 – CRITÉRIOS DE RUÍDO (OU DE INCOMODIDADE)

Como foi mencionado no Capítulo 2, viver em comunidade é muito complicado, já que o limite de um indivíduo ou grupo vai até onde começa o limite do outro indivíduo ou grupo, segundo a sabedoria de nossos avós e, porque tem-se que respeitar muitas regras, seja para o convívio social, para o convívio familiar ou no emprego (SOUZA e VIEIRA, 2008). O respeito e a obediência aos limites e regras são, por vezes, difíceis de se obter e, nesses casos, podem surgir os conflitos que, não raramente, estendem-se em processos judiciais. A convivência entre moradores em edifícios residenciais poderá ser pacífica, caso haja, em primeiro lugar, respeito mútuo e a obediência aos critérios de ruído.

Especificamente falando em unidades habitacionais, seus usuários desejam poder usufruir de seus lares, ao mesmo tempo que tenham sua privacidade preservada.

5.1 A Importância dos critérios

Em comunidade, um dos pontos que gera conflito é justamente o ruído. Cada indivíduo tem o seu limite de tolerância ao ruído, tornando difícil o estabelecimento de limites de ruído ou critérios para uma comunidade, visto que, para atender a todos individualmente, a escala de limite de tolerância, que vai desde o ruído considerado agradável ao ruído que incomoda, seria muito grande.

Para um indivíduo um ruído em determinado momento pode não ser tão incômodo, como para outro. Por essa razão, a comunidade há que estabelecer os seus limites, com base na cultura e estilo de vida. O surgimento das normas de conforto e dos **critérios de ruído (ou de incomodidade)** é consequência da necessidade de estabelecimento desses limites. A definição dos critérios, segundo Lalli (1988), tem caráter estatístico, isto é, o atendimento a um critério protege uma média estatística dos envolvidos. Os critérios para a avaliação do ruído e a

determinação de níveis para o conforto são apresentados neste capítulo.

A norma ISO 6242-3 (*Building construction – expression of users' requirements. Part 3: acoustical requirements*), na versão de 1992, apresenta os fatores com os quais devem ser baseados os critérios de ruído (ou de incomodidade), entre eles: atividades que devem ser realizadas e que dependam de conforto acústico, como por exemplo, dormir, ler, estudar, trabalho em escritórios; percentual de pessoas que devem estar satisfeitas; tempo de duração que deve ter entre um ruído e outro (isso para locais onde há fontes intermitentes de ruído); nível de ruído de fundo aceitável.

O Relatório do IPT, nº 16277, publicado em 1981, provavelmente um dos primeiros a tratar do conforto acústico em edificações no Brasil, já apresentava como requisito que o “elemento parede comum (...) deve proporcionar isolamento sonoro igual ou superior ao valor mínimo compatível com as necessidades de privacidade sonora entre as residências” (IPT, 1981, p.15).

O ruído de fundo é um item importante na determinação dos critérios. Isso porque, em relação ao conforto, as habitações situadas em locais com altos níveis de ruído de fundo necessitam de maior isolamento acústico. Já habitações situadas em locais onde há baixos níveis de ruído de fundo necessitam de um isolamento acústico menor. Em relação à inteligibilidade da fala, acontece o oposto, isto é, se o ambiente estiver em um local com baixo ruído de fundo, necessitará de isolamento maior. Se o ruído de fundo for baixo, qualquer outro ruído (ou conversação) será percebido facilmente e, poderá causar incômodos; daí a necessidade de aumentar o isolamento acústico. Por outro lado, se o ruído de fundo apresentar níveis altos, um ruído só será percebido se apresentar níveis superiores aos do ruído de fundo. Nesse caso, o isolamento poderá ser menos rigoroso que no caso anterior. A parte 4 da norma de desempenho ABNT NBR 15575-4 (2008) menciona que o estabelecimento do nível de desempenho do edifício deve ser compatível com o nível de ruído de fundo do local de implantação da obra.

A norma ABNT NBR 10152 (1987) estabelece os níveis para o ruído de fundo adequado para o conforto e para cada tipo de ambiente. Os critérios são necessários quando os níveis de ruído, exceto os ruídos de fundo, são altos o suficiente para interferirem negativamente nas atividades envolvidas em cada ambiente. Em residências, por exemplo, as atividades exercidas

que necessitem de níveis baixos de ruído são o descanso, o diálogo (conversação), lazer (leitura, assistir à TV), ouvir rádio. (LALLI, 1988).

Segundo Souza²⁷ (1982 *apud* MITIDIERI FILHO, 1998), a avaliação do desempenho do edifício, isto é, o seu comportamento em uso, é baseado em requisitos e critérios, e em métodos de avaliação que possibilitam a verificação no atendimento do edifício e suas partes, às condições estabelecidas. Mitidieri (1998, p.37) completa:

Os **requisitos** e **critérios** de desempenho expressam, respectivamente, as condições **qualitativas** e **quantitativas** às quais o edifício deve atender para satisfazer as exigências do usuário, quando submetido a determinadas condições de exposição.²⁸

Segundo Mitidieri (2002), sempre haverá critérios mínimos de desempenho a serem atendidos. Abaixo desses critérios, pode-se ter habitações de qualidade ou desempenho não desejáveis.

5.2 Critérios nacionais: normas e legislação brasileiras

As normas e leis são os meios utilizados para o estabelecimento de critérios como limite para a comunidade.

5.2.1 ABNT NBR 10151 e ABNT NBR 10152

A norma brasileira relevante para a avaliação de ruído ambiental é a ABNT NBR 10151 (2000) - *Acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento*, que dispõe sobre a medição e avaliação dos níveis de sons urbanos, e estabelece valores do “Nível Critério de Avaliação para ambientes externos” para diferentes tipos de áreas de uso de solo, apresentados no Quadro 5.1. Essa norma estabelece níveis de ruído para áreas específicas de ocupação. Não há menção sobre o ruído no interior das edificações nessas áreas.

²⁷ SOUZA, R. A avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitações. In: V SIMPATCON - SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO. *Anais...* Campinas, 1982.

²⁸ Grifo do autor.

Quadro 5.1 - Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT NBR 10151, 2000.

Essa norma estabelece limites de ruído ambiental. Não é utilizada para avaliação de ruído no interior das edificações. Para essa situação há a norma ABNT NBR 10152 (1987) - *Níveis de ruído para conforto acústico*, que estabelece limites de ruído de fundo para determinados ambientes internos na edificação, apresentados no Quadro 5.2. Não há menção sobre o desempenho dos elementos e sistemas construtivos.

Quadro 5.2 - Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes internos, em dB(A)

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

Fonte: ABNT NBR 10152, 1987.

Na proposta da revisão da ABNT NBR 10152 (ABNT, projeto CE-02:135.01, 2007), os critérios são os apresentados no Quadro 5.3:

Quadro 5.3 - Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes internos, em dB(A)

Finalidade de uso do recinto em Residências	NCA _i (em dB(A))	NCA _i (em NCB)²⁹
Dormitórios	45	37
Salas de estar	48	40

Fonte: ABNT, projeto CE-02:135.01, 2007.

²⁹ Segundo Bistafa (2006), NCB são curvas-critério de ruído balanceadas (*Balanced noise criterion curves*). Essas curvas estão definidas na norma: American National Standard **ANSI S12.2**: Criteria for evaluating room noise. 1995.

Uma nota na revisão da norma acrescenta que esses valores em dB(A) foram baseados no livro *Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications* da autoria de Leo L. Beranek e Istvan L. Ver., Editora John Wiley & Sons, 1992.

5.2.2 Legislação brasileira

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi definido por meio da Lei 6.938 de 31 de Agosto de 1981 (BRASIL, 1981), como o órgão responsável por estabelecer os limites de ruído.

Pela Resolução CONAMA nº 001, de 8 de Março de 1990 (BRASIL, 1990b), foram estabelecidos limites de ruído ambiental seguindo a norma ABNT NBR 10151 (2000). A norma ABNT NBR 10152 (1987) também é mencionada nessa Resolução, porém apenas na condição de não serem ultrapassados os limites em caso de execução de obras ou construção de imóveis.

A Resolução do CONAMA por ser uma *norma geral*, conforme a Constituição Federal, deve ser obedecida por Estados e Municípios.

Na cidade de São Paulo, o artigo 2º da Lei nº. 11.780 de 30 de Maio de 1995³⁰ estabelece que:

Os proprietários ou incorporadores de novas edificações a serem erigidas no município de São Paulo deverão adotar as providências técnicas para que essas edificações protejam os usuários contra a poluição sonora própria do local. (Lei nº. 11.780 *apud* CARNEIRO, 2004, p. 280).

Essa lei complementa ainda que em edificações para fins residenciais em condomínios deverão ser emitidos laudos técnicos do ruído local e, juntamente com o projeto, deverão ser tomadas medidas preventivas com soluções construtivas para que os níveis de ruído da norma ABNT NBR 10152 (1987) sejam obedecidos (CARNEIRO, 2004).

³⁰ SÃO PAULO (Município) **Lei N.º 11.780** de 30 de maio de 1995. Dispõe sobre as obrigações do Poder Público Municipal e dos proprietários ou incorporadores de edificações, no controle da poluição sonora do Município de São Paulo.

Existem ainda outras leis federais, municipais e portarias estaduais que têm como objetivo a contenção do aumento da poluição sonora ambiental. Citam-se, ainda para a cidade de São Paulo:

- Lei (municipal) nº. 11.501 de 11 de abril de 1994, que “dispõe sobre o controle e fiscalização de atividades que regem poluição sonora” (*apud* CARNEIRO, 2004).
- Lei (municipal) nº. 11.804 de 19 de junho de 1995³¹ que é ainda mais rigorosa do que a Resolução CONAMA nº 001, visto que exige o cumprimento dos limites da ABNT NBR 10151(2000) também em obras da construção civil (*apud* CARNEIRO, 2004).
- Decreto (municipal) nº. 34.569 de 6 de outubro de 1994, que instituiu o Programa de Silêncio Urbano na cidade de São Paulo, conhecido como PSIU (*apud* CARNEIRO, 2004).

E a Lei do Condomínio, Federal:

- Lei nº. 10.406 de 10 de janeiro de 2002, onde está incluída a parte conhecida como Lei do Condomínio. No artigo 1.336, do Capítulo VII, define-se como deveres do condômino em relação ao uso de suas partes na edificação “não utilizar de maneira prejudicial ao sossego, salubridade e segurança dos possuidores, ou aos bons costumes” (BRASIL, 2002).

Verifica-se, então, que há leis que se preocupam com o ruído ambiental e o conforto dos usuários no interior de suas edificações. O poder judiciário tem utilizado essas e outras ferramentas para defender usuários com problemas de ruído com a vizinhança.

Se as queixas sobre ruído são sobre um vizinho do mesmo edifício residencial, o PSIU não tem poder de atuação para resolver. Nesse caso, deve-se utilizar o bom senso, a educação, o

³¹ SÃO PAULO (Município) **Lei nº. 11.804** de 19 de junho de 1995. Dispõe sobre a avaliação da aceitabilidade de ruídos na Cidade de São Paulo.

próprio Regulamento do Condomínio e, em alguns casos, a justiça, contra a construtora ou com o vizinho. No caso da construtora, o Novo Código Civil (BRASIL, 2002) assegura a responsabilidade civil da construtora e o Código de Defesa do Consumidor, (BRASIL, 1990a) assegura, também, a qualidade do produto oferecido à comunidade.

5.2.3 ABNT NBR 15575 - Norma de desempenho de edifícios

A norma aprovada em 2008, ABNT NBR 15575 (*Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho*), porém, válida somente a partir de maio de 2010, envolve vários requisitos para que uma edificação atenda às exigências dos usuários em termos de habitabilidade e uso.

As exigências dos usuários, conforme a norma ABNT NBR 15575 (2008) e utilizadas como referência para o estabelecimento dos requisitos e critérios, são segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

O quesito **Segurança** refere-se à segurança estrutural; segurança contra o fogo e segurança no uso e na operação.

O quesito **Habitabilidade** refere-se à estanqueidade; conforto térmico; conforto acústico; conforto lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade e conforto tátil e antropodinâmico.

O quesito **Sustentabilidade** refere-se à durabilidade; manutenibilidade e impacto ambiental.

No Capítulo 2 foi mencionado que embora a norma seja para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, alguns dos requisitos independem do número de pavimentos do edifício, como exemplo, o desempenho acústico, apresentado no item 12.

Essa norma não descarta as normas ABNT NBR 10151 (2000) e ABNT NBR 10152 (1987), já apresentadas no item 5.2.1; pelo contrário, no item 2.2.1, da parte 1, afirma que:

A edificação, submetida aos limites de estímulos sonoros externos especificados na ABNT NBR 10151, deve atender aos limites especificados pela ABNT NBR 10152 no que se refere aos níveis de ruído em seus ambientes internos (ABNT NBR 15575-1, 2008, p. 20).

Como este trabalho refere-se ao desempenho em partições verticais entre unidades habitacionais adjacentes em termos de isolamento de ruído aéreo, são apresentados a seguir, os critérios da norma de desempenho para os sistemas construtivos destinados a esse fim.

Diferentemente da maioria dos outros documentos internacionais similares analisados, que apresentam um valor para um único nível de desempenho, esta norma apresenta critérios para três níveis de desempenho, sendo *M* – para nível mínimo; *I* – para nível intermediário e *S* – para nível superior.

A versão final da norma de desempenho apresenta os valores referentes ao nível de desempenho mínimo no corpo da norma. Já os valores referentes aos níveis de desempenho intermediário e superior foram deslocados para um anexo informativo, visto que a exigência dos critérios, segundo a ABNT, deve atender ao desempenho mínimo. Isso quer dizer, que um edifício de altíssimo padrão poderá ser vendido com critério mínimo de desempenho.

O item 12.2 da Parte 4 dessa norma, estabelece os requisitos para sistemas de vedações verticais externas e internas e tem por objetivo:

Proporcionar isolamento acústico entre o meio externo e o interno, bem como entre unidades condominiais distintas, além de proporcionar, complementarmente, isolamento acústico entre dependências de uma mesma unidade, quando destinadas ao repouso noturno, ao lazer doméstico e ao trabalho intelectual (ABNT NBR 15575-4, 2008, p.24).

O Quadro 5.4 apresenta os níveis critérios para isolamento de ruído aéreo em campo e em laboratório, para as partições verticais entre unidades residenciais e, para facilitar a visualização, os valores para os três níveis de desempenho são apresentados em um único quadro, da mesma forma como estão no anexo da norma.

Quadro 5.4 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo e Índice de redução sonora ponderado dos elementos construtivos, R_w , para ensaio de laboratório

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Índice de redução sonora ponderado R_w (dB)	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	40 a 44	45 a 49	M
	45 a 49	50 a 54	I
	≥ 50	≥ 55	S

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2008.

A seguir são apresentados os critérios internacionais para a avaliação de desempenho acústico de partições verticais entre unidades habitacionais.

5.3 Critérios internacionais

Os países com o clima mais frio são, de certa forma, privilegiados com a questão do isolamento acústico. Isso porque, devido às baixas temperaturas, os ambientes necessitam de boa vedação térmica; o isolamento acústico, então, é privilegiado com essa vedação. Por outro lado, como o inverno é longo e as noites são também longas, os moradores necessitam e desejam que suas residências apresentem um maior isolamento acústico, visto que os níveis de ruído de fundo são também menores.

Em países como o Brasil, onde o clima é propício para que as janelas se mantenham abertas, obter um valor alto de isolamento acústico, pode ser uma tarefa mais difícil.

O Quadro 5.5, extraído de documento que trata do desempenho acústico de edificações na África do Sul, apresenta o nível de isolamento sonoro necessário para dar um mínimo de conforto acústico, em relação à inteligibilidade, conforme os diferentes níveis de ruído de fundo.

Quadro 5.5 - Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$ necessário para diferentes níveis de ruído de fundo

Inteligibilidade: Conversa no recinto adjacente	Nível de privacidade para a conversa	Isolamento, $D_{nT,w}$		
		$L_{Aeq} = 25 \text{ dB}$	$L_{Aeq} = 35 \text{ dB}$	$L_{Aeq} = 45 \text{ dB}$
Ouve e entende	Ruim	<48	< 38	< 28
Ouve e entende com dificuldade	Bom	48 a 58	38 a 48	28 a 38
Ouve, mas não entende	Muito bom	58 a 68	48 a 58	38 a 48
Não ouve	Ótimo	> 68	> 58	> 48

Fonte: Adaptado de ÁFRICA DO SUL, 2002.

Confirma-se, com os valores do Quadro 5.6, que quanto menor o ruído de fundo maior deverá ser o valor do isolamento sonoro da partição entre os dois ambientes. Para um único nível de sinal sonoro, se o ruído de fundo for de 45 dB, o isolamento deverá estar entre 38 e 48 dB para que a conversação seja ouvida, mas não entendida. Para ter como condição de conforto extremo, onde não se ouve a conversa do vizinho ao lado, se o nível de ruído de fundo for de 35 dB, o valor do isolamento sonoro da partição deverá ser superior a 58 dB.

A seguir são apresentados os níveis critérios estabelecidos por alguns países para efeito de comparação com os critérios estabelecidos no Brasil. Salienta-se que não foi possível o acesso direto a uma parte das normas mencionadas, entretanto, suas informações foram extraídas de trabalhos devidamente referenciados.

5.3.1 África do Sul

Na África do Sul o nível critério é estabelecido pela norma sul-africana SABS 0218-1³² (1999). O valor do isolamento sonoro de paredes entre unidades residenciais é $D_{nT,w} = 45 \text{ dB}$ e entre paredes de uma mesma unidade habitacional é $D_{nT,w} = 33 \text{ dB}$.

³² Há uma versão mais recente, de 2001, porém, não foi possível o acesso.

5.3.2 Alemanha

De acordo com a norma alemã DIN 4109 (1989), o isolamento de ruído aéreo de partições verticais entre ambiente de unidades habitacionais diferentes varia de $R'_w = 52$ dB até $R'_w = 57$ dB.

5.3.3 Argentina

Na Argentina, a norma IRAM 4044 (1985) estabelece os valores de isolamento sonoro de partições entre ambientes utilizados para diferentes finalidades. Em se tratando de unidades habitacionais em edifícios residenciais, as partições entre as unidades devem apresentar isolamento de ruído aéreo correspondendo ao índice de redução sonora, $R_w = 48$ dB. Em partições internas de uma mesma unidade habitacional, a norma estabelece o valor de $R_w = 37$ dB.

5.3.4 Austrália

O código de edificação da Austrália de 1996 (ABCB, 1996) tinha por recomendação utilizar o parâmetro americano STC . Posteriormente, a Austrália seguiu o Reino Unido, substituiu os parâmetros das normas ASTM, passou a utilizar os parâmetros das normas ISO, e também instituiu exigências para C_{tr} no isolamento de ruído aéreo entre habitações (RASMUSSEN e RINDEL, 2005). A edição de 2004 do código de edificação australiana (ABCB, 2004) recomenda o uso completo do índice de redução sonora, isto é, $R_w + C_{tr}$, dado pela norma ISO. Esse parâmetro é mais completo e mais rigoroso do que o anteriormente utilizado.

A recomendação do *Building Code of Australia*, de 2004, para paredes entre apartamentos ou entre casas (casas geminadas) avaliadas em laboratório é de $R_w + C_{tr} = 50$ dB. O valor do isolamento de ruído aéreo de paredes entre apartamentos, em campo, segundo o *Building Code of Australia*, deve ser, pelo menos, de $D_{nT,w} + C_{tr} = 45$ dB.

5.3.5 Bélgica

A Bélgica lançou em 2007 uma nova versão da norma NBN S01-400³³, que regulamenta os critérios de ruído em novas construções (NEMERLIN, 2007). Na versão anterior, de 1977, era utilizado o parâmetro $D_{n,w}$. Com a nova versão, o parâmetro foi alterado para $D_{nT,w}$. Isso porque, os parâmetros da versão antiga, utilizam como referência para o cálculo do isolamento sonoro a área equivalente de absorção sonora, o que pode não corresponder à realidade do valor de isolamento sonoro em casos de volumes grandes. Já com os parâmetros da versão mais nova, o tempo de reverberação de referência pode ser considerado o mesmo (0,5s) para volumes grandes, visto que nesses volumes é também maior o número de móveis (INGELAERE *et al.*, 2005).

A Bélgica define critérios para dois diferentes níveis de conforto:

- Para a classe de conforto normal, que objetiva atender a 70% dos usuários, entre unidades residenciais, estabeleceu-se o valor de $D_{nT,w} \geq 58$ dB. Para construções mais antigas, o valor do isolamento deve ser $D_{nT,w} \geq 54$ dB. Entre recintos, na mesma unidade residencial, o valor de $D_{nT,w}$ deve ser ≥ 35 dB.
- Para a classe de conforto superior, que objetiva atender a 90% dos usuários, entre unidades residenciais, estabeleceu-se o valor de $D_{nT,w} \geq 62$ dB. Para construções mais antigas, o valor do isolamento deve ser $D_{nT,w} \geq 58$ dB. Entre recintos, na mesma unidade residencial, o valor de $D_{nT,w}$ deve ser ≥ 43 dB. (INGELAERE *et al.*, 2005; NEMERLIN, 2007).

5.3.6 Canadá

No Canadá, a regulamentação específica é dada em *National Building Code of Canada* (WARNOCK, 1985). A versão de 1985 estabelece um valor de *FSTC* de 55 dB para paredes entre unidades habitacionais.

³³ NBN S01-400-1: Acoustique - Critères de l'isolation acoustique (Acoustic criteria for residential buildings). 2007.

5.3.7 Chile

O documento que trata dos níveis critérios de conforto no Chile é *La Ordenanza General De Urbanismo Y Construcciones* do Ministerio de Vivienda y Urbanismo (CHILE, 2007). Esse documento, com base em normas chilenas, como NCh 352/1 *aislación acústica - parte I: construcciones de uso habitacional - requisitos mínimos y ensayos* (2000 *apud* DELGADO *et al.*, 2006) estabelece requisitos mínimos para edifícios de uso habitacional e, apresenta, no Artigo 4.1.6, os valores de isolamento de ruído aéreo de partições verticais entre unidades habitacionais de $R'_{w} = 45$ dB(A). O procedimento de medição baseado na norma ISO está apresentado na norma chilena NCh 2786 (2003 *apud* DELGADO *et al.*, 2006) - *Acústica - medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción - mediciones en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos*.

A primeira versão da norma NCh 352 saiu em 1961 sob o título *Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios*. Com o tempo novos estudos foram realizados e a nova versão da norma, publicada em 2000, definiu requisitos conforme a necessidade da comunidade chilena. Em 2005, entrou em vigor o Artigo 4.1.6 do documento *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones* (O.G.U.C.) do *Ministerio de Vivienda y Urbanismo* (DELGADO *et al.*, 2006), onde inclui requisitos de isolamento acústico obrigatórios que se verificam por meio de normas chilenas e normas ISO (BARRERA, 2007).

5.3.8 Espanha

Na Espanha, O *Código Técnico de La Edificación*, conforme definido pela Lei 38/1999 de 5 de Novembro é o quadro regulamentar que estabelece os requisitos básicos de qualidade das construções e instalações. A parte referente ao conforto acústico do *Código Técnico de La Edificación*, *DB-HR protección frente al ruido*, foi atualizado com o Real Decreto 1371/2007, com data de Outubro de 2007 (ESPANHA, 2007). Posteriormente, pelo Boletín Oficial Del Estado, BOE, nº 22 de 25/01/2008 foi publicada uma correção desse documento. O documento básico “*DB-HR protección frente al ruido*” do *Código Técnico de La Edificación* determina que o valor do isolamento sonoro para divisória vertical entre unidades habitacionais, dado por D_{nTA}

não deve ser inferior a 50 dB(A), onde, $D_{nT,A}$ é o valor da diferença padronizada de nível ponderada em A (ESPANHA, 2008).

A unidade utilizada pela Espanha para isolamento de ruído aéreo é dada pela equação 5.1, em dB(A):

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10} \quad (5.1)$$

Onde,

$D_{nT,i}$ - é a diferença de níveis padronizados, em banda de frequência i , em dB;

$L_{Ar,i}$ - é o valor do espectro normalizado de ruído rosa, ponderado em A, na banda de frequência i , em dBA(A);

i - é referente a todas as bandas de frequências, em 1/3 de oitava, entre 100 e 5000 Hz.

5.3.9 Estados Unidos

Nos Estados Unidos há três códigos de edificações com aplicação regional. No final da década de 90, foram unidos formando o *International Code Council*, ICC. O *International Building Code*, IBC, criado pelo ICC, apresenta os regulamentos para serem aplicados em todo o país e que garantam a saúde pública e a segurança (CLETO, 2006). Por utilizar o *STC*, parâmetro americano não seguido pelas normas ISO, serão apresentados apenas os valores estipulados pelo ICC.

O *International Building Code* (ICC, 2000) estabelece na seção 1206.2, que os limites para a isolamento sonora de elementos e sistemas construtivos, para uso entre ambientes (paredes, divisórias, pisos e tetos; não se aplica à fachada) deve ter o valor de $STC = 50$ dB, e o isolamento entre ambientes, em campo, deve ser $FSTC = 45$ dB. Os testes devem estar de acordo com a norma da *American Society for Testing and Materials*, ASTM E 90, como foi mencionado no Capítulo 3.

5.3.10 Finlândia

Na Finlândia os construtores fazem uso da Parte C1 do documento *National Building Code of Finland*, de 1998 (*apud* LAHTELA, 2005; FINLÂNDIA, 1998). A parte C1 desse documento é referente ao isolamento sonoro e redução de ruído, estabelecendo como limite mínimo para isolamento sonoro de ruído aéreo de paredes entre unidades habitacionais o valor de $R'_{w} = 55$ dB, sendo um valor alto para os padrões brasileiros, porém, ideal para a Finlândia, onde o inverno é longo e rigoroso e, por isso, há a necessidade de alto valor de isolamento acústico.

5.3.11 França

O documento francês que trata do desempenho de edificações é *Nouvelle Réglementation Acoustique*, NRA (MEISSER, 2005), instituído por deliberações em 1999. Entre unidades habitacionais as partições vertical e horizontal devem ter valor mínimo de $D_{nT,w} + C = D_{nTA} = 53$ dB.

5.3.12 Holanda

Na Holanda, como no Brasil ou na Bélgica, há mais de um nível de desempenho definido para o conforto em edifícios. Diferentemente do Brasil ou Bélgica, os holandeses utilizam o índice de redução sonora completo, isto é, com os coeficientes de adaptação do espectro. A norma holandesa NEN 1070 (1999), que segue as normas ISO, é a base para o estabelecimento dos valores de isolamento sonoro para cinco classes de edificações. Serão expostas, porém, apenas duas classes, nomeadamente Classe II, sendo a menos rigorosa, tida como de desempenho acústico “suficiente” ou mínimo, e a Classe III, mais rigorosa do que a Classe II, tida como de desempenho acústico “bom” e “desejável”. De acordo com essa norma o valor de isolamento sonoro de ruído aéreo para a Classe II (suficiente, mínimo) deve ser $D_{nT,w} + C > 52$ dB; para a Classe III (bom, desejável) o valor de isolamento sonoro de ruído aéreo deve ser $D_{nT,w} + C > 57$ dB (GERRETSEN, 2003b).

5.3.13 Itália

Na Itália a Lei nº. 447/95 (*Legge quadro sull'inquinamento acustico*) e o Decreto do Presidente do Conselho de Ministro (*Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri*) de 5 de dezembro de 1997, com o título “*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*”, DPCM 5/12/97, estabelecem os requisitos acústicos dos edifícios. Segundo o documento DCPM, uma tabela apresenta as diversas funções de edifícios (residências, escritório, albergue, pensão, hospitais, escolas, comércio, recreação) e para cada finalidade de uso estabelece limites de ruído aéreo de paredes e fachadas, dado por R'_w , que variam entre 40 e 55 dB (*apud ISOVER, 2007*).

Para edifícios utilizados para residência o limite estabelecido para o isolamento de ruído aéreo de elemento de separação entre unidades habitacionais é dado por $R'_w = 50$ dB. O Quadro 5.6 apresenta as funções dos edifícios e os limites dos níveis de ruído estabelecidos nos documentos mencionados.

Quadro 5.6 - Determinação dos requisitos acústicos dos edifícios, conforme a lei 447/95 e o Decreto do Presidente do Conselho de Ministros, DPCM 5/12/97

Classificação dos Ambientes Habitados	Valor limite R'_w (dB)
A - Edifícios usados para residência ou similares	50
B - Edifícios usados para escritório ou similares	50
C - Edifícios usados para albergue, pensão e atividades similares	50
D - Edifícios usados para hospitais, clínicas, casas de cura e similares	55
E - Edifícios usados em atividades escolares para todos os níveis e similares	50
F - Edifícios usados em atividades recreativas ou de culto ou similares	50
G - Edifícios usados em atividades comerciais ou similares	50

Fonte: Adaptado de ISOVER, 2007.

5.3.14 Japão

As normas JIS (*Japanese Industrial Standards*) apresentam os procedimentos de medição de isolamento. Os níveis critério são estabelecidos pelos documentos *Building Standard*

Law, que define os critérios mínimos e *The Housing Performance Indication System*, que apresenta um novo método de obtenção do número único de isolamento.

Nos anos 90 muitas normas JIS foram revisadas para estarem em acordo com as normas ISO. No entanto, as ponderações dos valores do índice de redução sonora e nível de pressão sonora de impacto, para a obtenção do valor único, são feitas de modo diferente do que propõe as normas ISO. Koyasu *et al.* (2004) apresentam em seu trabalho uma comparação entre o resultado obtido da ponderação segundo as normas ISO e segundo as normas japonesas. As normas ISO apresentam o método de ponderação por meio de uma curva de referência. Essa curva é deslocada no sentido vertical, conforme explicações apresentadas no Capítulo 3, para obter o valor único do isolamento. Já o método japonês assemelha-se à obtenção do valor de *Noise Criteria, NC*³⁴, visto que os valores obtidos da medição são plotados sobre uma carta com várias curvas de referência, dadas em dB(A).

Como a obtenção do valor único, segundo a norma japonesa, é diferente da ponderação pela norma ISO, os parâmetros que os representam também são. O parâmetro japonês que representa o valor único para isolamento de ruído aéreo é R'_r , classe de índice de redução sonora³⁵ (*ranked apparent sound reduction index*), em dB(A).

A Figura 5.1 mostra a comparação entre as ponderações para o isolamento de ruído aéreo em campo, entre a norma ISO e o método japonês, apresentado pela *Housing Performance Indication System* e já está presente na norma revisada JIS A 1419-1³⁶ (2000 *apud* KOYASU *et al.*, 2004).

³⁴ Esse método não será aqui descrito, visto que não se encaixa no escopo do trabalho.

³⁵ Tradução livre.

³⁶ JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS **JIS A 1419**: Acoustics - rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: airborne sound insulation. 2000.

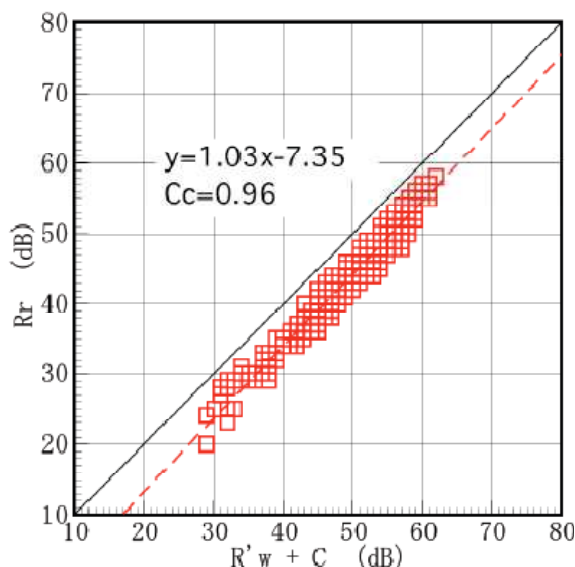


Figura 5.1: Relação entre os números únicos obtidos segundo a norma ISO e método japonês para isolamento de ruído aéreo. (Fonte: KOYASU *et al.*, 2004).

Observando a Figura 5.1 e tomando, por exemplo, o valor de $R_r = 40$ dB, verifica-se correspondência com $R'_w + C = 46$ dB. O que mostra o alto nível de exigência dos valores japoneses.

5.3.15 Noruega

Na Noruega os valores estabelecidos para isolamento de ruído são dados pela norma NS 8175.E (2005). Há a classificação do nível de isolamento de ruído por classes, sendo que a *classe C* refere-se ao desempenho mínimo que a edificação deve apresentar. As novas construções habitacionais devem satisfazer a *classe C* de isolamento sonoro cujo isolamento de ruído aéreo, dado pelo índice de redução sonora aparente, R'_w , deve ser pelo menos, 55 dB.

5.3.16 Nova Zelândia

Da mesma forma que a Austrália, a Nova Zelândia também está deixando de lado os parâmetros norte-americanos, da ASTM, e está utilizando os parâmetros $D_{nT,w}$ e R_w , das normas ISO, incluindo os coeficientes de correção do espectro, C e C_{tr} ; como a Austrália, a Nova Zelândia está seguindo os passos dados pelo Reino Unido. De acordo com a versão *Draft* do novo

código de edificações da Nova Zelândia, *Building Industry Authority* (BIA, 2004) cuja parte de isolamento sonora de ruído aéreo foi revisto em 2004, os construtores devem ter a preocupação de oferecer edifícios com reduções de ruído para níveis aceitáveis, de modo que o edifício apresente graus razoáveis de privacidade acústica. Para que essas condições subjetivas sejam percebidas objetivamente, o documento estabelece, para partições em ambientes internos de uma mesma unidade habitacional, que o valor de $D_{nT,w} + C_{tr}$ deve ser superior a 55 dB. As partições entre unidades habitacionais devem ter o valor de $D_{nT,w} + C_{tr}$ superior a 55 dB. Em acréscimo, o documento estabelece que as partições verticais ou horizontais entre unidades habitacionais e áreas adjacentes ocupadas não deve ter valor de R_w inferior a 55 dB.

5.3.17 Polônia

De acordo com a norma polonesa PN-B-02151-3 (1999), o requerimento para o isolamento sonoro mínimo de ruído aéreo de partições verticais entre unidades habitacionais é $R'_w + C = 50$ dB.

5.3.18 Portugal

O Decreto-Lei nº 96/2008³⁷, do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, estabelece no artigo 5º, que trata dos edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras, do Capítulo II, referente aos Requisitos acústicos dos edifícios do *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* de Portugal, que o índice de isolamento sonoro entre ambientes internos e unidades habitacionais deverá ser, no mínimo, $D_{nT,w} = 50$ dB (PORTUGAL, 2008).

³⁷ Esse Decreto-Lei substitui o Decreto-Lei nº 129/2002 (PORTUGAL, 2002), entre outros detalhes, atualizando “os parâmetros de desempenho acústico dos edifícios e os indicadores do ruído”, isto é, substitue o parâmetro $D_{n,w}$ por $D_{nT,w}$.

5.3.19 Reino Unido

A nova regulamentação de edifícios britânicos apresentado no *Approved Document E* do *The Building Regulations 2000* (REINO UNIDO, 2003), tem por objetivo diminuir as queixas dos moradores residenciais ou de apartamentos, melhorando o isolamento sonoro entre unidades habitacionais e, conseqüentemente, melhorando a qualidade de vida de seus usuários. Esse novo *Document E* estabelece que paredes e pisos entre unidades habitacionais deve ter o isolamento de $D_{nT,w} + C_{tr} = 45$ dB.

Na edição de 2003 do documento *The Building Regulations 2000*, o Reino Unido introduziu o coeficiente de adaptação de espectro, C_{tr} , como parte do critério exigido para isolamento de ruído aéreo entre habitações em geral. Esse coeficiente, C_{tr} , otimiza o isolamento em relação ao ruído de tráfego, isto é, em relação às baixas frequências (RASMUSSEN e RINDEL, 2005).

5.3.20 Outros critérios internacionais

O Quadro 5.7 apresenta ainda critérios de outros países europeus, cujos valores não foram extraídos de documentos nacionais e, por essa razão, não se tem a definição da origem desses valores, como normas, código de edificações, regulamentações, etc. Os critérios em negrito podem ser comparados quantitativamente com os critérios da norma de desempenho de edifícios, da ABNT.

Quadro 5.7 - Outros Valores de Referência Internacionais – Nível de ruído aéreo entre unidades habitacionais

País	Partições Verticais (Paredes)
	Valor mínimo de isolamento de ruído aéreo
Áustria	$D_{nT,w} \geq 55$ dB
Bélgica ³⁸	$D_{nT,w} \geq 54$ dB

(continua)

³⁸ Valor de isolamento de ruído aéreo para qualquer dependência, exceto os quartos. Esses valores referem-se ao nível de conforto normal, para construções antigas.

(continuação)

Dinamarca	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$
Eslováquia	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$
Eslovênia	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$
Estônia	$R'_w \geq 55 \text{ dB}$
Hungria	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$
Islândia	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$
Lituânia	$D_{nT,w} \text{ ou } R'_w \geq 55 \text{ dB}$
Rep. da Látvia (Letônia)	$R'_w \geq 54 \text{ dB}$
República Tcheca	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$
Suécia³⁹	$R'_w + C_{50-3150} \geq 53 \text{ dB}$
Suíça	$D_{nT,w} + C \geq 54 \text{ dB}$

Fonte: Adaptado de RASMUSSEN, 2004; LANG *et al.*, 2006.

5.4 Resumo dos critérios estudados

Para facilitar a visualização, a Tabela 5.1 apresenta um resumo com os parâmetros acústicos, os valores mínimos de isolamento de ruído aéreo obtidos das normas e demais documentos em vigor nos países pesquisados. Os países que utilizam os mesmos parâmetros que o Brasil estão com os valores dos critérios em negrito.

Tabela 5.1 - Valores de Referência Internacionais – Isolamento de ruído aéreo entre unidades habitacionais⁴⁰

País	Documento	Partições Verticais (Paredes)
		Valor mínimo de isolamento de ruído aéreo
África do Sul	SABS 0218-1 (1999)	$D_{nT,w} \geq 45 \text{ dB}$
Alemanha	DIN 4109 (1989)	$R'_w \geq 53 \text{ dB}$

(continua)

³⁹ SWEDISH STANDARDS INSTITUTE, **SS 025267**: Acoustics - Sound classification of spaces in buildings – Dwellings. Sweden. 2004.

⁴⁰ Nos documentos pesquisados há valores de isolamento sonoro mínimo de ruído aéreo de paredes para outras condições, como divisa com garagem ou caixa de elevador, porém, não foram aqui mencionados por fugirem do escopo deste trabalho.

(continuação)

Argentina	IRAM 4044 (1985)	$R_w \geq 48 \text{ dB}$
Austrália	<i>Building Code of Australia</i> , 2004	$R_w + C_{tr} \geq 50 \text{ dB}$ $D_{nT,w} + C_{tr} = 45 \text{ dB}$
Bélgica	NBN S01-400 (2007)	$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$ (conforto normal) $D_{nT,w} \geq 62 \text{ dB}$ (conforto superior)
Canadá	<i>National Building Code of Canada</i> , 1985	$FSTC = 55 \text{ dB}$
Chile	<i>La Ordenanza General de Urbanismo Y Construcciones</i> , 2007	$R'_{A,w} \geq 45 \text{ dB(A)}$
Espanha	NBE-CA-88 (Real Decreto 1371/2007)	$D_{nTA} \geq 50 \text{ dB(A)}$
Estados Unidos	<i>International Building Code</i> , 2000	$STC = 50$ ou $FSTC = 45 \text{ dB}$
Finlândia	<i>National Building Code of Finland, Part C1</i> , 1998	$R'_w \geq 55 \text{ dB}$
França	<i>Nouvelle Réglementation Acoustique (NRA)</i> , 1999	$D_{nTA} \geq 53 \text{ dB}$
Holanda	NEN 1070 (1999)	$D_{nT,w} + C = 52 \text{ dB}$, para Classe III $D_{nT,w} + C = 57 \text{ dB}$, para Classe II
Itália	Lei 447/95 DPCM 5/12/97	$R'_w \geq 50 \text{ dB}$
Japão	Building Standard Law	$R'_r \geq 50 \text{ dB}$
Noruega	NS 8175.E (2005)	$R'_w \geq 55 \text{ dB}$
Nova Zelândia	<i>Building Code Clause G6</i> , 2004 (Draft)	$R_w \geq 55 \text{ dB}$ $D_{nT,w} + C_{Tr} \geq 55 \text{ dB}$
Polônia	PN-B-02151-3 (1999)	$R'_w + C \geq 50 \text{ dB}$
Portugal	Decreto-Lei nº 96/2008	$D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$
Reino Unido	<i>E Document - The Building Regulations</i> 2000 (ed. 2003)	$D_{nT,w} + C_{tr} \geq 45 \text{ dB}$

O Quadro 5.8 apresenta os critérios brasileiros, obtidos da parte 4 da norma ABNT NBR 15575 (2008).

Quadro 5.8 - Critérios: nível de ruído aéreo entre unidades habitacionais

País	Documento	Nível de Desempenho	Partições Verticais
			Valor de isolamento de ruído aéreo
Brasil	ABNT NBR 15575	M	$D_{nT,w} = 40$ a 44 dB
		I	$D_{nT,w} = 45$ a 49 dB
		S	$D_{nT,w} \geq 50$ dB

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2008.

A Figura 5.2 apresenta os valores de isolamento de ruído aéreo em partição vertical entre unidades habitacionais, requeridos em critérios internacionais, além dos critérios brasileiros dos níveis M, menos exigentes e S, mais exigente. Não se deve fazer uma comparação direta, quantitativa, pois há vários parâmetros acústicos diferentes.

Segundo Rasmussen (2004) há uma aproximação entre os diferentes parâmetros de isolamento de ruído aéreo ($D_{nT,w}$ e $D_{n,w}$) em R'_w . Segundo o autor, essas estimativas de equivalência foram obtidas de forma não refinada e, portanto, podem não corresponder ao valor exato.

O Quadro 5.9 apresenta os valores equivalentes de $D_{nT,w}$ e $D_{n,w}$, para ruído aéreo em R'_w , dos países europeus citados no Quadros 5.7 e Tabela 5.1.

