

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

AVALIAÇÃO DE FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO
SONORA PARA PROJETOS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EM
EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

RENATA COSTA DA SILVA

Santa Maria, julho de 2014.

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

TÍTULO

AVALIAÇÃO DE FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO SONORA
PARA PROJETOS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO
EM EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

RENATA COSTA DA SILVA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CONFORTO AMBIENTAL
SENDO APROVADA EM SUA FORMA FINAL.

STEPHAN PAUL, DR. ENG. – ORIENTADOR

ERIC BRANDÃO, DR. ENG. – COORIENTADOR

BANCA EXAMINADORA

STEPHAN PAUL, DR. ENG. – PRESIDENTE

ERASMO FELIPE VERGARA MIRANDA, DR. ENG. – (UFSC)

IVANOR MÜLLER, DR. ENG. – (UFSM)

Aos meus queridos pais, Marcia e Vanderlei,
por sempre acreditarem na minha capacidade
e possibilitarem a realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

À minha querida mãe, Marcia Costa, que não mediu esforços para que eu chegasse até essa etapa da minha vida. E que com todo o apoio e carinho tornaram esse processo mais suave.

Ao meu pai, Vanderlei da Silva, por acreditar nos meus sonhos e estar sempre presente na minha vida, com muito amor e carinho. Tornando possível essa minha jornada.

À minha família e amigos por compreender os momentos de ausência, que não foram poucos. E que, com certeza, sempre estiveram torcendo por mim.

À minha segunda família, Schneider e Garcia, por me acolher incondicionalmente e compreender todos os momentos em que não pude estar presente. Sempre com muita alegria e união.

Ao meu orientador, professor Stephan Paul, por acreditar no meu trabalho. E que com toda a exigência, disciplina e inúmeras orientações tornou possível a realização desse estudo.

Ao meu coorientador, professor Eric Brandão, pelas correções e colocações pertinentes referentes a esse trabalho.

Ao professor, William D'Andrea Fonseca, por ter disponibilizado esse *template* no editor de texto Latex e por ter auxiliado com a formatação do trabalho.

Aos professores, Ivanor Müller e Augusto Maciel, pelo auxílio com a análise estatística dos resultados.

Ao professor, Marco Pinheiro, pela ajuda com os equipamentos do laboratório e com as medições, sempre muito querido, simpático e prestativo.

À minha sempre e querida amiga, Andrielle Panosso, pelo apoio emocional, pelos conselhos, pelo ombro amigo. Atitudes fundamentais para que eu persistisse, frente às dificuldades.

À Gêssica, pelo apoio em várias etapas da dissertação, mas principalmente pelo empenho e dedicação nas medições, que sozinha não conseguiria realizar, e o auxílio inicial com as simulações.

Ao Júlio Santos e o Michael Klein, por todo o auxílio nas inúmeras medições, mesmo no calor de mais de 40°.

À Talita Pozzer, por sempre me socorrer com Latex e sanar dúvidas de acústica. Será com certeza uma excelente professora.

Aos alunos do GPAV (Grupo de Pesquisa de Acústica e Vibrações), que de uma maneira ou de outra contribuíram para o meu crescimento e para o enriquecimento dessa pesquisa.

Ao pessoal do laboratório, Eder Luiz Filipetto, José Luiz Guerra e Juraci José Bortoluzzi, pelo apoio, incentivo e principalmente pela ajuda nas medições.

A todos os moradores e construtoras, que cederam seus apartamentos para as medições, sem isso a realização dessa pesquisa não seria possível.

Ao Wilson e Mara Becker, pelo auxílio fundamental na obtenção de residências para as medições, através da intermediação, com os construtores da cidade.

”Foi o tempo que dedicastes à tua rosa
que a fez tão importante.”

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

Com a entrada em vigor, em julho de 2013, da nova norma brasileira, NBR 15575:2013, passaram a ser exigidos nas novas construções de uso multifamiliar, níveis mínimos de desempenho, tais como térmico, lumínico, estrutural e acústico. Dessa maneira, programas computacionais que simulam a transmissão sonora em edificações, podem servir como ferramentas importantes aos profissionais, permitindo a verificação do desempenho acústico virtual dos projetos, de forma rápida e econômica. Por serem amplamente utilizados nos países europeus, possuem banco de dados dos elementos e sistemas construtivos existentes na Europa. A partir disso, esse trabalho teve como objetivo a avaliação de uma ferramenta computacional, de simulação da transmissão sonora, para a realidade das construções brasileiras. Foram selecionadas 20 residências, na cidade de Santa Maria - RS, para serem medidas *in loco* e depois simuladas, aos ruídos aéreo e de impacto. As residências foram escolhidas, de acordo com padrão e sistemas construtivos. Para maior representatividade das construções brasileiras, foram escolhidas residências do padrão baixo, médio e alto. Os sistemas construtivos escolhidos foram alvenaria estrutural, com paredes de bloco estrutural de concreto ou cerâmico; e concreto armado, com paredes de tijolo vazado; todos com laje maciça de concreto. O programa utilizado para as simulações foi o SONarchitect e todas as características, dos elementos construtivos utilizados, foram inseridos no banco de dados do software. Foram obtidos os valores de $L'_{n,T}$, $D_{n,T}$, e TR por banda de frequência, e seus valores ponderados de $L'_{n,T,w}$, $D_{n,T,w}$ e TR médio, nas medições e simulações. Os valores ponderados medidos e simulados foram similares, por outro lado os valores obtidos por banda de frequência apresentaram divergência em relação às frequências mais baixas, precisamente de 50 Hz a 100 Hz. Verificou-se também uma relação da perda de transmissão sonora ao ruído de impacto com o tamanho da área da partição, na qual ocorre um aumento significativo no isolamento sonoro em partições com áreas maiores. Além disso, foram determinados

coeficientes e fatores de segurança, para cada padrão e sistema construtivo, a serem aplicados nos espectros das simulações. Com o objetivo de aproximar os valores simulados dos valores medidos. Paralelamente à avaliação da ferramenta computacional, foram aplicados questionários com 150 profissionais que desenvolvem projetos acústicos no país. Essa etapa tinha como objetivo principal descobrir quais ferramentas e métodos são mais utilizados pelos profissionais no desenvolvimento desses projetos. A partir de 31 questionários respondidos, foi possível determinar que 20,88 % dos profissionais utilizam alguma ferramenta computacional para desenvolver os projetos. Também foi possível descobrir algumas características desses profissionais como curso e ano de formação, quais as regiões que estão inseridos, que tipo de projetos desenvolvem e se já desenvolveram projetos baseados na nova norma.