Quadro 5.9 -Valores de isolamento de ruído aéreo e equivalência com R'_w

País	Partições Verticais	
	Valor mínimo de isolamento de ruído aéreo	Equivalência aproximada em R'_w (dB)
Áustria	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	~54-57
Bélgica	$D_{nT,w} \geq 54$ dB	~53-56
Dinamarca	$R'_w \geq 52$ dB	52
Eslováquia	$R'_w \geq 52$ dB	52
Eslovênia	$R'_w \geq 52$ dB	52
Estônia	$R'_w \geq 55$ dB	55

(continua)

(continuação)

Hungria	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$	52
Islândia	$R'_w \geq 52 \text{ dB}^{41}$	52
Lituânia	$D_{nT,w}$ ou $R'_w \geq 55 \text{ dB}$	~55
Rep. da Látvia (Letônia)	$R'_w \geq 54 \text{ dB}$	54
República Tcheca	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$	52
Suécia	$R'_w + C_{50-3150} \geq 53 \text{ dB}$	~55
Suíça	$D_{nT,w} + C \geq 54 \text{ dB}$	~54-57
Alemanha	$R'_w \geq 53 \text{ dB}$	53
França	$D_{nT,w} + C \geq 53 \text{ dB}$	~53-56
Itália	$R'_w \geq 50 \text{ dB}$	50
Polônia	$R'_w + C \geq 50 \text{ dB}$	~51
Portugal⁴²	$D_{n,w} \geq 50 \text{ dB}$	~50-52
Reino Unido	$D_{nT,w} + C_{Tr} \geq 45 \text{ dB}$	~49-52

Fonte: Adaptado de RASMUSSEN, 2004.

Dessa forma, pode-se fazer uma comparação qualitativa entre os critérios dos diversos países, apresentados na Figura 5.2. As barras em tom mais escuro, são dos países que apresentam o mesmo parâmetro que o Brasil, podendo ser feita uma comparação quantitativa. Na Figura 5.2 a linha contínua (em azul) representa o critério para o nível de desempenho superior, S, e a linha tracejada (em vermelho) representa o critério para nível de desempenho mínimo, conforme a norma ABNT NBR 15575 (2008).

⁴¹ Há a recomendação para $R'_w \geq 55 \text{ dB}$.

⁴² Os parâmetros e valores são referentes ao Decreto-Lei nº 129/2002 (PORTUGAL, 2002). Esse documento substituído pelo Decreto-Lei nº 96/2008 (PORTUGAL, 2008), onde há também a substituição da diferença normalizada de nível ponderada, $D_{n,w}$ pela diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$.

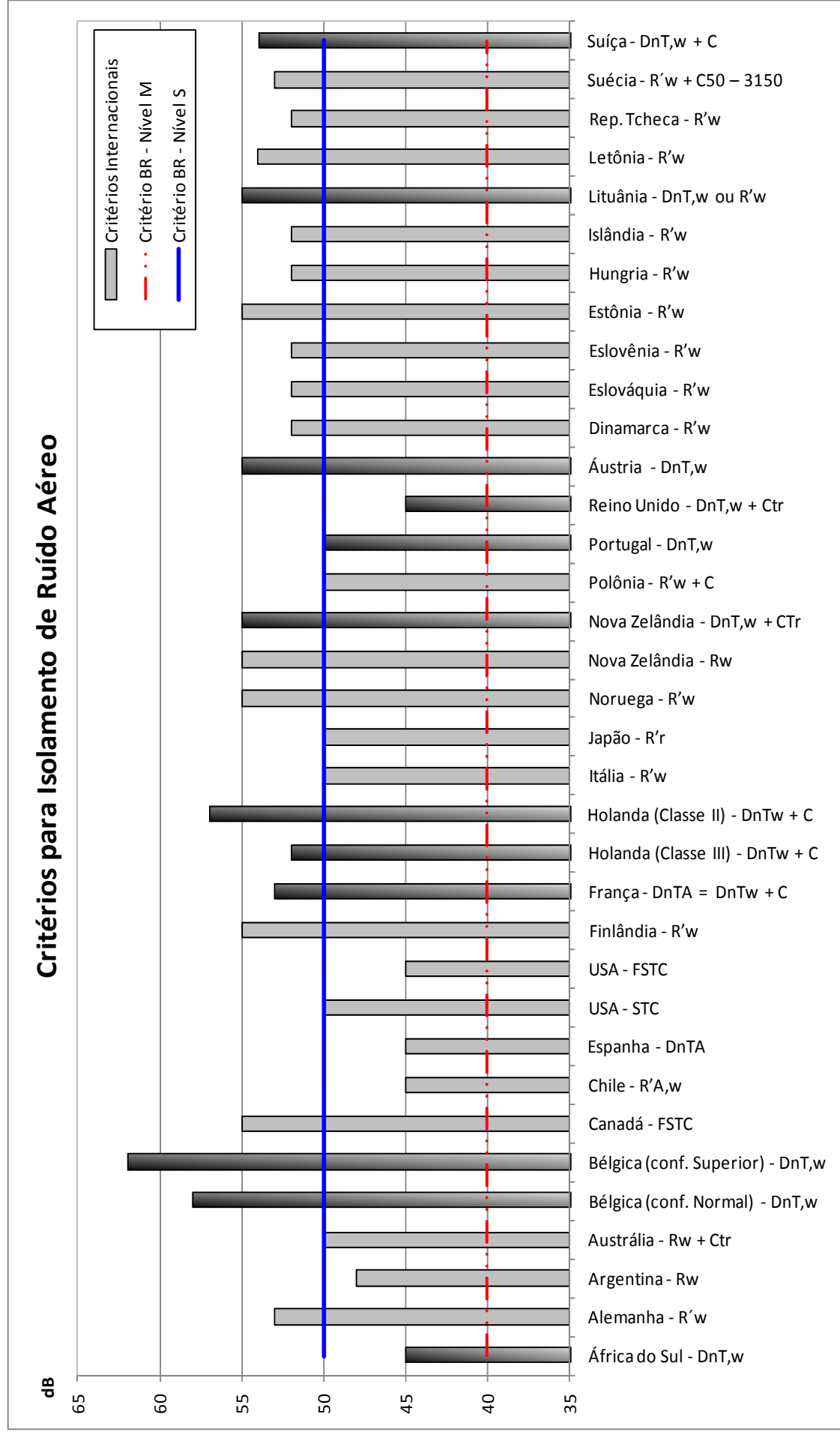


Figura 5.2: Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído aéreo em partições verticais entre unidades habitacionais.

Observa-se que dez são os países que utilizam o mesmo parâmetro que o Brasil. Em comparação com os valores numéricos, o critério de nível de desempenho mínimo, M , do Brasil está 5 dB abaixo do valor mínimo encontrado entre esses dez países. O nível superior, S , do Brasil, está 5 dB acima desse valor mínimo encontrado e ainda está abaixo de sete desses países.

Numa comparação qualitativa, o nível M está abaixo também, 5 dB em relação a outros países. Porém, como os parâmetros são diferentes, essa diferença pode não ser real.

A África do Sul, que utiliza o mesmo parâmetro que o Brasil e em termos de clima está próximo, apresenta um critério que corresponde ao nível intermediário da norma da ABNT. Destaca-se no gráfico da Figura 5.2 o quanto a Bélgica é rigorosa com os critérios de isolamento de ruído aéreo.

A aprovação da norma de desempenho foi um passo importante para que haja uma melhor adequação acústica dos edifícios, a fim de que apresentem desempenho acústico compatível com a expectativa dos consumidores. Embora a norma ainda não tenha entrado em vigor, para as próximas revisões há vários pontos que merecem cuidadosa atenção. Como por exemplo, a obrigatoriedade das construtoras em divulgarem os resultados das medições e avaliações do desempenho de seus edifícios, incluindo-os no memorial descritivo da obra, assim como o nível de desempenho conforme os resultados. Relacionar o nível de desempenho com o padrão da obra; desse modo, um edifício de alto padrão deverá necessariamente, apresentar nível de desempenho Superior. Fica ainda a sugestão de adequar o critério de desempenho mínimo com o de outros países, visto que o valor da norma brasileira está aquém do valor do critério de países como a África do Sul. O acréscimo dos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , pode assustar a princípio por tornar os critérios mais rigorosos porém, enriquece a forma de expressão, informando com mais detalhes, sobre o desempenho em relação a ruídos específicos, como exemplo, os de baixas frequências.

CAPÍTULO 6 – MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo são apresentados os procedimentos de avaliação do desempenho de paredes em relação ao isolamento do ruído aéreo, realizados em laboratório e em campo, bem como os procedimentos de medição dos parâmetros psicoacústicos para a avaliação da percepção da palavra falada entre dois ambientes, por meio de software e da percepção de um júri. Tais medições e avaliações foram realizadas em edifícios no Brasil e em Portugal. É apresentada uma classificação de conforto acústico de ambientes em edifícios residenciais baseada na proposta de avaliação do nível de conforto acústico que leva em consideração o desempenho da parede entre dois ambientes e o nível de privacidade proporcionada pela parede e pelo ambiente.

O trabalho envolve avaliações objetivas e subjetivas do isolamento sonoro de partições verticais entre unidades habitacionais em edifícios residenciais. As avaliações objetivas compreendem as medições em laboratório, onde é avaliada a isolação sonora de ruído aéreo de elementos construtivos (paredes), compreendem também, medições em campo, onde é avaliado o isolamento sonoro de ruído aéreo, bem como medições da inteligibilidade da fala, por meio de software. As avaliações subjetivas compreendem julgamento de voluntários a respeito da percepção da inteligibilidade da palavra falada, de um recinto de uma unidade habitacional para outro recinto de outra unidade habitacional, no mesmo piso do edifício residencial. Dos dados das avaliações de isolamento de ruído aéreo em campo, é possível, por meio de cálculo, verificar o quanto o desempenho da parede contribui para a audibilidade da conversação verbal no ambiente adjacente. Para finalizar, é apresentada uma proposta de nível de conforto acústico para edifícios residenciais e a classificação do conforto proporcionado pelo ambiente de uma unidade habitacional independente e pela parede comum entre unidades habitacionais.

Todas as medições foram realizadas conforme recomendam as normas internacionais vigentes, em edifícios localizados no Brasil e em Portugal. Os resultados das avaliações de

desempenho, em laboratório e em campo, foram confrontados com os critérios de cada país, sendo o critério brasileiro definido na norma de desempenho de edifícios de até cinco pavimentos, ABNT NBR 15575 (2008) e o critério português baseado no Decreto-Lei nº 96/2008 (PORTUGAL, 2008).

São feitas ainda, comparações entre os valores dos critérios apresentados na norma brasileira com outras normas ou documentos similares utilizados na Europa, nos Estados Unidos e em outros países, já apresentados no Capítulo 5. Essa comparação permitirá verificar o quanto o desempenho acústico no Brasil se aproxima ou se distancia dos valores dos critérios utilizados no exterior.

Alguns sistemas construtivos utilizados na construção civil na região metropolitana de São Paulo, Campinas e em Portugal são a base de estudo deste trabalho. Foram estudadas partições verticais entre unidades habitacionais, em sua maioria, em edifícios residenciais novos, em fase de pré-entrega das chaves aos devidos proprietários. Foram estudadas outras partições em edifícios residenciais já habitados e em edifício pertencente à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, nas dependências da UNICAMP, em Campinas.

A alvenaria de blocos ainda é bastante utilizada pelas construtoras em edifícios residenciais. Embora seja cada vez mais crescente a aplicação de paredes do sistema de gesso acartonado ou *drywall*, a parede de alvenaria de blocos ainda prevalece como divisória entre unidades habitacionais independentes. Esse fato justifica a escolha dos sistemas construtivos de alvenaria como objeto de estudo.

6.1 Paredes avaliadas

No Brasil, as partições verticais estudadas eram sistemas construtivos compostos por bloco de concreto de 90, 115 e 140 mm de espessura, blocos cerâmicos de 115 e 140 mm de espessura, ambos com finalidade de vedação, e bloco de concreto de 190 mm com finalidade estrutural.

Em Portugal, as partições verticais eram sistemas construtivos compostos por tijolos cerâmicos de 110 e 150 mm de espessura, representando paredes simples e como parede dupla,

sendo uma das folhas de 110 mm e a outra de 150 mm de espessura, com vão entre elas de 50 mm.

A Tabela 6.1 apresenta a descrição das paredes que foram avaliadas no Brasil e em Portugal, com a identificação utilizada no Capítulo 7, onde são apresentados os resultados e análises.

Tabela 6.1 - Identificação das paredes avaliadas

Identificação	Composição	Tipo: Estrutural / Vedação
BR1-A	Blocos de concreto de 190 mm de espessura. Parede pintada	estrutural
BR1-B	Blocos de concreto de 190 mm de espessura. Parede pintada	estrutural
BR2-A	Blocos de concreto de 90 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo	Vedação
BR2-B	Blocos de concreto de 90 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo	Vedação
BR3	Blocos de concreto de 115 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	Vedação
BR4	Blocos de concreto de 140 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	Vedação
BR5	Blocos cerâmicos de 115 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	Vedação
BR6	Blocos cerâmicos de 140 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	Vedação
PT1	Parede simples, tijolos cerâmicos de 110 mm de espessura Rebocada com argamassa	Vedação
PT2	Parede simples, tijolos cerâmicos de 150 mm de espessura	Vedação
PT3-A	Parede dupla, tijolos cerâmicos de 110 e 150 mm de espessura e vão de 50 mm. Rebocada com argamassa	Vedação
PT3-B	Parede dupla, tijolos cerâmicos de 110 e 150 mm de espessura e vão de 50 mm. Rebocada com argamassa	Vedação
PT3-C	Parede dupla, tijolos cerâmicos de 110 e 150 mm de espessura e vão de 50 mm. Rebocada com argamassa	Vedação

6.2 Avaliação objetiva

A avaliação objetiva da isolamento de ruído aéreo dependeu de testes de laboratório, a fim de verificar o desempenho acústico do elemento construtivo isoladamente e, de testes em campo, onde foi avaliado o isolamento de ruído aéreo de paredes. A avaliação objetiva compreendeu ainda a avaliação da inteligibilidade da fala, por meio de software.

Como é de consenso entre pesquisadores, em campo, em se tratando de alvenaria, não é possível analisar o elemento isoladamente porque não há como garantir que o som passe somente pela partição em avaliação. Haverá sempre uma parcela do som incidente realizando a trajetória pela estrutura do edifício, a chamada *flanking*, transmissão lateral ou *transmissão marginal*⁴³.

O procedimento dos testes em laboratório e em campo são descritos nos próximos itens deste Capítulo.

6.2.1 Desempenho em laboratório – avaliação da isolamento sonora

No Capítulo 3 foi apresentado o modelo esquemático das câmaras reverberantes utilizadas em testes de laboratório (câmaras de emissão e recepção), juntamente com as normas utilizadas para os respectivos testes. Neste item, são apresentados os procedimentos para a realização dos testes de desempenho, utilizando o método de laboratório ou de precisão, conforme a norma ISO 140-3 (1995).

Na câmara de emissão foi medido o nível de pressão sonora do ruído branco, L_I , emitido por uma fonte sonora colocada num dos triedros inferiores da câmara reverberante que não contém o plano do corpo de prova, por um período de 30s. Foram realizadas medições em seis pontos, embora a norma estabelece um mínimo de cinco pontos de microfone⁴⁴. Foram obedecidas as distâncias mínimas entre posição de microfone fixo e fonte sonora, superfícies da câmara e do corpo de prova, definidas pela norma: 0,7 m entre as posições de microfones; 0,7 m

⁴³ Tradução portuguesa de Patrício (2007).

⁴⁴ A norma menciona que pode ser utilizada uma posição de microfone móvel e devem ser obedecidas as seguintes regras: deve ser utilizado com um o raio de varredura de pelo menos 1 m, plano inclinado com ângulo superior a 10° com qualquer superfície da sala e duração do período superior a 15s. Esse tipo de microfone também pode ser utilizado em campo, conforme as normas mencionam. Neste trabalho, foi utilizado somente o microfone fixo, em diversas posições.

entre qualquer posição de microfone e limites das salas ou difusores; 1,0 m entre qualquer posição de microfone e fonte; 1,0 m entre qualquer posição de microfone e corpo de prova.

Na câmara de recepção foi medido o nível de pressão sonora, L_2 , nas mesmas condições da medição na câmara de emissão, isto é, com o microfone em seis posições diferentes e a fonte sonora em uma posição. Também foram medidas as grandezas ambientais na câmara de recepção, nomeadamente, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.

Ainda na câmara de recepção foram medidos, nos mesmos pontos em que foi medido L_2 , o nível do ruído de fundo, L_{B2} , e o tempo de reverberação, com duas posições de fonte sonora, localizados em dois dos triedros inferiores da câmara reverberante conforme a norma ISO 354 (2003). O tempo de reverberação foi avaliado por meio da resposta impulsiva integrada com excitação por MLS (*maximum length sequences*).

Os equipamentos utilizados para o teste em laboratório foram: microfone de ½" (Brüel & Kjær - BK 4166), pré-amplificador (BK 2639) e fonte de alimentação do microfone (BK 2807); analisador de ruído (*Norsonic* 840); amplificador de potência (Hot Sound HS 900 SX) e fonte sonora. O gerador de sinais estava embutido no analisador de ruído. Foram dispostos conforme o modelo esquemático apresentado na Figura 6.1:

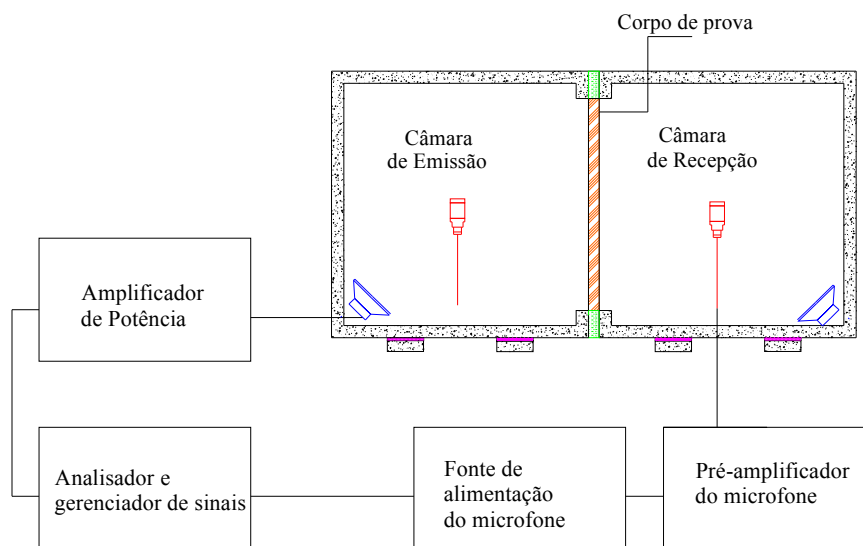


Figura 6.1: Montagem dos equipamentos para a realização do ensaio.

Em laboratório foram avaliadas quatro paredes compostas por componentes construtivos diferentes, nomeadamente, blocos de concreto de 115 mm e 140 mm e blocos cerâmicos de 115 mm e 140 mm. A montagem da parede foi acompanhada com cuidado, a fim de que não houvesse falhas e surgimento de vãos ou frestas, podendo acarretar em um desempenho inferior e não real da parede.

Por conta disto, as juntas verticais e horizontais foram preenchidas com argamassa, colocadas com bisnaga, como estão apresentadas nas fotos das Figuras 6.2 e 6.3, na montagem da parede de blocos cerâmicos de 115 mm.



Figura 6.2: Montagem de parede para teste de isolamento sonora, com detalhe à colocação da argamassa.



Figura 6.3: Montagem de parede para teste de isolamento sonora, com detalhe à colocação da argamassa.

O reboco de argamassa colocada na parede finaliza o acabamento, com espessura de 15 mm em cada face e garante a inexistência de possíveis vãos que poderiam prejudicar o desempenho da parede.

Em Portugal a colocação da argamassa entre os tijolos é feita com pá, como mostra a Figura 6.4.



Figura 6.4: Construção de parede de tijolos cerâmicos, em Portugal, com o uso da pá de pedreiro e, no detalhe, uma peça de tijolo cerâmico. (APICER, 2000).

Foram obtidas as médias, espacial e temporal, do nível de pressão sonora na câmara de emissão, L_1 , nível de pressão sonora na câmara de recepção, L_2 , nível do ruído de fundo, L_{B2} , e a média espacial do tempo de reverberação, T_2 , também na câmara de recepção. Desses resultados da avaliação em laboratório resulta o índice de redução sonora, R , (*vide* equação 3.2) em conformidade com procedimento apresentado pela norma ISO 140-3 (1995) e o número único de isolamento dado pelo índice de redução sonora ponderado, R_w , conforme a norma ISO 717-1 (1996), cuja forma de obtenção foi apresentada no Capítulo 3.

6.2.2 Desempenho em campo – avaliação do isolamento sonoro

Em campo, utilizando-se uma única posição de fonte sonora, o que normalmente acontece, o mínimo recomendado pela norma ISO 140-4 (1998), para número de posições de microfone fixo é 10.

Foram observadas as distâncias mínimas recomendadas entre posições de microfone: 0,7 m entre as posições de microfones; 0,5 m entre qualquer posição de microfone e limites das salas ou difusores; 1,0 m entre qualquer posição de microfone e fonte.

A norma aconselha utilizar distâncias superiores a essas, porém, na realidade brasileira e portuguesa da construção civil, em poucas unidades habitacionais seria possível atender a esse número tão grande de posições de microfone. Sugere-se, então, colocar o número de posições de

microfone suficiente, de modo que se tenha a média espacial que represente o ambiente plenamente; esse número foi em média de 4 posições de microfone.

Os equipamentos utilizados para o teste em campo realizados no Brasil, todos da Brüel & Kjær e de propriedade da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, foram: microfone de ½” (BK 4189) e pré-amplificador (BK 2669), analisador e gerador de ruído (*Investigator* BK 2260, com o software *Building Acoustics* BZ 7204), amplificador de potência (BK 2716) e fonte sonora omnidirecional (BK 4296). Os equipamentos utilizados para o teste em campo, em Portugal, de propriedade do Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade de Coimbra foram: microfone de ½” (BK 4189) e pré-amplificador (BK 2671), analisador de ruído (*Observer* BK 2260), gerador de ruído externo, amplificador de potência (BK 2716) e fonte sonora omnidirecional (BK 4296). Todos equipamentos, exceto o gerador de ruído, também são da Brüel & Kjær.

No ambiente de emissão foi medido o nível de pressão sonora, L_1 , com uma posição de fonte sonora. O sinal de emissão foi o ruído branco e o tempo de duração da medição foi de 6 segundos, conforme recomenda a norma. A seguir, no ambiente de recepção e com a fonte no ambiente de emissão, foi medido o nível de pressão sonora, L_2 . Na sequência foram medidos o nível do ruído de fundo, L_{B2} , e o tempo de reverberação, T_2 . Para a medição do tempo de reverberação foi utilizado o ruído rosa como sinal sonoro e o método do ruído interrompido, com três decaimentos por ponto. Da mesma forma que em laboratório, em campo foram obtidas as médias, espacial e temporal, do nível de pressão sonora, no ambiente de emissão, L_1 , nível de pressão sonora no ambiente de recepção, L_2 , nível do ruído de fundo, L_{B2} , e a média espacial do tempo de reverberação, T_2 . Esta avaliação resultou na diferença padronizada de nível da partição, D_{nT} , (vide equação 3.26) e no valor único de isolamento, dado pela diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$, cuja forma de obtenção da ponderação está descrita na norma ISO 717-1 (1996) e apresentada no Capítulo 3.

6.2.3 Correção do ruído de fundo

Para medições de nível sonoro em campo, o ruído de fundo pode ser um grande problema. É difícil ter condições ideais de medição fora do laboratório. O ruído de fundo, que é todo o ruído que chega ao microfone, na posição do receptor, que não seja o ruído em análise (GERGES, 2000), deve ser medido e, caso seja necessário, efetuar as devidas correções em relação ao ruído analisado. Essas correções foram mencionadas no Capítulo 3. Em algumas medições realizadas em campo, essa correção foi necessária.

6.2.4 Audibilidade - Método de Stevens

O procedimento para a avaliação da audibilidade, utilizando o método de Stevens, está descrito na norma ISO 532 (1975). Como já foi mencionado, esse método baseia-se em medidas físicas obtidas de análise espectral em bandas de 1/1 oitava.

Neste trabalho, deseja-se com este parâmetro, avaliar a audibilidade de um ruído medido no ambiente de recepção, emitido no ambiente adjacente, de emissão e, verificar a influência do desempenho da parede entre esses ambientes. A proposta é de que quanto maior for a audibilidade no ambiente de recepção pior será o desempenho acústico da parede em relação ao isolamento. Falta, entretanto, verificar quantitativamente essa influência.

Para avaliar a audibilidade, seria interessante utilizar o nível de pressão sonora medido no ambiente de recepção, L_2 , (*vide* Figura 3.2), visto que é uma medição direta de um ruído, produzido no ambiente adjacente ao local de medição e que sofre ação direta do isolamento da parede entre aos ambientes. Porém, o espectro obtido não é padronizado. O nível do ruído de fundo pode exigir correções sobre o nível de pressão sonora no ambiente de recepção, L_2 , se houver necessidade, conforme já explicado no Capítulo 3 e, a reverberação no ambiente de recepção também é outro fator condicionante sobre a característica acústica do ambiente, tornando um ambiente diferente do outro e, portanto, a padronização se faz necessária. Por essa razão, foi utilizado o resultado do cálculo da diferença padronizada de nível, D_{nT} , por ser, como o nome diz, padronizado.

O desempenho da parede varia conforme a frequência. A norma ISO 140-4 (1998) permite que seja utilizada a banda de 1/1 oitava ou 1/3 de oitava para a obtenção da diferença padronizada de nível, D_{nT} . Foi feita a escolha da banda de 1/3 de oitava, para poder ter mais informações sobre a variação do desempenho da parede com a frequência. O cálculo da audibilidade, porém, foi feito sobre os resultados de D_{nT} em banda de 1/1 oitava.

Para calcular a audibilidade a partir de D_{nT} , em banda de 1/1 oitava, foi feita a conversão do nível sonoro de D_{nT} , para cada uma das frequências centrais entre 125 Hz e 4000 Hz, em índice de audibilidade, com base no Quadro 6.1, apresentado a seguir. Finalmente, por meio da equação 6.1 foi obtido o valor final da audibilidade, S_t , em sones.

$$S_t = S_m + F(\sum S - S_m) \quad (6.1)$$

Onde,

S_m – é o maior valor do índice de audibilidade;

$\sum S$ – é a soma dos índices de audibilidade em todas as frequências;

$F = 0,3$ para banda em 1/1 oitava ($F=0,15$ para banda em 1/3 de oitava).

Quadro 6.1 – Conversão do nível sonoro em índice de audibilidade

Nível sonoro da banda	Frequências, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
25	---	---	0,21	0,4	0,55	0,73
26	---	---	0,26	0,45	0,61	0,8
27	---	---	0,31	0,5	0,67	0,87
28	---	0,07	0,37	0,55	0,73	0,94
29	---	0,12	0,43	0,61	0,8	1,02
30	---	0,16	0,49	0,67	0,87	1,1
31	---	0,21	0,55	0,73	0,94	1,18
32	---	0,26	0,61	0,8	1,02	1,27
33	---	0,31	0,67	0,87	1,1	1,35
34	0,07	0,37	0,73	0,94	1,18	1,44

(continua)

(continuação)

35	0,12	0,43	0,8	1,02	1,27	1,54
36	0,16	0,49	0,87	1,1	1,35	1,64
37	0,21	0,55	0,94	1,18	1,44	1,75
38	0,26	0,62	1,02	1,27	1,54	1,87
39	0,31	0,69	1,1	1,35	1,64	1,99
40	0,37	0,77	1,18	1,44	1,75	2,11
41	0,43	0,85	1,27	1,54	1,87	2,24
42	0,49	0,94	1,35	1,64	1,99	2,38
43	0,55	1,04	1,44	1,75	2,11	2,53
44	0,62	1,13	1,54	1,87	2,24	2,68
45	0,69	1,23	1,64	1,99	2,38	2,84
46	0,77	1,33	1,75	2,11	2,53	3,00
47	0,85	1,44	1,87	2,24	2,68	3,20
48	0,94	1,56	1,99	2,38	2,84	3,40
49	1,04	1,69	2,11	2,53	3,00	3,60
50	1,13	1,82	2,24	2,68	3,20	3,80
51	1,23	1,96	2,38	2,84	3,40	4,10
52	1,33	2,11	2,53	3,00	3,60	4,30
53	1,44	2,24	2,68	3,20	3,80	4,60
54	1,56	2,38	2,84	3,40	4,10	4,90
55	1,69	2,53	3,00	3,60	4,30	5,20
56	1,82	2,68	3,20	3,80	4,60	5,50
57	1,96	2,84	3,40	4,10	4,90	5,80
58	2,11	3,00	3,60	4,30	5,20	6,20
59	2,27	3,20	3,80	4,60	5,50	6,60
60	2,44	3,40	4,10	4,90	5,80	7,00

Fonte: BISTAFA, 2006.

Obtida a audibilidade e aplicando o seu inverso pode-se verificar a influência do desempenho da parede sobre a audibilidade da conversação verbal de um ambiente adjacente ao ambiente de recepção. O inverso da audibilidade foi aplicado porque, como o cálculo foi feito sobre o espectro da diferença padronizada do nível, que é referente ao desempenho da parede, tem-se que quanto menor for o desempenho maior será o valor da audibilidade e, conseqüentemente o desconforto. Tal informação poderá ser confirmada pelos resultados apresentados no Capítulo 7.

6.2.5 Inteligibilidade da palavra falada

Como já foi mencionado neste trabalho, a avaliação objetiva do desempenho da partição compreendeu ainda, a medição da inteligibilidade da palavra falada utilizando-se o *software Dirac*, da Brüel & Kjær e pertencente à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, além do medidor de ruído (*Mediator 2238*) com microfone de $\frac{1}{2}$ " (BK 4189), amplificador de potência (BK 2716) e fonte sonora omnidirecional (BK 4296). A montagem dos equipamentos para a medição da inteligibilidade da fala, no Brasil, está representada esquematicamente na Figura 6.5.

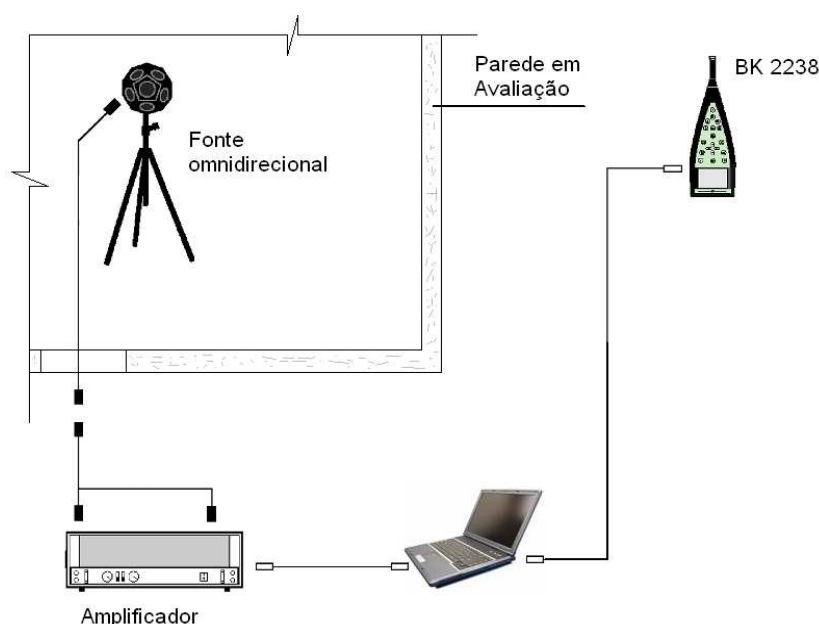


Figura 6.5: Montagem dos equipamentos para avaliação da inteligibilidade da fala.

Em Portugal, a montagem foi diferenciada com a substituição do *Mediator 2238* pelo amplificador e condicionador *Nexus 2692*, também da Brüel & Kjær. Além do *Nexus 2692*, foram utilizados o *software Dirac*, microfone de $\frac{1}{2}$ " (BK 4189) e pré-amplificador (BK 2671), amplificador de potência (BK 2716) e fonte sonora omnidirecional (BK 4296); todos pertencentes ao Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade de Coimbra.

A medição da inteligibilidade da fala foi realizada conforme as indicações da norma BS EN 60268-16 (BSI, 2003) para se obter o índice de transmissão da fala (STI), e da norma ISO 3382 (1997), para se obter a definição (D_{50}). Também foram importantes para essa avaliação os resultados das medições do tempo de decaimento inicial (*early decay time*, EDT), Tempo de reverberação (dado por T_{20}) e a percentagem da perda de articulação das consoantes (%ALC), que estão diretamente ligados ao STI.

Os parâmetros psicoacústicos foram medidos a partir da geração do sinal da varredura de senos por um software (*Dirac*), que passou por um conversor digital/analógico e um amplificador antes de ser emitido pela fonte sonora, no ambiente de emissão. O microfone, posicionado no ambiente de recepção, captou então, o sinal de resposta do ambiente em análise. O sinal de saída (resposta do ambiente) e o sinal de entrada (varredura de senos) estavam ainda em função do tempo. A aplicação da Transformada de Fourier, em ambos os sinais, converteu-os para o domínio da frequência. A Função de Transferência do ambiente foi então obtida pela relação entre o sinal de saída e o de entrada.

A Figura 6.6 representa esquematicamente, a emissão do sinal de entrada e a obtenção da resposta impulsiva da sala.

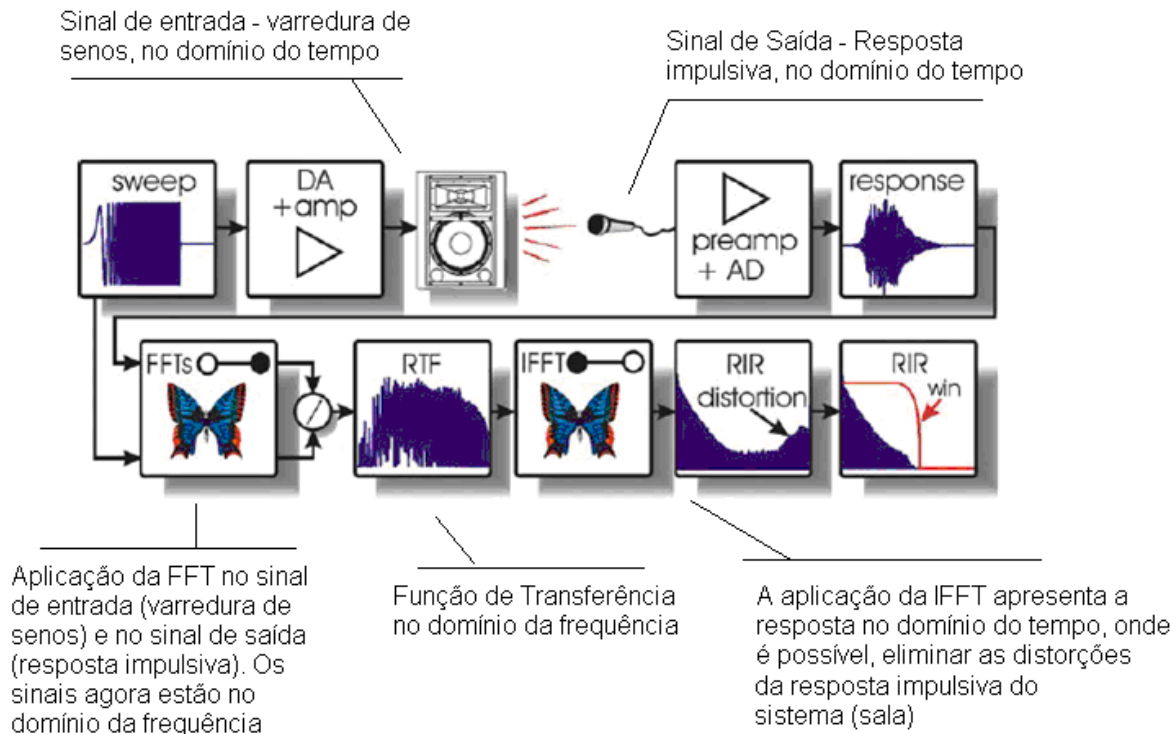


Figura 6.6: Obtenção da resposta impulsiva por meio da técnica de varredura de senos.
(Fonte: adaptado de MÜLLER e MASSARANI, 2001).

Como foi mencionado, o parâmetro STI é baseado na determinação da função transferência de modulação $m(f)$ para 98 pontos obtidos de 14 frequências de modulação em 1/3 de oitava em intervalos de 0,63Hz e 12,5Hz e para cada 7 frequências em banda de 1/1 oitava entre 125 e 8kHz. Para cada uma dessas 7 frequências há ponderação individual entre 0,63 e 12,5 Hz, em 1/3 de oitava, resultando em um valor de MTI (índice de transferência de modulação). Cada valor de MTI é proveniente dos valores da função transferência de modulação, MTF (*modulation transfer function*) sobre as 14 diferentes frequências de modulação e tem ponderação igual para o cálculo do STI. A matriz final apresenta 98 valores m, k, f , onde k é a frequência central da banda de oitava do sinal carregador, e f é a frequência de modulação.

O Quadro 6.2 mostra um exemplo de MTF, extraído dos resultados das medições realizadas para este trabalho.

Quadro 6.2 - Exemplo de função transferência de modulação, MTF

Frequências de Modulação, Hz	Frequências em Banda de 1/1 Oitava						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,63	0,675	0,758	0,856	0,88	0,897	0,912	1
0,8	0,675	0,758	0,856	0,88	0,897	0,912	0,81
1,0	0,494	0,758	0,856	0,88	0,897	0,912	0,81
1,25	0,494	0,447	0,615	0,652	0,695	0,726	0,81
1,6	0,365	0,447	0,615	0,652	0,695	0,726	0,81
2,0	0,263	0,233	0,43	0,46	0,516	0,552	0,81
2,5	0,079	0,233	0,43	0,46	0,516	0,552	0,522
3,15	0,029	0,208	0,331	0,335	0,389	0,414	0,522
4,0	0,082	0,163	0,248	0,247	0,305	0,31	0,323
5,0	0,192	0,003	0,133	0,098	0,191	0,162	0,323
6,3	0,126	0,05	0,162	0,031	0,099	0,062	0,205
8,0	0,205	0,071	0,159	0,042	0,032	0,04	0,133
10,0	0,111	0,053	0,098	0,019	0,039	0,03	0,059
12,5	0,099	0,063	0,14	0,121	0,077	0,046	0,018
MTI	0,32	0,33	0,45	0,41	0,44	0,44	0,5

Fonte: arquivo pessoal da autora.

De posse dos valores de MTI_k , são feitas correções em relação ao ruído de fundo e tempo de reverberação, finalizando com a obtenção do STI por meio da expressão:

$$STI = \sum_{n=1}^7 \alpha_n MTI_n - \sum_{n=1}^6 \beta_n \sqrt{MTI_n \times MTI_{n-1}} \quad (6.1)$$

Onde,

Os fatores α_k representam o fator de ponderação de 1/1 oitava;

β_k são os chamando fatores de correção de redundância.

O Software *Dirac* realiza esse cálculo diretamente, apresentando a matriz como resultado e o valor do STI final.

O índice de transmissão da fala, dado pelo STI é utilizado para avaliar a característica acústica de um ambiente para uso da fala, como teatros, auditórios, salas de aula; neste trabalho,

está sendo aplicada essa avaliação entre dois ambientes, por isso é proposta a definição da **privacidade**, Pr , como sendo o complemento do STI, conforme a equação 6.2:

$$Pr = 1 - STI \quad (6.2)$$

A norma BS EN 60268-16 (BSI, 2003) classifica o ambiente conforme o parâmetro STI com valores apresentados no Quadro 4.1. Analogamente, faz-se uso dessa classificação para a privacidade. A Tabela 6.2 apresenta a classe de privacidade, que será utilizada na avaliação dos ambientes de unidades habitacionais independentes cujas paredes comuns foram o objeto principal de estudo. Salienta-se, entretanto, que a classificação da Privacidade, Pr , está baseada na classificação dos valores de STI e não no valor final do cálculo de 1-STI.

Tabela 6.2 - Classificação de Privacidade

1-STI	Privacidade
0,00 – 0,30	Ruim
0,30 – 0,45	Pobre
0,45 – 0,60	Razoável
0,60 – 0,75	Boa
0,75 – 1,00	Excelente

6.3 Avaliação subjetiva

Como foi apresentado no capítulo 2, a quantidade de reclamações de moradores sobre ruído está relacionado principalmente, com o baixo isolamento de ruído aéreo de partição vertical. A palavra falada é transmitida por via aérea e a inteligibilidade da palavra falada analisada no ambiente de recepção é um método de qualificar a partição.

Esta avaliação consistiu na emissão de grupo de 10 sentenças por voz feminina e masculina, com nível de pressão sonora médio de 85 dB, no ambiente de emissão. O júri, composto por pessoas com audição não comprometida, posicionado no ambiente de recepção, responde sobre a percepção do sinal sonoro, isto é, das sentenças ouvidas.

O conjunto de sentenças utilizadas na avaliação subjetiva foi baseada nas sentenças utilizadas em testes audiométricos (GAMBINI, 2006) e estão apresentadas no Anexo A. Foram utilizadas as sentenças correspondentes aos grupos 1B a 6B nas versões feminina e masculina.

Para a avaliação da percepção da fala foi entregue aos voluntários uma folha contendo uma tabela para resposta para cada grupo de sentenças. Para cada sentença, o voluntário respondia conforme o nível de percepção, por meio das opções apresentadas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Tabela para avaliação subjetiva da percepção da inteligibilidade de cada sentença de cada grupo de 10 sentenças

Inteligibilidade: percepção do ruído do recinto adjacente	Número da Sentença									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ouve e entende tudo com facilidade										
Ouve e entende uma parte com dificuldade										
Ouve, mas não entende										
Não ouve										

Com os resultados dos testes da percepção das sentenças foi obtido o percentual de percepção por voz feminina e masculina. Conhecendo-se o percentual de percepção da fala por meio da avaliação subjetiva, foi feita uma comparação desses resultados com os resultados dos testes objetivos de desempenho da parede e da inteligibilidade da fala, para reforçar a avaliação do conforto acústico em função da inteligibilidade da fala, onde os resultados dos testes subjetivos confirmam ou não os testes objetivos.

6.4 Proposta: nível de conforto em edificações residenciais

Ao se pensar em conforto acústico ideal dentro de um ambiente residencial, espera-se não ouvir a conversação verbal com origem no apartamento ao lado. A realidade da maioria dos prédios residenciais, se não for a totalidade, seja no Brasil ou em Portugal, não corresponde ao conforto acústico ideal. Espera-se então, que se for para ouvir ruídos ou conversas, que seja em níveis baixos o suficiente para incomodar o mínimo possível. Para atingir este objetivo o

requisito necessário é o desempenho adequado da parede de geminação, acarretando uma redução na audibilidade da conversação no ambiente adjacente.

Se não for possível evitar ouvir a conversação do ambiente adjacente, espera-se, então, que seja de modo que se entenda o mínimo. Para que se atinja tal nível de privacidade nesta condição, a inteligibilidade da fala deve ser analisada por meio do parâmetro STI, índice de transmissão da fala, e obtido, finalmente, o valor calculado do **nível de privacidade, L_{Pr}** , dado pela equação 6.2, onde o valor de referência é 0,2; valor este que está justificado nos parágrafos seguintes.

$$L_{Pr} = 10 \log \frac{STI_o}{STI} \text{ [dB]} \quad (6.2)$$

Com os argumentos antecedentes apresenta-se, neste trabalho, uma proposta de avaliação do conforto acústico entre ambientes adjacentes, com partições tipicamente utilizadas em edifícios residenciais, unindo o desempenho da parede, dado pelo $D_{nT,w}$, com o nível de privacidade, L_{Pr} , oriundo da avaliação objetiva da inteligibilidade da fala, resultando, finalmente, no **nível de conforto, L_{conf}** , dado pela equação 6.3:

$$L_{conf} = L_{Pr} + D_{nT,w} \text{ [dB]} \quad (6.3)$$

Onde,

STI – é o valor médio índice de transmissão da fala;

$STI_o = 0,2$ é o valor de referência;

$D_{nT,w}$ – é o valor único, em dB, do isolamento.

Dessa forma, associa-se o isolamento proporcionado pelo ambiente e a perda da inteligibilidade, demonstrando que quanto menos se entende a conversa do ambiente adjacente, maior é o nível de conforto proporcionado pelo ambiente.

O valor de referência de STI proposto é baseado nos valores médios medidos no decorrer do presente trabalho e em valores medidos apresentados em outros trabalhos acadêmicos, como por exemplo, os obtidos na avaliação de igrejas setecentistas mineiras (BOTTAZZINI, 2007), onde o menor valor de STI encontrado foi 0,23; a dissertação de Amorim

(2007), sobre a acústica em salas de aula, onde encontrou o menor valor de $STI = 0,48$; a dissertação de Ogasawara (2006), onde encontrou o menor valor médio de STI em salas de teatro, de 0,43. Há que salientar, entretanto, que até então, o STI tem sido apresentado como parâmetro de avaliação da inteligibilidade onde fonte e receptor estão em um mesmo ambiente, para os devidos fins de uso da fala e, portanto, quanto menor o valor, pior é a condição acústica do ambiente para a fala.

Acrescenta-se ainda, que nos trabalhos mencionados acima, todos os ambientes avaliados estavam devidamente mobiliados para uso; condição esta que reduz o tempo de reverberação e aumenta o valor do parâmetro STI . Os ambientes avaliados neste trabalho estavam, em sua maioria, vazios, sem nenhum tipo de mobília ou material que pudesse absorver o som, o que corresponde a pior condição acústica para a inteligibilidade da fala. Nessas condições, os valores médios de STI encontrados, estiveram próximos de 0,2 (o menor valor encontrado foi 0,24) mas, nunca inferior, como se pode verificar na apresentação dos resultados no próximo Capítulo. Por essa razão, foi adotado o valor 0,2 como referência.

A proposta para a avaliação do conforto se estende ainda a uma classificação de conforto para o ambiente conforme a equação 6.3. Essa classificação, inspirada na diferença de níveis de desempenho da norma ABNT NBR 15575 (2008) e nos Quadros 2.1 e 2.2, é dependente do desempenho da parede de geminação, do isolamento proporcionado pelo ambiente e na percepção da palavra falada. A Tabela 6.4 apresenta a classe de conforto proposta.

Tabela 6.4 – Classe de conforto, segundo os valores do nível de conforto, L_{conf}

Classe de conforto	Valores de L_{conf} em dB
A	≥ 45
B	40-44
C	35-39
D	30-34
E	≤ 29

As classes A e E são a melhor e a pior condição de conforto, respectivamente. Como exemplo de aplicação da Tabela 6.4, adota-se como referência o Quadro 5.5, na condição intermediária, isto é, com o nível de ruído de fundo dado pelo $L_{Aeq} = 35$ dB⁴⁵ para se obter o nível de privacidade para conversa como “Muito Bom”, deve-se ter o valor de isolamento, dado pela diferença padronizada de nível ponderado $D_{nT,w}$, entre 48 e 58 dB. Se considerar o valor de STI médio = 0,50, tem-se o valor de L_{conf} entre 44 e 54 dB, correspondendo às classes de conforto B e A, respectivamente.

Em resumo, obtidos os resultados objetivos de desempenho acústico em campo e em laboratório foi feita a comparação entre eles. Esses valores foram confrontados com os critérios vigentes, no Brasil e em Portugal e comparados com critérios de outros países. Com os resultados do desempenho das paredes foi calculada a audibilidade e verificada a influência do desempenho sobre a audibilidade. Também foram confrontados os resultados das avaliações objetivas (desempenho das paredes e inteligibilidade da fala) com as avaliações subjetivas (júri). Finalmente, com os resultados da inteligibilidade da fala foi obtido o nível de privacidade e, juntamente com o desempenho, foi obtido o nível de conforto do ambiente da unidade habitacional cuja parede faz a divisória com outra unidade habitacional independente, como proposta principal deste trabalho.

Os resultados objetivos de desempenho e inteligibilidade da fala foram comparados com os resultados subjetivos, realizados com o júri, de modo a obter a informação de que um resultado confirme ou não o outro.

O conhecimento dos valores mínimos de isolamento acústico em partições verticais entre unidades habitacionais em edificações adotados em documentos específicos em outros países e a comparação com os valores adotados pela norma de desempenho de edifícios de até cinco pavimentos, forneceu a noção do quanto o Brasil é pouco exigente no quesito conforto acústico de edificações.

⁴⁵ Esse nível de ruído de fundo é recomendado pela Organização Mundial de Saúde para o ambiente destinado ao repouso (BERGLUND *et. al.*, 1999).

CAPÍTULO 7 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES

No decorrer deste trabalho foram realizadas avaliações objetivas e subjetivas do desempenho de paredes. Os resultados e respectivas análises estão apresentados neste capítulo.

Como foi mencionado, anteriormente, foram realizadas avaliações de sistemas construtivos no Brasil e em Portugal. Os resultados das avaliações estão apresentados nos itens seguintes deste Capítulo e estão identificados pela espessura do bloco/tijolo que compõem o sistema e o país onde é utilizado, sendo BR para o Brasil e PT para Portugal. As informações referentes às construtoras brasileiras ou portuguesas e a localização dos edifícios não são relevantes para o trabalho e, portanto, foram omitidas. A Tabela 7.1 apresenta a identificação de cada parede avaliada.

Tabela 7.1 - Identificação das paredes avaliadas

Identif.	Composição	Função: Estrutural / Vedação	Testes realizados: lab. / campo	Massa média⁴⁶ (kg)
BR1-A	Blocos de concreto de 190 mm de espessura. Parede pintada	estrutural	campo	---
BR1-B	Blocos de concreto de 190 mm de espessura. Parede pintada	estrutural	campo	---
BR2-A	Blocos de concreto de 90 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo	vedação	campo	---
BR2-B	Blocos de concreto de 90 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo	vedação	lab. e campo ⁴⁷	---

(continua)

⁴⁶ Massa média dos blocos/ tijolos que compuseram as paredes avaliadas em laboratório.

⁴⁷ O resultado do teste de isolamento sonora (laboratório) foi extraído de BARRY, 2005.

(continuação)

BR3	Blocos de concreto de 115 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	vedação	lab. e campo	9,520
BR4	Blocos de concreto de 140 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	vedação	lab. e campo	10,310
BR5	Blocos cerâmicos de 115 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	vedação	lab. e campo	6,165
BR6	Blocos cerâmicos de 140 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	vedação	lab. e campo	7,000
PT1	Parede simples, tijolos cerâmicos de 110 mm de espessura Rebocada com argamassa	vedação	lab. e campo ⁴⁸	3,884
PT2	Parede simples, tijolos cerâmicos de 150 mm de espessura	vedação	lab. e campo ⁴⁹	5,175
PT3-A	Parede dupla, tijolos cerâmicos de 110 e 150 mm de espessura e vão de 50 mm. Rebocada com argamassa	vedação	lab. e campo ⁵⁰	---
PT3-B	Parede dupla, tijolos cerâmicos de 110 e 150 mm de espessura e vão de 50 mm. Rebocada com argamassa	vedação	lab. e campo ⁵¹	---
PT3-C	Parede dupla, tijolos cerâmicos de 110 e 150 mm de espessura e vão de 50 mm. Rebocada com argamassa	vedação	lab. e campo ⁵²	---

⁴⁸ O resultado do teste de isolamento sonora (laboratório) e a massa média dos blocos foram extraídos de PIÃO, 2007.

⁴⁹ Idem.

⁵⁰ O resultado do teste de isolamento sonora (laboratório), em parede similar, foi extraído de PIÃO, 2007.

⁵¹ Idem.

⁵² Idem.

Verifica-se pelas informações da Tabela 7.1, que foram testadas paredes com reboco de argamassa, em laboratório, e gesso, em campo. Pela lei das massas, pode-se estimar o quanto o tipo de reboco pode influenciar no desempenho da parede.

A densidade superficial das paredes (kg/m^2) é um fator essencial para o desempenho, conforme a Lei das Massas. O reboco de gesso ou argamassa, comumente utilizados nas edificações residenciais, além de acabamento, tem também a função de fechar possíveis frestas que tenham permanecido durante a montagem da parede. A densidade volumétrica da argamassa utilizada no Brasil varia entre 1970 kg/m^3 a 2290 kg/m^3 e a densidade volumétrica do gesso é de aproximadamente 1100 kg/m^3 . A densidade volumétrica da argamassa utilizada em Portugal é de aproximadamente 2050 kg/m^3 . Segundo a Lei das Massas, diferentes densidades superficiais podem influenciar no desempenho final da parede. Com os valores da densidade volumétrica e a espessura dos revestimentos foi estimado o valor do isolamento proporcionado pela argamassa e gesso, como reboco sobre as paredes analisadas, para a frequência de 1kHz. Essas estimativas estão apresentadas na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Identificação das paredes avaliadas e influência do material utilizado no reboco

Identif.	Composição	Densidade superficial da parede (kg/m^2)		Desempenho em 1kHz (dB) ⁵³	
		Reboco de argamassa ⁵⁴	Reboco de gesso	Reboco de argamassa	Reboco de gesso
BR3	Blocos de concreto de 115 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	192	169	59	58
BR4	Blocos de concreto de 140 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	205	183	59	58

(continua)

⁵³ Valor teórico estimado conforme a Lei das Massas, somente para a frequência de 1kHz; não é o valor ponderado de desempenho.

⁵⁴ Densidade superficial média das paredes avaliadas em laboratório. Valores estimados por meio de cálculo realizado com a massa dos blocos/ tijolos e densidade volumétrica da argamassa portuguesa, obtida da literatura: 2050 kg/m^3 . Foi utilizada a referência portuguesa de densidade volumétrica da argamassa para fins de comparação.

(continuação)

BR5	Blocos cerâmicos de 115 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	150	127	57	55
BR6	Blocos cerâmicos de 140 mm de espessura. Rebocada com gesso, em campo e argamassa, em laboratório	164	141	57	56
PT1	Parede simples, tijolos cerâmicos de 110 mm de espessura Rebocada com argamassa.	151	---	57	---
PT2	Parede simples, tijolos cerâmicos de 150 mm de espessura.	177	---	58	---

Como se pode verificar, pela Tabela 7.2, a diferença no desempenho em 1 kHz, da parede em função do tipo de reboco utilizado é pequena, varia de 1 a 2 dB. Por essa diferença ser pequena, para a realização do teste em laboratório, optou-se pela argamassa, por questão de facilidade de mão-de-obra e custos.

Primeiramente, são apresentados os resultados das avaliações objetivas de desempenho, seguido dos resultados objetivos da inteligibilidade e os resultados subjetivos.

Devido à dificuldade de acesso aos edifícios residenciais novos, na fase de pré-entrega das chaves, o que seria a condição ideal para a realização deste trabalho, foram realizadas avaliações em paredes encontradas em outros tipos de edificações, além de residenciais. É o caso das paredes BR1-A e BR1-B, que foram avaliadas nas dependências da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP. Nas outras situações, foram avaliadas as paredes internas dos edifícios.

No Brasil, os edifícios residenciais, que se teve acesso, eram novos em fase de pré-entrega das chaves. Todos os ambientes nesses edifícios estavam vazios. Em Portugal foram realizadas avaliações em dois edifícios, sendo um edifício relativamente antigo, construído no início da década de 90 e o outro, um edifício recém-construído. Os ambientes de recepção desses dois edifícios estavam mobiliados, visto que o primeiro apartamento estava habitado e o segundo

era o apartamento modelo. Com essas duas oportunidades de avaliação, pode-se verificar o desempenho em sistemas construtivos em diferentes situações e épocas.

A condição do ambiente de recepção vazia ou mobiliada poderá interferir somente na avaliação da inteligibilidade objetiva ou subjetiva, por afetar o valor do tempo de reverberação, que é um dos fatores que influenciam os resultados da inteligibilidade. A avaliação do desempenho não é influenciada pela existência ou ausência da mobília, porque a diferença padronizada de nível, D_{nT} , como o nome sugere, padroniza os fatores que influenciam o desempenho.

7.1 Avaliação Objetiva - Desempenho

A avaliação objetiva compreende os testes de desempenho em laboratório e em campo e a avaliação da inteligibilidade da fala, por meio de software.

7.1.1 Desempenho em laboratório

Os resultados da avaliação do desempenho em laboratório das paredes brasileiras são oriundos de testes realizados pela autora, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, em algumas das paredes identificadas na Tabela 7.1 com os procedimentos mencionados no Capítulo 6, ou extraídos da literatura. Excepcionalmente, em relação à parede de blocos de concreto estrutural com espessura de 190 mm, não foi realizado o teste de isolamento sonora tampouco foi encontrado na literatura, o resultado de teste de isolamento em paredes de concreto estrutural. A ausência dessa informação, entretanto, não prejudica o objetivo do trabalho.

Em relação às paredes portuguesas, inúmeras são as razões que justificam a não realização do teste de desempenho em laboratório, entre elas, o custo do teste e o tempo disponível, muito reduzido, para as avaliações das paredes. Entretanto, Pião (2007) publicou alguns resultados de testes em laboratório, de paredes simples e duplas, realizados nas câmaras acústicas do departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Os resultados do desempenho em laboratório das paredes avaliadas, no Brasil e em Portugal, estão apresentados a seguir e são representados nos gráficos pela linha contínua em tom

mais escuro. A linha contínua em tom mais claro e a linha tracejada representam, respectivamente, a curva de referência dada pela norma ISO 717-1 (1996) e a mesma curva deslocada para a obtenção do número único de isolamento sonora, índice de redução sonora ponderado, R_W .

7.1.1.1 BR2 - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

Não foi possível realizar a avaliação da isolamento desse sistema construtivo, porém foram encontrados resultados na literatura; segundo Barry (2005), a parede composta por blocos de concreto com espessura de 90 mm e com 15 mm de argamassa em cada face, apresenta o valor de índice de redução sonora ponderado e os coeficientes de adaptação do espectro, de $R_W = 40$ (-1;-4) dB.

Considerando que esta parede possa ser utilizada como parede de geminação entre duas edificações, pelo resultado do teste de isolamento, ela não atenderia ao critério recomendado pela norma ABNT NBR 15575-4 (2008). O critério para desempenho mínimo em laboratório, sem os coeficientes de adaptação do espectro é $R_W = 45$ dB (*vide* Quadro 5.4).

Se a norma brasileira considerasse os valores dos coeficientes de adaptação do espectro, a parede testada resultaria em 39 e 36 dB, respectivamente para C e C_{tr} , mostrando maior deficiência para as baixas frequências e, portanto, pior desempenho caso a parede fosse utilizada como fachada.

7.1.1.2 BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura

A parede composta por blocos de concreto com espessura de 115 mm e rebocada com 15 mm de argamassa em cada face foi avaliada no laboratório do IPT. Nas Figuras 7.1, 7.2 e 7.3 estão representadas as amostras dos blocos utilizados no teste, a montagem da parede e a parede devidamente posicionada entre-câmaras para o teste de isolamento sonora, respectivamente. Os blocos apresentam 390 mm de comprimento, 190 mm de altura e 115 mm de largura.



Figura 7.1: Amostras dos blocos utilizados na confecção da parede para teste de isolamento.



Figura 7.2: Montagem da parede, com visão para o preenchimento das juntas verticais e horizontais e a colocação da argamassa.



Figura 7.3: Parede posicionada entre-câmaras para a realização do teste de isolamento sonora.

Pela Figura 7.2 pode-se verificar que as juntas verticais e horizontais foram cuidadosamente preenchidas, a fim de evitar frestas que prejudicariam o desempenho real da parede.

O gráfico da Figura 7.4 apresenta o resultado obtido do teste de isolamento sonora, dado pelo índice de redução sonora, R , por frequência em bandas de 1/3 de oitava e, adicionalmente, está apresentado o valor único de isolamento, dado pelo índice de redução sonora ponderado, R_W , e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} . O teste de isolamento sonora resultou no índice de redução sonora ponderado, $R_W = 41$ (-1;-4) dB.

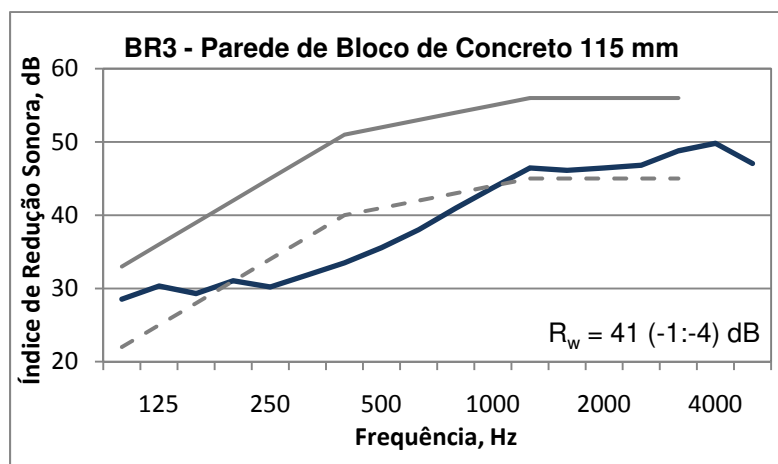


Figura 7.4: BR3 - Desempenho da parede obtido pelo teste de isolamento sonora.

Pelo resultado de R_w esta parede não atende aos critérios da norma ABNT NBR 15575-4 (2008), se tiver como finalidade de parede de geminação entre duas unidades habitacionais em edifícios residenciais. Segundo a norma, o desempenho mínimo de parede de geminação, em laboratório deve ser $R_w = 45$ dB. Se a norma levasse em consideração os coeficientes de adaptação do espectro, tornando o critério ainda mais rigoroso, como acontece em alguns países, pioraria o desempenho dessa parede, visto que para fim de parede de geminação o valor de R_w mudaria para 40 dB, já que o valor de $C = -1$ dB. O coeficiente $C_{tr} = -4$ dB mostra que a parede tem deficiência no isolamento de baixas frequências, resultando em 37 dB. Valor este, que não atende ao critério mínimo da norma.

7.1.1.3 BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura

Em laboratório foi montada uma parede com blocos de concreto com espessura de 140 mm, comprimento de 390 mm e altura de 190 mm, rebocada em ambas as faces com 15 mm de argamassa.

As Figuras de 7.5, 7.6 e 7.7 apresentam, respectivamente, a amostra dos blocos utilizados na confecção da parede, a montagem da mesma e a posição entre-câmaras para a realização do teste de isolamento sonora.



Figura 7.5: Amostra dos blocos utilizados na construção da parede avaliada em teste de isolamento sonora.



Figura 7.6: Parede construída para o teste de isolamento sonora.

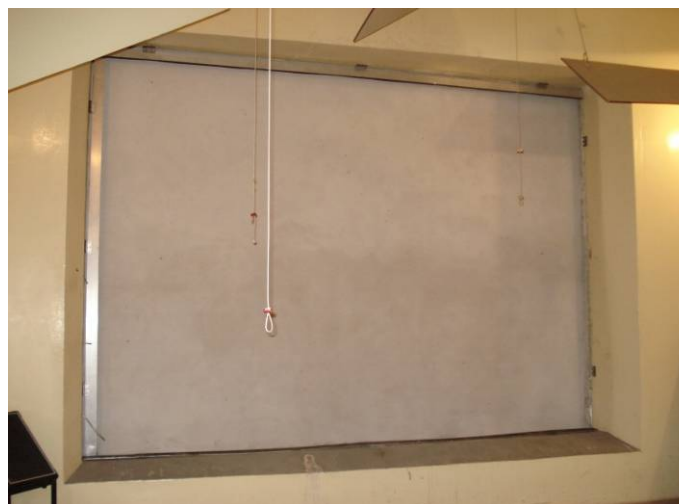


Figura 7.7: Parede rebocada e posicionada entre-câmaras para a realização do teste de isolamento sonora.

Na Figura 7.6, verifica-se que a montagem da parede foi cuidadosa, principalmente no preenchimento das juntas verticais e horizontais, de modo a evitar a existência de frestas que pudessem prejudicar o desempenho da parede.

A Figura 7.8 apresenta o resultado do desempenho da parede avaliado por meio do teste de isolamento sonora, dado pelo índice de redução sonora, R , por faixa de frequência em banda de

1/3 de oitava. Em acréscimo, o valor único do desempenho dado pelo índice de redução sonora ponderado, R_w , e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

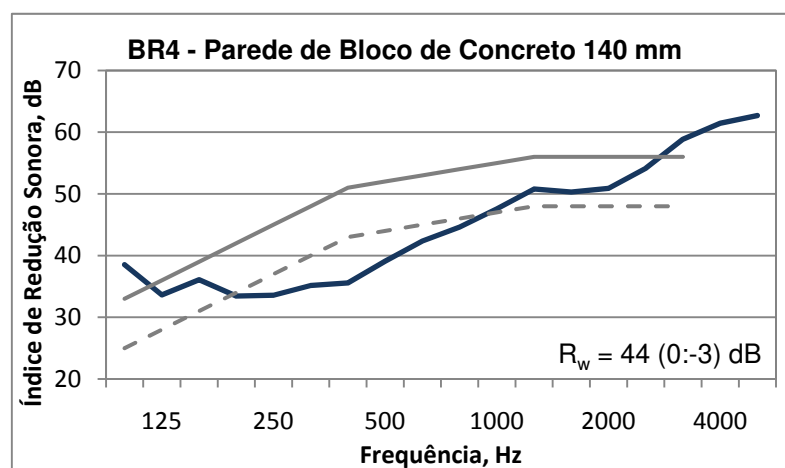


Figura 7.8: BR4 - Resultados do desempenho avaliado em laboratório.

O resultado do teste de isolamento mostra que a parede, para fins de geminação, não atende ao critério da norma ABNT NBR 15575-4 (2008). Essa norma define como critério mínimo de desempenho em laboratório o valor de $R_w = 45$ dB. Se este resultado estivesse sendo avaliado sob o ponto de vista do critério de outros países que consideram os coeficientes de adaptação do espectro, a avaliação final não seria alterada, continuaria não atendendo ao critério da norma, visto que o valor de $C = 0$ dB mantém o valor de R_w em 44 dB e, em baixas frequências o desempenho da parede cairia para 41 dB ($C_{tr} = -3$ dB).

7.1.1.4 BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura

Uma parede composta por blocos cerâmicos com espessura de 115 mm, comprimento de 390 mm e altura de 190 mm, rebocada com 15 mm de argamassa em cada face foi submetida ao teste de isolamento sonora. As fotos das Figuras 7.9, 7.10 e 7.11 apresentam, respectivamente, a amostras dos blocos utilizados na construção, a montagem da parede e o posicionamento da parede entre-câmaras para o teste de isolamento sonora.

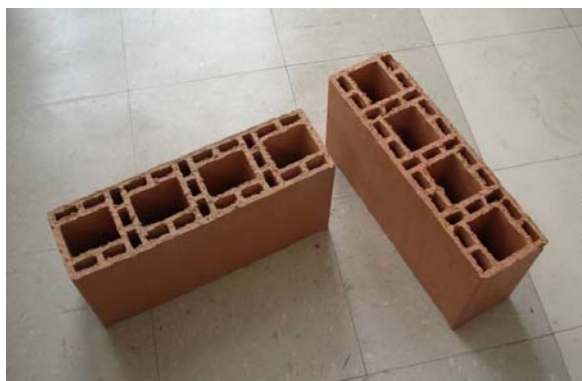


Figura 7.9: Amostra dos blocos utilizados na confecção da parede para o teste de isolamento sonora.



Figura 7.10: Montagem da parede para o teste de isolamento sonora. As juntas verticais e horizontais foram cuidadosamente preenchidas com argamassa.



Figura 7.11: Parede rebocada posicionada para o teste de isolamento sonora.

Mais uma vez, nota-se o cuidado na montagem da parede, especificamente, no preenchimento das juntas com argamassa (*vide* Figura 7.10). Posteriormente, a parede foi rebocada com 15 mm de argamassa, em cada face.

A avaliação do desempenho em laboratório obtido por meio do teste de isolamento sonora, R , resultou no índice de redução sonora ponderado e nos respectivos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , em $R_w = 37$ (0;-3) dB. A Figura 7.12 apresenta o gráfico com os valores do índice de redução sonora por faixa de frequência.

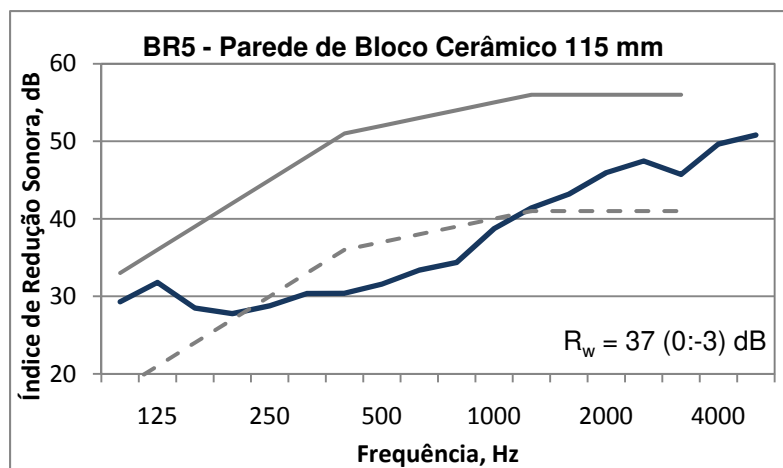


Figura 7.12: BR5 - Resultados do desempenho avaliado em laboratório.

Verifica-se que esta parede, com uso de parede de geminação entre unidades habitacionais em edifícios residenciais, não atenderia ao critério da norma ABNT NBR 15575-4 (2008), que define o critério mínimo para esta condição como $R_w = 45 \text{ dB}$.

7.1.1.5 BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura

Uma parede composta por blocos cerâmicos com espessura de 140 mm, comprimento de 390 mm e altura de 190 mm, e reboco de 15 mm em cada face foi construída para a avaliação da isolamento sonora, nas dependências do IPT. As Figuras 7.13, 7.14 e 7.15 apresentam, respectivamente, dos blocos utilizados na construção da parede, a construção da parede em si e o posicionamento da parede entre-câmaras para a realização do teste. amostras dos blocos utilizados na construção da parede.



Figura 7.13: Amostras dos blocos utilizados na confecção da parede para o teste de isolamento sonora.



Figura 7.14: Montagem da parede no pórtico do laboratório.



Figura 7.15: Parede na câmara reverberante, para o teste de isolamento sonora.

O preenchimento das juntas verticais e horizontais foi realizado cuidadosamente, a fim de evitar a existência de frestas que pudessem prejudicar o desempenho da parede.

O gráfico da Figura 7.16 apresenta o resultado do teste realizado em laboratório, onde se obtém o valor do índice de redução sonora, R , em função da frequência, o valor do índice de redução sonora ponderado, R_w , como número único de isolamento, e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

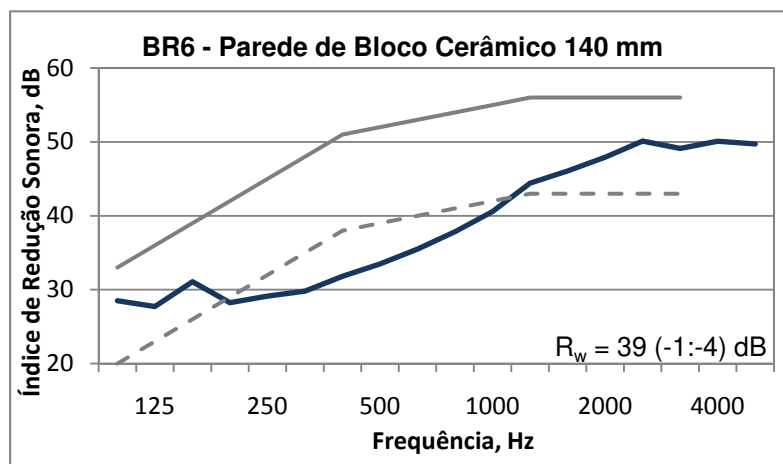


Figura 7.16: BR6 - Resultados da avaliação do desempenho em laboratório.

Tendo em vista a finalidade da parede avaliada em laboratório, como geminação entre unidades habitacionais em edifícios residenciais, o resultado do teste de isolamento sonora apresenta um valor de índice de redução sonora ponderado inferior ao critério mínimo de desempenho, de $R_w = 45 \text{ dB}$, dado pela parte 4 da norma ABNT NBR 15575, de 2008. A inclusão dos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , torna o critério ainda mais rigoroso, reduzindo o valor de R_w para 38 dB ($C = -1 \text{ dB}$) e para 35 dB ($C_{tr} = -4 \text{ dB}$), respectivamente.

7.1.1.6 PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura

Entre os testes realizados em laboratório por Pião (2007), em Portugal, encontra-se o da parede de tijolos cerâmicos, com espessura de 110 mm, comprimento de 300 mm e altura de 200 mm, com espessura do reboco de 20 mm, colocado nas duas faces. Segundo Pião, a parede está isolada estruturalmente, de modo que sejam minimizadas as transmissões pela estrutura (*flanking transmission* ou transmissões marginais).

O teste foi realizado conforme os procedimentos da norma ISO 140-3 (1995) e resultou num índice de redução sonora ponderado, $R_w = 43 (-1;-5)$. O gráfico da Figura 7.17 apresenta a curva do índice de redução sonora, R , por faixa de frequência na banda de 1/3 de oitava (linha contínua mais escura). Em complemento, são apresentados o valor único de isolamento, dado pela ponderação do índice de redução sonora, R_w , e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

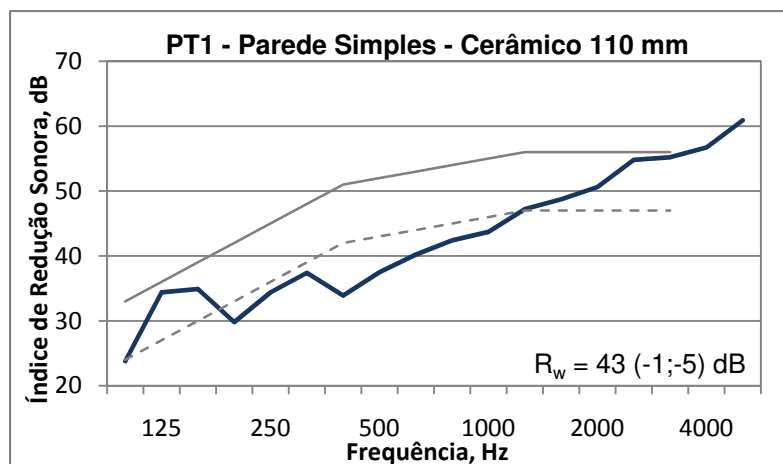


Figura 7.17: PT1 - Resultados do teste de isolamento sonora em parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 mm. (Fonte: Adaptado de PIÃO, 2007).

Em Portugal o Decreto-Lei nº 96/2008, diferentemente da norma brasileira, não define critério mínimo para paredes testadas em laboratório. Os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , também não são empregados em Portugal, porém, utilizando-os, verifica-se que essa parede não apresenta bom desempenho com as baixas frequências, pois, com o valor de $C_{tr} = -5 \text{ dB}$, apresentará um valor de desempenho de 38 dB e, sendo utilizada como parede interna, o desempenho cai para 42 dB, que foi o valor de isolamento obtido em campo, como se pode verificar no item 7.1.2.9.

7.1.1.7 PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura

No trabalho de Pião (2007) também estão apresentados os resultados de isolamento sonora em paredes simples de tijolos cerâmicos com espessura de 150 mm, 300 mm de comprimento e 200 mm de altura. A parede foi rebocada em ambas as faces, com 20 mm de argamassa. Os resultados do teste de isolamento sonora dados pelo índice de redução sonora, R , em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava, o respectivo valor ponderado, R_w , complementado pelos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , estão apresentados no gráfico da Figura 7.18.

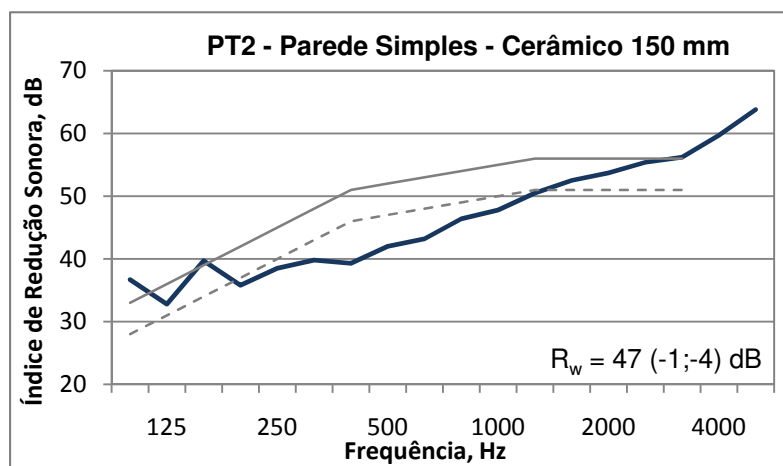


Figura 7.18: PT2 - Resultados do teste de isolamento sonora em parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 150 mm. (Fonte: Adaptado de PIÃO, 2007).

7.1.1.8 PT3 - Paredes duplas com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

Os resultados aqui apresentados referem-se aos testes em laboratório realizados por Pião (2007) em uma parede dupla composta por duas paredes de tijolos cerâmicos com 110 mm e 150 mm de espessura, caixa-de-ar de 50 mm de espessura, parcialmente preenchida com lã de rocha 30 mm e 70 kg/m^3 de densidade volumétrica. A argamassa com espessura de 20 mm foi colocada como reboco em ambas as faces externas. A parede mais fina estava voltada para a câmara de emissão. Os resultados do teste de isolamento sonora estão expostos no gráfico da Figura 7.19, dados pelo índice de redução sonora, R , por faixa de frequência em bandas de 1/3 de oitava, pelo número único de isolamento, dado pelo índice de redução sonora ponderado, R_w , e os valores dos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

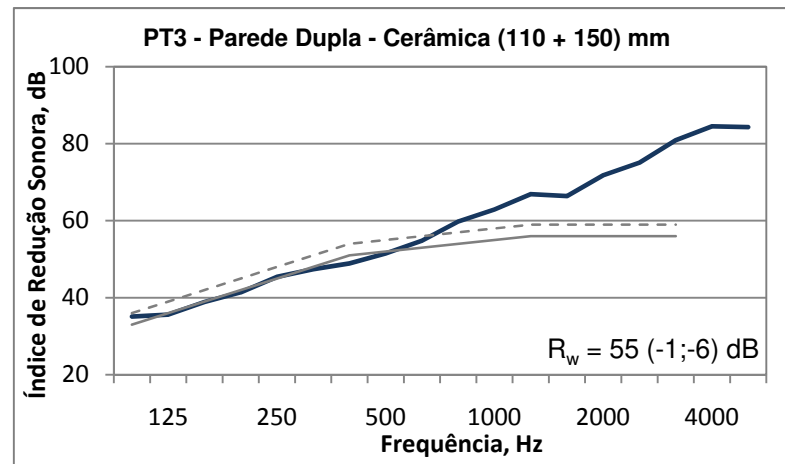


Figura 7.19: PT3 - Resultados do teste de isolamento sonora em parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 e 150 mm. (Fonte: Adaptado de PIAO, 2007).

O valor do desempenho encontrado para a parede em teste realizado em laboratório é alto, superando em 5 dB o critério para isolamento em campo, dado pela legislação portuguesa, que exige $D_{nT,w} = 50 \text{ dB}$.

7.1.2 Desempenho em campo e audibilidade

Foram avaliadas diversas paredes em edifícios residenciais no Brasil e em Portugal. De todas as avaliações foram selecionadas aquelas em que o tempo disponível para realizar as medições permitiu concluir todas as etapas das avaliações objetivas e subjetivas, correspondendo no total de 8 paredes avaliadas no Brasil, sendo que 2 delas foram avaliadas não em edifícios residenciais, porém nas dependências da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, e 5 paredes avaliadas em Portugal, sendo que 2 delas foram em um edifício já habitado e as outras 3 em um edifício vazio, pronto para morar. Desses 5 ambientes portugueses, apenas um deles estava vazio, os demais mobiliados.

Nos próximos itens estão apresentados, além do resultado de desempenho em campo, o cálculo da audibilidade, que deriva dos valores da diferença padronizada de nível, D_{nT} . Similarmente à forma de apresentação dos resultados do desempenho em laboratório, os resultados do desempenho em campo dados pela diferença padronizada de nível por frequência

em banda de 1/3 de oitava são representados no gráfico pela linha contínua em tom mais escuro. A linha contínua em tom mais claro representa a curva de referência dada pela norma ISO 717-1 (1996) para a obtenção do número único de desempenho (diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$) e a linha tracejada representa a curva de referência deslocada.

7.1.2.1 BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

Em campo foram avaliadas duas paredes compostas por bloco de concreto estrutural, com espessura de 190 mm, no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada, LACAF, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Essas paredes são identificadas como BR1-A e BR1-B.

Neste item estão apresentados os resultados referentes à primeira parede, BR1-A, que está situada entre a câmara reverberante e o restante do laboratório. Essa parede, apenas pintada, é composta de blocos de concreto estrutural com 190 mm de espessura, 390 mm de comprimento e 190 mm de altura e não possui porta ou outro orifício.

O gráfico da Figura 7.20 apresenta os resultados do isolamento da parede, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por faixa de frequência em banda de 1/3 de oitava e a ponderação dessa diferença, resultando no número único de desempenho, $D_{nT,w}$, além dos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

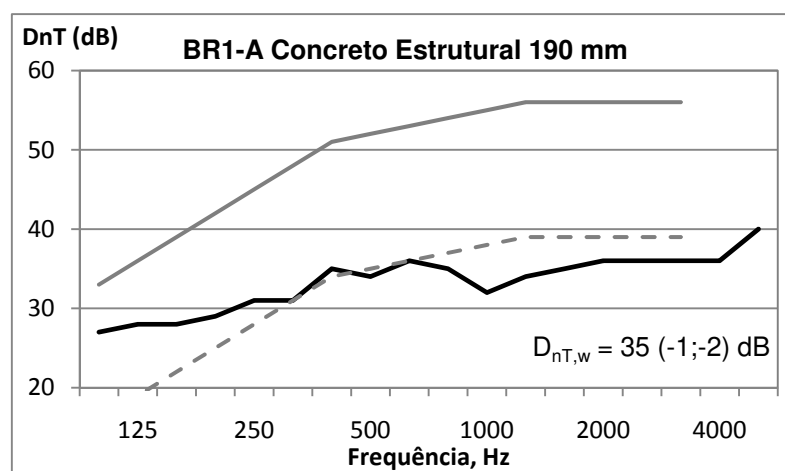


Figura 7.20: BR1-A - Resultados do desempenho da parede em campo.

O valor encontrado para a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$ foi de 35 dB e está abaixo do mínimo exigido pela norma de desempenho, que é 40 dB. As características do bloco criam a expectativa de valores maiores de isolamento. Provavelmente, esse baixo rendimento pode estar associado à montagem deficiente, mais precisamente, na colocação da argamassa, seja nas juntas verticais ou horizontais.

Com o resultado de D_{nT} foi calculado o valor da audibilidade e seu inverso para obter a audibilidade proporcionada pela parede, no ambiente de recepção. O valor encontrado foi de 0,35 sones⁻¹. Quanto maior esse valor, maior a audibilidade e menor é a privacidade e o conforto.

7.1.2.2 BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

A parede BR1-B composta por bloco estrutural de concreto com espessura de 190 mm foi avaliada nas dependências da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Unicamp. Situa-se no interior do LACAF, Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada, separando duas salas de trabalho. As salas de emissão e de recepção apresentam como mobiliário de escritório, apenas uma mesa e poucas prateleiras. As cadeiras foram retiradas para os testes. Essa parede não possui reboco, apenas pintura em ambas as faces.

O resultado da avaliação de desempenho em campo, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por faixa de frequência em banda de 1/3 de oitava e o valor único de isolamento, dado pela diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, estão apresentados no gráfico da Figura 7.21. O valor único do isolamento é apresentado em conjunto com os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

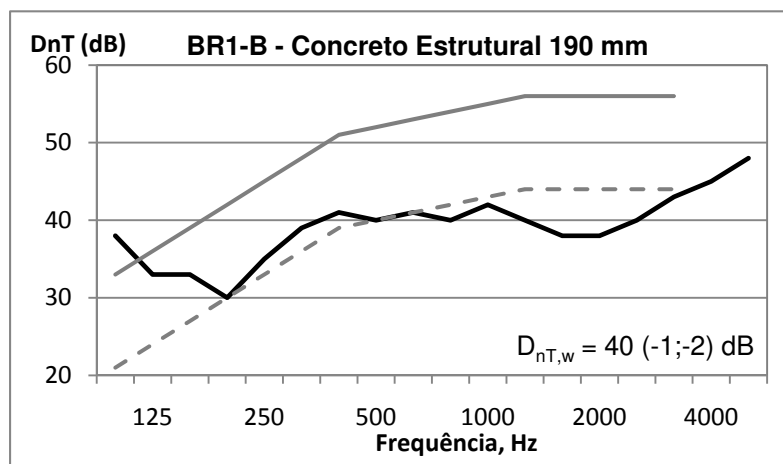


Figura 7.21: BR1-B - Resultados do desempenho da parede em campo.

Confrontando o valor de $D_{nT,w}$ com os critérios da norma ABNT NBR 15575-4 (2008), verifica-se que essa parede os atende, com nível de desempenho mínimo ($D_{nT,w}$ entre 40 e 44 dB, conforme Quadro 5.4). Porém, se a norma de desempenho levasse em consideração os valores dos coeficientes de adaptação do espectro, a parede deixaria de atender ao critério mínimo porque, com $C = -1$ dB, $D_{nT,w}$ se tornaria 39 dB e com $C_{tr} = -2$ dB, $D_{nT,w}$ se tornaria 38 dB, menos eficiente no isolamento de baixas frequências.

O valor da audibilidade proporcionada pela parede e calculada a partir de D_{nT} foi de 0,22 sonos⁻¹. Lembrando que quanto menor esse valor, mais conforto há no ambiente.