Palavras chave: acústica arquitetônica, medições acústicas, simulações, transmissão sonora, ruído aéreo, ruído de impacto, coeficiente de segurança, coeficiente de correção, fator de segurança.

ABSTRACT

In July, 2013, Brazil's new standard, NBR15575:2013, began to require minimum thermal, luminal, structural and acoustical performance levels in new constructions of residential dwellings. Thus, computer programs that simulate the sound transmission in buildings, can serve as important tools for professionals, enabling the verification of virtual acoustic performance of projects, quickly and economically. By being widely used in European countries, they have the database of existing elements and building systems in Europe. From this, this study aimed to evaluate a computational tool of simulation of sound transmission on the reality of Brazilian buildings. Twenty households were selected in the city of Santa Maria - RS, to be measured in situ and then simulated to airborne and impact noise. The residences were chosen according to standard and types of building systems. For greater representation of Brazilian buildings, residences of low, medium and high standards were chosen. The building systems chosen were structural masonry, structural walls with concrete or ceramic block; and reinforced concrete, with walls of hollow brick; all with massive concrete slab. The software used for the simulations was the SONarchitect and all the features and building elements used were entered into the software's database. The values of $L'_{n,T}$, $D_{n,T}$, and RT per frequency band, and their weighted values $L'_{n,T,w}$, $D_{n,T,w}$ and mean RT were obtained through measurements and simulation. The weighted measured and simulated values were similar, on the other hand, the values obtained by frequency band showed disagreement with the lower frequencies precisely, from 50 Hz to 100 Hz. There was also a relationship of impact sound transmission loss with the area size of the partition, in which there is a significant increase in sound insulation in partitions with larger areas. In addition, coefficients and safety factors were determined for each standard and building system to be applied in the spectra of the simulations, aiming to bring the simulated values closer to the measured ones. Parallel with the evaluation of the computational tool, questionnaires with 150 professionals who

develop acoustic projects in the country were applied. This step had as main objective to find out what tools and methods are mostly used by professionals in the development of these projects. From 31 received responses, it was determined that 20.88% of the professionals use a computational tool to develop designs. It was also possible to discover some features such as field of expertise and graduation year, which regions they are located, what kind of projects they develop and if they have already developed projects based on the new standard.

Keywords: architectural acoustics, noise measurements, simulations, sound transmission, airborne noise, impact noise, safety factor.

LISTA DE FIGURAS

2.1.	Transmissão sonora, aos ruídos aéreo e de impacto, em edificações.	45
2.2.	Transmissão sonora, ao ruído aéreo, em edificações	46
2.3.	Transmissão sonora, ao ruído aéreo.	47
2.4.	Curva típica da PT sonora em divisórias simples, em função da frequência.	48
2.5.	Transmissão sonora, ao ruído de impacto, em edificações	50
2.6.	Requisitos para desempenho acústico - NBR 15575:2013.	52
2.7.	Medição da transmissão sonora do ruído aéreo.	57
2.8.	Medição dos NPS ao ruído de impacto.	60
2.9.	Curva com valores de referência para ruído aéreo, em bandas de terça de oitava e de oitava respectivamente. Fonte: ISO 717-1:1996 [18].	64
2.10.	Curva com valores de referência para ruído de impacto, em bandas de terça de oitava e de oitava respectivamente. Fonte: ISO 717-2:1996 [18].	65
3.1.	Vista frontal da máquina de impacto.	70
3.2.	Vistas frontais das MIN e MIM.	70
3.3.	Corte - Câmaras de impacto da UFSM.	71
3.4.	Planta baixa - Câmaras de impacto da UFSM.	71
3.5.	Amostras de 1 m x 1 m dos pisos.	72
3.6.	Materiais de proteção.	73
3.7.	Combinações das medições - piso e material.	75
3.8.	Desgaste da capa plástica após as medições com o contrapiso de concreto.	75
3.9.	Teste de nivelamento da máquina de impacto.	76
3.10.	Marcas geradas pelo impacto dos martelos da máquina, no papel.	76
3.11.	Posições de fonte e microfone, para a medição do TR, na câmara receptora.	79
3.12.	Corte das câmaras do laboratório - medição da PT, ao ruído de impacto.	80

3.13.	Pontos da máquina de impacto (MI) e microfone rotativo (MR).	80
3.14.	Pontos de microfone e fonte, para medição do TR, no ambiente receptor.	88
3.15.	Altura e raio de varredura, para o <i>Rotating Boom</i>	89
3.16.	Medição da PT, ao ruído aéreo.	89
3.17.	Pontos microfone e fonte, na sala emissora para medição da PT, ao ruído aéreo.	90
3.18.	Salas de emissão e recepção, respectivamente, para medição do NPS de impacto.	93
3.19.	Medições L_2 - pontos da máquina de impacto (MI) e microfone rotativo (MR).	95
4.1.	Porcentagem dos métodos/ferramentas utilizadas pelos profissionais.	102
4.2.	Cursos de formação dos profissionais que responderam o questionário.	102
4.3.	Histograma - Ano de formação dos profissionais que responderam o questionário.	103
4.4.	<i>Boxplot</i> - Ano de graduação dos profissionais que responderam o questionário.	103
4.5.	Região de trabalho dos profissionais que responderam o questionário.	104
4.6.	Nível de escolaridade dos profissionais que responderam o questionário.	104
4.7.	Principais problemas encontrados pelos profissionais, no desenvolvimento dos projetos acústicos.	105
4.8.	<i>Boxplot</i> - Número de projetos acústicos desenvolvidos, de acordo com a NBR 15575:2013.	106
4.9.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção da capa plástica.	107
4.10.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção do feltro.	108
4.11.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso cerâmico com e sem a proteção do feltro.	109
4.12.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso laminado com e sem a proteção do feltro.	110
4.13.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção do TNT.	112