7.1.2.3 BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

Duas paredes compostas por blocos de concreto, de vedação, com espessura de 90 mm foram avaliadas em campo, em edifícios diferentes. Na apresentação dos resultados as paredes serão diferenciadas apenas pelas letras A e B. Este item refere-se à primeira das duas paredes.

A parede composta por blocos de concreto com espessura de 90 mm, rebocada com gesso, de espessura entre 7 e 10 mm, em cada face, foi avaliada em um edifício residencial, na zona oeste da cidade de São Paulo. A parede avaliada situa-se entre a sala de estar (ambiente de recepção) e o dormitório adjacente (ambiente de emissão). O resultado da avaliação do desempenho encontra-se no gráfico da Figura 7.22, dado pela diferença padronizada de nível,

D_{nT} , por frequência em banda de 1/3 de oitava e pelo valor único de isolamento, dado pela ponderação dessa diferença, $D_{nT,w}$ e, adicionalmente, o resultado complementado pelos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

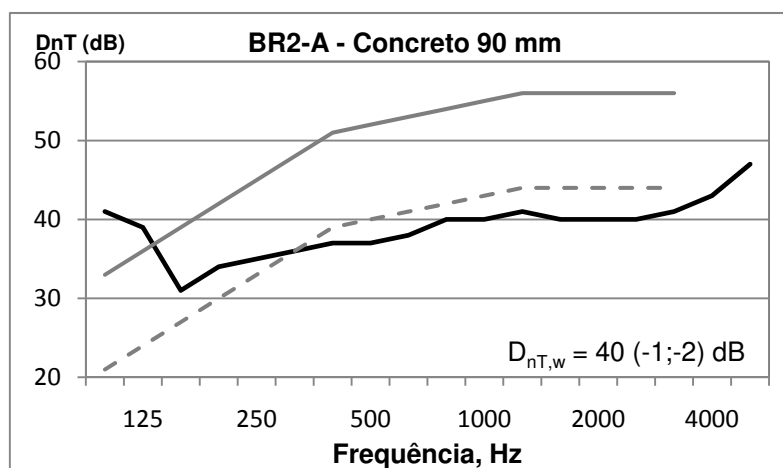


Figura 7.22: BR2-A - Resultados do desempenho da parede em campo.

Se essa parede fosse posicionada entre duas unidades habitacionais independentes, o valor do desempenho atenderia aos critérios dados pela norma brasileira ABNT NBR 15575-4 (2008), e seria classificada com nível de desempenho mínimo. Se os coeficientes de adaptação do espectro fossem considerados na norma brasileira, o valor do isolamento cairia para 39 e 38 dB, respectivamente para C e C_{tr} , mostrando que o desempenho da parede é ainda mais deficiente para as baixas frequências. Levando em consideração os coeficientes de adaptação do espectro, a parede não atenderia aos critérios da norma.

O valor da audibilidade proporcionada pela parede BR2-A e calculada a partir de D_{nT} resulta em $0,24 \text{ sones}^{-1}$.

7.1.2.4 BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

A parede BR2-B é a segunda parede composta de bloco de concreto de vedação, com espessura de 90 mm, foi avaliada em um prédio na zona sul de São Paulo; situa-se entre dois dormitórios e é rebocada com gesso, de espessura entre 7 e 10 mm, em ambas as faces, segundo

informações do engenheiro responsável. O gráfico da Figura 7.23 apresenta o resultado da avaliação do desempenho em campo, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por faixa de frequência. Adicionalmente, no gráfico pode-se conferir o valor único do desempenho dado pela diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

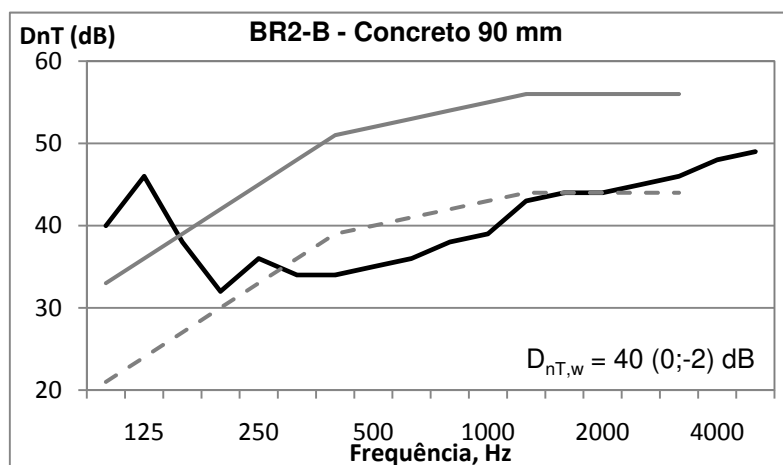


Figura 7.23: BR2-B - Resultados do desempenho da parede em campo.

Se essa parede for posicionada entre duas unidades habitacionais independentes, como parede de geminação, o valor do desempenho atende ao critério dado pela norma brasileira ABNT NBR 15575-4 (2008), sendo classificada com nível de desempenho mínimo, que corresponde ao valor de $D_{nT,w}$ entre 40 e 44dB. Porém, levando em consideração os valores dos coeficientes de adaptação do espectro, verifica-se uma deficiência nas baixas frequências (pelo valor de $C_{tr} = -2$ dB), resultando no desempenho de 38 dB; valor este, que não atende a norma.

Com os valores de D_{nT} foi feito o cálculo da audibilidade proporcionada pela parede; esse valor foi de $0,20 \text{ sones}^{-1}$. Este resultado é melhor, em termos de conforto e privacidade, do que o encontrado para a parede BR2-A, que foi $0,24 \text{ sones}^{-1}$.

7.1.2.5 BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura

A parede composta por blocos de concreto de 115 mm de espessura foi avaliada em um prédio residencial também situado na zona oeste de São Paulo. A parede foi rebocada com gesso em ambas as faces, com espessura entre 7 e 10 mm. O ambiente de emissão foi um quarto e o ambiente de recepção, a sala de estar. O gráfico da Figura 7.24 apresenta o resultado do desempenho, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por faixa de frequência em banda de 1/3 de oitava. Como complemento, é apresentado o valor único de isolamento dado pela ponderação da diferença padronizada de nível, $D_{nT,w}$, e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

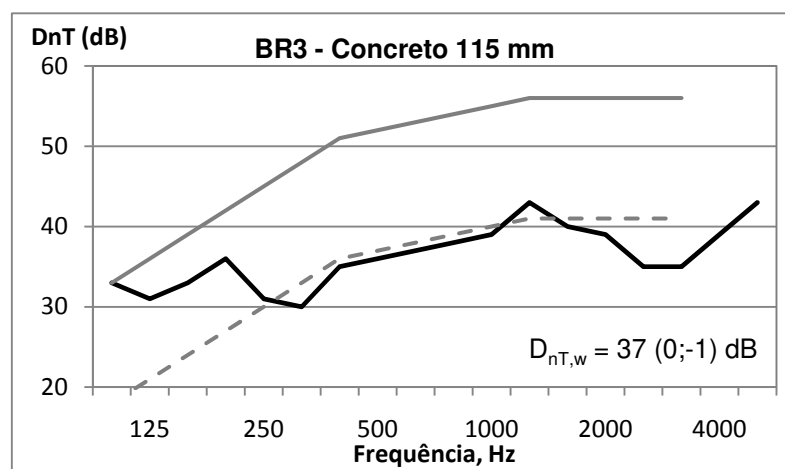


Figura 7.24: BR3 - Resultados do desempenho da parede em campo.

O resultado do desempenho em campo da parede não atende ao critério da norma ABNT NBR 15575-4 (2008), que define como critério mínimo, o valor de $D_{nT,w} = 40$ dB.

O valor da audibilidade, proporcionada pela parede e calculada a partir de D_{nT} resulta em $0,30$ sonos⁻¹. Esse é o maior valor até agora encontrado.

7.1.2.6 BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura

A parede composta por blocos de concreto de 140 mm de espessura e reboco de gesso com espessura entre 7 e 10 mm foi avaliada em um edifício habitacional, localizado na zona sul

de São Paulo. A parede situa-se entre o dormitório *master* (ambiente de recepção) e o dormitório adjacente, tido como opcional (ambiente de emissão). O gráfico da Figura 7.25 mostra o resultado obtido da avaliação de desempenho, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , além de sua ponderação, $D_{nT,w}$, resultando no valor único de isolamento e, adicionalmente, os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

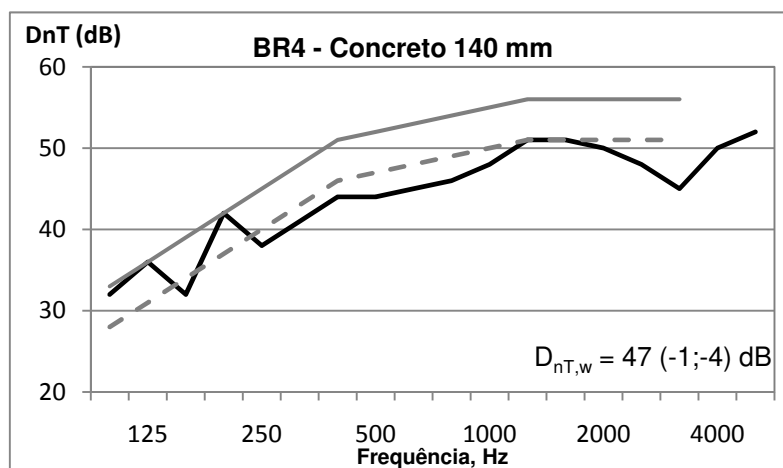


Figura 7.25: BR4 - Resultados do desempenho da parede em campo.

O resultado do teste de isolamento mostra que a parede, para fins de geminação, atende ao critério da norma ABNT NBR 15575-4 (2008), com nível de desempenho intermediário. Este é o melhor valor encontrado até o momento. Se este resultado estivesse sendo avaliado segundo o critério de outros países que consideram os coeficientes de adaptação do espectro, ainda atenderia ao critério da norma, visto que com o valor de $C = -1$ dB ter-se-ia, $D_{nT,w} = 46$ dB, dentro do nível intermediário de desempenho. Há, porém, uma deficiência no isolamento em baixas frequências, resultando no desempenho de 43 dB ($D_{nT,w}$ subtraído C_{tr}) fazendo com que o nível de desempenho caia para o mínimo, porém, ainda atenderia a norma.

Dos valores de D_{nT} obtém-se a audibilidade proporcionada pela parede, cujo valor foi de $0,16 \text{ sones}^{-1}$. Até o momento é o menor valor de audibilidade obtido, o que representa boa condição para o conforto e privacidade.

7.1.2.7 BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura

Tem-se o conhecimento de que paredes compostas por blocos cerâmicos de espessura de 90 mm são utilizadas por construtoras como elemento de separação entre unidades habitacionais. Infelizmente, não houve a oportunidade de encontrar um edifício com tal sistema construtivo onde fosse possível realizar as medições. A menor espessura de parede composta por blocos cerâmicos, sem argamassa, encontrada em campo foi de 115 mm.

A parede composta por blocos cerâmicos com espessura de 115 mm foi avaliada em um prédio residencial na zona sul de São Paulo e está situada entre dois dormitórios. A avaliação do desempenho acústico em campo resultou na diferença padronizada de nível ponderada e nos coeficientes de adaptação do espectro igual a $D_{nT,w} = 37$ (-1;-1) dB. Os valores da diferença padronizada de nível, D_{nT} em função da frequência são apresentados na Figura 7.26.

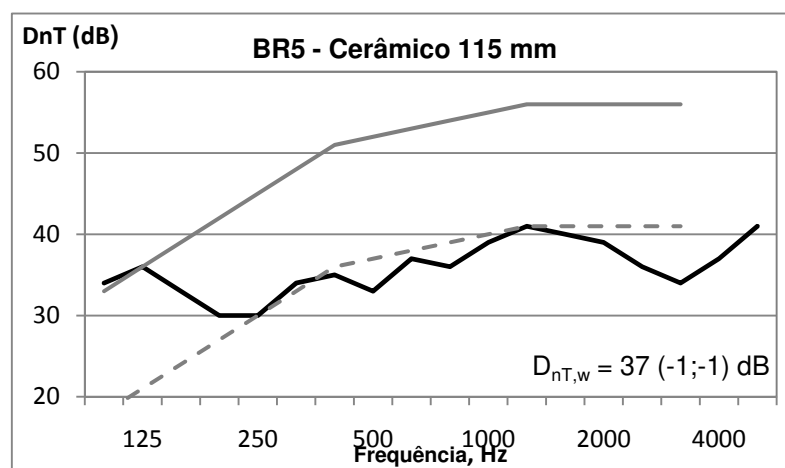


Figura 7.26: BR5 - Resultados do desempenho da parede em campo.

O teste de isolamento em campo resultou em valor de desempenho inferior ao critério para desempenho mínimo, dado pela norma ABNT NBR 15575-4 (2008), que é $D_{nT,w} = 40$ dB para parede de geminação, entre unidades habitacionais em edifícios residenciais.

Visto que o valor de $D_{nT,w}$ não é considerado bom, a audibilidade, que é calculada a partir de D_{nT} também não foi considerada satisfatória; seu valor foi $0,24 \text{ sones}^{-1}$.

É interessante notar que tanto a parede BR5 como a parede BR3, que têm em comum a espessura do bloco em 115 mm, não atenderam ao critério da norma ABNT NBR 15575-4 (2008), e as paredes BR2-A e BR2-B, que apresentam espessura menor (90 mm), atenderam ao critério mínimo da norma. O procedimento da construção é um fator importante no resultado do desempenho, como já foi mencionado. Somente esse fator, porém, não seria justificativa para os resultados obtidos, diante do número de paredes independentes avaliadas. A Lei das Massas, entretanto, não foi aqui invalidada. Além da massa há outros fatores que influenciam no desempenho das paredes, como por exemplo, a rigidez, amortecimento interno, frequência crítica, ressonância⁵⁵. Cada material tem uma frequência crítica a partir da qual a rigidez passa a ser responsável pelo desempenho em detrimento da massa. Esse tipo de comportamento pode ser uma provável razão por tal diferença nessas paredes.

7.1.2.8 BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura

A parede composta por blocos cerâmicos de vedação com espessura de 140 mm foi o sistema construtivo mais comumente encontrado em edifícios residenciais, como elemento de separação entre unidades habitacionais. No decorrer do trabalho foram avaliadas inúmeras paredes com esses blocos. No item 7.5 são apresentados resultados de isolamento de outras paredes similares.

Em campo, uma parede composta por blocos cerâmicos com espessura de 140 mm, rebocada com gesso com espessura entre 7 e 10 mm em ambas as faces, foi avaliada em um prédio residencial na zona sul de São Paulo. A parede situa-se entre a sala de estar (ambiente de recepção) e um dormitório (ambiente de emissão). O gráfico da Figura 7.27 apresenta o resultado da avaliação do desempenho acústico, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por faixa de frequência em banda de 1/3 de oitava. Em acréscimo é apresentado o valor único do isolamento, dado pela diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

⁵⁵ Para mais informações o leitor pode consultar Bistafa(2006), Paixão(2002), Patrício(2007), entre outros.

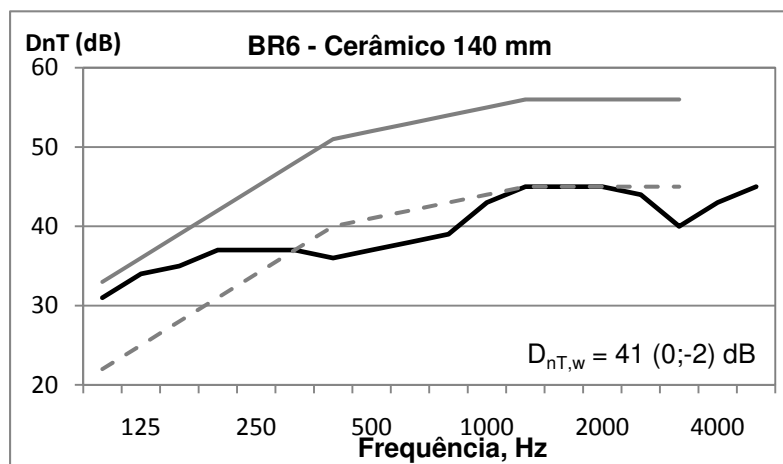


Figura 7.27: BR6 - Resultados do desempenho da parede em campo.

O resultado do desempenho em campo mostra que a parede, com uso como parede de geminação entre unidades habitacionais em edifícios residenciais, atende ao critério de desempenho mínimo definido pela norma ABNT NBR 15575-4 (2008), que define a faixa para o critério mínimo para $D_{nT,w}$ entre 40 e 45 dB. Se o valor do desempenho for analisado com os coeficientes de adaptação do espectro, tornando o critério mais rigoroso, verifica-se que a parede apresenta uma deficiência no isolamento de baixas frequências, visto que $C_{tr} = -2$ dB e, portanto, o desempenho cai para 39 dB. Esse valor não atenderia a norma.

A audibilidade proporcionada pela parede, foi calculada a partir de D_{nT} e resultou em $0,24 \text{ sones}^{-1}$.

7.1.2.9 PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura

A parede simples com tijolos cerâmicos de vedação e espessura de 110 mm foi avaliada em um edifício relativamente antigo, construído no início da década de 90. Situada entre dois dormitórios, a parede apresenta reboco de argamassa de 20 mm em cada face, conforme informação da construtora, totalizando a espessura em 150 mm.

Os resultados da avaliação do desempenho dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por frequência em banda de 1/3 de oitava e a respectiva ponderação, $D_{nT,w}$, estão

apresentados no gráfico da Figura 7.28. Também são apresentados os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

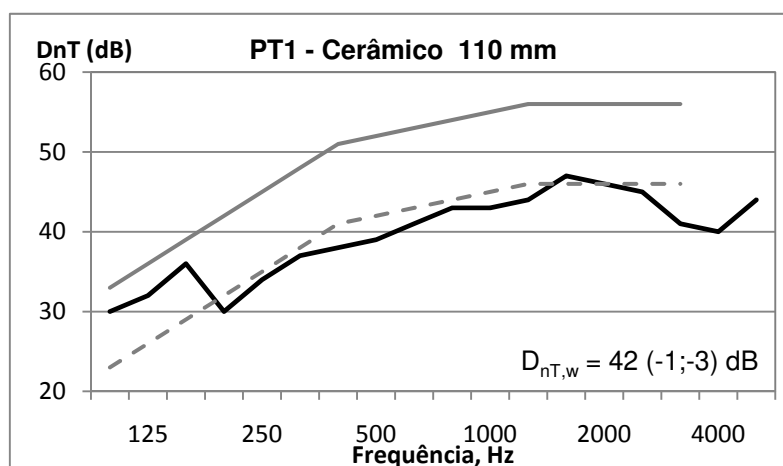


Figura 7.28: PT1 - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 mm.

A parede avaliada em campo não atende ao atual critério português, dado pelo Decreto-Lei nº 96/2008 (PORTUGAL, 2008), onde define $D_{nT,w} = 50$ dB. Porém, é importante lembrar que o prédio foi construído no início da década de 90, antes de o Decreto-Lei entrar em vigor. Nessa época, não havia o rigor no atendimento ao critério de desempenho acústico como há hoje e os parâmetros utilizados eram diferentes.

A audibilidade calculada a partir de D_{nT} , para a parede PT1 resultou em $0,24 \text{ sones}^{-1}$.

7.1.2.10 PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura

A parede PT2 também foi avaliada no mesmo prédio com cerca de 20 anos. A parede é comum a dois apartamentos adjacentes, dividindo a sala, entre eles. Essa parede foi também rebocada com 20 mm de argamassa em cada face. O gráfico da Figura 7.29 apresenta o resultado do teste de isolamento em campo, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , em frequências de 1/3 de oitava, sua ponderação, $D_{nT,w}$, e os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

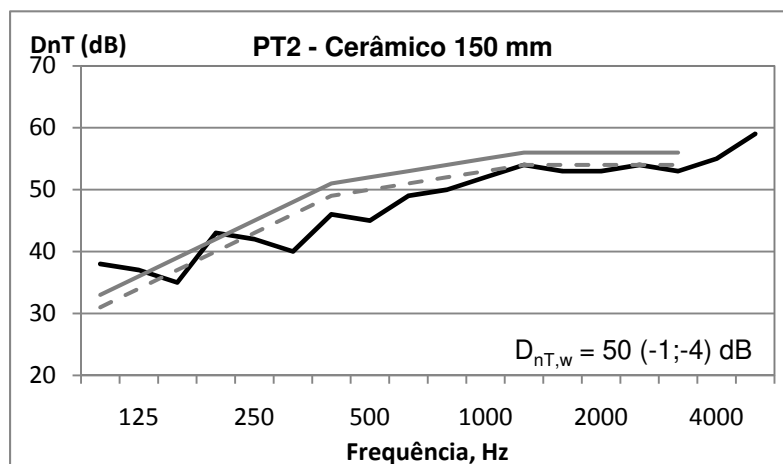


Figura 7.29: PT2 - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 150 mm.

Esse resultado de D_{nT} quando comparado com o critério do Decreto-Lei nº 96/2008 (PORTUGAL, 2008), mostra que essa parede atende ao critério português atual. O resultado do teste em laboratório, apresentado no item 7.1.1.7, não se aproximou do resultado obtido em campo. A diferença aumenta mais se considerar o coeficiente de adaptação do espectro para uso da parede testada em laboratório, como parede interna em edificação, fazendo $R_w - C = 46 \text{ dB}$.

A audibilidade obtida a partir de D_{nT} para a parede PT2 foi de $0,19 \text{ sones}^{-1}$.

7.1.2.11 PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

Os resultados apresentados neste e no próximo item referem-se às duas paredes duplas compostas por tijolos cerâmicos com 110 mm e 150 mm, sendo que em uma delas, a parede situa-se entre duas unidades habitacionais, mais precisamente, entre dois halls de entrada e é identificada por PT3-A. A segunda parede avaliada situa-se entre a sala de estar e a escadaria do prédio, identificada por PT3-B.

A parede testada por Pião (2007) em laboratório é similar à parede avaliada em campo. Em campo, as paredes avaliadas são compostas por uma parede simples de 110 mm, um vão de ar de 40 mm e outra parede simples de 150 mm. As duas paredes simples são rebocadas com argamassa na face externa com espessura de 20 mm e na face interna com espessura de 15 mm. O

vão de ar é preenchido com poliestireno com espessura de 30 mm. A parede PT3-A apresenta a caixa de luz, de um apartamento e do outro, na mesma altura e simetricamente em faces opostas. Isso pode acarretar numa diminuição do desempenho da parede, visto que as caixas são compostas por material menos denso do que a alvenaria da parede.

O resultado do desempenho acústico em campo obtido para essa primeira parede está apresentado no gráfico da Figura 7.30 e é dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por frequência em bandas de 1/3 de oitava. Acrescenta-se o valor único do desempenho, dado pela ponderação da diferença padronizada de nível, $D_{nT,w}$, e, como complementação, os valores dos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} .

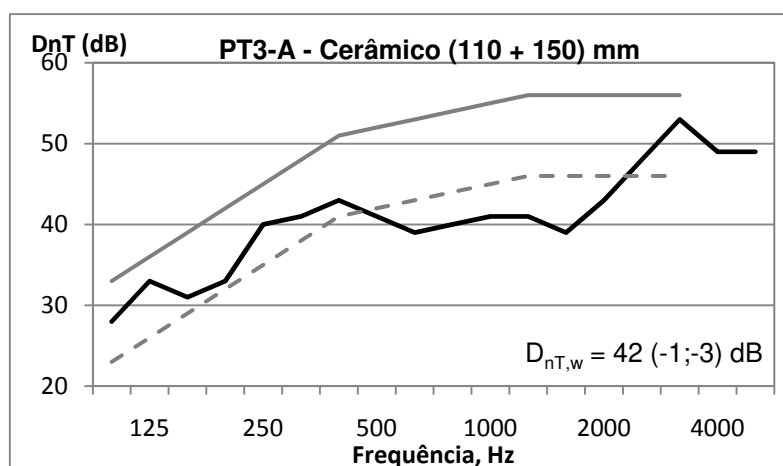


Figura 7.30: PT3-A - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 + 150 mm.

Os resultados do desempenho obtido para essa parede em campo mostram que essa parede não atende o critério do Decreto-Lei nº 96/2008 (PORTUGAL, 2008), que define como valor mínimo a ser atendido, $D_{nT,w} = 50$ dB.

A audibilidade proporcionada pela parede e calculado com base nos valores de D_{nT} foi de 0,12 sones⁻¹.

7.1.2.12 PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

A segunda parede dupla avaliada e denominada PT3-B está situada entre a sala de estar e a escadaria de acesso aos apartamentos. Esta segunda parede dupla avaliada apresenta, na face voltada para a escada, diversas caixas (caixas de luz, armazenamento de mangueira contra incêndio, gás, etc.), que podem resultar na diminuição do valor do desempenho. A face voltada para a sala não apresenta tais caixas. Os resultados do desempenho dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , sua ponderação para visualização do número único de isolamento, $D_{nT,w}$, além dos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , estão apresentados no gráfico da Figura 7.31.

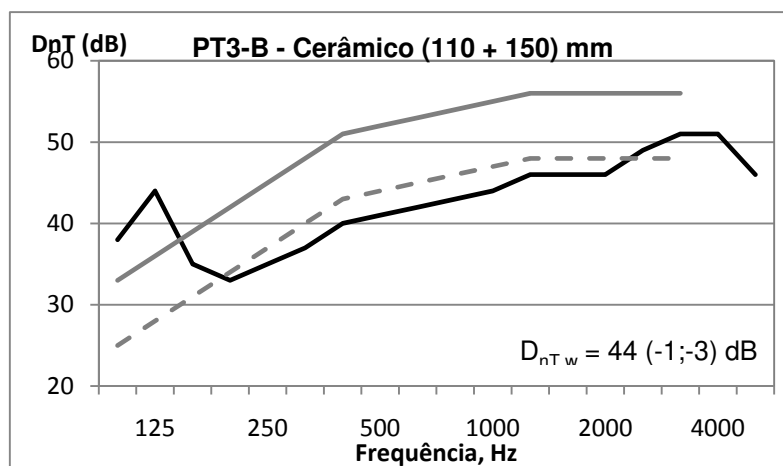


Figura 7.31: PT3-B - Resultados do desempenho em campo, de parede composta por tijolos cerâmicos, com espessura de 110 + 150 mm.

Este resultado confrontado com o Decreto-Lei nº 96/2008 (PORTUGAL, 2008) mostra que essa parede não atenderia ao critério português definido como $D_{nT,w} = 50$ dB, caso essa parede fosse posicionada com a finalidade de geminação entre unidades habitacionais. Como o uso está sendo entre unidade habitacional e locais de circulação, o critério dado pelo documento português é $D_{nT,w} = 48$ dB. Verifica-se também que nessa condição, a parede avaliada também não atende ao critério.

Dos valores de D_{nT} obtém-se a audibilidade que, nesta avaliação, resultou em 0,17 sones⁻¹.

7.1.2.13 Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio)

Uma terceira parede dupla, identificada como PT3-C, foi avaliada em campo, no mesmo edifício onde foram avaliadas as outras paredes duplas.

A parede PT3-C é composta por duas folhas, sendo uma de tijolos cerâmicos de 110 mm e outra de 150 mm e espaçamento de ar de 40 mm, similar às paredes PT3-A e PT3-B. Situa-se entre a sala de estar e as escadarias da edificação, de igual modo à parede PT3-B. Na face voltada para a escadaria havia menor número de caixas do que ocorre na situação da parede PT3-B, porém, as caixas apresentam área maior. No lado interno da sala de estar, não havia caixas.

O ambiente de recepção avaliado cujos resultados foram apresentados no item 7.1.2.12, estava devidamente mobiliado pois, estava inserido no apartamento modelo. Um outro ambiente, com mesmas dimensões, porém, sem mobília alguma, foi avaliado parcialmente, isto é, somente foram concluídas as medições objetivas. Neste item são apresentados os resultados comparativos do desempenho da parede PT3-B, onde o ambiente de recepção estava mobiliado, com a parede denominada PT3-C, onde o ambiente de recepção, com as mesmas dimensões, encontrava-se vazio.

Os resultados do teste de desempenho em campo das paredes PT3-B e PT3-C estão apresentados nos gráficos das Figuras 7.32 e 7.33.

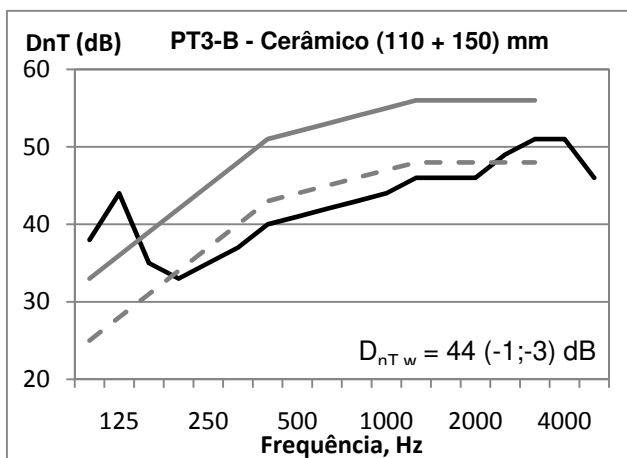


Figura 7.32: Desempenho em campo da parede PT3-B.

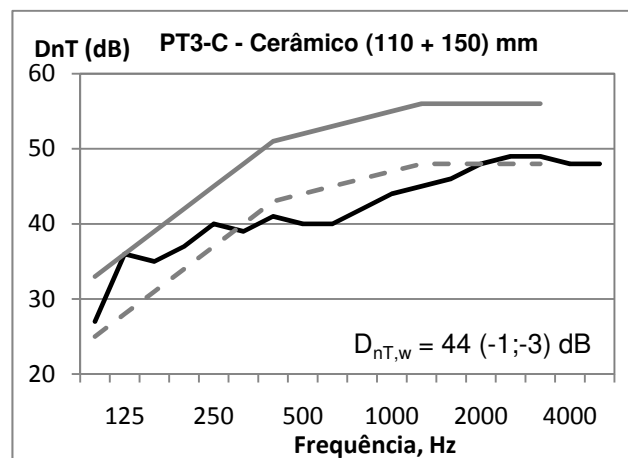


Figura 7.33: Desempenho em campo da parede PT3-C.

Coincidentemente, a parede PT3-C apresenta o mesmo valor único de isolamento, do que a parede PT3-B, $D_{nT,w} = 44$ dB e inclusive os valores dos coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} , -1 e -3, respectivamente. Interessante verificar que, embora a parede PT3-C, do lado da escadaria, apresente um número bem menor de caixas do que a parede PT3-B, por serem de maior área, há a compensação.

A audibilidade proporcionada pelas paredes apresentaram valores muito próximos, sendo $0,17 \text{ sones}^{-1}$ para PT3-B e $0,18 \text{ sones}^{-1}$ para PT3-C.

7.1.3 Resumo dos resultados do desempenho e avaliação

Para facilitar a visualização e para comparação dos resultados obtidos para o desempenho das partições, para o isolamento do ruído aéreo, foram construídas as tabelas resumindo os principais resultados.

A Tabela 7.3, apresenta resumidamente os resultados do desempenho das paredes avaliadas em laboratório, no Brasil, e a análise conforme critério dado pela norma ABNT NBR 15575-4 (2008) para parede com a finalidade de geminação, cujo critério mínimo é $R_w = 45$ dB.

Tabela 7.3 – Resumo dos resultados de desempenho realizados em laboratório

Identificação	Descrição da parede (laboratório) Material e espessura+reboco	$R_w(C;C_{tr})$ (dB)	Critério – atende/não atende	
BR2-A	Concreto vedação 90mm + 30 mm argamassa	40(-1;-4) ⁵⁶	Não atende	X
BR2-B	Concreto vedação 90mm + 30 mm argamassa	40(-1;-4) ⁵⁷	Não atende	X
BR3	Concreto vedação 115mm + 30 mm argamassa	40(-1;-4)	Não atende	X
BR4	Concreto vedação 140mm + 30 mm argamassa	44(0;-3)	Não atende	X
BR5	Cerâmico vedação 115mm + 30 mm argamassa	37(0;-3)	Não atende	X
BR6	Cerâmico vedação 140mm + 30 mm argamassa	39(-1;-4)	Não atende	X

A Tabela 7.4, apresenta resumidamente os resultados do desempenho das paredes avaliadas em campo, no Brasil, e análise conforme critério dado pela norma ABNT NBR 15575-4 (2008), para parede com finalidade de geminação, cujo critério mínimo é $D_{nT,w} = 40$ dB.

Tabela 7.4 - Resumo dos resultados de desempenho realizados em campo

Identificação	Descrição da parede (campo) Material e espessura+reboco	$D_{nT,w}(C;C_{tr})$ (dB)	Critério – atende/não atende	
BR1-A	Concreto estrutural 190mm + pintura	35(-1;-2)	Não atende	X
BR1-B	Concreto estrutural 190mm + pintura	40(-1;-2)	Atende ao critério de nível de desempenho mínimo	V
BR2-A	Concreto vedação 90mm + 7 a 10 mm gesso	40(-1;-2)	Atende ao critério de nível de desempenho mínimo	V
BR2-B	Concreto vedação 90mm + 7 a 10 mm gesso	40(0;-2)	Atende ao critério de nível de desempenho mínimo	V

(continua)

⁵⁶ Resultado obtido da literatura (BARRY, 2005).⁵⁷ Idem.

(continuação)

BR3	Concreto vedação 115mm + 7 a 10 mm gesso	37(0;-1)	Não atende	X
BR4	Concreto vedação 140mm + 7 a 10 mm gesso	47(-1;-4)	Atende ao critério de nível de desempenho intermediário	V
BR5	Cerâmico vedação 115mm + 7 a 10 mm gesso	37(-1;-1)	Não atende	X
BR6	Cerâmico vedação 140mm + 7 a 10 mm gesso	41(0;-2)	Atende ao critério de nível de desempenho mínimo	V

Das oito paredes avaliadas apenas três não atenderam ao critério mínimo da norma ABNT NBR 15575 (2008) e, apenas uma superou o nível mínimo, chegando ao nível intermediário.

A Tabela 7.5 resume os resultados do desempenho das paredes avaliadas em campo, em Portugal, e análise conforme critério português dado pelo Decreto-Lei nº 96/2008 (PORTUGAL, 2008), cujo valor a ser atendido é $D_{nT,w} = 50$ dB.

Tabela 7.5 - Resumo dos resultados obtidos em Portugal

Identificação	Descrição da parede Material e espessura+reboco	$D_{nT,w}(C;C_{tr})$ (dB)	Critério – atende/não atende	
PT1	Cerâmico vedação 110mm + 40mm argamassa	42(-1;-3)	Não atende	X
PT2	Cerâmico vedação 150mm + 40mm argamassa	50(-1;-4)	Atende	V
PT3-A	Cerâmico vedação (110+150)mm + 70mm argamassa	42(-1;-3)	Não atende	X
PT3-B	Cerâmico vedação (110+150)mm + 70mm argamassa	44(-1;-3)	Não atende	X
PT3-C	Cerâmico vedação (110+150)mm + 70mm argamassa	44(-1;-3)	Não atende	X

Apenas uma parede atendeu ao critério português e justamente o tipo de parede cujo prédio foi construído no início dos anos 90, quando não havia o rigor para obter desempenho mínimo em edificações como há atualmente.

7.2 Avaliação objetiva - inteligibilidade da fala

Continuando com a avaliação objetiva, são apresentados neste item os resultados relativos à avaliação da inteligibilidade da fala e estão subdivididos de forma a verificar a influência do desempenho da parede e do ambiente de recepção sobre a percepção das sentenças emitidas por voz masculina e feminina.

No item 7.2.1, estão apresentados os resultados comparativos do desempenho da parede, dado por meio da diferença padronizada de nível, D_{nT} , e da relação sinal-ruído, SNR, sobre a percepção das sentenças proferidas por voz feminina e masculina; o item 7.2.2 apresenta a comparação entre a reverberação do ambiente, dado por T_{20} , e a sensação subjetiva dessa reverberação (avaliada objetivamente), dada pelo *early decay time*, EDT; no terceiro item, 7.2.3, estão apresentados os resultados da definição, D_{50} . Esses resultados são dados por faixa de frequência em banda de 1/1 oitava. E, finalmente, no item 7.2.4 são apresentados os resultados do índice de transmissão da fala, STI, o seu complemento, dado pela privacidade, Pr , e a percentagem da perda de articulação das consoantes, %ALC.

7.2.1 Comparação entre D_{nT} e SNR

Como foi mencionado, neste item é apresentada uma comparação entre a diferença padronizada de nível, D_{nT} , e a relação sinal-ruído, SNR. O favorecimento da inteligibilidade das sentenças emitidas pela voz feminina ou voz masculina dependerá da frequência em que ocorre, simultaneamente, os menores valores de D_{nT} , e os maiores valores de SNR. Esta avaliação foi feita por faixa de frequência em banda de 1/1 oitava.

7.2.1.1 BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.34 apresenta uma comparação entre os valores de D_{nT} e a relação sinal-ruído, SNR, nas três condições de reverberação do ambiente de emissão, indicado no gráfico pela quantidade de material absorvedor. Com essa comparação, pode-se fazer uma previsão sobre a melhor inteligibilidade das sentenças proferidas no ambiente de emissão, por voz masculina e feminina.

Como informação adicional, o nível do ruído de fundo medido, L_{B2} , no ambiente de recepção, foi de $L_{B2} = 39$ dB. Este foi o valor utilizado nos cálculos do desempenho da parede e na avaliação objetiva da inteligibilidade. O valor do nível do ruído de fundo ponderado em A é $L_{AB2} = 28$ dB(A). Este valor corresponde à sensação subjetiva do ruído de fundo.

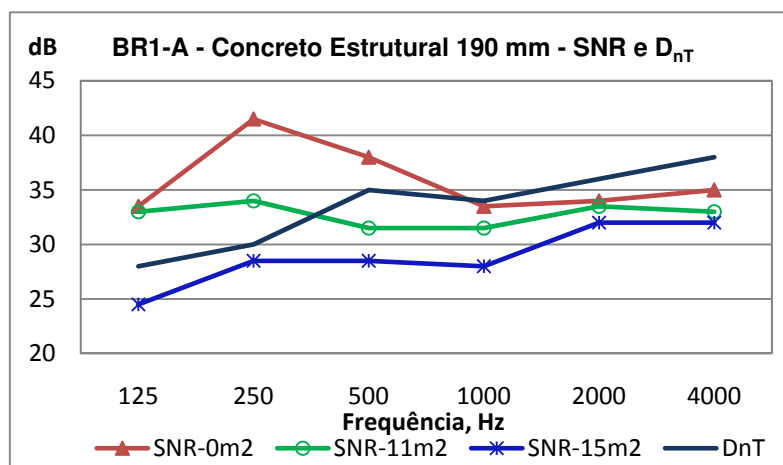


Figura 7.34: BR1-A - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

É interessante verificar que a reverberação interfere na relação sinal-ruído e, conseqüentemente, na inteligibilidade. Sem material absorvedor no ambiente de emissão (SNR - 0 m²), a expectativa é que a inteligibilidade seja maior com a voz masculina, visto que nas baixas frequências, predominante na voz masculina, o desempenho da parede é menor e a relação sinal-ruído é maior. O mesmo acontece com 11 m² de material absorvedor (SNR - 11 m²), embora os valores de SNR, em baixas frequências não são tão altos quanto na condição sem material absorvedor. Já para a terceira condição, com 15 m² de material absorvedor

(SNR - 15 m²), a expectativa é de que a inteligibilidade da voz feminina supere a da voz masculina. Isso, porque os valores de SNR são maiores nas altas frequências, que são predominantes na voz feminina.

7.2.1.2 BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.35 apresenta a relação sinal-ruído e o valor do desempenho acústico, D_{nT} , para efeitos de comparação. Verificou-se que, na frequência de 2000 Hz a parede apresenta um desempenho menor em relação ao grupo de altas frequências e a relação sinal ruído apresentou o seu valor mais alto. Esses resultados podem apresentar algum prejuízo na privacidade, que poderá ser posteriormente verificado, visto que a inteligibilidade da voz feminina poderá ser favorecida nessa frequência.

O valor do nível de ruído de fundo, B_2 , medido foi de $L_{B2} = 37$ dB e, o respectivo valor ponderado em A foi de $L_{AB2} = 24$ dB(A).

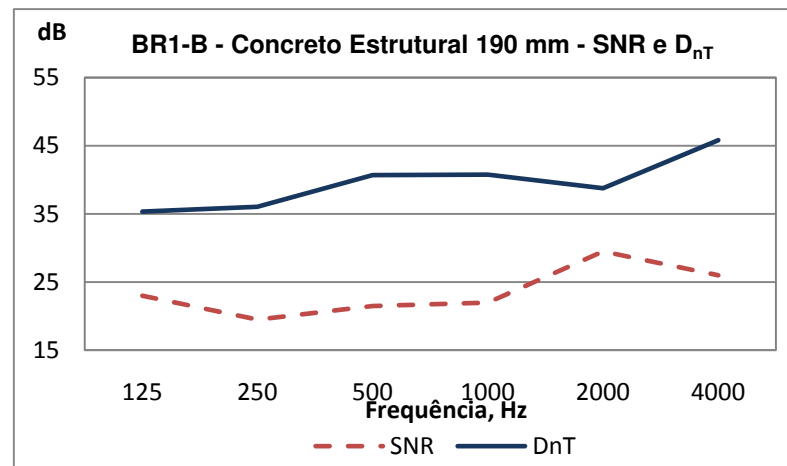


Figura 7.35: BR1-B - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

7.2.1.3 BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.36 apresenta os resultados da relação sinal-ruído, SNR, em comparação com o desempenho acústico, dado pelo $D_{nT,w}$, da parede de blocos de concreto com espessura de 90 mm. Esses resultados são apresentados em bandas de frequência de 1/1 oitava.

O nível do ruído de fundo medido foi de $L_{B2} = 44$ dB e seu valor ponderado em A, $L_{AB2} = 36$ dB(A).

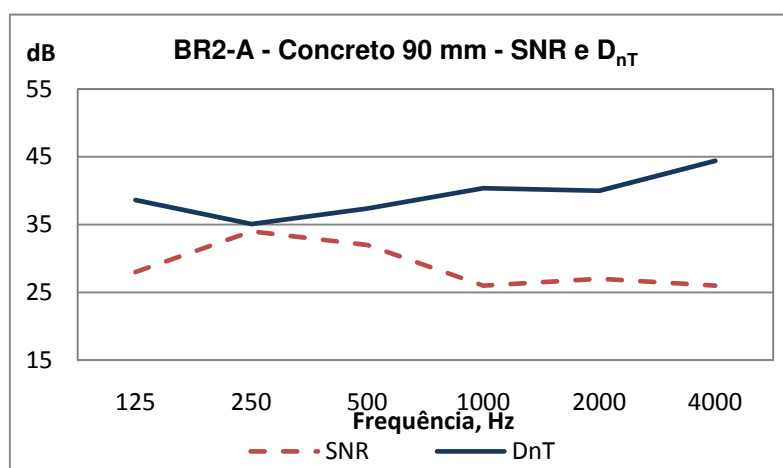


Figura 7.36: BR2-A - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

No gráfico da Figura 7.36 verifica-se um comportamento interessante na frequência de 250 Hz, onde a relação sinal-ruído é maior e o desempenho acústico é menor. A parede BR1-B apresentou comportamento similar na frequência de 2000 Hz. Neste ambiente, o pico acontece em baixas frequências, em 250 Hz, podendo favorecer a inteligibilidade da voz masculina.