4.14.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso cerâmico com e sem a proteção do TNT.	113
4.15.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso laminado com e sem a proteção do TNT.	114
4.16.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção do polipropileno.	115
4.17.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso cerâmico com e sem a proteção do polipropileno.	116
4.18.	$L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso laminado com e sem a proteção do polipropileno.	117
4.19.	Constituição das paredes medidas, de tijolo vazado.	123
4.20.	$D_{n,T}$ medidos em paredes de tijolo vazado (9 cm) no padrão PIS.	123
4.21.	Diferentes tipologias de plantas encontradas nos apartamentos medidos, do padrão PIS-TV e posições das fontes sonoras.	124
4.22.	$D_{n,T}$ medidos em paredes de tijolo vazado (9 cm) no padrão R8-N.	125
4.23.	Diferentes tipologias de plantas encontradas nos apartamentos medidos, do padrão R8-N-TV.	126
4.24.	$D_{n,T}$ medidos de paredes de tijolo vazado (9 cm), no padrão R8-A.	126
4.25.	Composição das paredes de BCE medidas.	128
4.26.	$D_{n,T}$ medidos de parede com bloco cerâmico (14 cm), no padrão R8-N.	129
4.27.	Diferentes tipologias encontradas nos apartamentos medidos, do padrão R8-N-BCE.	130
4.28.	Composição das paredes de bloco de concreto.	130
4.29.	$D_{n,T}$ medidos de parede com bloco de concreto (14 cm), no padrão R8-N.	131
4.30.	Composição do sistema de piso cerâmico medido.	132
4.31.	$L'_{n,T,w}^*$ obtido considerando piso cerâmico no padrão PIS.	133
4.32.	$L'_{n,T}^*$ obtido considerando o piso cerâmico no padrão R8-N.	134
4.33.	$L'_{n,T}^*$ obtido considerando o piso cerâmico no padrão R8-A.	135
4.34.	Composição do sistema de piso medido - PL.	136
4.35.	$L'_{n,T}^*$ obtido considerando o piso laminado no padrão R8-N.	136
4.36.	$L'_{n,T}^*$ obtido considerando o piso laminado no padrão R8-A.	137

4.37.	$D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com tijolo vazado (9 cm) no padrão PIS.	139
4.38.	$D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com tijolo vazado (9 cm) no padrão R8-N.	140
4.39.	$D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com tijolo vazado (9 cm) no padrão R8-A.	141
4.40.	$D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com bloco cerâmico (14 cm) no padrão R8-N.	142
4.41.	$D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com bloco de concreto (14 cm), rebocada dos dois lados, no padrão R8-N.	143
4.42.	$D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com bloco de concreto (14 cm), sem reboco, no padrão R8-N.	144
4.43.	$L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso cerâmico no padrão PIS.	146
4.44.	$L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso cerâmico no padrão R8-N.	147
4.45.	$L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso laminado no padrão R8-N.	148
4.46.	$L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso laminado, com FF, no padrão R8-N.	149
4.47.	$L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso laminado, sem FF, no padrão R8-A.	150
A.1.	Perguntas questionário piloto em formato eletrônico - Parte I.	186
A.3.	Perguntas questionário piloto em formato eletrônico - Parte III.	187
B.1.	Carta de apresentação para aplicação do questionário final.	189
B.2.	Publicação no site da Anima Acústica como apoio na divulgação da pesquisa.	190
B.3.	Publicação no site da Anima Acústica como apoio na divulgação da pesquisa.	191
B.4.	Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte I.	192
B.5.	Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte II.	193
B.6.	Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte III.	194
B.7.	Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte IV.	195

C.1.	Boxplot das medições com o piso cerâmico.	201
C.2.	Boxplot das medições com o piso cerâmico e 01 camada de feltro	202
C.3.	Boxplot das medições com o piso cerâmico e 01 camada de feltro	203
C.4.	Boxplot das medições com o piso laminado e 01 camada de feltro.	204
D.1.	Cartaz solicitando apartamentos para as medições acústicas.	206
D.2.	Planta baixa - pavimento tipo - 01-PIS-TV-PC	207
D.3.	Planta baixa - pavimento tipo - 02-PIS-TV	208
D.4.	Planta baixa - pavimento tipo - 02-PIS-PC	208
D.5.	Planta baixa - pavimento tipo - 03-PIS-TV-PC	209
D.6.	Planta baixa - pavimento tipo - 04-PIS-TV	210
D.7.	Planta baixa - pavimento inferior - 05-R8-N-TV	211
D.8.	Planta baixa - pavimento superior - 05-R8-N-PC	212
D.9.	Planta baixa - pavimento inferior - 06-R8-N-TV	213
D.10.	Planta baixa - pavimento inferior - 06-R8-N-PC-PL	214
D.11.	Planta baixa - pavimento tipo - 07-R8-N-TV	215
D.12.	Planta baixa - pavimento inferior - 08-R8-N-TV	216
D.13.	Planta baixa - pavimento superior - 08-R8-N-PC	216
D.14.	Planta baixa - pavimento tipo - 09-R8-N-BCE-PL	217
D.15.	Planta baixa - pavimento tipo - 10-R8-N-BCE-PC	218
D.16.	Planta baixa - pavimento inferior - 11-R8-N-BCE	219
D.17.	Planta baixa - pavimento superior - 11-R8-N-PC	219
D.18.	Planta baixa - pavimento tipo - 12-R8-N-BCE-PC	220
D.19.	Planta baixa - pavimento tipo - 13-R8-N-BCO-PL	221
D.20.	Planta baixa - pavimento tipo - 14-R8-N-BCO-PC-PL	222
D.21.	Planta baixa - pavimento tipo - 15-R8-N-BCO-PL	223
D.22.	Planta baixa - pavimento tipo - 16-R8-N-BCO-PC	224
D.23.	Planta baixa - pavimento tipo - 17-R8-A-TV	225
D.24.	Planta baixa - pavimento tipo - 18-R8-A-TV-PL	226
D.25.	Planta baixa - pavimento tipo - 19-R8-A-TV	227
D.26.	Planta baixa - pavimento tipo - 20-R8-A-TV	228
D.27.	Planta baixa - pavimento tipo - 20-R8-A-PC	229
D.28.	Teste de normalidade - Medições L_1 PIS-TV nas baixas frequências.	231