7.2.1.4 BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

A Figura 7.37 apresenta o gráfico comparativo com o desempenho acústico, D_{nT} , da parede de blocos de concreto com espessura de 90 mm, e a relação sinal-ruído, SNR. Nesse gráfico verifica-se uma deficiência no desempenho em 250 Hz e, conseqüentemente, a relação sinal-ruído é maior nessa frequência. Essa característica do ambiente pode favorecer à

inteligibilidade das sentenças proferidas por voz masculina. A parede BR2-A apresentou a mesma característica igualmente na frequência de 250 Hz.

O valor encontrado para o nível do ruído de fundo foi de $L_{B2} = 54$ dB e, seu valor ponderado em A foi de $L_{AB2} = 49$ dB(A).

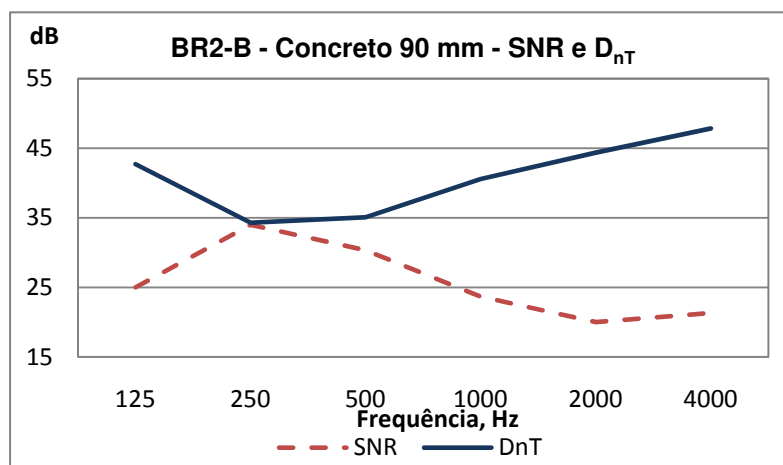


Figura 7.37: BR2-B - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

7.2.1.5 BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.38 apresenta a comparação dos resultados da relação sinal-ruído, SNR, e do desempenho acústico da parede de blocos de concreto de espessura de 115 mm, dada pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , em frequência com banda de 1/1 oitava.

O nível do ruído de fundo medido foi de $L_{B2} = 56$ dB e sua ponderação em A em $L_{AB2} = 48$ dB(A).

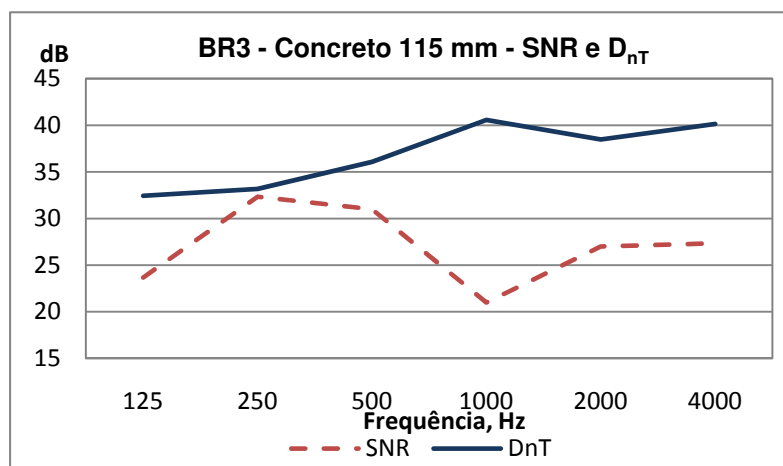


Figura 7.38: BR3 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

Nos resultados do desempenho das paredes anteriores, até aqui apresentados, verificou-se que no gráfico comparativo entre a relação sinal-ruído e o desempenho acústico, uma determinada frequência favorecia à inteligibilidade de uma ou outra voz. Neste caso, verifica-se, que em uma frequência há favorecimento na inteligibilidade de um tipo de voz e em outra frequência há um claro desfavorecimento na inteligibilidade do outro tipo de voz. É interessante notar que na frequência de 250 Hz a relação sinal-ruído apresenta o seu maior valor, na mesma região onde a parede apresenta deficiência no desempenho. Essa característica favorece a inteligibilidade da voz masculina. Já na frequência de 1000 Hz, a relação sinal-ruído apresenta seu valor mínimo, coincidindo com o valor alto de desempenho da parede, podendo prejudicar a inteligibilidade da voz feminina.

7.2.1.6 BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.39 apresenta a comparação entre a relação sinal-ruído e o desempenho da parede de blocos de concreto de espessura de 140 mm, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , por faixa de frequência em bandas de 1/1 oitava.

O valor do nível do ruído de fundo encontrado foi de $L_{B2} = 50$ dB e, seu valor ponderado em A corresponde a $L_{AB2} = 43$ dB(A).

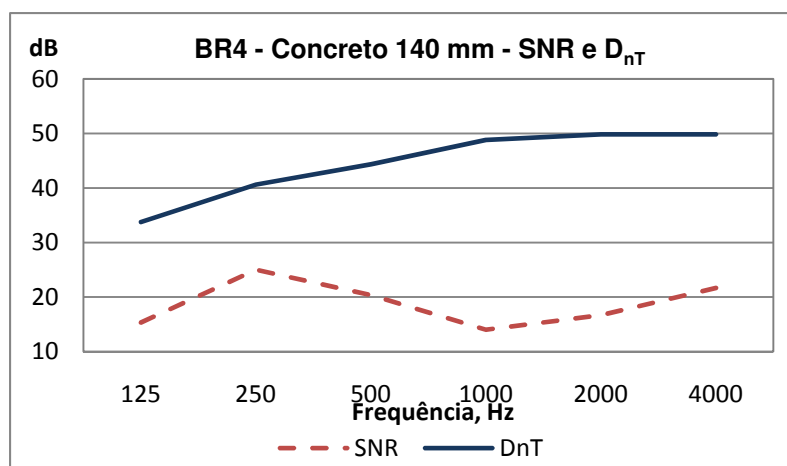


Figura 7.39: BR4 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

Pelo gráfico da Figura 7.39 verifica-se que o desempenho da parede é melhor em altas frequências. Porém, a relação sinal-ruído, apresenta picos em 250 Hz e 4000 Hz e quedas em 125 Hz e 1000 Hz. Tomando a curva de desempenho, D_{nT} , espera-se que a inteligibilidade seja maior com a voz masculina. Como o pico de SNR é superior na frequência de 250 Hz e, onde o desempenho da parede é menor, espera-se que esse comportamento favoreça a inteligibilidade da voz masculina.

Nos gráficos apresentados das quatro paredes de blocos de concreto de vedação, com a variação das espessuras de 90 mm, 115 mm e 140 mm, verifica-se que a curva referente à relação sinal-ruído, SNR, apresenta um pico em 250 Hz. Esse resultado provavelmente é uma característica dos blocos, porém para se obter uma avaliação conclusiva deste fato, seria necessário realizar mais testes, em número significativo de paredes de blocos de concreto, inclusive com a diversificação dos fabricantes. Essa avaliação não foi realizada por não fazer parte do escopo do trabalho.

7.2.1.7 BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.40 mostra o comparativo entre o desempenho acústico da parede de blocos cerâmicos com espessura de 115 mm, D_{nT} , e a relação sinal-ruído, SNR.

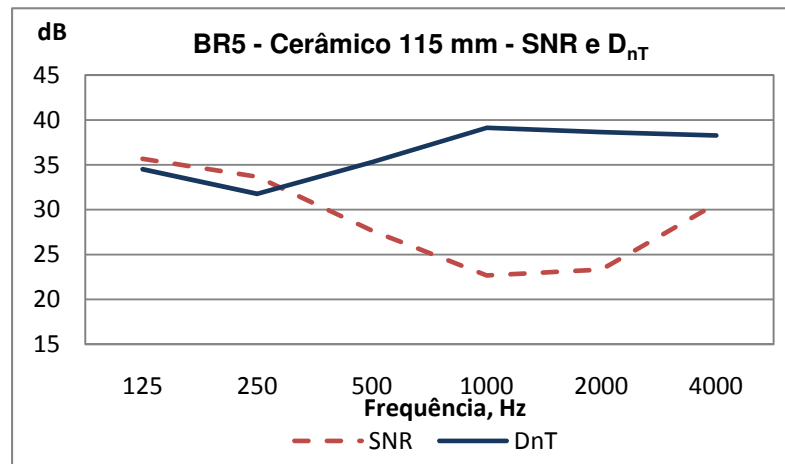


Figura 7.40: BR5 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

No gráfico da Figura 7.40 verifica-se algo surpreendente em baixas frequências: o desempenho é baixo o suficiente para que a relação sinal-ruído o supere. Essa característica favorece a inteligibilidade das sentenças proferidas pela voz masculina.

O valor do nível do ruído de fundo medido foi de $L_{B2} = 55$ dB e, o valor ponderado em A foi de $L_{AB2} = 43$ dB(A).

7.2.1.8 BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura

O comparativo entre o desempenho da parede blocos cerâmicos com espessura de 140 mm, D_{nT} , e a relação sinal-ruído, SNR, está apresentado no gráfico da Figura 7.41, onde se verifica que o desempenho foi menor nas frequências de 125 Hz e 250 Hz e, nessas frequências, a relação sinal-ruído apresentou seus maiores valores. O que se espera a partir destes resultados é que a inteligibilidade da voz masculina deve ser superior à inteligibilidade da voz feminina.

O valor do nível do ruído de fundo medido foi de $L_{B2} = 55$ dB e o valor ponderado em A foi de $L_{AB2} = 47$ dB(A).

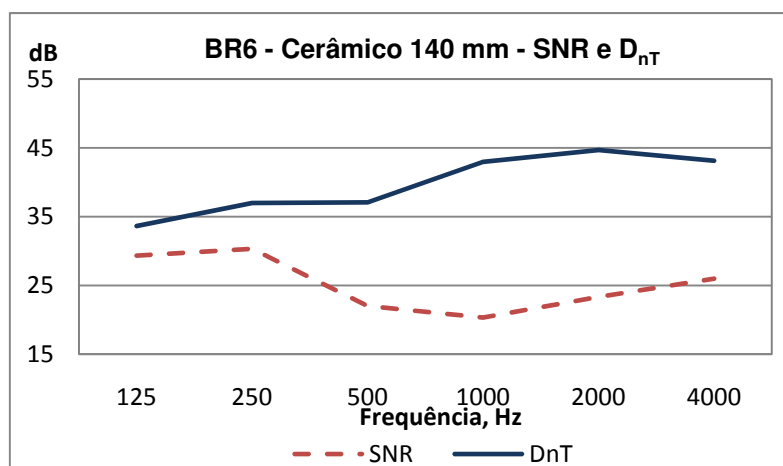


Figura 7.41: BR6 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

7.2.1.9 PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.42 apresenta os resultados da relação sinal-ruído e do desempenho acústico, dado pela diferença padronizada de nível, D_{nT} , em frequências em bandas de 1/1 oitava, onde se verifica que embora o desempenho seja maior nas altas frequências, o fato da relação sinal-ruído também ser alta nessas frequências, favorece a inteligibilidade das sentenças proferidas pela voz feminina.

O valor do nível do ruído de fundo encontrado foi de $L_{B2} = 40$ dB e, para o valor com ponderação em A foi encontrado $L_{AB2} = 38$ dB(A).

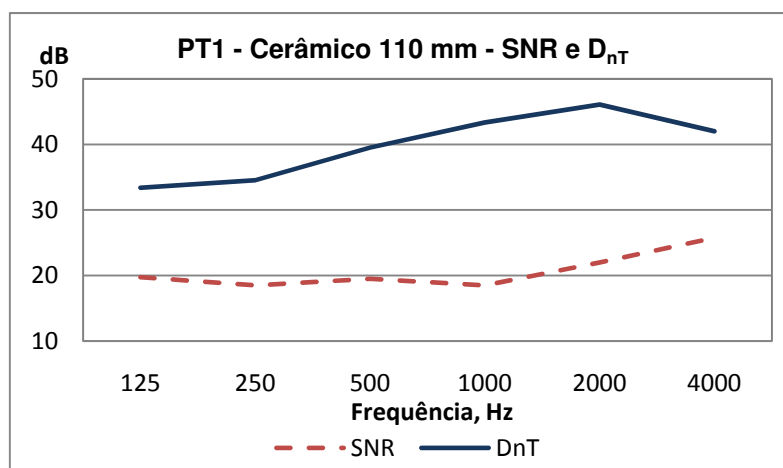


Figura 7.42: PT1 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

7.2.1.10 PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura

A comparação entre os resultados do desempenho, D_{nT} , e da relação sinal-ruído, SNR, está representado no gráfico da Figura 7.43. Nesse gráfico é possível verificar que enquanto o desempenho aumenta com a frequência, a relação sinal-ruído praticamente se mantém constante, apresentando uma sutil queda em 100 Hz e uma pequena inclinação a partir de 1000 Hz até 4000 Hz. Com o comportamento desses resultados não foi possível estimar a tendência em relação à inteligibilidade. A análise dos demais parâmetros auxiliará nessa estimativa.

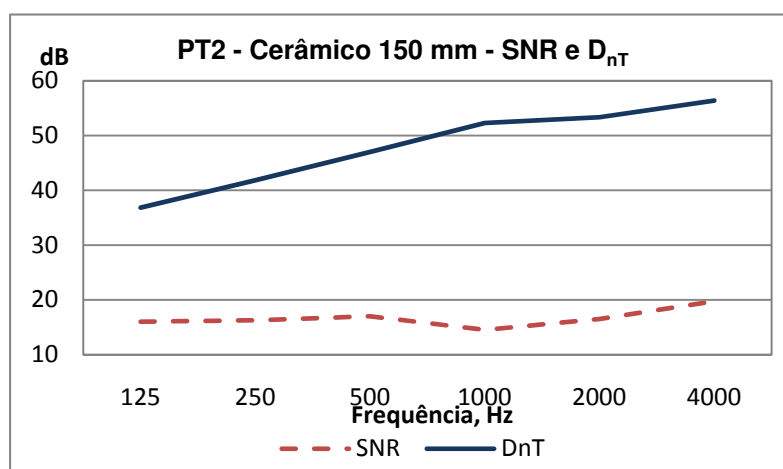


Figura 7.43: PT2 - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

O valor do nível do ruído de fundo medido foi de $L_{B2} = 40$ dB e, o valor com a ponderação em A foi $L_{AB2} = 36$ dB(A).

7.2.1.11 PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

O gráfico da Figura 7.44 apresenta a comparação entre os resultados do desempenho da parede dupla, PT3-A, D_{nT} , e a relação sinal-ruído, SNR. Verifica-se que o desempenho é maior em altas frequências porém, há uma queda da relação sinal-ruído nessas frequências, o que pode prejudicar a inteligibilidade da voz feminina.

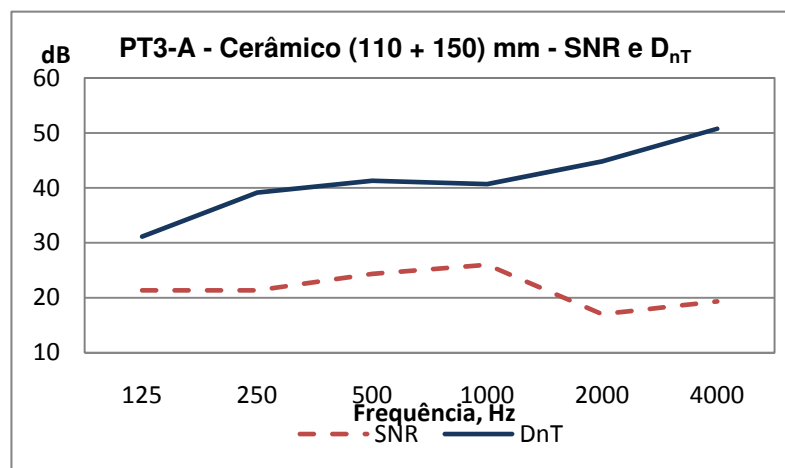


Figura 7.44: PT3-A - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

O valor do nível do ruído de fundo obtido foi de $L_{B2} = 44$ dB e, seu valor ponderado em A foi de $L_{AB2} = 32$ dB(A).

7.2.1.12 PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

A comparação entre o desempenho e a relação sinal-ruído, cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 7.45, mostra que o desempenho da parede é maior em altas frequências. Há uma deficiência no desempenho em 250 Hz, o que poderia facilitar a inteligibilidade da voz masculina. Por outro lado, a relação sinal-ruído, SNR, mantém-se praticamente constante, não favorecendo à inteligibilidade nem de um ou outro tipo de voz. A análise de outros parâmetros poderá indicar uma tendência à inteligibilidade.

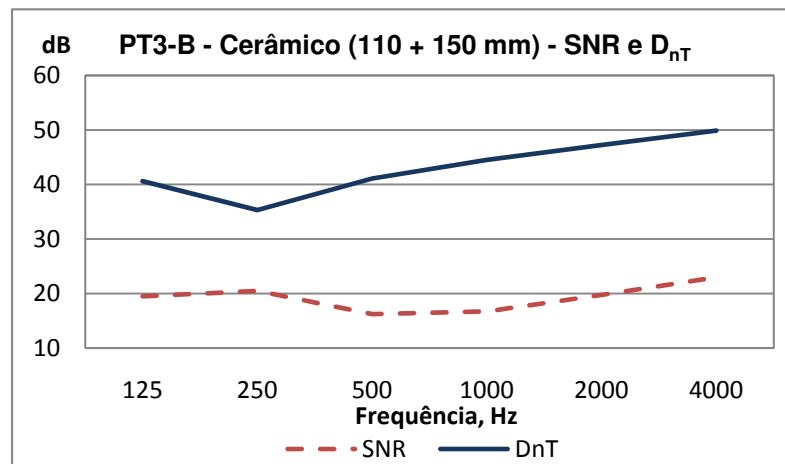


Figura 7.45: PT3-B - Comparação entre relação sinal-ruído, SNR e desempenho acústico, D_{nT} .

O valor do nível do ruído de fundo medido foi de $L_{B2} = 35$ dB e, o valor com a ponderação em A resultou em $L_{AB2} = 28$ dB(A).

7.2.1.13 Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio)

Neste item é apresentado um comparativo dos resultados do desempenho, D_{nT} e da relação sinal ruído, SNR, entre os ambientes mobiliado e vazio.

As Figuras 7.46 e 7.47 apresentam os gráficos com as curvas da relação sinal ruído, SNR, e o desempenho em campo, dado por D_{nT} , que influenciam na inteligibilidade da fala, para as paredes PT3-B e PT3-C.

No ambiente com a parede PT3-C o nível do ruído de fundo encontrado foi de $L_{B2} = 44$ dB e, para a ponderação em A o resultado encontrado foi de $L_{AB2} = 39$ dB(A). Esses valores são superiores aos valores da parede PT3-B ($L_{B2} = 35$ dB e $L_{AB2} = 28$ dB(A)).

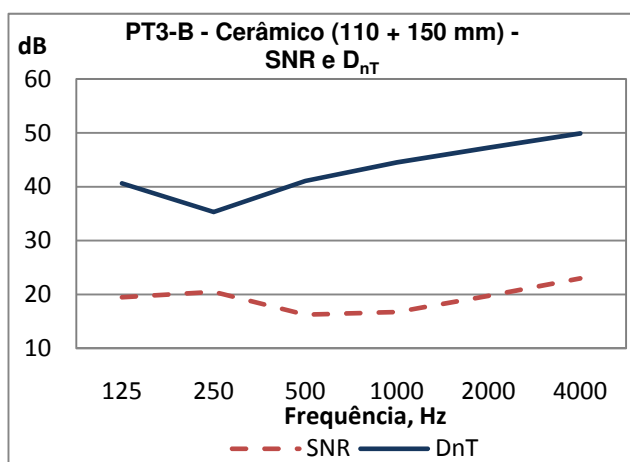


Figura 7.46: Relação sinal ruído e desempenho em campo da parede PT3-B.

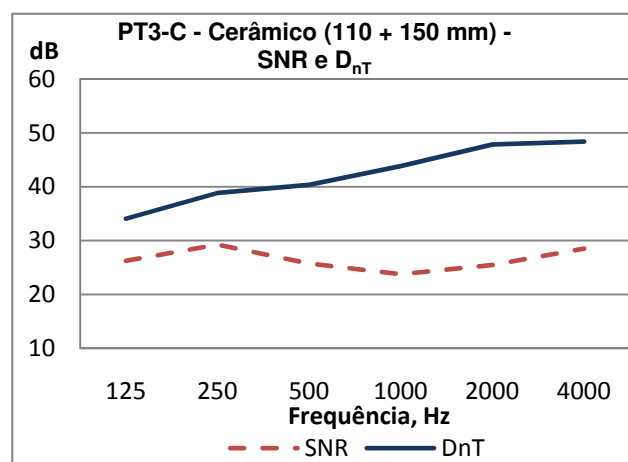


Figura 7.47: Relação sinal ruído e desempenho em campo da parede PT3-C.

Cada parede apresenta uma curva do desempenho bem característica porém, as curvas da relação sinal ruído, SNR, apresentam comportamentos similares, indicando um máximo em 250 Hz e um novo máximo em 4kHz, com uma curva côncava entre eles. No ambiente vazio a curva do SNR apresenta valores maiores do que no ambiente mobiliado. Isso, porque como o ruído de fundo também era maior, o nível do sinal teve que ser compensado, sendo também ampliado.

7.2.2 Comparação entre EDT e T_{20}

Como continuidade para avaliação da inteligibilidade da fala, neste item são apresentados os resultados comparativos entre *early decay time*, EDT, e o tempo de reverberação, T_{20} , por faixa de frequência em banda de 1/1 oitava. O favorecimento da inteligibilidade das sentenças emitidas pela voz feminina ou voz masculina dependerá da frequência em que ocorre simultaneamente os menores valores da reverberação do ambiente, T_{20} , e da sensação objetiva sobre a reverberação, EDT.

7.2.2.1 BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

Os testes objetivos de inteligibilidade da fala foram realizados com a variação do tempo de reverberação no interior da câmara (ambiente de emissão). Primeiramente foi feito o teste sem nenhum material de absorção no interior da câmara. A seguir, foram colocados 11 m² de material absorvedor e repetidos os testes. Finalmente, foram realizados os testes com 15 m² de material absorvedor no interior da câmara de emissão. A inteligibilidade da fala depende do tempo de reverberação e do ruído de fundo no ambiente onde está o receptor. Sabe-se que o tempo de reverberação é fator essencial na avaliação do STI. Numa unidade habitacional vazia, o tempo de reverberação não corresponde ao mesmo tempo com essa unidade habitacional ocupada. O objetivo dessa alteração do tempo de reverberação foi verificar justamente a influência da reverberação nos resultados da avaliação da inteligibilidade, objetiva e subjetiva (com o júri) e assim, identificar a necessidade do controle da reverberação nas medições em unidades habitacionais vazias.

Para realizar a avaliação objetiva da inteligibilidade da fala, a fonte sonora foi colocada em um dos lados da parede em avaliação. No lado oposto da parede, foi montado o microfone, devidamente conectado ao computador com o software de análise, *Dirac*.

O nível do sinal na câmara de emissão variou entre 70 e 85 dB. Para uma mesma frase, o nível do sinal varia em 5 dB. As sentenças foram geradas num conjunto de 10, com um intervalo entre as sentenças para que o júri pudesse responder sobre a percepção ou escrever a sentença. Apresentou-se inicialmente a lista de 10 sentenças com a voz feminina e a seguir a lista com a voz masculina.

Como foi mencionado, o índice de transmissão da fala, STI, é influenciado pelo ruído de fundo e pelo tempo de reverberação no ambiente de recepção. O tempo de reverberação (dado pelo T_{20}) revela uma característica acústica do ambiente; característica esta, que produz, sobre os receptores, a sensação de reverberação, que é dada pelo tempo de decaimento inicial (*early decay time*), EDT. Os gráficos das Figura 7.48 a 7.50 apresentam uma comparação entre EDT e T_{20} , isto é, entre a característica física do ambiente e a sensação que produz, para as 3 condições de variação do tempo de reverberação da câmara de emissão e os respectivos cálculos dos desvios

padrão, SD, de cada parâmetro. Com essa comparação pode-se estimar a influência de T_{20} e EDT sobre a inteligibilidade da fala.

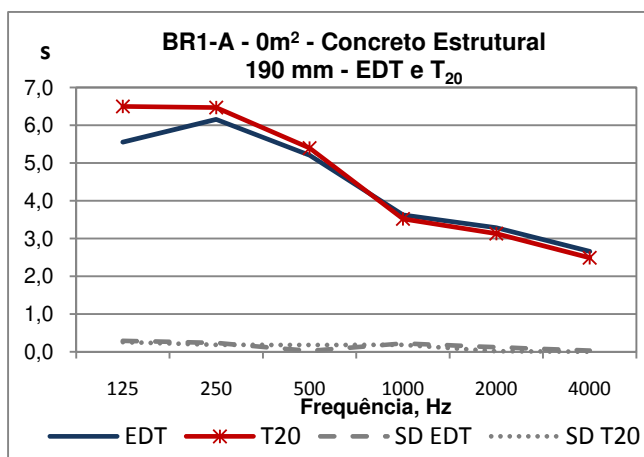


Figura 7.48: BR1-A - EDT e T_{20} – 0 m².

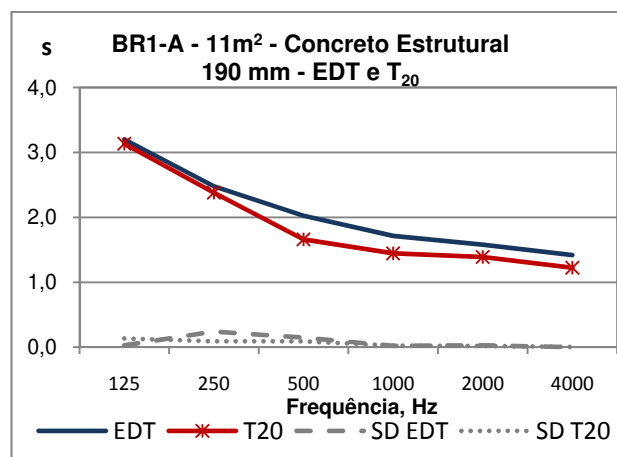


Figura 7.49: BR1-A - EDT e T_{20} – 11 m².

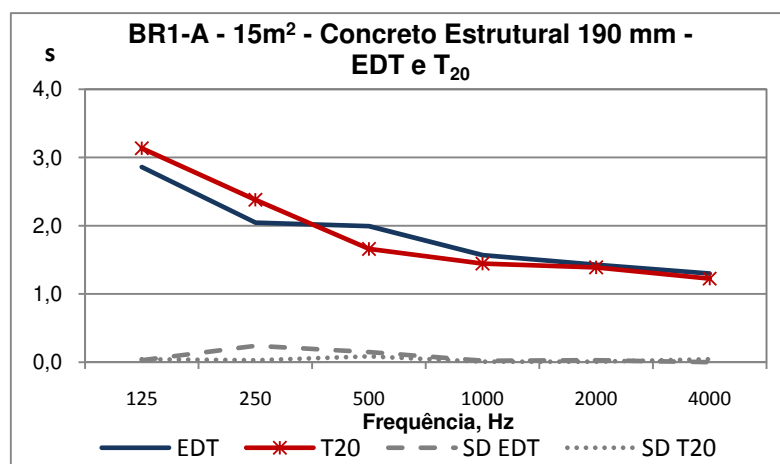


Figura 7.50: BR1-A - EDT e T_{20} – 15 m².

No gráfico da Figura 7.48 pode-se verificar que a sensação de reverberação é menor do que a reverberação do ambiente, nas baixas frequências. Essa condição pode ser favorável para a inteligibilidade das sentenças emitidas por voz masculina. Em altas frequências, porém, os valores de EDT e T_{20} estão muito próximos, o que dificulta a visualização da influência de um ou outro parâmetro, separadamente, sobre a inteligibilidade.

No gráfico da Figura 7.49 verifica-se que EDT é superado por T_{20} em todas as frequências. Este gráfico sugere a expectativa de que a inteligibilidade da voz feminina será melhor do que da voz masculina, visto que, embora em altas frequências a sensação de reverberação é maior do que a própria reverberação do ambiente, os valores de EDT e T_{20} são baixos, quando comparados com os valores das demais frequências.

O gráfico da Figura 7.50 mostra que os valores de EDT e T_{20} nas altas frequências estão mais próximos e são menores do que os valores nas demais frequências, reforçando a perspectiva causada pelo gráfico da Figura 7.34, com 15 m² de material absorvedor no ambiente de emissão, de que a inteligibilidade da voz feminina supere a da voz masculina.

Os gráficos das Figuras 7.49 a 7.50 mostram que os desvios padrão das medições apresentam valores baixos, tanto para EDT quanto para T_{20} . Na frequência de 250 Hz, conforme ocorria o aumento de material absorvedor na câmara de emissão, aumentava o valor do desvio padrão de EDT porém, nada significativo.

Para fins de comparação entre os dados do tempo de reverberação, T_{20} , e o tempo de decaimento inicial, EDT, para as diferentes condições, optou-se por reunir as informações nos gráficos apresentados nas Figuras 7.51 e 7.52, respectivamente, para os dois pontos de medição, nas três condições da câmara, isto é, sem material absorvedor, com 11m² e 15m² de material absorvedor. A legenda é comum para os dois gráficos.

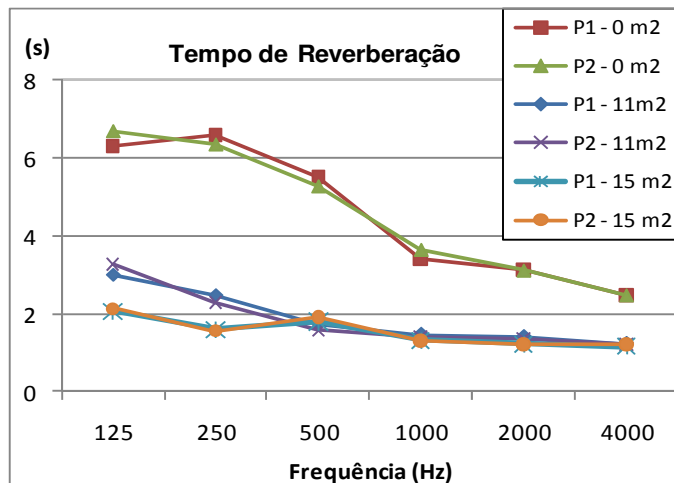


Figura 7.51: Valores do tempo de reverberação nos dois pontos de medição e nas três condições da câmara de emissão, no LACAF.

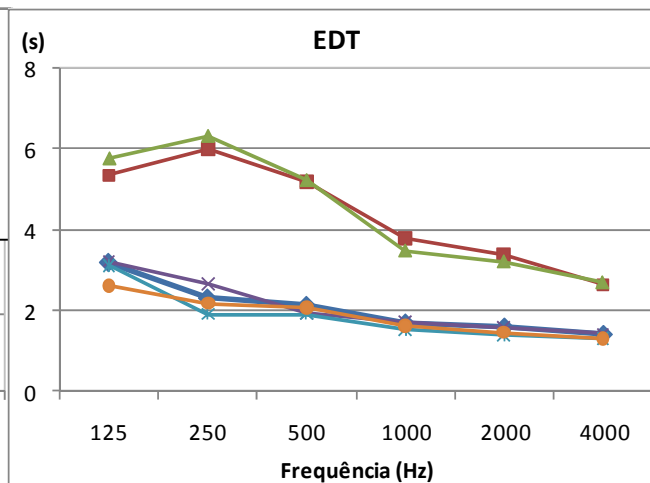


Figura 7.52: Valores de EDT nos dois pontos de medição e nas três condições da câmara de emissão, no LACAF.

Verifica-se pelo gráfico da Figura 7.52 que o valor de EDT, na ausência de material absorvedor na câmara de emissão é alto, podendo dificultar a inteligibilidade da palavra falada, no ambiente de recepção. Com algum material absorvedor em seu interior, a redução do EDT é significativa, principalmente na frequência de 250 Hz, o que facilita a inteligibilidade das sentenças emitidas por voz masculina. A redução do valor de EDT nas altas frequências facilita ainda mais a inteligibilidade das sentenças emitidas por voz feminina. No próximo item, onde estão apresentados os resultados das opiniões do júri, poder-se-á confirmar ou não a percepção das sentenças proferidas por voz masculina e feminina.

Quando o valor de EDT supera o valor do tempo de reverberação, T_{20} , o júri tem a percepção de maior reverberância no ambiente. Isso acontece nos dois pontos em todas as frequências com 15 m² de material absorvedor; com 11 m², no ponto P1 nas frequências superiores a 250 Hz e no ponto P2, nas frequências superiores a 125 Hz. Isso pode também, juntamente com outros parâmetros, justificar a dificuldade na percepção das sentenças. Sem material absorvedor, o EDT supera o tempo de reverberação no ponto P1, nas frequências de 125 a 500 Hz, dificultando a percepção das sentenças faladas com voz masculina.

Com o material absorvedor, a diferença do tempo de reverberação se torna significativa nas baixas frequências, nomeadamente, em 125 e 250 Hz. Com 15 m² de material, o ambiente de emissão se torna mais favorável à inteligibilidade das sentenças proferidas por voz masculina do

que com 11 m² de material. Essas duas áreas de material não produziram diferenças significativas para a voz feminina.

7.2.2.2 BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

O gráfico comparativo de EDT e T₂₀ do ambiente com a parede de concreto estrutural de 190 mm de espessura está apresentado na Figura 7.53, onde se verifica que a sensação de reverberação é superior à reverberação do ambiente (EDT > T₂₀). O resultado de EDT é maior nas baixas frequências; o resultado de T₂₀ é maior em 1000 Hz, no grupo das medias frequências.

Neste ambiente, em particular, verifica-se uma igualdade de condição na frequência de 2000 Hz, para EDT e T₂₀, onde a sensação de reverberação, EDT, é menor. Com esta característica, provavelmente a inteligibilidade da voz feminina será melhor do que a da voz masculina. A análise conjunta com os demais parâmetros devem confirmar ou não, tal previsão.

Os valores dos desvios padrão, SD, de ambos os parâmetros são muito similares, excetuando-se a frequência de 500 Hz.

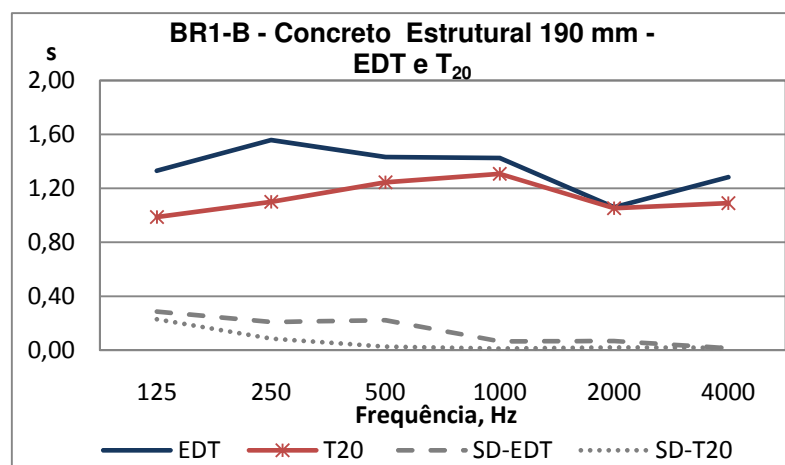


Figura 7.53: BR1-B - Resultados de EDT e T₂₀ e respectivos desvios padrão, SD.

7.2.2.3 BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.54, referente à comparação entre EDT e T_{20} , no ambiente com a parede de blocos de concreto de 90 mm de espessura, mostra que a sensação de reverberação, dada pelo parâmetro EDT, é maior do que a reverberação do ambiente, dado pelo tempo de reverberação, T_{20} , em todas as frequências. Essa característica do ambiente, em parte, favorece a inteligibilidade de ambos os tipos de vozes. Mas, esse favorecimento não é uniforme, porque, como EDT e T_{20} são maiores nas frequências mais baixas, isso poderia prejudicar a inteligibilidade da voz masculina mais do que a voz feminina.

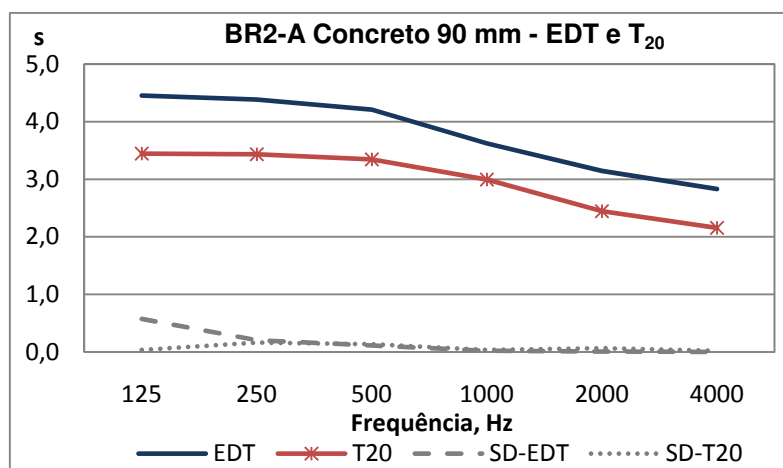


Figura 7.54: BR2-A - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.

Comparando os valores dos desvios padrão, SD, entre EDT e T_{20} observou-se apenas na frequência de 125 Hz que o desvio padrão do EDT é superior ao desvio padrão do T_{20} . Nas baixas frequências, a variação nos resultados das medições é maior.

7.2.2.4 BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

Os resultados da avaliação objetiva da inteligibilidade da fala são apresentados neste item. Inicialmente, o gráfico da Figura 7.55 apresenta a comparação entre os resultados de EDT e T_{20} em função da frequência.

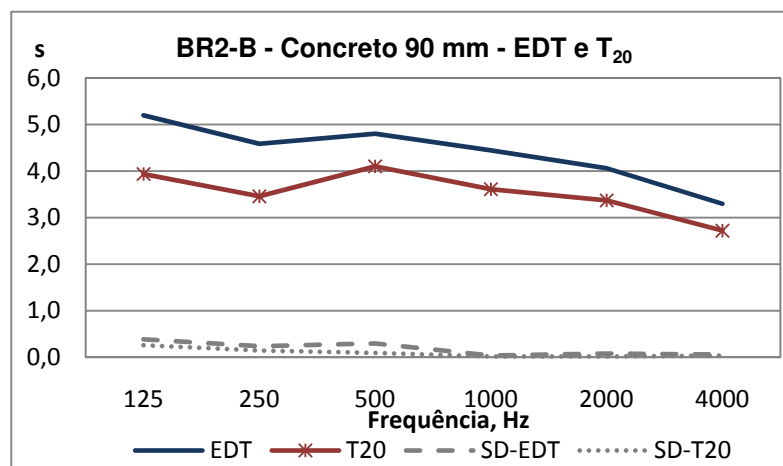


Figura 7.55: BR2-B - Resultados de EDT e T₂₀ e respectivos desvios padrão, SD.

Como se pode verificar pelo gráfico da Figura 7.55, a sensação de reverberação fornecida pelo EDT, é superior à reverberação do ambiente, fornecida pelo T₂₀, em todas as frequências. Este resultado foi similar ao da parede BR2-A e favorece a inteligibilidade para as sentenças proferidas por voz masculina e feminina porém, não de maneira uniforme, visto que os valores de EDT e T₂₀ são menores nas altas frequências, podendo favorecer a inteligibilidade da voz feminina. O desvio padrão para os dois parâmetros foi muito baixo e muito próximo, em todas as frequências.

7.2.2.5 BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.56 apresenta os resultados comparação entre EDT e T₂₀, onde se verifica, como nas análises anteriores, que a sensação de reverberação é superior à reverberação do ambiente em todas as frequências. Com esta característica, não se espera favorecimento da inteligibilidade, seja da voz feminina ou voz masculina, de modo uniforme. Espera-se que haja um favorecimento para a inteligibilidade da voz feminina, uma vez que nas baixas frequências verificam-se os maiores valores de EDT e T₂₀ especialmente na frequência de 500 Hz, onde os valores entre os dois parâmetros também estão muito próximos. Os valores dos desvios padrão para ambos os parâmetros foram baixos e muito próximos.

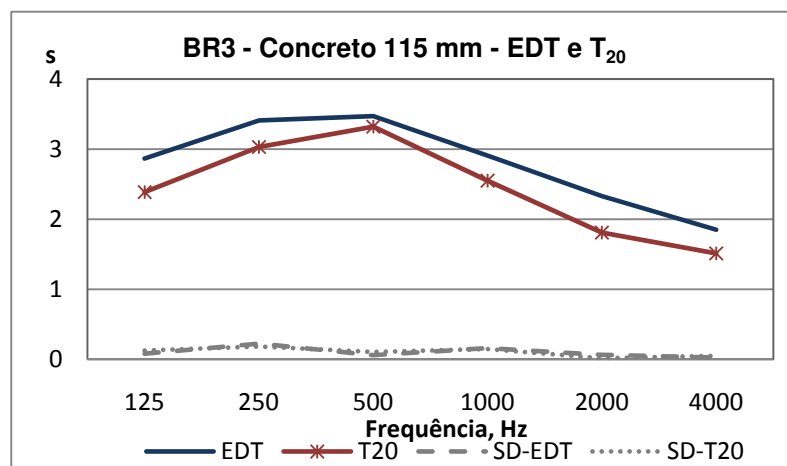


Figura 7.56: BR3 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.

7.2.2.6 BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.57 apresenta um comparativo entre o comportamento de EDT e o T_{20} , em função da frequência, onde se verifica que mais uma vez, o ambiente indica maior sensação de reverberação do que a própria reverberação. Essa característica não privilegia de maneira significativa a inteligibilidade de uma voz em relação à outra. Pode haver um relativo favorecimento à voz feminina, uma vez que tanto EDT quanto T_{20} são maiores nas baixas frequências, prejudicando a inteligibilidade da voz masculina.