D.29.	Teste de normalidade - Medições L_1 PIS-TV nas médias frequências. . . .	232
D.30.	Teste de normalidade - Medições L_1 PIS-TV nas altas frequências. . . .	233
D.31.	Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-TV nas baixas frequências. . . .	234
D.32.	Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-TV nas médias frequências. . . .	235
D.33.	Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-TV nas altas frequências. . . .	236
D.34.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-TV nas baixas frequências. . .	237
D.35.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-TV nas médias frequências. . .	238
D.36.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-TV nas altas frequências. . . .	239
D.37.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-TV nas baixas frequências. . .	240
D.38.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-TV nas médias frequências. . .	241
D.39.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-TV nas altas frequências. . . .	242
D.40.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCE nas baixas frequências. .	243
D.41.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCE nas médias frequências. .	244
D.42.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCE nas altas frequências. . .	245
D.43.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCE nas baixas frequências. .	246
D.44.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCE nas médias frequências. .	247
D.45.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCE nas altas frequências. . .	248
D.46.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCO nas baixas frequências. .	249
D.47.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCO nas médias frequências. .	250
D.48.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCO nas altas frequências. . .	251
D.49.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCO nas baixas frequências. .	252
D.50.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCO nas médias frequências. .	253
D.51.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCO nas altas frequências. . .	254
D.52.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-A-TV nas baixas frequências. . .	255
D.53.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-A-TV nas médias frequências. . .	256
D.54.	Teste de normalidade - Medições L_1 R8-A-TV nas altas frequências. . . .	257
D.55.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-TV nas baixas frequências. . .	258
D.56.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-TV nas médias frequências. . .	259
D.57.	Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-TV nas altas frequências. . . .	260
D.58.	Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-PP nas baixas frequências. . . .	262
D.59.	Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-PP nas médias frequências. . . .	263
D.60.	Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-PP nas altas frequências. . . .	264

D.61. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PP nas baixas frequências. . .	265
D.62. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PP nas médias frequências. . .	266
D.63. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PP nas altas frequências. . . .	267
D.64. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PL nas baixas frequências. . .	268
D.65. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PL nas médias frequências. . .	269
D.66. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PL nas altas frequências. . . .	270
D.67. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-PL nas baixas frequências. . .	271
D.68. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-PL nas médias frequências. . .	272
D.69. Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-PL nas altas frequências. . . .	273
D.70. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-TV nas baixas frequências.	275
D.71. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-TV nas médias frequências.	276
D.72. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-TV nas altas frequências.	277
D.73. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-PP nas baixas frequências.	278
D.74. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-PP nas médias frequências.	279
D.75. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-PP nas altas frequências.	280
D.76. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-TV nas baixas frequências.	281
D.77. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-TV nas médias frequências.	282
D.78. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-TV nas altas frequências.	283
D.79. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCE nas baixas frequências.	284
D.80. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCE nas médias frequências.	285

D.81. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCE nas altas frequências.	286
D.82. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCO nas baixas frequências.	287
D.83. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCO nas médias frequências.	288
D.84. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCO nas altas frequências.	289
D.85. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PP nas baixas frequências.	290
D.86. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PP nas médias frequências.	291
D.87. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PP nas altas frequências.	292
D.88. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PL nas baixas frequências.	293
D.89. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PL nas médias frequências.	294
D.90. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PL nas altas frequências.	295
D.91. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-A-TV nas baixas frequências.	296
D.92. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-A-TV nas médias frequências.	297
D.93. Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-A-TV nas altas frequências.	298
E.1. Planta baixa esquemática com a especificação de cada cômodo.	310
E.2. Configuração dos parâmetros acústicos a serem simulados e seus limites aceitáveis.	311
E.3. Configuração dos parâmetros acústicos a serem simulados e seus limites aceitáveis.	311

E.4.	Banco de dados do SONarchitect com os principais elementos construtivos utilizados na Europa.	312
E.5.	Adicionando novos elementos construtivos, no SONarchitect.	313
E.6.	Planilha de cálculo do SONarchitect para obtenção do fator de amortecimento e da frequência crítica do novo elemento.	313
E.7.	Exemplo dos resultados da simulação dos valores de $L_{n,T}$ e $L_{n,T,w}$, fornecidos pelo SONarchitect.	314
E.8.	Exemplo dos resultados da simulação dos valores de $D_{n,T}$ e $D_{n,T,w}$, fornecidos pelo SONarchitect.	315
E.9.	Exemplo dos resultados da simulação do tempo de reverberação na sala receptora, fornecidos pelo SONarchitect.	316

LISTA DE TABELAS

2.1. Valores de $D_{n,T,w}$ estabelecidos pela NBR 15575-3:2013.	54
2.2. Valores de $L_{n,T,w}$ estabelecidos pela NBR 15575-3:2013.	55
3.1. Critérios de classificação dos padrões construtivos.	83
3.2. Número de simulações da diferença de NPS ao ruído aéreo.	97
3.3. Número de simulações do NPS produzido pelo ruído de impacto.	98
4.1. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção da capa plástica.	108
4.2. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção do feltro. . .	109
4.3. Influência do feltro no contrapiso nos valores ponderados, $L_{n,T,w}$	109
4.4. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso cerâmico com a proteção do feltro.	110
4.5. Influência do feltro no piso cerâmico, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$	110
4.6. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso laminado com a proteção do feltro.	111
4.7. Influência do feltro no piso laminado, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$	111
4.8. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção do TNT. . .	112
4.9. Influência do TNT no contrapiso, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$	112
4.10. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso cerâmico com a proteção do TNT.	113
4.11. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso laminado com a proteção do TNT.	114
4.12. Influência do TNT no piso laminado, nos valores ponderados de $L_{n,T,w}$. . .	114
4.13. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção do polipropileno.	115
4.14. Influência do polipropileno no contrapiso, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$. .	116
4.15. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso cerâmico com proteção do polipropileno.	116
4.16. Influência do polipropileno no piso cerâmico, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$.	117

4.17. Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso laminado com proteção do polipropileno.	117
4.18. Influência do polipropileno no piso laminado, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$	118
4.19. Coeficiente de correção para os valores de p^2_{ef} na combinação do feltro no piso cerâmico.	120
4.20. Coeficiente de correção para os valores de p^2_{ef} na combinação do feltro no piso laminado.	121
4.21. $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com tijolo vazado de 9 cm, no padrão PIS, em comparação com a tipologia da planta baixa de cada residência.	124
4.22. Valores medidos de $D_{n,T,w}$, em paredes com tijolo vazado, no padrão R8-N.	125
4.23. Valores medidos de $D_{n,T,w}$ em paredes com tijolo vazado no padrão R8-A.	127
4.24. $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com tijolo vazado (9 cm) × padrão construtivo.	127
4.25. Tipologias das plantas encontradas nas residências, das medições do tijolo vazado (9 cm) × padrão construtivo.	128
4.26. $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com blocos cerâmicos (14 cm) no padrão R8-N, e tipologias das plantas.	129
4.27. $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com blocos de concreto (14 cm), no padrão R8-N, e as tipologias das plantas.	131
4.28. $L'_{n,T,w}$ * medidos em lajes com piso cerâmico (PC), no padrão PIS.	133
4.29. $L'_{n,T,w}$ * medidos em lajes com piso cerâmico (PC) no padrão R8-N.	134
4.30. $L'_{n,T,w}$ * medido em laje com piso cerâmico (PC) no padrão R8-A.	135
4.31. $L'_{n,T,w}$ * medidos em lajes com piso laminado (PL), no padrão R8-N.	137
4.32. $L'_{n,T,w}$ * medidos em lajes com piso laminado (PL) no padrão R8-A.	138
4.33. $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de tijolo vazado (9 cm) no padrão PIS, comparando com as tipologias das plantas.	139
4.34. $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de tijolo vazado (9cm) no padrão R8-N, comparando com as tipologias das plantas.	140
4.35. $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de tijolo vazado (9cm) no padrão R8-A, comparando com as tipologias das plantas.	141
4.36. $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de bloco de concreto (14cm) no padrão R8-N, comparando com as tipologias das plantas.	142
4.37. Valores medidos de $D_{n,T,w}$, em paredes de bloco de concreto, no padrão R8-N.	144

4.38. Valores medidos de $D_{n,T,w}$, em paredes de bloco de concreto, no padrão R8-N.	145
4.39. $L'_{n,T,w}$, medido e simulado do piso cerâmico, no padrão PIS.	146
4.40. $L'_{n,T,w}$ medido e simulado do piso cerâmico, no padrão R8-N.	147
4.41. $L'_{n,T,w}$ medido e simulado do piso laminado, no padrão R8-N.	149
4.42. Valores medidos de $L'_{n,T,w}$, piso cerâmico, no padrão PIS.	150
4.43. Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para tijolo vazado (TV) em cada padrão construtivo.	153
4.44. Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para bloco cerâmico (BCE), no padrão R8-N.	154
4.45. Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), com reboco, no padrão R8-N.	155
4.46. Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), sem reboco, no padrão R8-N.	156
4.47. Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para piso cerâmico (PC) por padrão construtivo.	157
4.48. Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para piso laminado (PL) no padrão R8-N.	158
4.49. Fatores de segurança, por banda de frequência, para tijolo vazado (TV) por padrão construtivo.	159
4.50. Fatores de segurança, por banda de frequência, para bloco cerâmico (BCE) no padrão R8-N.	160
4.51. Fatores de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), com reboco, no padrão R8-N.	161
4.52. Fatores de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), sem reboco, no padrão R8-N.	162
4.53. Fatores de segurança, por banda de frequência, para piso cerâmico (PC) no padrão R8-N.	163
4.54. Fatores de segurança, por banda de frequência, para piso laminado (PL) no padrão R8-N.	164
C.1. Valores medidos do TR, na câmara de recepção, do Laboratório da UFSM.	200
D.1. Valores medidos de $D_{n,T}$ em paredes de tijolo vazado no padrão PIS.	299

D.2. Valores medidos de $D_{n,T}$ em paredes de tijolo vazado no padrão R8-N.	300
D.3. Valores medidos de $D_{n,T}$ em paredes de bloco de concreto vazado no padrão R8-N.	301
D.4. Valores de temperatura e umidade nas medições <i>in loco</i> , ao ruído aéreo.	302
D.5. Valores medidos de $L'_{n,T}$ em paredes de tijolo vazado, no padrão PIS.	303
D.6. Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.	304
D.7. Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.	305
D.8. Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.	306
D.9. Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-A.	307
D.10. Valores de temperatura e umidade nas medições <i>in loco</i> ao ruído de impacto.	308
E.1. Tijolo vazado - valores de R por banda de frequência.	317
E.2. Bloco cerâmico - valores de R por banda de frequência.	318
E.3. Bloco de concreto - valores de R por banda de frequência.	319
E.4. Sistemas de piso - valores de L_n , por banda de frequência.	320
E.5. Janelas - valores de R , por banda de frequência.	321
E.6. Janelas - valores de R , por banda de frequência.	322
E.7. Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão PIS.	323
E.8. Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.	324
E.9. Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.	325
E.10. Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.	326
E.11. Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.	327
E.12. Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-A.	328
E.13. Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão PIS.	329
E.14. Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.	330
E.15. Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.	331
E.16. Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.	332
E.17. Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.	333
E.18. Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-A.	334

LISTA DE QUADROS

3.1.	Medições realizadas com a MIM. Fonte: Autora.	74
3.2.	Combinações das residências a serem medidas	86
B.1.	Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte I	196
B.2.	Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte II.	196
B.3.	Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte III.	197
B.4.	Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte IV.	198

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	27
LISTA DE QUADROS	31
1. INTRODUÇÃO	41
1.1. Justificativa da pesquisa	41
1.2. Delimitação da pesquisa	43
1.3. Objetivos	44
1.3.1. Objetivo geral	44
1.3.2. Objetivos específicos	44
2. REVISÃO DE LITERATURA	45
2.1. Transmissão sonora	45
2.1.1. Transmissão sonora ao ruído aéreo	46
2.1.2. Transmissão sonora ao ruído de impacto	50
2.2. Procedimentos de normalização	51
2.2.1. Normas nacionais	51
2.2.1.1. NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho	52
2.2.2. Normas internacionais	55
2.2.3. ISO 3382:2008 - <i>Acoustics - Measurement of sound insulation in</i>	
<i>buildings and of building elements.</i>	56
2.2.4. ISO 140-4:1998 - <i>Acoustics - Measurement of sound insulation in</i>	
<i>buildings and of building elements.</i>	56
2.2.5. ISO 354: 2003- <i>Acoustics - Measurement of sound absorption in a</i>	
<i>reverberation room.</i>	62

2.2.6.	ISO 10140-3:2010 - <i>Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements.</i>	63
2.2.7.	ISO 717 - <i>Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements</i>	64
2.3.	Simulações	65
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	67
3.1.	Questionários	67
3.1.1.	Entrevistas	68
3.1.2.	Questionário piloto	68
3.1.3.	Questionário final	69
3.2.	Ensaio acústico em laboratório	69
3.2.1.	Materiais e procedimentos de medição	72
3.2.2.	Equipamentos	76
3.2.3.	Parâmetros medidos	77
3.2.3.1.	Medições do tempo de reverberação - TR	78
3.2.3.2.	Medições do nível de pressão sonora do ruído de impacto - L_2	79
3.2.3.3.	Medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo - B_2	81
3.2.4.	Procedimentos para as análises dos resultados	81
3.3.	Medições em campo	82
3.3.1.	Seleção das residências	83
3.3.1.1.	Padrão construtivo	83
3.3.1.2.	Sistema construtivo	84
3.3.1.3.	Tamanho da amostra	85
3.3.2.	Determinação da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo	86
3.3.2.1.	Equipamentos	86
3.3.2.2.	Parâmetros medidos	87
3.3.2.3.	Medições do tempo de reverberação - TR	87
3.3.2.4.	Medições dos NPS no ambiente emissor e receptor - L_1 e L_2	89
3.3.2.5.	Medições do NPS do ruído de fundo - B_2	91
3.3.2.6.	Procedimentos para as análises dos resultados	91