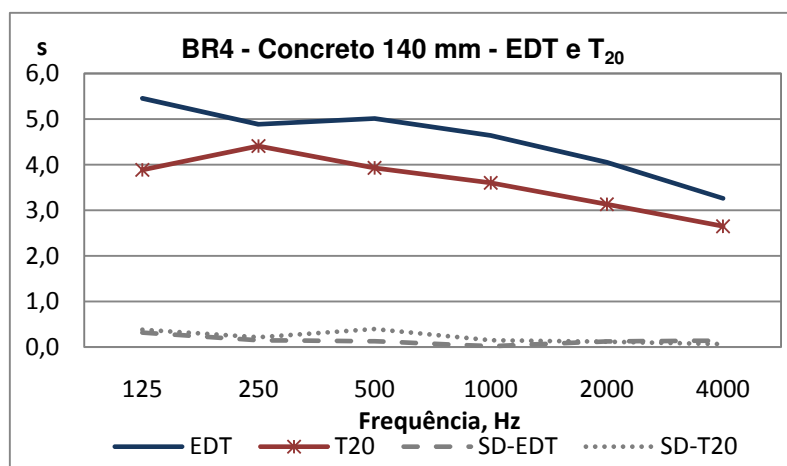


Figura 7.57: BR4 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.

Verifica-se também, no gráfico da Figura 7.57, que os valores dos desvios padrão estão muito próximos, exceto na frequência de 500 Hz, que houve uma variação maior nos resultados de T_{20} .

7.2.2.7 BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura

A comparação dos resultados de EDT e T_{20} , apresentado no gráfico da Figura 7.58, mostra que a sensação de reverberação que o ambiente proporciona é superior à reverberação em todas as frequências, porém, essa sensação é maior nas médias frequências, entre 250 e 1000 Hz, onde, de certa forma, pode haver prejuízo na inteligibilidade tanto da voz masculina como da feminina. Nas baixas frequências houve maior variação nos resultados obtidos em relação às médias ou altas frequências, por essa razão, os valores dos desvios padrão, SD, de ambos os parâmetros, são maiores nas baixas frequências.

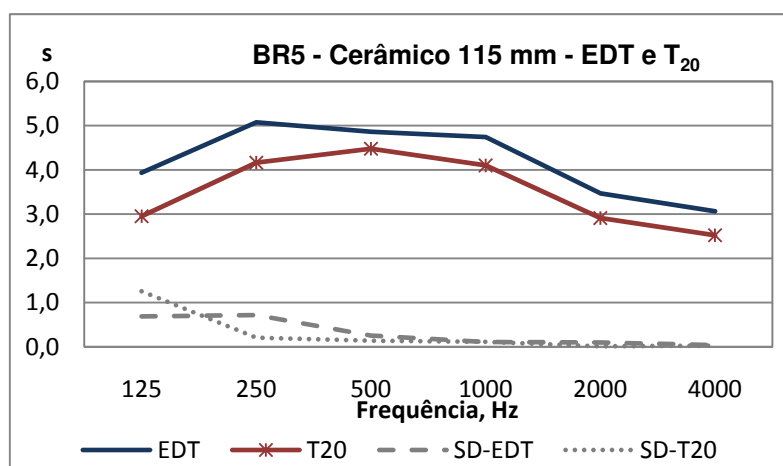


Figura 7.58: BR5 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.

7.2.2.8 BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura

O comparativo entre os resultados de EDT e T_{20} está apresentado no gráfico da Figura 7.59, onde se verifica, mais uma vez, que a sensação de reverberação é superior à reverberação do ambiente. É interessante notar que neste caso, na frequência de 125 Hz os valores de EDT e T_{20} praticamente se igualam. Os resultados de EDT e T_{20} criam a expectativa de que a

inteligibilidade da voz feminina será superior à inteligibilidade da voz masculina, visto que são maiores nas baixas frequências. Os valores dos desvios padrão de ambos parâmetros estão baixos e próximos, em todas as frequências.

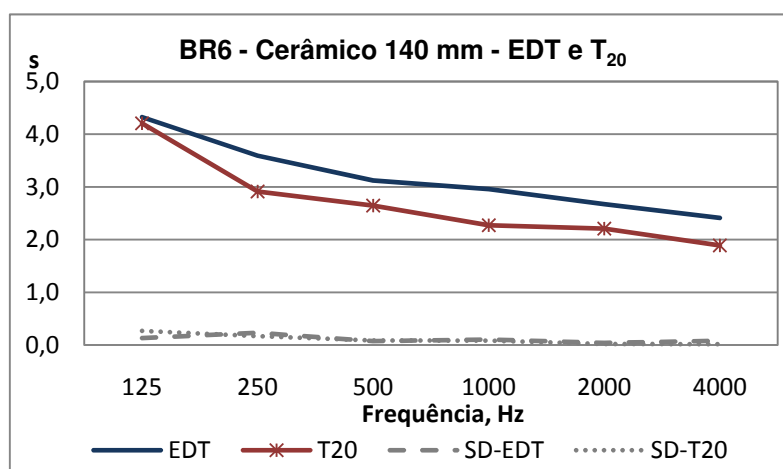


Figura 7.59: BR6 - Resultados de EDT e T₂₀ e respectivos desvios padrão, SD.

7.2.2.9 PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.60 apresenta os resultados de EDT e T₂₀ em função da frequência para fins de comparação.

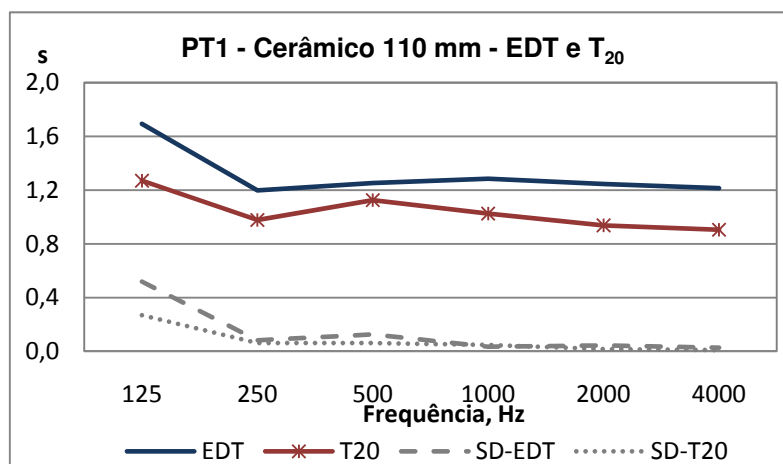


Figura 7.60: PT1 - Resultados de EDT e T₂₀ e respectivos desvios padrão, SD.

Verifica-se, pelos resultados, que mais uma vez, a sensação de reverberação é superior à reverberação do ambiente. EDT apresenta um pico em 125 Hz, o que pode prejudicar a inteligibilidade da voz masculina. É interessante verificar que diferentemente do que aconteceu nas outras avaliações, os resultados de EDT apresentam valores relativamente constantes em todas as frequências, exceto em 125 Hz, como já mencionado.

7.2.2.10 PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura

Os resultados da avaliação da inteligibilidade da fala para a parede PT2 são apresentados nesse item. Inicialmente, o gráfico da Figura 7.61 apresenta a comparação entre EDT e T_{20} , revelando mais uma vez, que a sensação de reverberação, EDT, é superior à reverberação do ambiente, dado por T_{20} . O pico de EDT em 250 Hz pode indicar que a inteligibilidade da voz masculina seja inferior à inteligibilidade da voz feminina.

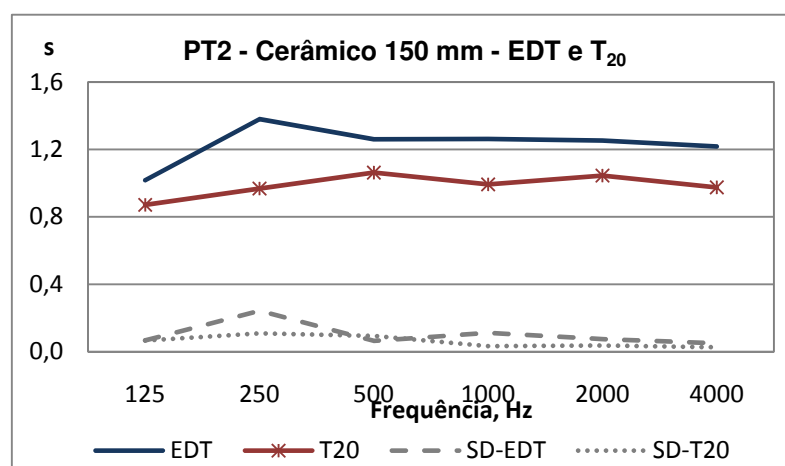


Figura 7.61: PT2 - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.

Os valores dos desvios padrão obtidos são maiores para a medição de EDT, onde houve maior variação dos valores durante a medição.

7.2.2.11 PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

Como na maioria das situações encontradas neste trabalho, os resultados apresentados no gráfico da Figura 7.62 mostram que os valores de EDT são superiores aos de T_{20} , revelando que a sensação de reverberação é superior à reverberação do ambiente, em todas as frequências, sendo ainda maior nas médias frequências. Esta característica também não favorece a inteligibilidade de uma ou de outra voz. Porém, os valores de EDT e T_{20} nas baixas frequências apresentam valores menores do que nas altas frequências; poderá haver uma tendência à melhor percepção da voz masculina.

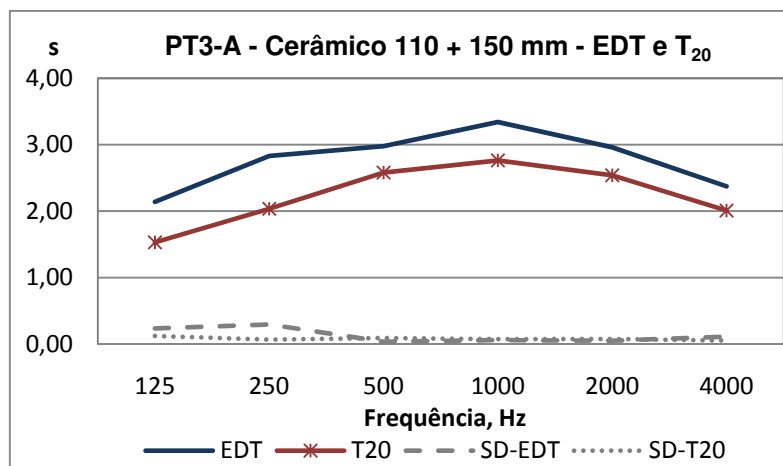


Figura 7.62: PT3-A - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.

7.2.2.12 PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

O gráfico da Figura 7.63 mostra a comparação entre EDT e T_{20} , onde se verifica que nas frequências médias e altas a reverberação do ambiente é superior à sensação de reverberação que produz. Este resultado é diferente do que vem acontecendo até aqui, onde a sensação de reverberação, dada por EDT, tem sido superior à reverberação do ambiente, em todas as frequências. Essa característica do ambiente pode favorecer a inteligibilidade da voz feminina, visto que a sensação de reverberação é menor nas médias e altas frequências.

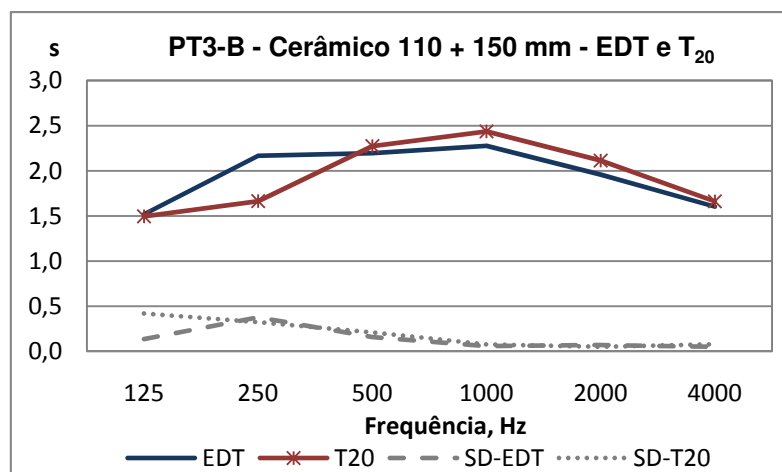


Figura 7.63: PT3-B - Resultados de EDT e T_{20} e respectivos desvios padrão, SD.

7.2.2.13 Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio)

As Figuras 7.64 e 7.65 apresentam os gráficos com as curvas de EDT e T_{20} em função da frequência para as paredes PT3-B e PT3-C.

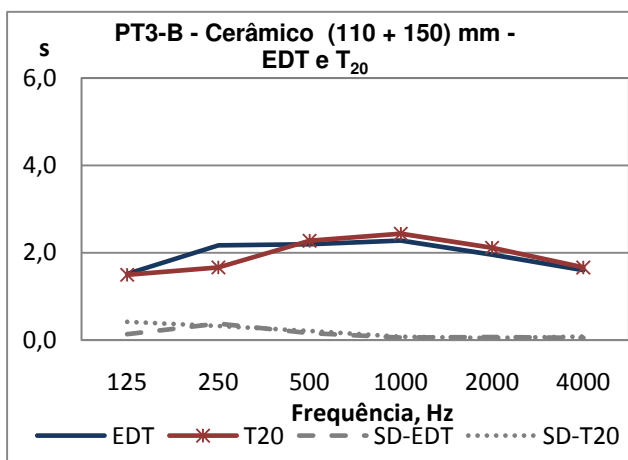


Figura 7.64: EDT e T_{20} - parede PT3-B.

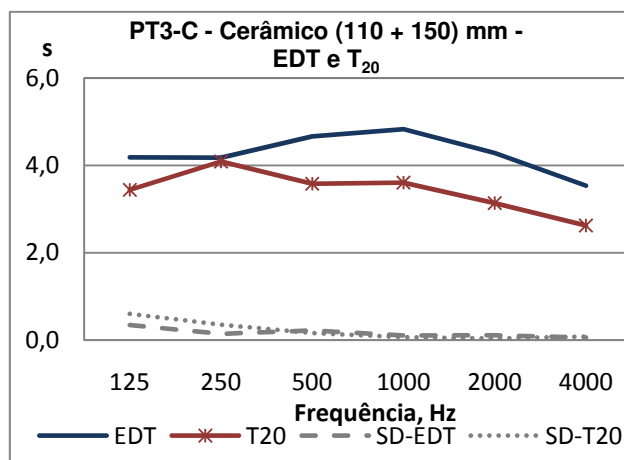


Figura 7.65: EDT e T_{20} - parede PT3-C.

Nos resultados de EDT e T_{20} esperava-se maior diferença entre as duas avaliações, como realmente ocorreu; a mobília reduziu significativamente os valores da reverberação. É interessante verificar que a frequência de 250 Hz produz efeitos inversos nos dois casos. Na

Figura 7.64, nessa frequência, é ponto onde há maior afastamento dos valores medidos e o inverso ocorreu na Figura 7.65, sendo o ponto onde os valores coincidem.

7.2.3 Definição, D_{50}

Neste item são apresentados os resultados da definição, D_{50} , sendo mais um parâmetro psicoacústico para a avaliação da percepção das sentenças emitidas por voz feminina e masculina. A tendência de melhor percepção de uma ou outra voz dependerá da frequência onde ocorrem os valores mais altos de D_{50} . Os resultados são apresentados por faixa de frequência em banda de 1/1 oitava. Vale lembrar que a Definição é adimensional.

7.2.3.1 BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

A Figura 7.66 Apresenta o gráfico da Definição, D_{50} , nas três condições da câmara de emissão, isto é, sem material absorvedor, com 11m^2 e 15m^2 de material absorvedor, e os devidos cálculos dos desvios padrão, SD, em cada condição.

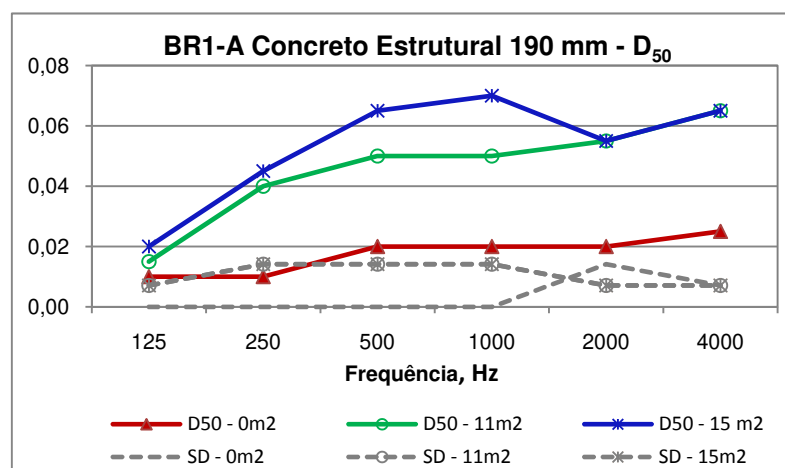


Figura 7.66: BR1-A - Valores da média da Definição, D_{50} nas três condições da câmara de emissão, e os respectivos valores dos desvios padrão, SD.

O valor da Definição D_{50} varia entre 0 e 1 e, quanto mais próximo de 1, melhor será a inteligibilidade da fala. Pelo gráfico da Figura 7.66, verifica-se que a definição D_{50} é muito

baixa, inferior a 0,1. Para este trabalho, o fato de ser baixo o valor de D_{50} não quer dizer que seja ruim. Pelo contrário, em termos de privacidade da palavra falada, esses valores baixos são muito bons. Porém, com valores tão baixos, há dificuldade para identificar uma tendência de inteligibilidade seja para a voz masculina ou feminina. Para verificar essa tendência, foi necessário tomar como base os resultados até aqui apresentados, nomeadamente a comparação entre SNR e $D_{nT,w}$ e a comparação entre EDT e T_{20} , além dos valores de STI e a avaliação com o júri, que são apresentados, respectivamente, nos itens 7.2.4 e 7.3.

7.2.3.2 BR1-B - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

Na sequência, apresenta-se o gráfico da Figura 7.67 com os resultados da definição, D_{50} . Embora os valores de D_{50} são muito pequenos para todas as frequências (visto que o valor máximo que pode atingir é 1), a definição mostra-se mais prejudicada nas baixas frequências. Isso pode explicar a dificuldade do júri em entender a expressão das sentenças por voz masculina. Curiosamente, na frequência de 2000 Hz, a definição apresenta seu valor médio máximo, justamente nessa frequência, onde a relação sinal-ruído é alta e o desempenho da parede, no grupo de altas frequências, é mais deficiente. O desvio padrão, SD, da definição verifica-se alto na menor frequência.

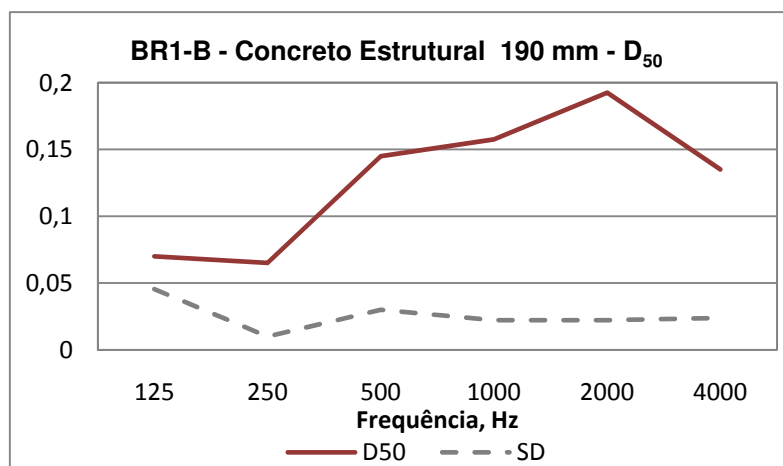


Figura 7.67: BR1-B - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.3 BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.68 mostra que a definição, D_{50} , do ambiente com a parede de blocos de concreto de espessura de 90 mm, é maior nas frequências mais baixas, favorecendo a inteligibilidade da voz masculina, embora, quantitativamente, os valores da definição, D_{50} , são muito pequenos.

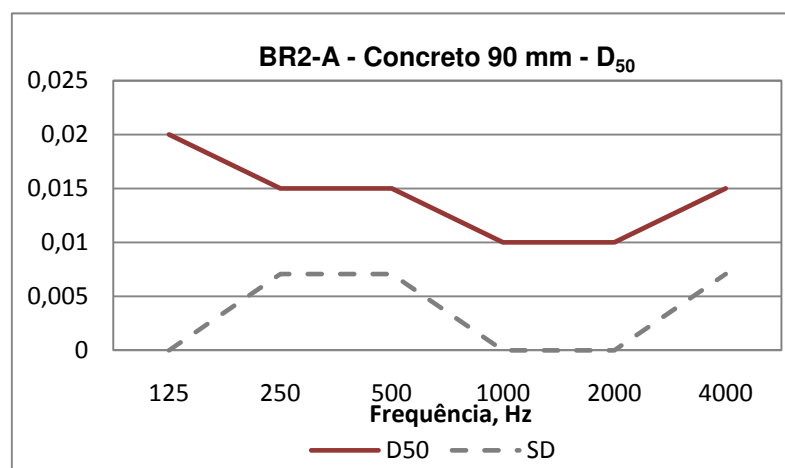


Figura 7.68: BR2-A - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.4 BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

Na sequência, o gráfico da Figura 7.69 apresenta o resultado da Definição, D_{50} , onde se pode verificar que os maiores valores desse parâmetro estão nas altas frequências. Esse comportamento foi o oposto ao encontrado para a parede BR2-A, que apresentou valores maiores em baixa frequência. Os valores de D_{50} são baixos, porém com os valores mais altos nas altas frequências, a voz feminina pode ter a inteligibilidade favorecida. As paredes BR2-A e BR2-B são compostas pelo mesmo tipo de blocos e reboco, porém, a primeira favorece a inteligibilidade da voz masculina e a segunda favorece a inteligibilidade da voz feminina.

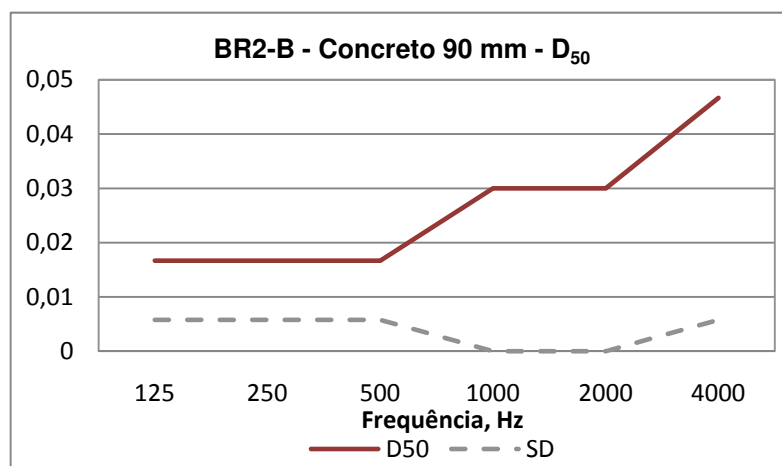


Figura 7.69: BR2-B - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

Analizando o comportamento do desvio padrão, os resultados da medição da definição, D_{50} , apresentaram uma variação grande nas baixas frequências e refletidas nos valores, o desvio padrão foi também maior nessas frequências.

7.2.3.5 BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura

No gráfico da Figura 7.70, verifica-se que a definição é maior nas frequências mais elevadas, o que pode favorecer a inteligibilidade da voz feminina, como também se esperava observar no gráfico de EDT e T_{20} (vide Figura 7.56). Do gráfico 7.38, da comparação da relação $SNRe D_{nT}$, esperava-se o oposto, que a definição fosse maior nas baixas frequências.

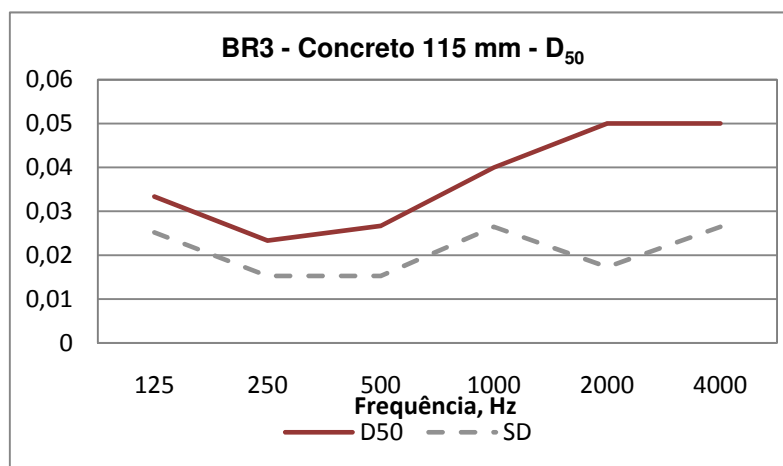


Figura 7.70: BR3 - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.6 BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.71, onde são apresentados os resultados da definição, D_{50} , em função da frequência, indica que há maior favorecimento para a inteligibilidade da voz feminina, visto que os valores de D_{50} são maiores nas altas frequências. Entre 125 e 1000 Hz os valores de D_{50} são praticamente constantes.

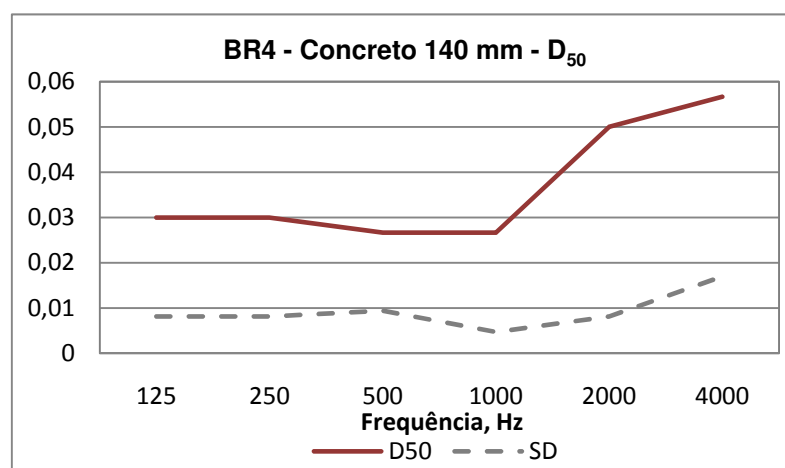


Figura 7.71: BR4 - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.7 BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura

No gráfico da definição, D_{50} , apresentado na Figura 7.72, verificam-se valores muito baixos de definição, inferiores a 0,02 e, altos valores do desvio padrão, resultado de grande variação nas medições. Qualitativamente observa-se que a definição é maior em altas frequências, indicando que a inteligibilidade com a voz feminina será maior do que com a voz masculina. Quantitativamente, os valores de D_{50} não indicam tendência para a inteligibilidade de uma ou outra voz porque os valores mínimo e máximo, de D_{50} são muito próximos.

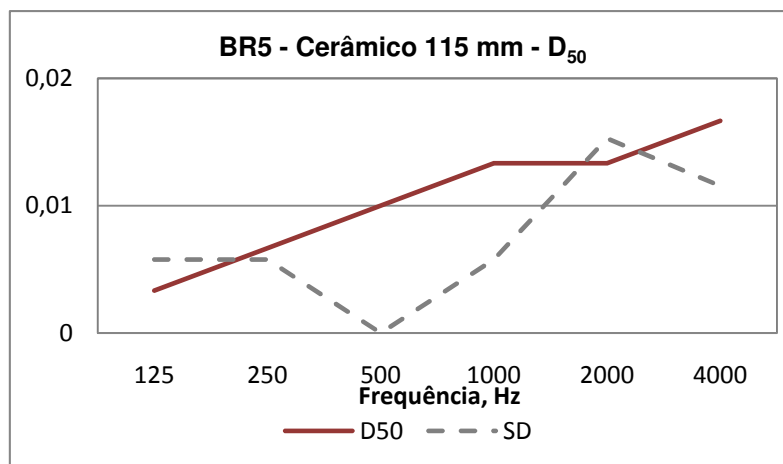


Figura 7.72: BR5 - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.8 BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.73 expõe os resultados da definição, D_{50} , em função da frequência, onde se observa que ela é maior nas altas frequências e, portanto, espera-se que a inteligibilidade da voz feminina seja superior à inteligibilidade da voz masculina, em concordância com os resultados comparativos de EDT e T_{20} (*vide* Figura 7.59).

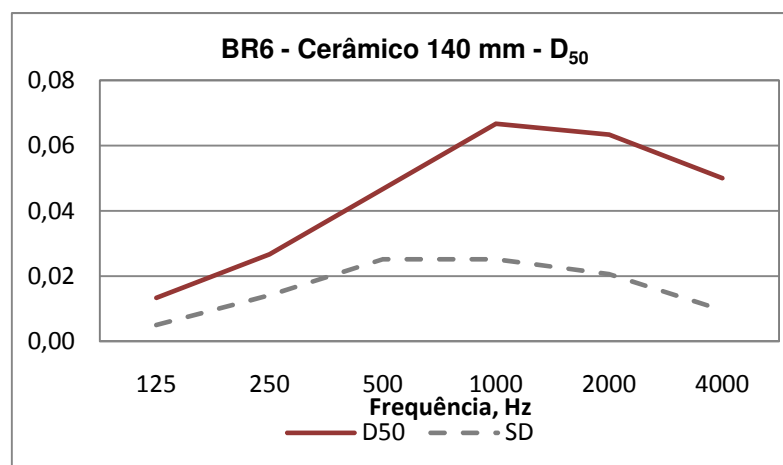


Figura 7.73: BR6 - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

A definição, D_{50} , varia entre 0 e 1, como foi mencionado, sendo “0” a pior condição para a inteligibilidade e “1” a melhor condição. Os resultados dos ambientes até aqui avaliados apresentam valores muito baixos, da Definição, D_{50} . Excetuando a parede BR1-B, as demais, não superaram o valor de 0,10 em todas as frequências. A parede BR1-B apresentou um pico na frequência de 2000 Hz, nas proximidades do valor de 0,20, de D_{50} . Vale lembrar que os ambientes estão vazios.

7.2.3.9 PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura

O gráfico da definição D_{50} em função da frequência, apresentado na Figura 7.74, mostra um resultado curioso, visto que apresenta para D_{50} , o pico em 500 Hz. Pelo valor da frequência em que ocorreu esse pico, não é possível estimar para qual voz a inteligibilidade será mais favorável: feminina ou masculina. Verifica-se, entretanto, uma sutil elevação nos valores de D_{50} nas altas frequências, favorecendo a inteligibilidade da voz feminina.

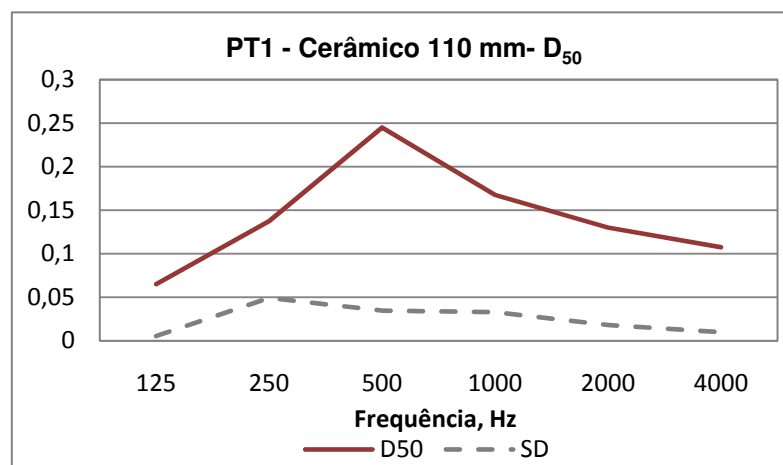


Figura 7.74: PT1 - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

Embora haja o pico na frequência de 500 Hz, o desvio padrão manteve-se relativamente baixo e constante em todas as frequências.

7.2.3.10 PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.75, onde são apresentados os valores da Definição, D_{50} , indica que, os maiores valores de D_{50} , estão nas altas frequências, e, portanto, nessa região, é maior a inteligibilidade das sentenças proferidas por voz feminina do que por voz masculina.

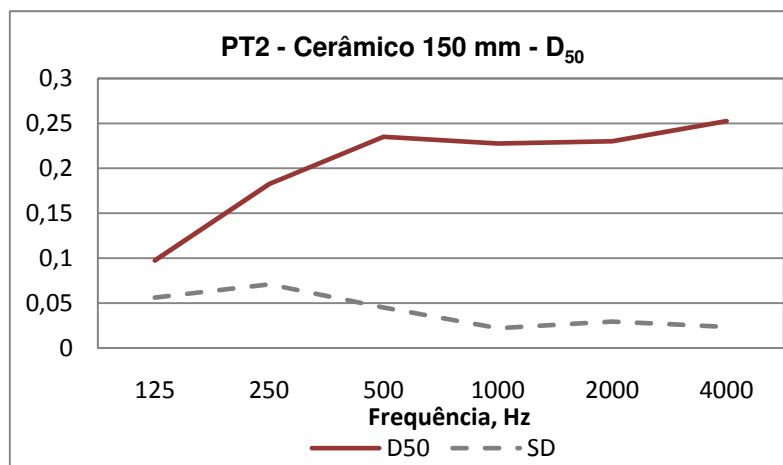


Figura 7.75: PT2 - Resultado da Definição, D_{50} e respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.11 PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

O resultados da medição de D_{50} , apresentado no gráfico da Figura 7.76 indica que a percepção das sentenças deve ser melhor para a voz feminina, visto que os valores da definição, D_{50} , são maiores nas altas frequências. Particularmente neste caso, como no caso da parede BR5, os valores de D_{50} são muito baixos, inferiores a 0,1, o que sugere que pouco influencia na tendência de inteligibilidade de um ou outro tipo de voz.

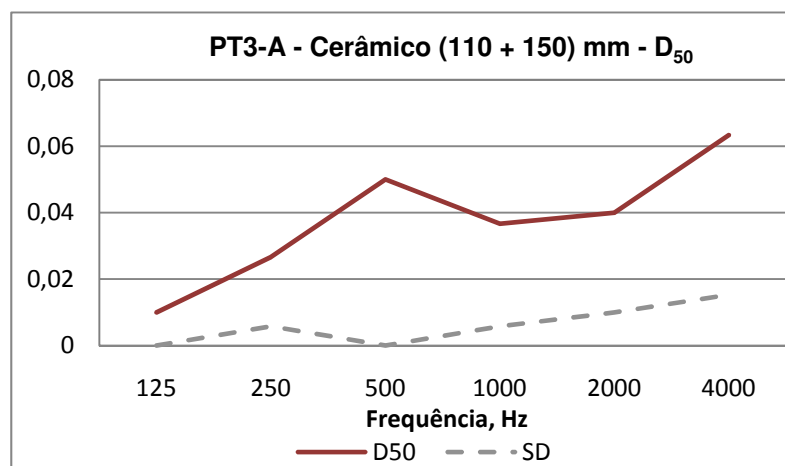


Figura 7.76: PT3-A - Resultado da Definição, D₅₀ e respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.12 PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação – (110 + 150) mm

Os resultados da definição, D₅₀, em função da frequência, apresentados no gráfico da Figura 7.77 indicam que a inteligibilidade da voz feminina deve ser superior à da voz masculina, visto que os valores da definição são superiores nas altas frequências e, de um modo especial, ao valor baixo de D₅₀, na frequência de 125 Hz.

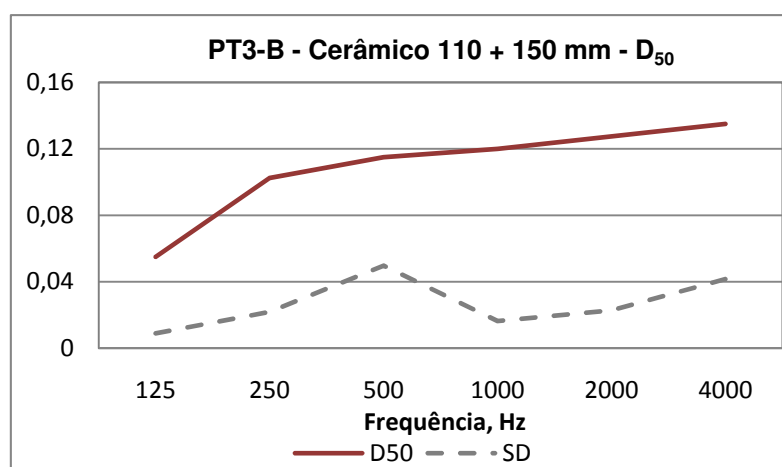


Figura 7.77: PT3-B - Resultado da Definição, D₅₀ e o respectivo desvio padrão, SD.

7.2.3.13 Comparação entre PT3-B e PT3-C (ambiente mobiliado e vazio)

Nos gráficos das Figuras 7.78 e 7.79 estão apresentados os resultados da medição da definição, D_{50} em função da frequência para as paredes PT3-B e PT3-C.

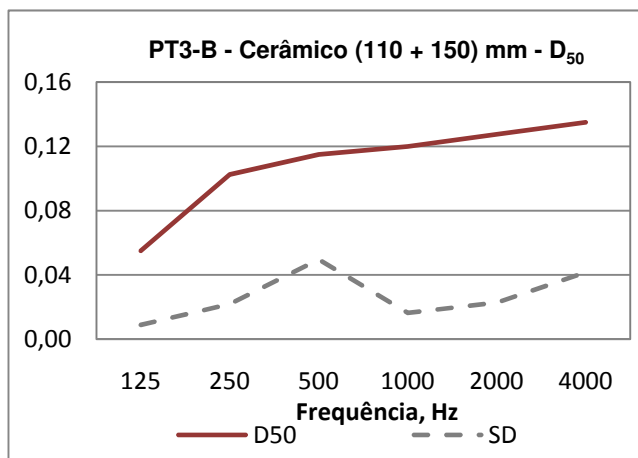


Figura 7.78: Definição, D_{50} e desvio padrão, SD - parede PT3-B.

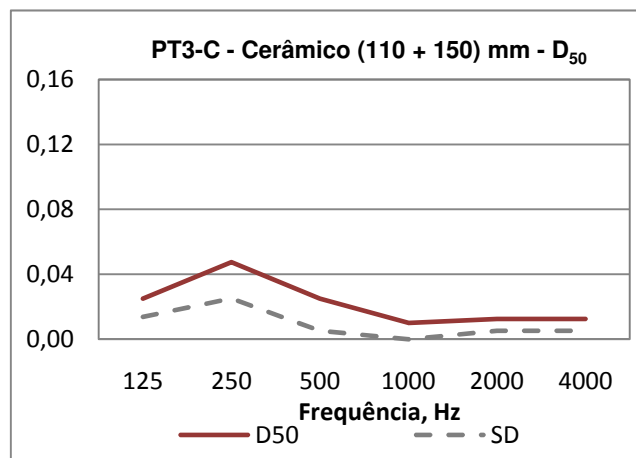


Figura 7.79: Definição, D_{50} e desvio padrão, SD - parede PT3-C.

O comportamento das curvas são completamente diferentes e era o que se esperava encontrar, visto que as inúmeras reflexões no ambiente vazio propiciam a redução do valor da definição, D_{50} .

Dos cinco ambientes onde foram realizadas as medições em Portugal, apenas o referente à parede PT3-C estava vazio, os demais estavam mobiliados, mesmo assim, os resultados apresentam valores também muito baixos, menores de 0,25, mostrando que quantitativamente este parâmetro pode não ser muito útil, embora, qualitativamente, pode demonstrar uma tendência na percepção para a voz feminina ou masculina.

7.2.4 STI, Privacidade e %ALC

Finalizando a apresentação dos resultados da avaliação objetiva, neste item é apresentado um resumo e a análise dos resultados da avaliação da inteligibilidade da fala dos ambientes, identificados pelas paredes que foram analisadas. Tal análise apresenta a classificação do STI, conforme a norma BS EN 60628-16 (BSI, 2003), o valor da privacidade, dado por

$Pr = 1$ -STI, e sua classificação conforme a Tabela 6.2, além dos valores médios da perda de articulação das consoantes correspondentes, dados por %ALC.

Neste trabalho, como foi mencionado, o valor de STI apresentado é a média espacial dos valores obtidos nos pontos de medição (a média espacial do STI foi considerada válida porque o valor do desvio padrão dos resultados obtidos nos pontos próximos à parede em avaliação foi de 0,02) porém, sem os filtros para voz masculina ou feminina, visto que os resultados com os filtros apresentam diferença não significativa (0,01) para poder indicar uma tendência para a melhor percepção da voz masculina ou feminina. Não serão, portanto, apresentados os resultados o índice de transmissão da fala, STI, com filtros para a voz feminina e masculina a partir da parede BR1-B. Os filtros serão ainda apresentados nos resultados da parede BR1-A, porque, sendo a primeira parede a ser avaliada, foram considerados os filtros e onde se pode verificar a diferença de 0,01 entre os filtros feminino e masculino.

Em relação à parede BR1-A, composta por blocos de concreto estrutural, com espessura de 190 mm de espessura, estão apresentados, na Tabela 7.6, os resultados do índice de transmissão da fala, STI, obtidos da média dos pontos de medição, com as diferentes áreas de material absorvedor no interior da câmara do LACAF e os filtros para as vozes masculina e feminina; apresenta ainda, os resultados dos valores da privacidade e os valores médios da percentagem da perda de articulação das consoantes.

Tabela 7.6 – Resultados dos parâmetros psicoacústicos referentes ao material de absorção na câmara de emissão

Parâmetro psicoacústico	0 m ²		11 m ²		15 m ²	
STI	0,29	Ruim	0,42	Pobre	0,44	Pobre
$Pr = 1$ -STI	0,71	Boa	0,58	Razoável	0,56	Razoável
% ALC	36,4	---	18,1	---	15,9	---
STI female	0,30	Ruim	0,44	Pobre	0,46	Razoável
$Pr = 1$ -STI female	0,70	Boa	0,56	Razoável	0,54	Razoável
% ALC	34,8	---	16,2	---	14,4	---
STI male	0,29	Ruim	0,43	Pobre	0,45	Razoável
$Pr = 1$ -STI male	0,71	Boa	0,57	Razoável	0,55	Razoável
% ALC	36	---	16,7	---	14,9	---

A melhor condição de inteligibilidade da fala ocorreu com 15m^2 de material absorvedor no interior da câmara do LACAF, mas, ainda assim, a classificação da qualidade da inteligibilidade, segundo a norma BS EN 60628-16 (BSI, 2003) como Pobre, porém, a privacidade, P_r , segundo a Tabela 6.2 é classificada como Razoável. A pior condição para a inteligibilidade da palavra falada ocorreu com ausência de material absorvedor no interior da câmara. Faz sentido, uma vez que o material absorvedor diminui a reverberação na câmara de emissão e, portanto, o som chega com mais clareza até o receptor. Se não houver nenhum material absorvedor, a reverberação será máxima e, portanto, obter-se-á a pior condição para a inteligibilidade da fala.