3.3.3.	Medições do nível de pressão sonora de impacto	92
3.3.3.1.	Materiais e procedimentos de medição	92
3.3.3.2.	Equipamentos	93
3.3.3.3.	Parâmetros medidos	94
3.3.3.4.	Medição do tempo de reverberação - TR	94
3.3.3.5.	Medição do nível de pressão sonora de impacto - L_2	95
3.3.3.6.	Medição de B_2	96
3.3.3.7.	Procedimentos para as análises dos resultados	96
3.4.	Simulações	97
3.4.1.	SONarchitect	98
3.4.1.1.	Resultados	99
3.4.1.2.	Procedimentos para determinação dos coeficientes de segurança	99
3.4.1.3.	Procedimentos para determinação dos fatores de segurança	100
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	101
4.1.	Questionário	101
4.1.1.	Principais métodos e ferramentas utilizados	101
4.1.2.	Perfil dos profissionais	102
4.1.3.	Principais problemas encontrados pelos profissionais	105
4.1.4.	Projetos desenvolvidos em acordo com a NBR 15575:2013	105
4.2.	Medições em laboratório	106
4.2.1.	Capa plástica	107
4.2.2.	Feltro	108
4.2.3.	TNT	111
4.2.4.	Polipropileno	115
4.2.5.	Correção dos valores de $L_{n,T}$ usando uma camada de feltro	118
4.3.	Medições em campo	122
4.3.1.	Medições em campo da perda de transmissão ao ruído aéreo	122
4.3.1.1.	Tijolo vazado x padrão construtivo	122
4.3.1.2.	Bloco cerâmico no padrão construtivo R8-N	128
4.3.1.3.	Bloco de concreto no padrão construtivo R8-N	130

4.3.2.	Medições em campo da transmissão sonora de impacto	132
4.3.2.1.	Piso cerâmico × padrão construtivo	132
4.3.2.2.	Piso laminado × padrão construtivo	136
4.4.	Simulações - SONarchitect	138
4.4.1.	Simulações da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo	138
4.4.1.1.	Tijolo vazado x padrão construtivo	139
4.4.1.2.	Bloco cerâmico no padrão R8-N	142
4.4.1.3.	Bloco de concreto no padrão R8-N	143
4.4.2.	Simulações da transmissão sonora ao ruído de impacto	145
4.4.2.1.	Piso cerâmico × padrão construtivo	145
4.4.2.2.	Piso laminado × padrão construtivo	148
4.5.	Coefficientes e fatores de segurança	151
4.5.1.	Coefficiente de segurança - tijolo vazado × padrão construtivo	153
4.5.2.	Coefficiente de segurança - bloco cerâmico no padrão R8-N	154
4.5.3.	Coefficientes de segurança - bloco de concreto no padrão R8-N	155
4.5.4.	Coefficientes de segurança - piso cerâmico × padrão construtivo	157
4.5.5.	Coefficiente de segurança - piso laminado no padrão R8-N	158
4.5.6.	Fator de segurança - tijolo vazado × padrão construtivo	159
4.5.7.	Fatores de segurança para bloco cerâmico no padrão R8-N	160
4.5.8.	Fatores de segurança para bloco de concreto no padrão R8-N	161
4.5.9.	Fatores de segurança - piso cerâmico x padrão construtivo	163
4.5.10.	Fatores de segurança - piso laminado no padrão R8-N	164

5. CONCLUSÕES **165**

Referências Bibliográficas **169**

Apêndices **173**

A. Entrevistas **175**

A.1.	Roteiro para entrevistas semi-estruturadas	175
A.2.	Resultados das entrevistas	177
A.2.1.	Entrevista n.01	177
A.2.2.	Entrevista n.02	180

A.3. Entrevista n.03	183
A.4. Questionário piloto	186
B. Questionário final	189
B.1. Carta de apresentação	189
B.2. Apoio na divulgação dos questionários	190
B.3. Perguntas do questionário final	192
B.4. Questionário - perguntas e objetivos	196
C. Medições em laboratório	199
C.1. Medições do TR	200
C.2. <i>Boxplot</i> das medições do piso cerâmico	201
C.3. <i>Boxplot</i> das medições do piso cerâmico com 01 camada de feltro	202
C.4. <i>Boxplot</i> das medições do piso laminado	203
C.5. <i>Boxplot</i> das medições do piso laminado com 01 camada de feltro	204
D. Medições <i>in loco</i>	205
D.1. Cartaz - medições <i>in loco</i>	206
D.2. Plantas baixas dos apartamentos medidos	207
D.2.1. Planta baixa - Medição 01-PIS-TV-PC	207
D.2.2. Planta baixa - Medição 02-PIS-TV	208
D.2.3. Planta baixa - Medição 02-PIS-PC	208
D.2.4. Planta baixa - Medição 03-PIS-TV-PC	209
D.2.5. Planta baixa - Medição 04-PIS-TV	210
D.2.6. Planta baixa - Medição 05-R8-N-TV-PC	211
D.2.7. Planta baixa - Medição 06-R8-N-TV-PC-PL	213
D.2.8. Planta baixa - Medição 07-R8-N-TV	215
D.2.9. Planta baixa - Medição 08-R8-N-TV-PC	216
D.2.10. Planta baixa - Medição 09-R8-BCE-PL	217
D.2.11. Planta baixa - Medição 10-R8-N-BCE-PC	218
D.2.12. Planta baixa - Medição 11-R8-N-BCE-PC	219
D.2.13. Planta baixa - Medição 12-R8-N-BCE-PC	220
D.2.14. Planta baixa - Medição 13-R8-N-BCO-PL	221
D.2.15. Planta baixa - Medição 14-R8-N-BCO-PC-PL	222

D.2.16. Planta baixa - Medição 15-R8-N-BCO-PL	223
D.2.17. Planta baixa - Medição 16-R8-N-BCO-PC	224
D.2.18. Planta baixa - Medição 17-R8-N-TV	225
D.2.19. Planta baixa - Medição 18-R8-A-TV-PL	226
D.2.20. Planta baixa - Medição 19-R8-A-TV	227
D.2.21. Planta baixa - Medição 20-R8-A-TV	228
D.2.22. Planta baixa - Medição 20-R8-A-PC	229
D.3. Análise estatística das medições <i>in loco</i> ao ruído aéreo	231
D.3.1. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 PIS-TV	231
D.3.2. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 PIS-TV	234
D.3.3. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 R8-N-TV	237
D.3.4. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 R8-N-TV	240
D.3.5. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 R8-N- BCE	243
D.3.6. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 R8-N- BCE	246
D.3.7. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 R8-N- BCO	249
D.3.8. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 R8-N- BCO	252
D.3.9. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 R8-A-TV	255
D.3.10. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 R8-A-TV	258
D.4. Análise estatística das medições <i>in loco</i> ao ruído de impacto	262
D.4.1. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 PIS-PP	262
D.4.2. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-N-PP .	265
D.4.3. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-N-PL .	268
D.4.4. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-A-PL .	271
D.5. Análise estatística das medições <i>in loco</i> do tempo de reverberação	275
D.5.1. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - PIS-TV	275
D.5.2. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - PIS-PP	278
D.5.3. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-N-TV .	281

D.5.4. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-BCE	284
D.5.5. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-BCO	287
D.5.6. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-PP	290
D.5.7. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-PL	293
D.5.8. Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-A	296
D.6. Resultados medições ao ruído aéreo	299
D.6.0.1. Medições de $D_{n,T}$	299
D.6.0.2. Medições da temperatura e umidade	302
D.7. Resultados medições ao ruído de impacto	303
D.7.0.3. Medições de $L'_{n,T}$	303
D.7.0.4. Medições da temperatura e umidade	308
E. Simulações	309
E.1. SONarchitect ISO	310
E.2. Dados dos elementos e sistemas construtivos	317
E.3. Resultados simulados de PT, ao ruído aéreo	323
E.4. Resultados simulados de PT, ao ruído de impacto	329

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional das cidades demanda um aumento do número de edificações multifamiliares. Habitações que deveriam proporcionar conforto aos seus usuários, deixam a desejar em muitos aspectos, principalmente em relação à qualidade acústica.

A carência do conforto acústico, no interior das unidades habitacionais, tem influência na qualidade de vida dos moradores. Essa exposição dos moradores aos ruídos aéreo e de impacto, entre as unidades habitacionais pode ocasionar, a curto e longo prazo, efeitos extra-auditivos, como irritabilidade, estresse, falta de concentração, insônia, entre outras disfunções [1].

As queixas mais recorrentes dos moradores são sobre a transmissão do ruído, através dos assoalhos/tetos, provenientes de pisadas, queda de objetos, entre outros. Apesar de apresentar queixas menos recorrentes, a transmissão do ruído aéreo entre as unidades habitacionais, também pode ser problemática [2].

O principal fator que condiciona essa situação, consiste na baixa qualidade da tecnologia empregada na construção civil no Brasil, tanto nas técnicas construtivas, usualmente empregadas nas edificações, como nos elementos construtivos fabricados e fornecidos para o setor, tais como esquadrias, portas e janelas com pouca vedação e materiais construtivos com pouca densidade, levando ao aumento significativo da transmissão sonora nas edificações.

1.1. Justificativa da pesquisa

Em julho de 2013, entrou em vigor a norma brasileira, NBR 15575:2013 [3], a qual estabelece requisitos, critérios e métodos de avaliação para determinar o desempenho de

edifícios residenciais, visando proporcionar conforto acústico, além de térmico e lumínico, entre outros [4].

Essa norma traz o conceito de desempenho na construção civil, o qual está relacionado ao comportamento em uso nas habitações [5]. Contrapondo as tradicionais normas prescritivas, destinadas a um produto específico, a norma de desempenho é orientada à edificação como um todo, a qual precisa ter um desempenho mínimo estabelecido, independente dos sistemas e elementos construtivos empregados. Dessa maneira, engenheiros e arquitetos passam a ter responsabilidade na correta especificação dos elementos do projeto, visando atender, pelo menos, os níveis mínimos de exigência estabelecidos pela norma NBR 15575:2013 [3].

Do ponto de vista da acústica, programas computacionais, que simulam a transmissão sonora em edificações, podem auxiliar os profissionais na elaboração dos projetos, permitindo a verificação do desempenho acústico de diversos materiais e técnicas construtivas de forma simples, rápida e economicamente viável.

Adotando os países europeus como exemplo, os quais já utilizam amplamente os programas computacionais como ferramentas importantes na elaboração dos projetos, pode-se destacar um *software* bastante intuitivo: SONarchitect ISO. Esse programa simula a transmissão sonora nas edificações, tanto ao ruído aéreo como de impacto, através de cálculos baseados na série da Norma Europeia EN 12354:2000 [6], adotada pela maioria dos países europeus.

O programa possui um banco de dados com elementos e sistemas utilizados na construção civil dos países europeus, os quais apresentam melhorias significativas no isolamento acústico tanto de portas, janelas, como paredes e sistemas de piso, em relação ao padrão ainda utilizado no Brasil.

Considerando a responsabilidade dos projetistas em especificar corretamente os materiais a serem empregados nas novas construções a fim de atender os níveis mínimos de desempenho acústico estabelecidos pela norma, e também a necessidade de conhecer a validade dos resultados obtidos em simulações, o presente estudo destinou-se à avaliação do desempenho do programa computacional, SONarchitect, frente aos parâmetros de isolamento sonoro, aéreo e de impacto, para os principais sistemas e elementos construtivos utilizados no Brasil.

1.2. Delimitação da pesquisa

A pesquisa limita-se à verificação do programa computacional, SONarchitect, quanto à eficácia na simulação, para a realidade da construção civil brasileira, através da comparação de resultados de isolamento sonoro obtidos em medições *in loco*¹, com os valores simulados. Além disso, visa a determinação de coeficientes/fatores de segurança, para a entrada de dados dos modelos computacionais, aproximando-os da realidade encontrada nas medições. Para isso, a transmissão sonora, aos ruídos aéreo e de impacto, em 20 residências na cidade de Santa Maria - RS - foi medida, simulada e os resultados foram analisados e comparados. Os critérios de seleção das residências foram: padrões² e sistemas construtivos³.

Visando aumentar a abrangência da pesquisa para a realidade brasileira, foram selecionadas três padrões construtivos - baixo, médio e alto - e os principais sistemas construtivos empregados na construção civil brasileira - laje maciça de concreto, com os tipos mais usuais de piso (porcelanato e laminado), e paredes compostas por tijolos vazados, blocos cerâmicos e de concreto.