Os valores de STI também foram apresentados com os filtros para a voz feminina e masculina. Visto que não há diferenças significativas entre o valor geral de STI e os valores de STI com os filtros para voz feminina e masculina, serão tratados deste ponto em diante, apenas os resultados referentes ao valor geral de STI. Os filtros são significativos na avaliação da inteligibilidade quando a posição da fonte e do receptor encontram-se em um mesmo ambiente.

A perda de articulação das consoantes, %ALC, diretamente ligada ao STI, mostra que a melhor condição para a inteligibilidade também é com 15 m^2 de material absorvedor, lembrando que quanto menor o valor de %ALC, melhor é a condição da inteligibilidade. A diferença com 11 m^2 não é tão grande quanto com 0 m^2 , tornando as duas condições similares. Neste trabalho, quanto maior o valor de %ALC, melhor será a condição para a privacidade.

Os resultados do índice de transmissão da fala, STI, da Privacidade, P_r , e da percentagem da perda de articulação das consoantes, %ALC, dos demais ambientes estão apresentados na Tabela 7.7, que segue. As análises dos resultados seguiram a classificação do STI conforme a norma BS EN 60628-16 (BSI, 2003), e a classificação para Privacidade, P_r , conforme a Tabela 6.2.

Tabela 7.7 – Análise dos resultados para os demais ambientes

Identif.	STI		$P_r = 1\text{-STI}$		% ALC
BR1-B	0,49	Razoável	0,51	Razoável	11,75
BR2-A	0,27	Ruim	0,73	Boa	40,3
BR2-B	0,24	Ruim	0,76	Excelente	46,1
BR3	0,35	Pobre	0,65	Boa	26,6
BR4	0,25	Ruim	0,75	Boa	44,0
BR5	0,24	Ruim	0,76	Excelente	46,6
BR6	0,31	Pobre	0,69	Boa	32,2
PT1	0,50	Razoável	0,50	Razoável	11,8
PT2	0,51	Razoável	0,49	Razoável	10,7
PT3-A	0,33	Pobre	0,67	Boa	28,8
PT3-B	0,42	Pobre	0,58	Razoável	17,6
PT3-C	0,24	Ruim	0,76	Excelente	47,8

7.3 Avaliação subjetiva

A avaliação subjetiva compreende a análise dos questionários de respostas do júri no ambiente de recepção, sobre a percepção de sentenças faladas, por voz feminina e voz masculina, emitidas por um sistema sonoro posicionado na câmara de emissão.

Neste item são apresentados os resultados relativos à avaliação realizada com o auxílio de um júri.

7.3.1 BR1-A - Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

A avaliação subjetiva com a primeira parede foi dividida em duas partes: em uma parte, o sistema sonoro emitia as sentenças e o júri respondia numa tabela sobre a percepção da palavra ouvida. Em outra etapa do trabalho, outras sentenças foram emitidas mas, desta vez, o júri deveria escrever a sentença ouvida, sendo que nesse caso, a percepção poderia ser total, parcial ou nula, e estimada conforme o número de palavras, que compõe a sentença, fosse escrita. Esse

procedimento permitiu avaliar a subjetividade da percepção pelo júri e definir o melhor método para a avaliação subjetiva.

A Tabela 7.8 mostra os resultados dos testes de inteligibilidade da fala para as sentenças emitidas com a voz feminina e masculina com diferentes áreas de material absorvedor no interior da câmara de emissão, para o primeiro procedimento, isto é, com as frases ouvidas e para o segundo procedimento com as frases escritas.

Tabela 7.8 - Resultados da inteligibilidade para a voz feminina e masculina

Voz Feminina	Porcentagem das respostas			
	0 m ²	11 m ²	15 m ²	
	Frases Ouvidas			Frases Escritas
Ouve e entende com facilidade	10,0	16,2	2,5	11,5
Ouve e entende com dificuldade	22,3	31,5	5,0	2,3
Ouve, mas não entende	60,0	52,3	92,5	86,2
Não ouve	0,0	0,0	0,0	0,0
Voz Masculina	0 m ²	11 m ²	15 m ²	
	Frases Ouvidas			Frases Escritas
Ouve e entende com facilidade	6,9	8,5	1,7	1,6
Ouve e entende com dificuldade	26,2	20,8	6,7	4,6
Ouve, mas não entende	66,9	70,8	90,0	93,8
Não ouve	0,0	0,0	0,8	0,0

As Figuras 7.80 e 7.81 apresentam os gráficos onde se visualiza o percentual de percepção do júri para cada grupo de sentenças, para a voz feminina e masculina, respectivamente. A legenda é comum aos dois gráficos.

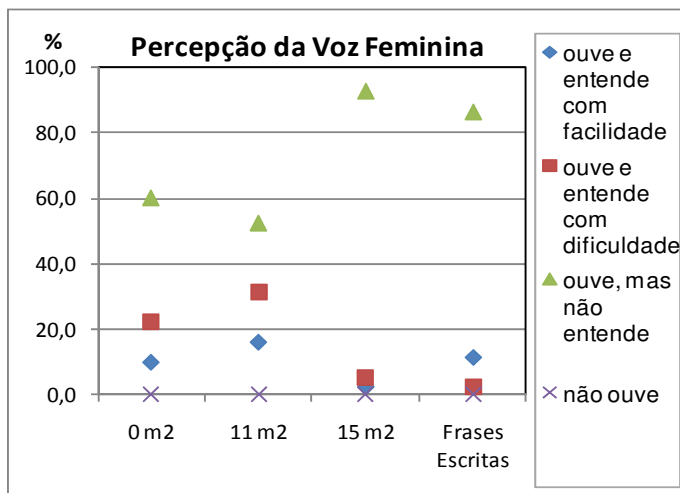


Figura 7.80: Inteligibilidade da fala para a voz feminina em relação às diferentes áreas de material absorvedor colocado na câmara de emissão.

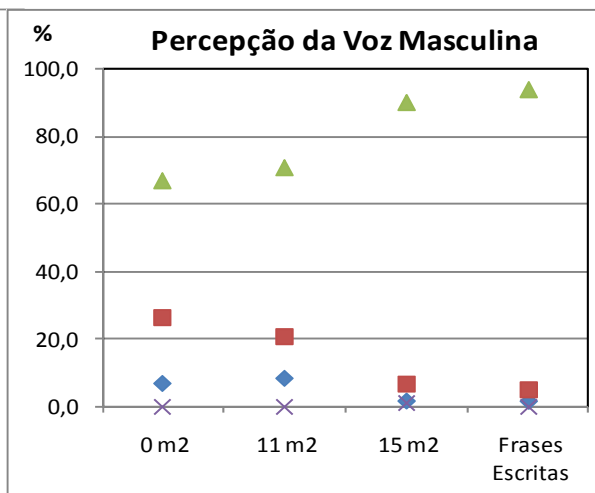


Figura 7.81: Inteligibilidade da fala para a voz masculina em relação às diferentes áreas de material absorvedor colocado na câmara de emissão.

Em relação às palavras ouvidas, mais uma vez verificou-se que a percepção das sentenças proferidas por voz feminina é superior à voz masculina. Verificou-se, também, que com 15m² de área de material absorvedor na câmara de emissão, as frases ouvidas mas não entendidas proferidas pela voz masculina são, em porcentual, inferior à voz feminina. Segundo o gráfico da Figura 7.66 esta é a melhor condição para a percepção da voz masculina.

A maior diferença entre a percepção da voz feminina e masculina se faz sentir com 11 m² de material absorvedor, onde, as sentenças emitidas pela voz feminina registraram uma percepção 18,5% superior em relação às sentenças emitidas por voz masculina (70,8% da voz masculina). Com essa área de material absorvedor, a condição da câmara de emissão está mais adequada à percepção da voz feminina e não da voz masculina.

Com 15 m² de material absorvedor na câmara de emissão, o teste com o júri foi repetido mas, desta vez, o júri deveria escrever as sentenças logo que as ouvisse. Nesta segunda etapa da avaliação verifica-se que a inteligibilidade da voz feminina se faz significativamente superior à da voz masculina. Nas próximas avaliações, em relação à avaliação subjetiva, será omitida a avaliação onde o júri escreve as sentenças ouvidas, pois foi percebido que pode haver incerteza maior nesses resultados sobre os resultados onde há uma escolha sobre a sensação auditiva.

Para a voz feminina, a soma das opções “ouvir e entender com facilidade” e “ouvir e entender com dificuldade”, apresentaram o maior registro na condição de 11m^2 de material absorvedor no interior da câmara de emissão, totalizando 47,7% das sentenças (16,2% e 31,5%, respectivamente). Para a voz masculina, a melhor situação (soma das opções “ouvir e entender com facilidade” e “ouvir e entender com dificuldade”, apresentaram o maior registro totalizando 33,1% (respectivamente, 6,9% e 26,2%) ocorreu, surpreendentemente, sem a presença de material absorvedor no interior da câmara de emissão.

O valor da perda de articulação das consoantes (%ALC) é melhor, para a inteligibilidade quanto menor for o seu valor e pode variar entre 0% (melhor inteligibilidade) até 100% (pior inteligibilidade). As piores condições realmente ocorreram sem material absorvedor no interior da câmara de emissão. Novamente, os melhores resultados estão nos dois pontos com a câmara de emissão com 15m^2 de material absorvedor. Em relação à privacidade, os melhores resultados são obtidos sem a presença de material absorvedor, como se pode verificar pela Tabela 7.8.

Para facilitar a visualização de comparação da inteligibilidade da voz masculina e feminina, para as três condições de teste, são apresentados nas figuras abaixo os gráficos para cada condição de absorção. O gráfico da Figura 7.82 mostra a inteligibilidade para a condição 0 m^2 de material absorvedor e os gráficos das Figuras 7.83 e 7.84 referem-se à inteligibilidade para as condições de 11 m^2 e 15 m^2 de material absorvedor, respectivamente.

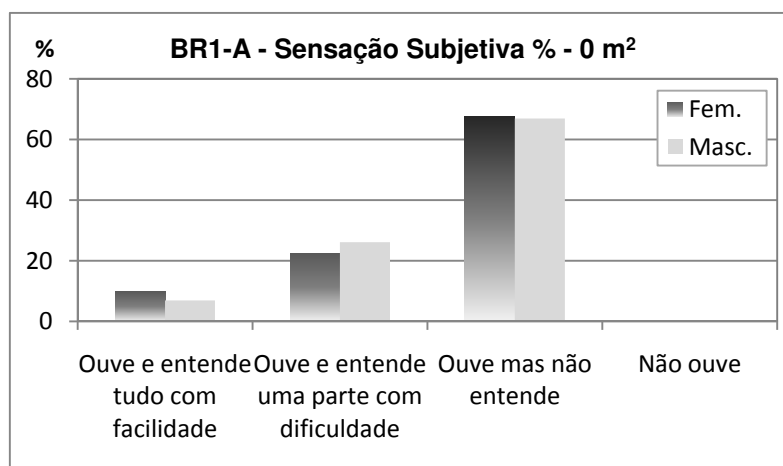


Figura 7.82: BR1-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade para 0 m^2 de material absorvedor.

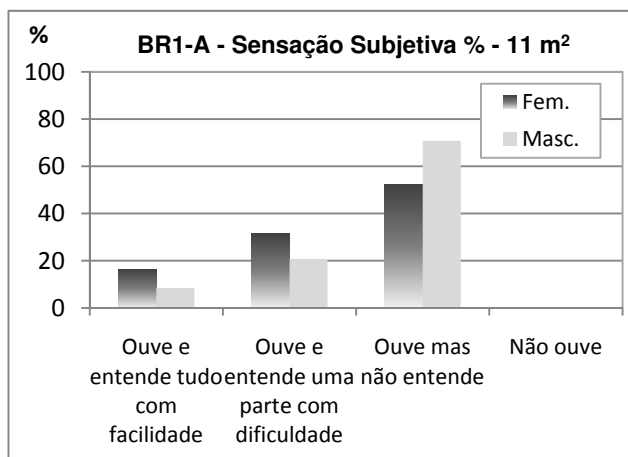


Figura 7.83: BR1-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade para 11 m² de material absorvedor.

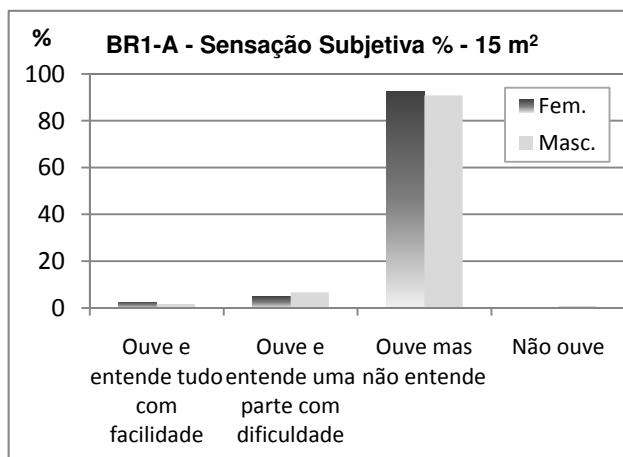


Figura 7.84: BR1-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade para 15 m² de material absorvedor.

Pelo gráfico da Figura 7.82 pode-se verificar que a inteligibilidade de ambas as vozes está muito próxima, com uma pequeníssima vantagem para a inteligibilidade da voz masculina, confirmando a expectativa dada pelas informações de EDT, T_{20} , SNR e D_{nT} . Os resultados apresentados no gráfico da Figura 7.83 mostram que a inteligibilidade da voz feminina se tornou mais evidente, confirmando a expectativa criada pelo gráfico comparativo entre EDT e T_{20} . No gráfico da Figura 7.84 observa-se que a inteligibilidade para as vozes masculina e feminina é a mesma, uma vez que não houve diferença entre os valores.

7.3.2 BR1-B- Bloco de concreto estrutural – 190 mm de espessura

Para a parede BR1-B a avaliação da percepção palavra falada pelo júri tem seus resultados apresentados no gráfico da Figura 7.85.

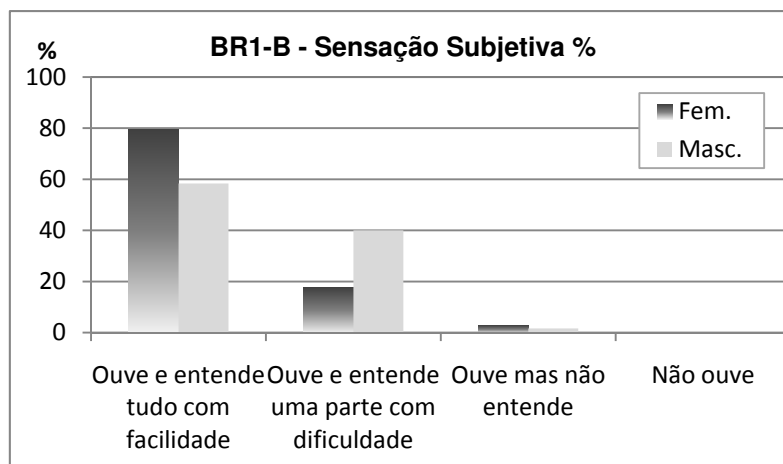


Figura 7.85: BR1-B - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

Verifica-se, pelo gráfico da Figura 7.85 que a voz feminina foi melhor ouvida e entendida, como previsto. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo comportamento específico dos demais parâmetros, em 2000 Hz, onde o desempenho da parede foi prejudicado e a definição atingiu seu valor máximo. Nessa frequência, há o favorecimento da inteligibilidade da voz feminina.

7.3.3 BR2-A - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.86 apresenta o resultado da avaliação subjetiva, com o júri.

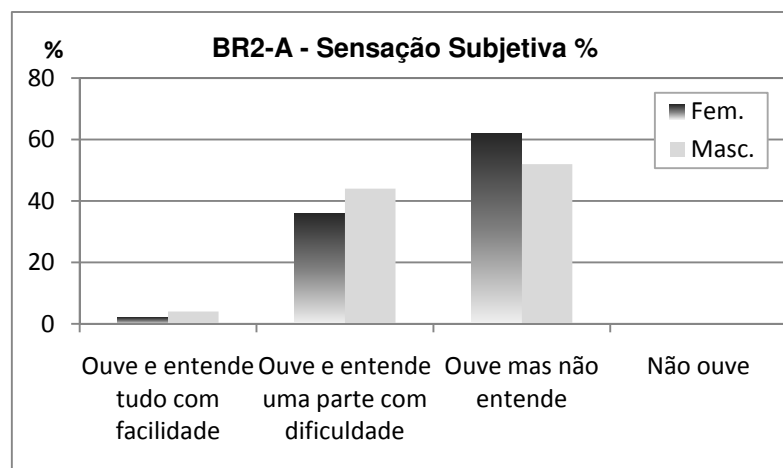


Figura 7.86: BR2-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

Verifica-se pelo gráfico da Figura 7.86, que a voz masculina foi ligeiramente favorecida pelas características do ambiente de recepção, visto que o júri ouve e entende melhor a voz masculina. Adicionalmente, a voz feminina foi a que se ouviu, mas de uma forma geral, não foram entendidas as sentenças.

7.3.4 BR2-B - Bloco de concreto de vedação – 90 mm de espessura

O resultado da avaliação da inteligibilidade pelo júri está apresentado no gráfico da Figura 7.87. Pode-se observar que a parede BR2-B favoreceu a inteligibilidade da voz feminina, visto que foi mais entendida do que a voz masculina, confirmando os resultados anteriormente apresentados, da comparação de EDT e T_{20} e da Definição, D_{50} , (*vide* Figuras 7.55 e 7.69, respectivamente) que, embora tenha apresentado valores muito baixos, quantitativamente e qualitativamente indicaram essa tendência.

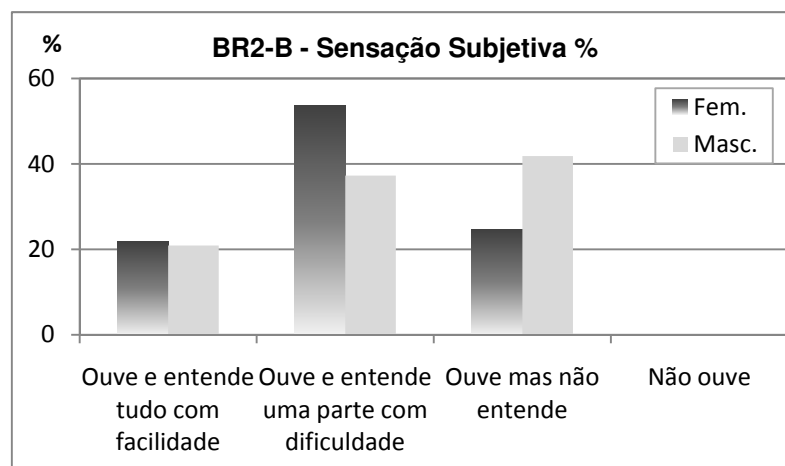


Figura 7.87: BR2-B - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

É interessante notar que as duas paredes BR2-A e BR2-B com o mesmo valor de desempenho acústico apresentam características que proporcionam diferentes percepções em relação às sentenças emitidas com as vozes, feminina e masculina.

7.3.5 BR3 - Bloco de concreto de vedação – 115 mm de espessura

Os resultados da avaliação subjetiva representados no gráfico da Figura 7.88 mostram que segundo o júri, a inteligibilidade maior é da voz masculina. Esse resultado confirma o comportamento esperado a partir do gráfico comparativo entre a relação sinal-ruído e o desempenho (*vide* Figura 7.38), porém, não é confirmado pelos resultados de EDT e T₂₀ e pelo gráfico da definição, D₅₀. O gráfico da definição pode criar uma expectativa oposta ao resultado do júri, se a visão for qualitativa. Porém, quantitativamente, como os resultados são muito baixos, inferiores a 0,07 de uma escala que vai até 1,0; a previsão da inteligibilidade em relação a uma ou outra voz torna-se prejudicada.

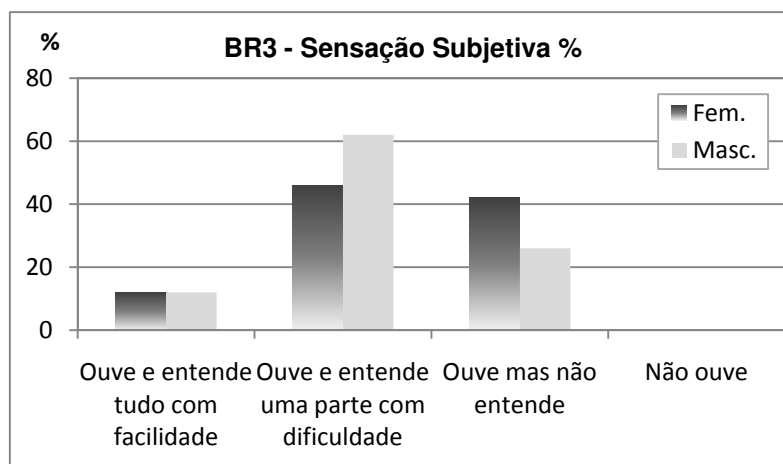


Figura 7.88: BR3- Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.6 BR4 - Bloco de concreto de vedação – 140 mm de espessura

O resultado da avaliação subjetiva, apresentado no gráfico da Figura 7.89 indica, que para o júri, a inteligibilidade é favorecida para a voz feminina, corroborando os resultados da definição, D₅₀ e EDT. As sentenças proferidas por voz feminina foram mais entendidas do que a voz masculina.

Embora os valores do desempenho acústico da parede revelem isolamento maior para as altas frequências, o que em princípio dificultaria a percepção da voz feminina, o conjunto formado pela parede e pelo ambiente favorecem a inteligibilidade da voz feminina.

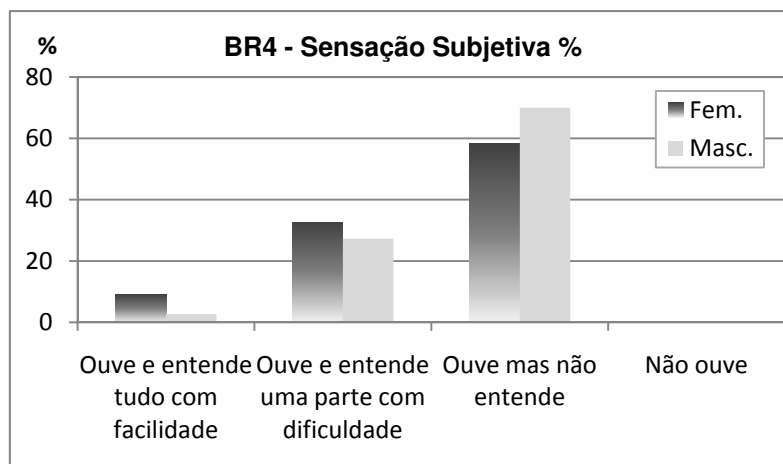


Figura 7.89: BR4 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.7 BR5 - Bloco cerâmico de vedação – 115 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.90 expõe os resultados da sensação subjetiva avaliada pelo júri, em relação à inteligibilidade da fala e revela que essa sensação foi equivalente para a voz feminina e masculina. O maior número de respostas foi direcionada para a opção “ouve mas, não entende”, podendo passar a idéia de que há um considerável nível de conforto, nesse ambiente.

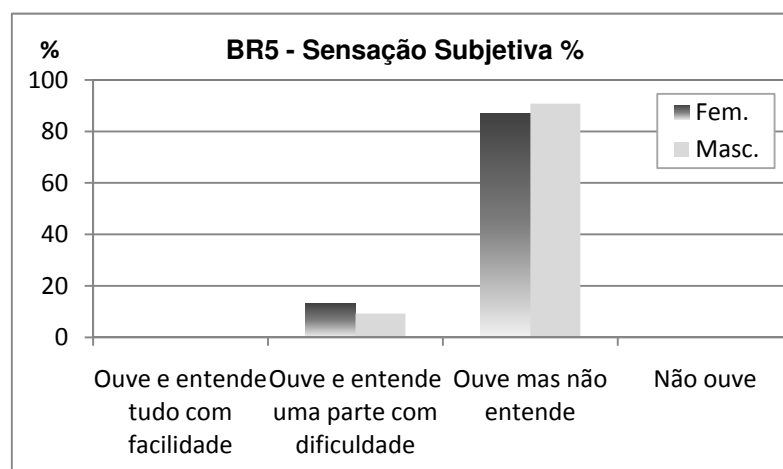


Figura 7.90: BR5 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.8 BR6 - Bloco cerâmico de vedação – 140 mm de espessura

A sensação subjetiva do júri, em relação à inteligibilidade da fala está apresentada no gráfico da Figura 7.91, onde se verifica que, segundo o júri, a voz feminina é mais entendida. Estes resultados corroboram os resultados anteriores de D50, EDT e T20. Os valores do gráfico comparativo do desempenho e da relação sinal-ruído, por sua vez, não foram confirmados pela avaliação subjetiva do júri. A sensação de reverberação, maior nas baixas frequências, pode ter sido a razão desta diferença.

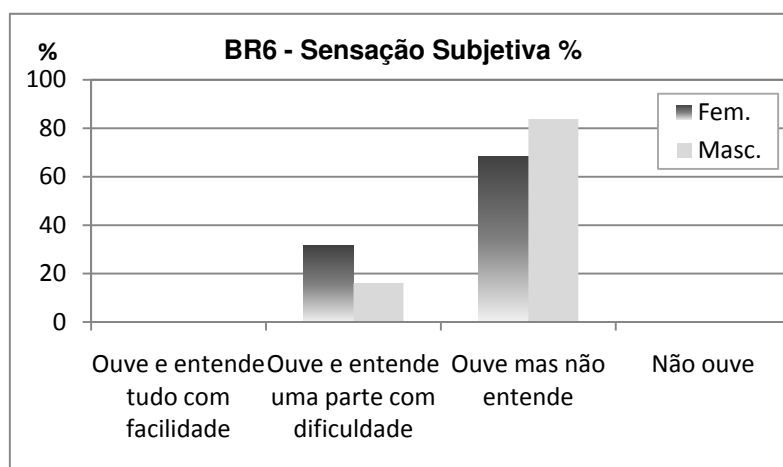


Figura 7.91: BR6 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.9 PT1 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 110 mm de espessura

O gráfico da Figura 7.92 onde são apresentados os resultados da avaliação subjetiva, mostra que o júri considerou a inteligibilidade melhor para a voz feminina.

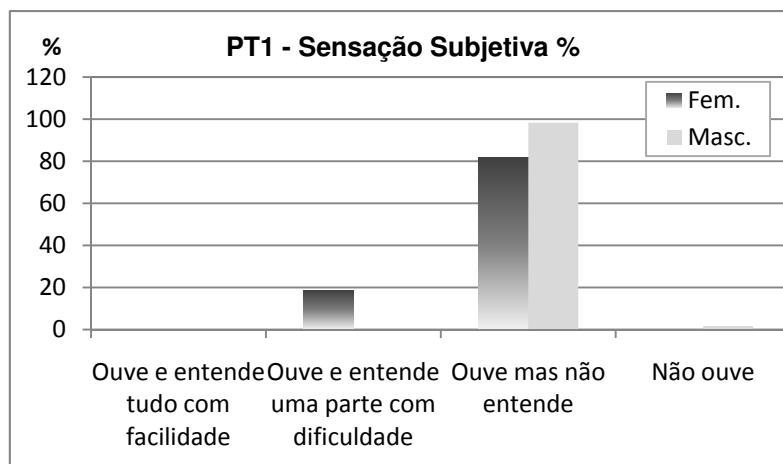


Figura 7.92: PT1 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.10 PT2 - Parede simples com tijolos cerâmicos de vedação – 150 mm de espessura

Para essa parede, segundo o júri, a inteligibilidade da voz feminina foi superior à da voz masculina, como se pode verificar no gráfico da Figura 7.93, corroborando os resultados dos parâmetros objetivos da inteligibilidade.

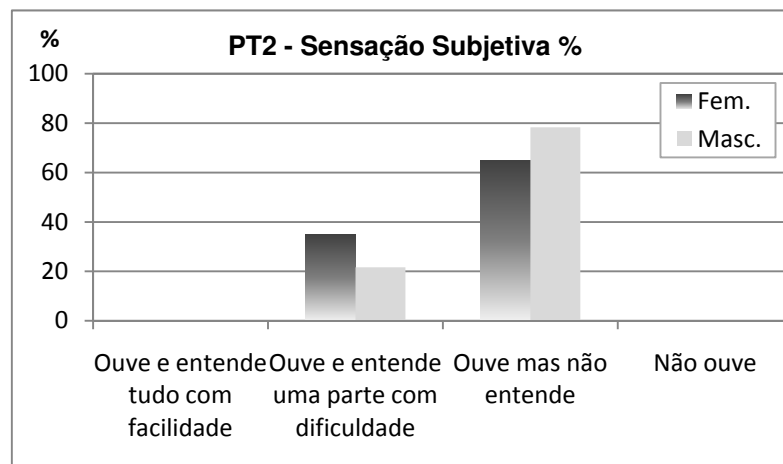


Figura 7.93: PT2 - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.11 PT3-A - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação

A análise da avaliação com o júri mostra que a inteligibilidade da voz masculina é superior à da voz feminina, visto que ouviram e entenderam com mais facilidade. Este resultado, que pode ser observado pelo gráfico da Figura 7.94, confirma o esperado no gráfico comparativo entre EDT e T₂₀ e mostra também, mais uma vez, que os valores muito baixos de D₅₀ não influenciam na hipótese de melhor inteligibilidade seja da voz masculina ou feminina.

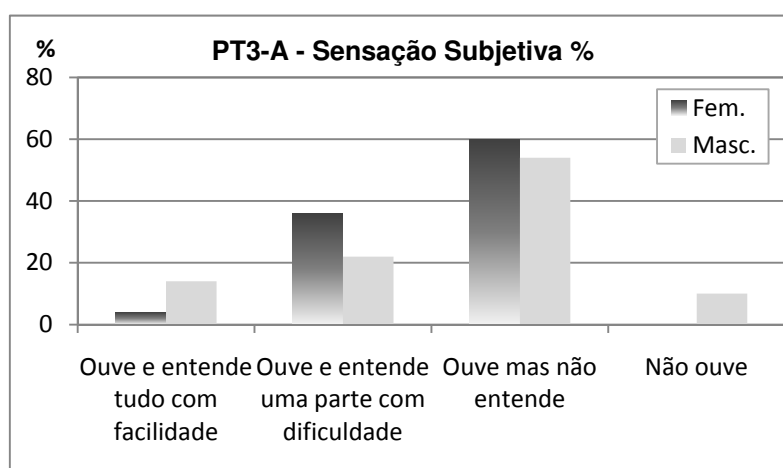


Figura 7.94: PT3-A - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.12 PT3-B - Parede dupla com tijolos cerâmicos de vedação

A análise dos resultados da avaliação da inteligibilidade com o júri, apresentados no gráfico da Figura 7.95, mostra que a inteligibilidade da voz feminina é superior à da voz masculina.

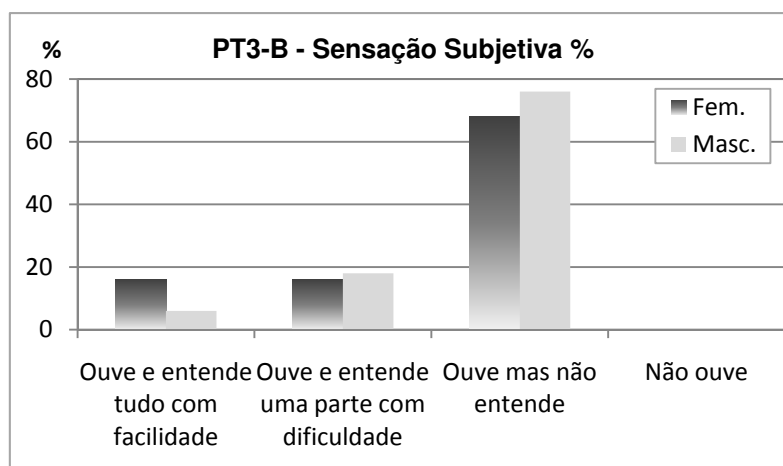


Figura 7.95: PT3-B - Sensação subjetiva do júri em relação à inteligibilidade.

7.3.13 Resumo dos resultados subjetivos

Apresenta-se a seguir nas Tabelas 7.9 e 7.10 um resumo dos resultados subjetivos com o júri, para cada uma das paredes avaliadas em campo, no Brasil e em Portugal. Em destaque encontram-se os valores máximos obtidos com o júri, sobre a percepção das sentenças, para as sentenças emitidas com as vozes feminina e masculina. As duas tabelas foram criadas separadamente porque para a avaliação da parede BR1-A as alternativas apresentadas ao júri eram pouco diferentes das alternativas para avaliação das demais paredes. A Tabela 7.9 apresenta os resultados para a parede BR1-A e a Tabela 7.10 apresenta os resultados para as demais paredes.

Tabela 7.9 – Resumos dos resultados subjetivos, em percentual, da parede BR1-A

Identif. (% de material de absorção)	Ouve e entende com facilidade		Ouve e entende com dificuldade		Ouve mas, não entende		Não ouve	
	Fem.	Masc.	Fem.	Masc.	Fem.	Masc.	Fem.	Masc.
BR1-A (0%)	10,0	6,9	22,3	26,2	<u>67,7</u>	<u>66,9</u>	0,0	0,0
BR1-A (11%)	16,2	8,5	31,5	20,8	<u>52,3</u>	<u>70,8</u>	0,0	0,0
BR1-A (15%)	2,5	1,7	5,0	6,7	<u>92,5</u>	<u>90,8</u>	0,0	0,8

Para as demais paredes, os resultados estão apresentados na Tabela 7.10.

Tabela 7.10 – Resumos dos resultados subjetivos, em percentual, para as demais paredes

Identif.	Ouve e entende tudo com facilidade		Ouve e entende uma parte com dificuldade		Ouve mas, não entende		Não ouve	
	Fem.	Masc.	Fem.	Masc.	Fem.	Masc.	Fem.	Masc.
BR1-B	<u>68,9</u>	<u>57,8</u>	25,6	41,1	5,6	1,1	0,0	0,0
BR2-A	2,0	4,0	36,0	44,0	<u>62,0</u>	<u>52,0</u>	0,0	0,0
BR2-B	21,8	20,9	<u>53,6</u>	37,3	24,5	<u>41,8</u>	0,0	0,0
BR3	12,0	12,0	<u>46,0</u>	<u>62,0</u>	42,0	26,0	0,0	0,0
BR4	9,1	2,7	32,7	27,3	<u>58,2</u>	<u>70,0</u>	0,0	0,0
BR5	0,0	0,0	13,1	9,2	<u>86,9</u>	<u>90,8</u>	0,0	0,0
BR6	0,0	0,0	31,5	16,2	<u>68,5</u>	<u>83,8</u>	0,0	0,0
PT1	0,0	0,0	18,3	0,0	<u>81,7</u>	<u>98,3</u>	0,0	1,7
PT2	0,0	0,0	35,0	21,7	<u>65,0</u>	<u>78,3</u>	0,0	0,0
PT3-A	4,0	14,0	36,0	22,0	<u>60,0</u>	<u>54,0</u>	0,0	10,0
PT3-B	16,0	6,0	16,0	18,0	<u>68,0</u>	<u>76,0</u>	0,0	0,0

Cada um desses resultados já foi analisado nos itens anteriores porém, pode-se notar que em sua maioria, o júri ouviu mas, não entendeu as sentenças, seja com a voz feminina ou masculina. De um modo geral, a voz feminina é mais ouvida e entendida (com facilidade ou dificuldade). De um modo especial, o resultado subjetivo da parede BR1-B foi confirmado com a perspectiva de resultado dado pela definição, D₅₀, com o pico nas proximidades do valor de 0,20 em 2000 Hz.

7.4 Avaliação do nível de conforto acústico, L_{conf}

Como foi mencionado anteriormente, a proposta deste trabalho apresenta o conforto como dependente do desempenho da parede de geminação e da inteligibilidade da fala entre os dois ambientes, sendo avaliado por meio da equação 6.3, como o nível de conforto, dado por L_{conf} , em dB.

Além do nível de conforto, L_{conf} , por meio dos resultados do desempenho da parede de geminação pode-se verificar o quanto essa parede ajuda a reduzir a audibilidade da conversação do ambiente adjacente. A audibilidade foi calculada pelo método de Stevens⁵⁸ a partir dos valores da diferença padronizada de nível, D_{nT} . Nesse cálculo não foram utilizados os valores do nível de pressão sonora medido no ambiente de recepção, L_2 , porque esse parâmetro não é padronizado, diferentemente do parâmetro D_{nT} , que é padronizado.

O resumo do cálculo da audibilidade para cada parede, está apresentado na Tabela 7.11. O inverso desse cálculo da audibilidade indica a audibilidade proporcionada pela parede de geminação e pelo ambiente de recepção, dado por sones^{-1} .

Tabela 7.11 – Cálculo da audibilidade a partir de D_{nT}

Identificação	Audibilidade (sones)	Audibilidade ⁻¹ (sones ⁻¹)
BR1-A	2,85	0,35
BR1-B	4,52	0,22
BR2-A	4,14	0,24
BR2-B	5,05	0,20
BR3	3,39	0,30
BR4	6,26	0,16
BR5	4,14	0,24
BR6	4,24	0,24

(continua)

⁵⁸O cálculo foi apresentado como o método A na norma ISO 532 (1975).

(continuação)

PT1	4,25	0,24
PT2	5,30	0,19
PT3-A	8,45	0,12
PT3-B	5,86	0,17
PT3-C	5,71	0,18

Quanto maior for a audibilidade menor será o conforto acústico em um ambiente. O conforto pode, então, ser tratado como proporcional ao inverso da audibilidade. Por essa razão, pensou-se na influência do desempenho acústico da parede de geminação sobre a redução da audibilidade no ambiente de recepção. Tal influência está apresentada no gráfico da Figura 7.96 com o resultado do inverso da audibilidade em função do desempenho da parede, referentes às diversas paredes avaliadas no decorrer deste trabalho.

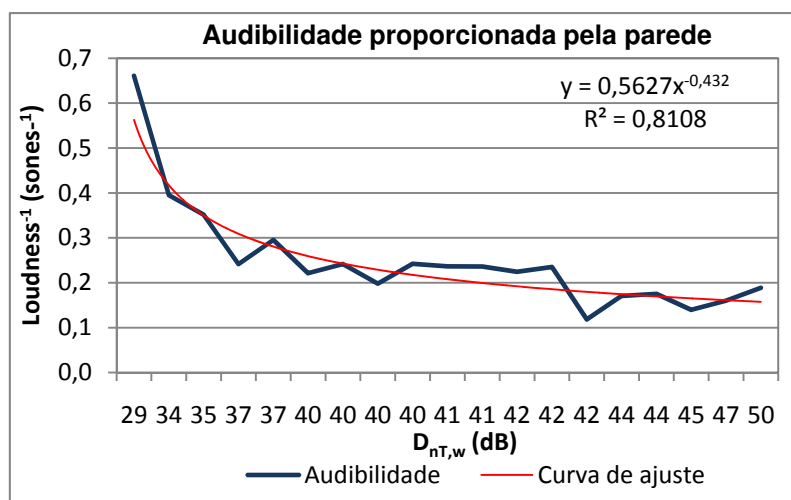


Figura 7.96: Audibilidade proporcionada pelas paredes como função de $D_{nT,w}$.

Do gráfico da Figura 7.96 pode-se confirmar o comportamento da parede, que com um bom desempenho, auxilia a condição de conforto entre ambientes, reduzindo a audibilidade da fonte sonora do ambiente adjacente. A melhor curva de ajuste obtida é potencial e, portanto,

observa-se que a partir de determinado valor de D_{nT} a inclinação da curva diminui, reduzindo a influência do desempenho da parede sobre a audibilidade.

Espera-se também que o nível de conforto seja maior quanto menor for a inteligibilidade da conversação de um ambiente para outro. O teste do júri mostrou que algumas paredes favoreciam a inteligibilidade da voz masculina e outras, da voz feminina. O ambiente de recepção tem influência nessa avaliação, já que a inteligibilidade é diretamente afetada pela reverberação do ambiente e pelo ruído de fundo. Já o desempenho da parede, pouco ou nenhuma influência tem sobre a inteligibilidade. O gráfico da Figura 7.97 mostra a relação entre o STI e a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, onde se verifica que a variação do STI é totalmente independente do valor de $D_{nT,w}$.

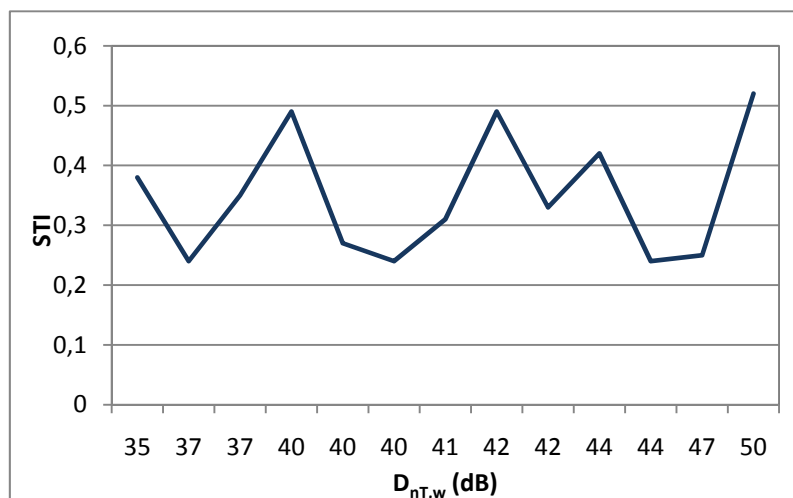


Figura 7.97: Relação entre STI e $D_{nT,w}$.

Se a inteligibilidade medida pelo índice de transmissão da fala, STI, apresenta valores altos, significa que o ambiente propicia a boa compreensão da palavra falada. Uma forma de obter o conforto desejado é aliar a baixa compreensão da fala, dada pelo STI, com baixa audibilidade, dada pelo desempenho da parede.

Uma avaliação mais completa do conforto no ambiente une o nível de privacidade, onde estão embutidos os valores da percepção da palavra falada emitida em outro ambiente, dado pelo STI, e a audibilidade, embutida no desempenho da parede entre dois ambientes. Tomando esta

idéia, apresenta-se o gráfico da Figura 7.98 onde se mostra a relação do nível de conforto, L_{conf} , e o desempenho da parede, $D_{nT,w}$.

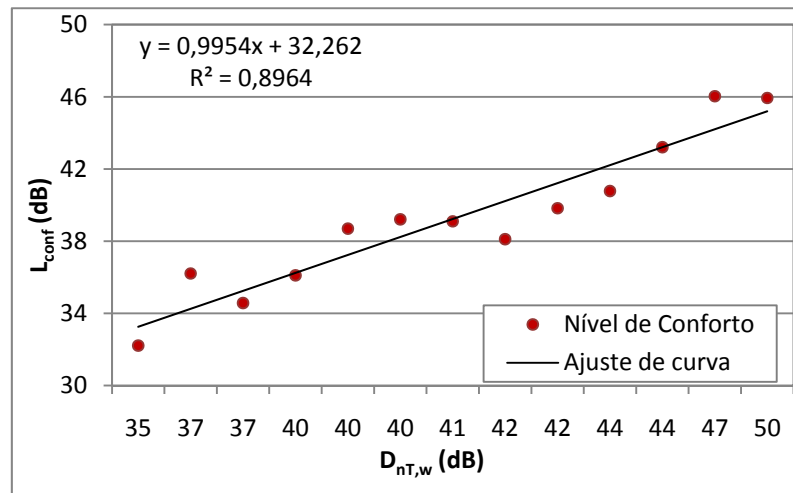


Figura 7.98: Relação entre L_{conf} e $D_{nT,w}$.

Pelo gráfico da Figura 7.98 observa-se a existência de uma relação linear entre o nível de conforto e o desempenho da parede de geminação entre dois ambientes.

7.5 Resumo dos resultados de desempenho, inteligibilidade e conforto

A Tabela 7.12 apresenta um resumo dos resultados das medições realizadas em todas as paredes em que houve oportunidade de realizar as medições acústicas. Alguns dos resultados já foram expostos e analisados no decorrer deste capítulo, outros porém, estão sendo expostos a partir deste momento, como complemento de informação, mesmo que parcial, visto que não foi possível completar as medições como nos itens já apresentados.

Também estão apresentados na Tabela 7.12, além de uma breve identificação das paredes, como composição, espessura e função, a identificação do ambiente de recepção, existência ou ausência de mobiliário, valores do desempenho em campo e em laboratório, valores do STI, da audibilidade e, conforme proposta deste trabalho, o valor do nível de conforto proporcionado pela parede e pelo ambiente e, finalmente, a classe de conforto.

Para as paredes PT3-A, PT3-B e PT3-C são apresentados os resultados das medições em campo e em laboratório, porém salienta-se, que as paredes utilizadas nessas duas avaliações são similares.

Os resultados das medições realizadas em campo e apresentados neste Capítulo são válidos para os edifícios e as condições em que foram realizadas. A extensão dos resultados para ambientes e condições similares requer um número estatístico adequado. Verifica-se, entretanto, que a aplicação da avaliação do nível de conforto acústico em ambientes vazios e mobiliados é válida e mostra a clara a tendência dos resultados.

Tabela 7.12 - Resumo dos resultados em todas as paredes avaliadas

Identif.	Material	Vedação/ Estrutural	Espessu- ra (mm)	Ambiente de recepção	Existência de mobiliário	$D_{nT,w}$ ($C;C_{tr}$) (dB)	R_w ($C;C_{tr}$) (dB)	Ruído de Fundo (dB)	STI médio	% ALC	Priva- cidade, Pr	Audibili- dade (sones ⁻¹)	Nível de Conforto L_{conf} (dB)	Classe
BR1-A	Concreto	estrutural	190	lab	sim	35(-1;-2)	---	39	0,38	23,5	0,62	0,35	32	D
BR1-B	Concreto	estrutural	190	sala	sim	40(-1;-2)	---	37	0,49	11,75	0,51	0,22	36	C
BR2-A	Concreto	vedação	90	sala	não	40(-1;-2)	40(-1;-4)	44	0,27	40,3	0,73	0,24	39	C
BR2-B	Concreto	vedação	90	sala	não	40(0;-2)	40(-1;-4)	52	0,24	46,1	0,76	0,20	39	C
BR3	Concreto	vedação	115	sala	não	37(0;-1)	41(-1;-4)	56	0,35	26,6	0,65	0,30	35	C
BR4	Concreto	vedação	140	quarto	não	47(-1;-4)	44(0;-3)	50	0,25	44,0	0,75	0,16	46	A
BR5	Cerâmica	vedação	115	quarto	não	37(-1;-1)	37(0;-3)	55	0,24	46,6	0,76	0,24	36	C
BR6	Cerâmica	vedação	140	sala	não	41(0;-2)	39(-1;-4)	55	0,31	32,2	0,69	0,24	39	C
PT1	Cerâmica	vedação	110	quarto	sim	42(-1;-3)	43(-1;-5)	40	0,50	11,8	0,50	0,24	38	C
PT2	Cerâmica	Vedação	150	sala	sim	50(-1;-4)	47(-1;-4)	40	0,51	10,7	0,49	0,19	46	A
PT3-A	Cerâmica	Vedação	110+150	hall	sim	42(-1;-3)	55(-1;-6)	44	0,33	28,8	0,67	0,12	40	B
PT3-B	Cerâmica	Vedação	110+150	sala	sim	44(-1;-3)	55(-1;-6)	35	0,42	17,6	0,58	0,17	41	B
PT3-C	Cerâmica	Vedação	110+150	sala	não	44(-1;-3)	55(-1;-6)	44	0,24	47,8	0,76	0,18	43	B
---	Cerâmica	Vedação	115	sala	não	29(-1;0)	37(0;-3)	50	---	---	---	0,66	---	---
---	Cerâmica	Vedação	115	sala	não	34(0;-1)	37(0;-3)	49	---	---	---	0,39	---	---
---	Cerâmica	vedação	140	sala	não	41(0;-2)	39(-1;-4)	50	---	---	---	0,24	---	---
---	Cerâmica	vedação	140	sala	não	42(-1;-2)	39(-1;-4)	55	---	---	---	0,22	---	---
---	Cerâmica	vedação	140	sala	não	44(-1;-4)	39(-1;-4)	47	---	---	---	0,16	---	---
---	Concreto	vedação	90	sala	não	40(-1;-2)	40(-1;-4)	53	---	---	---	0,24	---	---
---	Concreto	vedação	140	quarto	não	45(-1;-4)	44(0;-3)	57	---	---	---	0,14	---	---

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES

Este trabalho teve como foco principal a definição de um critério de avaliação do nível de conforto acústico nas edificações residenciais brasileiras e portuguesas. Salienta-se entretanto, que os edifícios residenciais avaliados, tanto num país quanto no outro, não são representativos estatisticamente para tomá-los como padrão e referência local.

Além do desempenho dado pelo envoltório do ambiente residencial, o conforto envolve a privacidade relacionada à percepção da palavra falada em ambiente adjacente.

Sobre o desempenho em relação ao ruído aéreo, as avaliações objetivas e subjetivas, apresentam-se as devidas conclusões.

8.1 Avaliação objetiva do desempenho de ruído aéreo

A avaliação objetiva foi baseada nos resultados obtidos das medições de isolamento sonora realizados em laboratório, medições do desempenho referente ao isolamento de ruído aéreo, realizado em campo, medições dos parâmetros relativos à caracterização do ambiente e inteligibilidade da fala, como STI, D₅₀, EDT, T₂₀ e parâmetros relativos ao conforto, como a audibilidade.

Relativamente aos testes de isolamento sonora não foi possível obter resultados em blocos de concreto com finalidade estrutural, portanto, as conclusões aqui apresentadas, referem-se somente às paredes compostas por blocos com finalidade de vedação.

As análises são feitas sobre os resultados obtidos e sobre as informações do sistema construtivo apresentadas pelos engenheiros responsáveis da obra. Não foi possível verificar a veracidade das informações e, portanto, são consideradas como verdadeiras. Sobre os resultados não condizentes resta então, buscar justificativas baseadas em experiências anteriores. Deve-se salientar que embora a referência às paredes seja referente ao tipo de blocos ou tijolos que as compõem, as paredes são resultados do conjunto dos blocos ou tijolos,

argamassas nas juntas e no reboco. Os resultados referem-se a esse conjunto que forma o sistema construtivo e não somente ao bloco ou tijolo.

8.1.1 Desempenho em campo e em laboratório

Segundo a norma de desempenho de edifícios seria de se esperar melhores resultados de desempenho em laboratório do que em campo, com uma diferença de 5 dB a mais em laboratório. Diversamente a essa expectativa, nos testes realizados no Brasil a diferença máxima obtida ocorreu com a parede de blocos de concreto com espessura de 115 mm, sendo que em laboratório obteve 3 dB a mais do que em campo. Com base nos testes realizados no Brasil, para paredes de alvenaria, essa diferença dada pela norma poderia ser extraída.

Os testes realizados no Brasil mostraram que as paredes de concreto avaliadas apresentam melhor desempenho do que as paredes de bloco cerâmico. Esse resultado seria de se esperar, visto que a densidade superficial dos blocos de concreto é maior do que dos blocos cerâmicos.

O desempenho das paredes de blocos de concreto ou cerâmico com espessura de 115 mm apresentam resultados similares, porém, surpreende o fato de serem inferiores aos resultados das duas paredes de concreto de 90 mm ($D_{nT,w} = 37$ dB, para as duas paredes com blocos de 115 mm e $D_{nT,w} = 40$ dB, para as duas paredes de blocos de 90 mm). Como foi mencionado, uma provável razão para essa diferença é a frequência crítica de cada material, a partir da qual a rigidez passa a ser responsável pelo desempenho em detrimento da massa.

Os testes realizados em Portugal mostraram que o desempenho das paredes constituídas por tijolos cerâmicos (respectivamente, $D_{nT,w} = 42$ dB, para tijolos de 110 mm de espessura e $D_{nT,w} = 50$ dB, para tijolos de 150 mm de espessura) aproxima-se do desempenho das paredes constituídas por blocos de concreto com espessura de 90 e 140 mm, no Brasil (respectivamente, $D_{nT,w} = 40$ dB, $D_{nT,w} = 47$ dB).

As paredes brasileiras com blocos de concreto e cerâmico, com espessura de 115 mm e 30 mm de argamassa (totalizando 145 mm de espessura) apresentam pior desempenho, respectivamente, $D_{nT,w} = 37$ dB e $D_{nT,w} = 37$ dB, do que a parede portuguesa com tijolos

cerâmicos de espessura 110 mm e 40 mm de argamassa, totalizando 150 mm de espessura ($D_{nT,w} = 42$ dB).

A parede portuguesa de tijolos cerâmicos de 150 mm, com 40 mm de argamassa, totalizando 190 mm de espessura final apresentou desempenho superior, porém com pequena diferença, da parede brasileira de blocos de concreto (respectivamente, $D_{nT,w} = 50$ dB, $D_{nT,w} = 47$ dB). Em comparação com a parede de blocos cerâmicos com espessura de 140 mm e 30 mm de argamassa, finalizando com 170 mm de espessura de parede, a parede portuguesa apresenta desempenho muito superior, embora o material que compõe os blocos e tijolos sejam similares (respectivamente, $D_{nT,w} = 50$ dB e $D_{nT,w} = 41$ dB).

Os resultados e comparações apresentados mostram que, em princípio, o material que compõe a parede não é o principal problema para não se obter o desempenho desejado. Supõe-se, visto que, não é possível acompanhar a construção desde o seu início para poder identificar possíveis falhas, a montagem das paredes não seja cuidadosa, o preenchimento dos vãos e juntas não seja perfeito de modo que permanecem falhas e frestas, prejudicando o poder de isolamento da parede. Os tijolos portugueses sendo mais leves que os blocos brasileiros, pela lei da massa, esperava-se que apresentassem desempenho inferior porém, não é o que acontece. Como suposição, o julgamento cai sobre a densidade superficial da argamassa que, aparentemente, a portuguesa é mais densa do que a brasileira, além da construção cuidadosa não permitindo a existência de frestas durante a construção.

Os coeficientes de adaptação do espectro transmitem informações que atualmente, poucos compreendem e sabem utilizar. Quando os projetistas perceberem a importância dessas informações, que mostram justamente o desempenho de um sistema construtivo em relação a diferentes sinais sonoros, talvez possam exigir o acréscimo desses coeficientes na norma. Porém, o uso dos coeficientes de adaptação do espectro torna os critérios ainda mais rigorosos. Por essa razão, os fabricantes precisariam melhorar, ainda mais, a qualidade de seus produtos utilizados em construção civil e os construtores necessitariam de aumentar o cuidado com o processo de construção de edifícios residenciais e melhorar o desempenho de seus edifícios, que são os produtos que disponibilizam ao mercado.

Os resultados obtidos em laboratório no Brasil mostram que as paredes não atendem aos critérios da norma. Como todo o cuidado com a montagem das paredes foi tomado e possíveis frestas fechadas pela argamassa nas juntas verticais e horizontais e no reboco, não sendo possível alterar a massa dos blocos, sugere-se alterar a massa da argamassa, tornando-a mais densa, embora esta sugestão possa acarretar outras consequências inclusive na segurança estrutural.

Os testes em campo realizados no Brasil mostram que as paredes avaliadas atendem em sua maioria aos critérios da norma de desempenho. Apenas as paredes de bloco estrutural de 190 mm de espessura (BR1-A), bloco de concreto de vedação com espessura de 115 mm (BR3) e o bloco cerâmico de vedação, com espessura de 115 mm (BR5) não atendem aos critérios. Quanto à parede BR1-A deve ter havido alguma falha na construção, permitindo a existência de frestas e por isso não atendeu ao critério mínimo. Justifica-se dessa forma porque a parede BR1-B, com a mesma composição e montagem atendeu ao critério mínimo. Paredes compostas por esse tipo de bloco têm condições de atender à norma.

As paredes BR3 e BR5 têm como característica diferente o fato de uma ser de blocos de concreto e a outra de blocos cerâmicos. As demais características são coincidentes inclusive o valor da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$. Mais uma vez, considerando-se que ambas paredes tiveram o processo de construção cuidadoso, pensa-se em aumentar a densidade da argamassa para poder atender ao critério mínimo da norma brasileira.

As demais paredes atendem ao critério mínimo da norma ABNT NBR 15575-4 (2008) excetuando-se a parede de blocos de concreto com espessura de 140 mm (BR4), que atende ao critério intermediário. Embora as paredes desse tipo são construídas em edifícios de alto padrão, devem atender ao critério mínimo da norma. Salienta-se que a norma define diferentes níveis de desempenho porém, não diferentes desempenhos conforme os padrões dos edifícios.

Das paredes avaliadas em campo, apenas a de blocos de concreto de vedação com espessura de 140 mm (BR4) poderia ser aplicada na África do Sul. Nenhuma das demais paredes poderiam ser aplicadas em quaisquer países, conforme pode-se verificar no gráfico da Figura 5.2. Essa parede, em particular, não poderia ser aplicada no Reino Unido, mesmo com o valor de $D_{nT,w}$ superior ao critério desse país. Isso porque, o Reino Unido utiliza os coeficientes de

adaptação do espectro e, considerando o coeficiente C_{tr} o valor o desempenho da parede BR4 cairia para 43 dB, que é um valor inferior ao critério do Reino Unido.

Das paredes portuguesas apenas a parede simples de tijolo cerâmico de espessura de 150 mm atende ao critério do Decreto-Lei. As paredes duplas não atendem ao critério, embora os resultados em laboratório mostram que podem atender. Provavelmente, a construção da parede apresentou falhas deixando frestas, além das caixas de luz e outras, que podem prejudicar o desempenho da parede. A parede simples de tijolo cerâmico com espessura de 110 mm, sendo utilizada entre unidades habitacionais, também não atende ao critério.

O critério português corresponde ao critério referente ao nível de desempenho superior, da norma de desempenho da ABNT.

Os critérios brasileiros estão muito benevolentes com a construção civil, quando comparados com os critérios internacionais. O Brasil ainda tem muito a aprender com o conforto acústico. A aprovação da norma de desempenho de edifícios de até cinco pavimentos foi uma vitória porém, já se pode iniciar os pensamentos com vista na revisão da norma. Até chegar esse momento, os fabricantes e as construtoras já terão tido tempo suficiente para melhorar seus produtos e oferecer edifícios com melhor qualidade acústica aos seus clientes. Do mesmo modo, deve ser colocada de forma mais clara no corpo da norma, a diferença entre os níveis de desempenho e o padrão dos edifícios. Não faz sentido um edifício de alto padrão, com apartamentos com valores na casa de 10^6 de reais, serem vendidos com nível de desempenho de casa popular! A norma também peca em não insistir com a divulgação do resultado de desempenho de um edifício no memorial descritivo. O cliente tem direito de saber sobre o desempenho do edifício que ele está adquirindo porém, nem todos sabem que existe uma norma que trata desse assunto.

8.1.2 Audibilidade e inteligibilidade da fala

A audibilidade foi calculada com os valores do desempenho dados pela diferença padronizada de nível, $D_{nT,w}$ e comprovou quantitativamente a relação com o desempenho da parede entre dois ambientes: quanto maior o desempenho menor a audibilidade. A audibilidade

não pode ser calculada por meio dos valores do nível de pressão sonora medidos no ambiente de recepção porque não são valores padronizados, como já foi comentado.

Tanto o ambiente de emissão quanto o ambiente de recepção necessitam de boas características acústicas para que a inteligibilidade da fala seja perceptível. O nível do sinal emitido e recebido, o tempo de reverberação, o EDT, a definição D_{50} , o ruído de fundo e a audibilidade estão entre os parâmetros que podem influenciar positiva ou negativamente a inteligibilidade da fala. Com os ambientes residenciais, de emissão e recepção, devidamente mobiliados as características acústicas estão adequadas à inteligibilidade, visto que em ambiente mobiliado o valor do STI é relativamente alto.

Os valores de STI e da privacidade mostram que não há relação direta entre eles e os valores do desempenho de uma parede entre dois ambientes. Porém, é um fator adicional à obtenção do conforto em ambiente residencial. Um ambiente reverberante ou com nível de ruído de fundo alto não são condições de conforto porém diminuem o valor de STI, prejudicando a inteligibilidade.

Os resultados da medição dos demais parâmetros relativos à avaliação da inteligibilidade da fala, como EDT, T_{20} , D_{50} mostram que auxiliam na previsão da percepção da palavra falada no ambiente de recepção. Esses valores traduzem as características do ambiente de recepção, podendo ser adequados à inteligibilidade da fala ou não. Adicionalmente, a comparação entre os valores de D_{nT} e SNR pode complementar as informações que permitem a previsão da inteligibilidade da fala, visto que passam a informação da influência do isolamento da parede sobre a inteligibilidade no ambiente de recepção. A sequência de análise dos resultados mostra que esses parâmetros utilizados individualmente para prever a inteligibilidade em um ambiente, podem induzir a erro ou não auxiliar nessa previsão e, consequentemente, na previsão do conforto.

8.2 Avaliação subjetiva

O júri respondeu na maioria das situações, conforme as Tabelas 7.9 e 7.10 que as sentenças são ouvidas porém, não são entendidas, seja para a voz feminina ou masculina. Isso mostra que as paredes, a partir de seus valores de desempenho e audibilidade, apresentam algum

nível conforto e, conforme o Quadro 5.5 o nível de privacidade para a conversação é considerado Muito Bom. Os valores do conforto são diferenciados conforme as condições do ambiente de recepção.

8.3 Conforto

A proposta de avaliação de conforto apresentada neste trabalho surgiu porque há diferença entre desempenho de uma parede e conforto em um ambiente, muito embora, um depende do outro. Há inúmeras reclamações de moradores a respeito dos seus vizinhos por ouvirem discussões e impactos. O conforto vai além do desempenho das paredes e envolve privacidade. O conforto acústico em uma edificação está intimamente ligado à inteligibilidade da fala e não somente ao isolamento objetivo da partição.

Verifica-se pelos resultados da Tabela 7.12 que o valor do isolamento das paredes é um fator essencial na avaliação final do conforto. Porém, as características do ambiente, chamado de recepção, são também essenciais. Verifica-se ainda que ambientes mobiliados ou vazios podem ser igualmente avaliados e determinados os seus valores e classe de conforto.

A respeito da primeira hipótese, apresentada no Capítulo 1, onde se esperava que os parâmetros acústicos utilizados para avaliação da inteligibilidade da palavra falada poderiam ser utilizados em avaliações de isolamento sonoro de paredes entre unidades habitacionais, verificou-se, por meio dos resultados do STI que não há relação direta entre o desempenho das paredes e os parâmetros utilizados na avaliação da inteligibilidade da fala. Porém, esses parâmetros poderão ser utilizados como complemento para a avaliação do conforto proporcionado pelo isolamento da parede e pelas características do ambiente, dados pelos parâmetros relativos à inteligibilidade da fala.

A avaliação de conforto proposta no trabalho demonstrou satisfatória e como complemento para a avaliação do desempenho de paredes entre unidades habitacionais e entre ambientes em geral e a segunda hipótese foi confirmada onde, foi verificado que o conforto acústico em uma edificação está intimamente ligado à inteligibilidade da fala e não somente ao isolamento objetivo da partição.

8.4 Sugestões para próximos trabalhos

Como sequência para este trabalho, outros poderão ser realizados. Diferentemente deste trabalho em que foi avaliada uma gama de sistemas construtivos, sugere-se a escolha de um dos sistemas construtivos avaliados e a realização de diversas medições de desempenho em diferentes edifícios residenciais, a fim de se aprofundar na avaliação do nível de conforto proporcionado pelo sistema construtivo entre unidades habitacionais.

Sugere-se, ainda, a realização de testes comparativos entre ambientes mobiliados e vazios, a fim de verificar de forma mais detalhada, a influência da mobília no nível de conforto.

Este trabalho restringiu-se às paredes de alvenaria, sugere-se, então, a estender a avaliação para painéis *drywall*, que são cada vez mais utilizados em edifícios residenciais.

A avaliação da transmissão marginal (*flanking transmission*), em campo, e a avaliação do amortecimento da parede a fim de verificar a dissipação da energia como influência no desempenho da parede, em campo e em laboratório, são outras sugestões para trabalhos futuros.

Pode-se ampliar a avaliação dos edifícios residenciais para ambientes comerciais como, escritórios e salas de reuniões.

E, finalmente, sugere-se analisar o nível de pressão sonora no ambiente de recepção como base para o cálculo da audibilidade proporcionada por uma parede de geminação entre o ambiente de emissão e recepção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁFRICA DO SUL. Agrément South Africa. **Performance criteria – building and walling systems – acoustic criteria**. 2002. Disponível em: <http://www.agrement.co.za>>. Acesso em: 22 Ago. 2006. 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM E 90-04**: Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements. United States. 2004.

_____. **ASTM E 336-05**: Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Insulation in Buildings United States. 2004.

_____. **ASTM E 413-04**: Classification for Rating Sound Insulation United States. 2004.

AMORIM, Adriana Eloá Bento. **Formas geométricas e qualidade acústica de salas de aula: estudo de caso em Campinas-SP**. Campinas. 2007. 260 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo: ABCI/PROJETO, 1990, 280p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 15575-1**: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos - Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. 2008.

_____. **NBR 15575-4**: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos - Desempenho. Parte 4: Requisitos para sistemas de vedações internas e externas. Rio de Janeiro. 2008.

_____. **CE-02:135.01**. Revisão da Norma NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS e INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (ABNT/INMETRO), **Guia para a expressão da incerteza de medição**. 3ed. Rio de Janeiro, 2003. 120p.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA (APICER). **Manual de Alvenaria de Tijolo**. Coimbra: APICER, 2000, 208p.

AUSTRÁLIA. New South Wales (NSW). Department of Environment and Conservation. **Dealing with neighbourhood noise**. 2ed. Australia. 2006. Disponível em: http://www.environment.nsw.gov.au/resources/neighbourhood_noise.pdf. Acesso 12 Fev. 2007.

AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD (ABCB). **Building Code of Australia**. Australia. 1996.

AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD (ABCB). **Building Code of Australia**. Australia. 2004.

BARING, João Gualberto de Azevedo. Isolação sonora de paredes e divisórias. *In: Tecnologia de Edificações*. São Paulo. PINI/ IPT, 1988. p. 429-434.

_____. Ruído Interno e Externo em Edificações: análise crítica da normalização brasileira *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, XX., 2002, Rio de Janeiro – RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC/INMETRO, 2002. CD ROM.

BARRERA, Claudio Poo. Edifícios. Normativa en aislamiento acústico. **Revista Bit**, v. 56, p. 38-42. Chile. 2007.

BARRY, Peter J. **Desempenho acústico em edifícios habitacionais**. Seminário Habitação: Desempenho e inovação tecnológica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT. São Paulo, 26-27 de outubro. 2005. pg 76-83.

_____. **Avaliação acústica de elementos de edificações**. Encontro SOBRAC. São Paulo, 2006.

_____. **Desempenho acústico em edifícios: grandezas, métodos, normas e critérios**. IV Seminário de Acústica Arquitetônica Contemporânea. CD-ROM. São Paulo, 2008.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D.H. (Eds.). **Guidelines for community noise**. World Health Organization (WHO). 1999. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf> >. Acesso em: 20 Fev. 2007. 1999.

BERTOLI, Stelamaris Rolla e GOMES, Márcio H. de Avelar. **Técnicas de medição para acústica de salas**. Campinas: (S.n.), 2005. 65 p. (Apostila da Disciplina: Acústica III – Aprofundamento, para pós-graduação. Unicamp).

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2006. 368p.

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. Acesso em 20 Fev. 2007. 1981.

_____. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, **Código de defesa do consumidor**. Dispõe sobre a proteção do consumidor Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L8078.htm>>. Acesso: 20 Fev. 2007. 1990a.

_____. Lei nº 10.406, de 10 de Janeiro de 2002. Institui o Código Civil e inclui a **Lei do condomínio**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/2002/L10406compilada.htm>>. Acesso: 20 Fev. 2007. 2002.

_____. **Resolução CONMETRO nº 12**, de 12 de outubro de 1988. CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (CONMETRO). Adoção do Quadro Geral de Unidades de Medidas. 1988.

_____. **Resolução CONAMA n.º 001**, de 08 de março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, dispõe sobre critério e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>. Acesso em: 20 Jan.2008. 1990b.

_____. **Resolução CONAMA nº 002**, de 08 de Março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, institui o Programa Silêncio. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0290.html>. Acesso em: 20 Jan.2008. 1990c.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS EN 60268-16**: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. London. 2003.

BRÜEL & KJÆR. Application Note, **Measuring Speech Intelligibility using Dirac**. Bo0506. 2003. Disponível em: <www.bksv.com>. Acesso: 19 de Fev. 2007. 2003a.

_____. Instruction manual. **DIRAC Room acoustics software type 7841**. Version 3.0. 2003b.

BOTTAZZINI, Marcelo Carvalho. **Igrejas setecentistas mineiras: a influência das características arquitetônicas na qualidade acústica**. Campinas. 2007. 244 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

BUILDING INDUSTRY AUTHORITY (BIA). **Building Code Clause G6, Airborne and Impact Sound**. Drafts. Wellington. New Zealand. 2004.

CARNEIRO, Waldir de Arruda Miranda, **Perturbações sonoras nas edificações urbanas**. 3ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2004. 332 p.

CAVANAUGH, W. J., *et al.* Speech Privacy in Buildings. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.34 n.4 p. 475-492. EUA. 1962.

CHILE. Ministerio de vivienda y urbanismo (MINVU). **La ordenanza general de urbanismo y construcciones**. Chile. 2007. Disponível em: http://www.minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx. Acesso 20 Nov. 2007.

CLETO, Fabiana R., **Referenciais tecnológicos para a construção de edifícios**. 2006. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CROOME, D. J. **Noise, Building and People**. Loughborough University of Technology, Great Britain: Pergamon Press. International Series in *heating, ventilation and refrigeration*, v. 11. 1977. 613p.

DELGADO, Camilo Sánchez *et al.*, **Manual de Aplicación Reglamentación Acústica**. Ed. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, Departamento de Tecnologías de la Construcción. Chile. 2006. 29p. Disponível em: <<http://www.minvu.cl>>. Acesso 20 Nov. 2007.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V. **DIN 4109**: Sound insulation in buildings; requirements and testing. German. 1989.

ESPAÑA. **Documento básico de protección frente al ruido, DB HR, Código Técnico de la Edificación**. Ministerio de Vivienda, Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, B.O.E. del 23 de Octubre de 2007. <http://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf>. Acesso em 20 Jan. 2009. 2007.

ESPAÑA. Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB-HR Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la

Edificación. **Revista de Acústica**, v39, n1-2. 2008. Disponível em <http://www.sea-acustica.es>. Acesso em: 21 Jan. 2009. 2008.

EVEREST, F. Alton. **The master handbook of acoustics**. 4 ed. New York: McGraw Hill, 2001. 615 p.

FARINA, Angelo. Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion With a Swept-sine Technique. **J.AES, 108th AES Convention**. v. 48, p. 350-374, Paris, 2000.

FINLÂNDIA. Ministry of the environment, Housing and Building Department. **C1 - Sound insulation and noise abatement in building: Regulations and guidelines**. National Building Code of Finland. Finland. 1998.

FREITAS, Ruskin. O que é Conforto? In: ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VIII., 2005, Maceió - AL. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 726-735. CD ROM.

GAMBINI, Caroline. **Reconhecimento de fala em escolares com e sem prática musical e diferentes níveis sócio-culturais**. 2006. 43 f. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul.

GARCIA, Danielly B. e VECCI, Marco A. Evaluation of residential buildings sound insulation criteria for Brazil In: INTER-NOISE ENVIRONMENTAL NOISE CONTROL. **Anais...** Rio de Janeiro: 2005. CD-ROM.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2ed. Florianópolis, SC: LVA, 2000. 696 p.

GERRETSEN, Eddy. Sound insulation quality in Dutch dwellings. In: DAGA 2003, at Institut für Technische Akustik der RWTH. **Proceedings...** Aachen, Germany. 2003a.

_____. Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. In: DAGA 2003, at Institut für Technische Akustik der RWTH. **Proceedings...** Aachen, Germany. 2003b.

GIBBS, B. M., MALUSKI, S. Airborne sound level difference between dwellings at low frequencies. **Building Acoustics**. v.11, n.1, p. 61-78. 2004.

GINN, K.B. **Architectural Acoustics**. Brüel & Kjær. 1978.

GOYDKE, Hans. New International Standards for Building and Room Acoustics **Applied Acoustics**, Great Britain, v. 52, n. 3/4, p. 185-196, Nov./Dec. 1997.

GRIMWOOD, Colin. Complaints about Poor Sound Insulation between Dwellings in England and Wales **Applied Acoustics**, Great Britain, v. 52, n. 3/4, p. 211-223, Nov./Dec. 1997.

GUEDES, Ítalo César Montalvão. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)** Campinas, SP, 2005. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

GUSKI, Rainer. An analysis of spontaneous noise complaints. **Environmental Research** n.13, p. 113-236, 1977.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **IRAM 4044**: Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros. Buenos Aires. 1985.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC). **International Building Code**, United States. 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM**. Portaria Inmetro 029 de 1995. 4ª edição. 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 140-1**: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission. Genève. 1997.

_____. **ISO 140-3**: Acoustics -Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. Genève, 1995.

_____. **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 140-7**: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors. Genève. 1998d.

_____. **ISO 354:** Acoustics- Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room. Genève, 2003.

_____. **ISO 532:** Acoustics - Method for calculating loudness level 1975.

_____. **ISO 717-1:** Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation. Genève. 1996.

_____. **ISO R 1996,** Acoustics - Assessment of noise with respect to community response, Geneva, 1971.

_____. **ISO 1996-1:** Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures. Geneve. 2003.

_____. **ISO 1996-2:** Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels Geneve. 2007.

_____. **ISO 3382:** Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Genève. 1997.

_____. **ISO 6242-3:** Building construction - expressions for users' requirements - Part 3: Acoustical requirements. Genève. 1992.

_____. **ISO 10052:** Acoustics - Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound - Survey method. Genève. 2004.

ISOVER. **Manuale Tecnico 2007.** Itália. 2007.

INGELAERE, B., VERMEIR, G., VAN DAMME, M. New Belgian requirements for dwellings. Forum Acusticum 2005. **Anais...** Budapest, ELTE University, Hungary. 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Relatório nº 16 277 – **Formulação de critérios para avaliação de desempenho de habitações.** São Paulo. 1981.

_____. Divisão de Edificações. **Tecnologia de edificações.** IPT/Editora PINI: São Paulo. 1988.

_____. **Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social.** IPT/ FINEP: São Paulo. 1995.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. **NCh 352/1:** Aislación acústica - Parte 1: Construcciones de uso habitacional - Requisitos mínimos y ensayos. Chile. 2000.

KOSTER, Andrew. Saint-Gobain Insulation acoustical comfort classes. *In:* 19th INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS (ICA). **Anais...** Madrid, 2-7 September 2007.

KOYASU, M., YOSHIMURA, J., TACHIBANA, H. Building acoustic classification for sound insulation in Japan. *In:* INTER-NOISE 2004. **Proceedings...** Prague. Czech Republic. 2004.

LAIRD, Donald A. e COYE, Kenneth. Psychological measurements of annoyance as related to pitch and loudness. **Journal Acoustical Society of America**, v. 1, p. 158-163. 1929.

LAHTELA, Tero. **Sound Insulation - Guidelines for wooden residential buildings.** Wood Focus: Finlândia. 2005. 114p.

LALLI, Flávio P. Critérios de ruído. *In:* **Tecnologia de Edificações.** São Paulo. PINI/ IPT, 1988. p. 453-456.

LANG, Judith *et al.* **Schallschutz im wohnungsbau.** Technische Universität Wien. Viena. 2006. 113 p.

LEVY-LEBOYER, Claude e NATUREL, Neighbourhood noise annoyance. **Journal of Environmental Psychology.** v. 11, p. 75-86. 1991.

LOPES, L. P. Santos; RODRIGUES, Marco. Quantificação de desempenho acústico em edifícios - Análise comparativa das grandezas alternativas disponíveis. *In:* ACUSTICA 2004. **Anais...** Guimarães, Portugal. 2004. CD-ROM.

MASIERO, Bruno Sanches; IAZZETTA, Fernando. Estudo e implementação de métodos de medição de resposta impulsiva. **Acústica e Vibrações.** n.º. 36, p. 34-41. Dezembro de 2005.

MATHYS, J. Low-frequency noise and acoustical standards. **Applied Acoustic.** v.40, n. 3, p.185-199. 1993.

MEHTA, Madan; JOHNSON, Jim; ROCAFORT, Jorge. **Architectural acoustics: principles and design.** Columbus: Prentice Hall, 1999. 446p.

MEISSER, Mathias. Réglementation acoustique des bâtiments. **Technique de l'ingénierie**, revue on line, code C 3 365, France, 2005.

MILLER, James D. Effects of noise on people. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 56, n. 3, p. 729-764. September 1974.

MITIDIERI FILHO, Claudio Vicente. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**. 1998. 256 f. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo.

_____. Avaliação técnica de novos produtos para construção de habitações. **Entrevista** ao "Bate-papo programado" IPT em 24/09/2002. Disponível em: <<http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=58>>. Acesso em 03 Jan. 2008. 2002.

_____. Desempenho Normalizado **Téchne**, São Paulo: Pini, 86, Maio 2004. p. 20-23. Entrevista.

MÜLLER, Swen. Medir o STI. *In*: II SEMINÁRIO DE MÚSICA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2005, São Paulo. **Proceedings online...** Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/>>. Acesso em: 10 Dez. 2007. 2005.

_____. Avaliação da inteligibilidade com o STI. **Acústica e Vibrações**. Nº38, p. 58-38. SOBRAC. Florianópolis. 2007.

MÜLLER, Swen, MASSARANI, Paulo. Transfer-Function Measurement with Sweeps. **Journal of Audio Engineering Society**, v. 49, n. 6, p. 443, 2001.

_____. **Medições da Resposta em Frequência de Sistemas de Sonorização**. *In*: Duque de Caxias: Laena - Inmetro, 2005. p. 1-8.

NEDERLANDS NORMALISATIE-INSTITUUT **NEN 1070**: Geluidwering in woongebouwen - specificatie en beoordeling van de kwaliteit (Noise control in buildings Specification and rating of quality). The Netherlands. 1999.

NAKAMURA, Juliana. Normas Técnicas em Construção **Téchne**, São Paulo, n. 78, p. 30-36, Setembro 2003.

NEMERLIN, Jean. La nouvelle norme acoustique pour les immeubles d'habitation bientôt en application. la revue **Architrave** - mai 2007 - n°157. Disponível em: <http://www.srave.be> Acesso em: 15 Fev 2008.

NORSK STANDARD. **NS 8175 E**: Acoustic conditions in building – Sound classification of various types of buildings. Norway. 2005.

NOVAK, Andreas. **Studies of sound insulation in buildings**. Doctoral Thesis. Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm, 1995.

OGASAWARA, Ana Paula. **Avaliação acústica de oito salas destinadas a apresentações teatrais da cidade de Campinas, SP, através da técnica impulsiva**. Campinas, 2006. 251 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.

PAIXÃO, Dinara Xavier. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)** Florianópolis, 2002. 182 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

PATRÍCIO, Jorge. **Acústica nos edifícios**. 4ed. Lisboa: Verlag Daschöfer, 2007. 382 p.

PIÃO, Adriano Fresco das Neves Simões. **Isolamento acústico de paredes de alvenaria de tijolo. Resultados experimentais versus modelos numéricos**. Coimbra, 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

POLISH COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **PN-B-02151-3**: Building acoustics - Noise protection of apartments in buildings - Sound insulating in buildings and of building elements - Requirements. Poland. 1999.

PORTUGAL. Decreto-Lei n° 129/2002. **Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios**. Diário da República I-Série A. n° 109, p. 4421-4428. Lisboa. 2002.

_____. Decreto-Lei n° 96/2008. **Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios**. Diário da República I-Série A. n° 110, p. 3359-3372. Lisboa. 2008.

RASMUSSEN, B. Schallschutz zwischen wohnungen – Bauvorschriften und klassifizierungssysteme in Europe (Sound Insulation between dwellings – Classification schemes and building regulations in Europe). In: INTER-NOISE 2004. **Proceedings...** Prague. Czech Republic. 2004.

RASMUSSEN, Birgit, RINDEL, Jens Holger. Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings - from chaos to consensus? **Proceedings...** Forum Acusticum 2005. Budapest. 2005.

REINO UNIDO. Buildings Division. **Approved Document E - Resistance to the passage of sound.** The Building Regulations 2000. Edição 2003. Disponível em: <http://www.planningportal.gov.uk/uploads/br/BR_PDF_ADE_2003.pdf> Acesso em 20 Fev. 2007.

SANCHES, Paulo. Vale a Norma? **Téchne**, São Paulo: Pini, 78, Setembro 2003. p. 26-28. Entrevista.

SCHROEDER, M. R, New method of measuring reverberation time. **Journal of the Acoustical Society of America.** v. 37, p. 409-412. EUA. 1965.

SOUZA, Okky; VIEIRA, Vanessa. A vida com instruções. **Veja.** Ed. Abril. Ano 41. Ed. 2042. n. 1. 09 de Janeiro de 2008.

SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS. **SABS 0218-1:** Acoustical properties of buildings Part 1: Grading criteria for the airborne sound insulation properties of buildings. South Africa. 1999.

THADEN, Rainer. **Auralization in building acoustics.** 2005. 143 f. These. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Alemanha.

UTLEY, W.A.; BULLER, I. B. A study of complaints about noise from domestic premises. **Journal of Sound and Vibration.** v. 127, n. 2, p. 319-330. Dec. 1988.

WARNOCK, A.C.C. **Acoustics in Practice.** In: BUILDING SCIENCE INSIGHT '85, "NOISE CONTROL IN BUILDINGS." Canadá: National Research Council of Canada, NRCC, pp. 39-51. 1985. Disponível em: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/bsi/85-4_e.html>. Acesso em 23 Maio 2007.

ANEXO A - LISTAS DE SENTENÇAS

Os Quadros A1 a A7 apresentam os diferentes grupos de sentenças utilizadas nos testes de inteligibilidade da fala, com o júri e em testes audiométricos (GAMBINI, 2006).

Quadro A1: Sentenças da lista 1A

Lista 1A			
Nº	Sentenças	Nº	Sentenças
1	Não posso perder o ônibus	14	Estou morrendo de saudade
2	Vamos tomar um cafezinho	15	Olhe bem ao atravessar a rua
3	Preciso ir ao médico	16	Preciso pensar com calma
4	A porta da frente está aberta	17	Guardei o livro na primeira gaveta
5	A comida tinha muito sal	18	Hoje é meu dia de sorte
6	Cheguei atrasado para a reunião	19	O sol está muito quente
7	Vamos conversar lá na sala	20	Sua mãe acabou de sair de carro
8	Depois, liga para mim	21	Ela vai viajar nas férias
9	Esqueci de pagar a conta	22	Não quero perder o avião
10	Os preços subiram ontem	23	Eu não conheci sua filha
11	O jantar está na mesa	24	Ela precisa esperar na fila
12	As crianças estão brincando	25	O banco fechou sua conta
13	Choveu muito nesse fim de semana		

Quadro A2: Sentenças da lista 1B

Nº	Lista 1B
1	O avião já está atrasado
2	O preço da roupa não subiu
3	O jantar da sua mãe estava bom
4	Esqueci de ir ao banco
5	Ganhei um carro azul lindo

(continua)

Quadro A3: Sentenças da lista 2B

Nº	Lista 2B
1	Acabei de passar um cafezinho
2	A bolsa está dentro do carro
3	Hoje não é meu dia de folga
4	Encontrei seu irmão na rua
5	Elas viajaram de avião

(continua)

(continuação)

6	Ela não está com muita pressa
7	Avisei seu filho agora
8	Tem que esperar na fila
9	Elas foram almoçar mais tarde
10	Não pude chegar na hora

Quadro A4: Sentenças da lista 3B

Nº	Lista 3B
1	Ela acabou de bater o carro
2	É perigoso andar nesta rua
3	Não posso dizer nada
4	A chuva foi muito forte
5	Os preços subiram na segunda
6	Esqueci de levar a bolsa
7	Os pães estavam quentes
8	Elas já alugaram uma casa na praia
9	Meu irmão viajou de manhã
10	Não encontrei meu filho

Quadro A6: Sentenças da lista 5B

Nº	Lista 5B
1	Depois a gente conversa
2	Ela acabou de servir o almoço
3	Esta carta chegou ontem
4	Preciso terminar o meu trabalho
5	Não posso esquecer a mala
6	A rua estava muito escura
7	A data do exame foi adiada
8	Elas alugaram um carro no verão
9	Minha viagem foi ótima
10	Eles foram comprar pão

(continuação)

6	Seu trabalho estará pronto amanhã
7	Ainda não está na hora
8	Parece que agora vai chover
9	Esqueci de comprar os pães
10	Ouvi uma música linda

Quadro A5: Sentenças da lista 4B

Nº	Lista 4B
1	Sua mãe pôs o carro na garagem
2	O aluno quer assistir ao filme
3	Ainda não pensei no que fazer
4	Essa estrada é perigosa
5	Não paguei a conta do bar
6	Meu filho está ouvindo música
7	A chuva inundou a rua
8	Amanhã não posso almoçar
9	Ela viaja em dezembro
10	Você teve muita sorte

Quadro A7: Sentenças da lista 6B

Nº	Lista 6B
1	Vou viajar às nove da manhã
2	Meu irmão bateu o carro ontem
3	Prometi a ele não contar o segredo
4	Cheguei atrasada na aula
5	Essa rua é perigosa
6	Esqueci a bolsa na sua mesa
7	Ela comprou os últimos pães
8	A casa de campo já foi alugada
9	Os preços não devem subir
10	Não falei com sua filha