As simulações foram realizadas através da criação de um banco de dados dos sistemas construtivos encontrados nas residências. Essa etapa foi possível devido aos dados disponíveis na literatura. Os parâmetros de elementos construtivos que não foram encontrados na literatura disponível, foram obtidos em medições em laboratório.

¹Medições realizadas em campo.

²Padrões da construção: baixo, médio e alto, de acordo com classificação da NBR 12721:2006.

³Representam a maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macrofunção que a define. Por exemplo: vedações verticais, sistemas de piso, etc.

[7]

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Verificar o desempenho, do programa SONarchitect, na previsão da transmissão sonora, dos ruídos aéreo e de impacto, para as principais técnicas construtivas utilizadas no Brasil.

1.3.2 Objetivos específicos

- Verificar a situação de diversos tipos de residências brasileiras em relação ao isolamento sonoro aéreo e de impacto.
- Determinar coeficientes de segurança, por banda de frequência, para o programa de simulação da transmissão sonora aos ruídos aéreo e de impacto, SONarchitect, que garanta maior confiabilidade dos dados simulados quando comparados com a realidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Transmissão sonora

A transmissão sonora para dentro do ambiente em questão dentro de uma edificação acontece através da vibração dos elementos e sistemas construtivos, que delimitam o ambiente receptor. Essa transmissão pode ser classificada, de acordo com o seu meio de propagação, em: aérea - no qual a fonte atua no meio gasoso, por exemplo o ruído do avião; e de impacto - no qual o ruído estrutural é gerado por impacto de dois corpos sólidos e se propaga através da estrutura da edificação, por exemplo o caminhar de uma pessoa no andar superior, conforme ilustra a Figura 2.1.



Figura 2.1.: Transmissão sonora, aos ruídos aéreo e de impacto, em edificações.

Fonte: [8]

2.1.1 Transmissão sonora ao ruído aéreo

O ruído aéreo é proveniente da excitação direta do ar, através de uma fonte sonora, que gera ondas longitudinais. Nas edificações, esse ruído é transmitido através dos elementos e sistemas construtivos, que delimitam o ambiente receptor. O ruído aéreo pode ser proveniente do meio externo (ruído ambiental¹), ou de outras unidades habitacionais (ruídos provocados pelos vizinhos), conforme Figura 2.2.

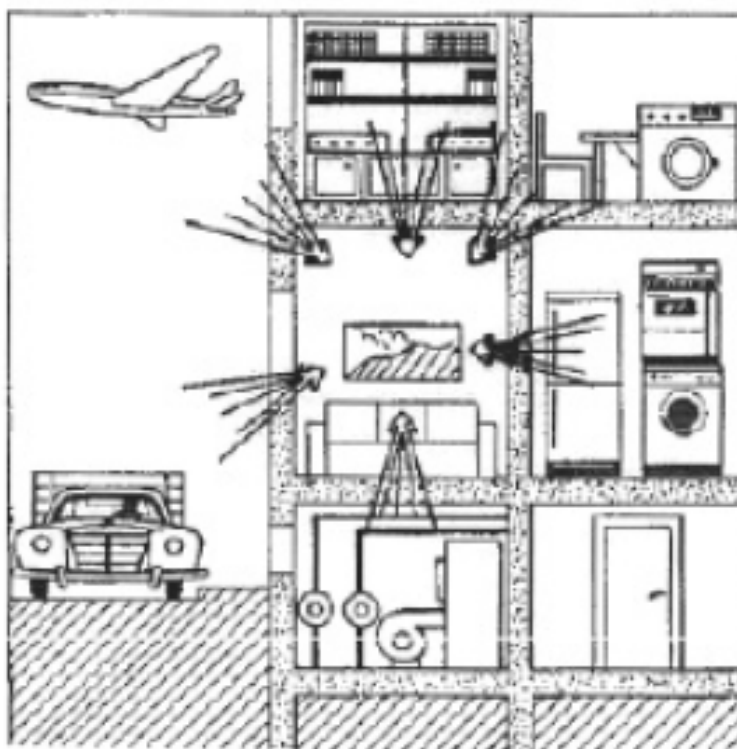


Figura 2.2.: Transmissão sonora, ao ruído aéreo, em edificações

Fonte:[2]

A onda sonora, ao passar de um meio para outro, sofre uma perda na energia; o elemento proporciona então uma perda na transmissão sonora. Essa atenuação acontece em função da diferença de impedâncias de um meio e outro, uma vez que a impedância está relacionada com a resistência ou dificuldade característica que o som enfrenta para passar pelo meio.

Através da Figura 2.3 é possível observar que a energia incidente numa partição, E_i ,

¹ruído proveniente do trânsito, construção civil, das atividades de lazer, entre outros.

é parcialmente refletida, E_r , parcialmente absorvida, E_a , e apenas uma parte da energia é transmitida, E_t . Dessa maneira, a onda sonora que incide nos elementos construtivos, que delimitam as unidades habitacionais, chega no ambiente receptor com menos energia.

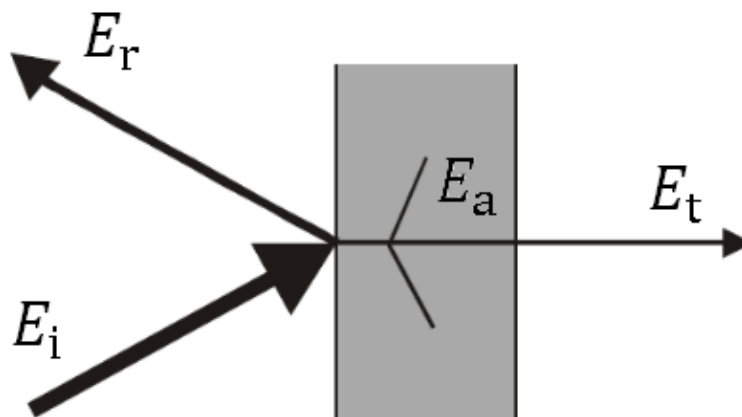


Figura 2.3.: Transmissão sonora, ao ruído aéreo.

Fonte: [9]

O parâmetro que caracteriza o quanto um elemento construtivo é eficiente no isolamento sonoro é o coeficiente de transmissão sonora - τ . Este parâmetro é diretamente proporcional ao isolamento, ou seja, quanto maior for o valor do coeficiente, maior será o isolamento do elemento. [10]. A perda de transmissão sonora representa a quantidade, em dB, que um elemento construtivo consegue reduzir de uma onda sonora incidente, conforme Equação (2.1).

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \text{ [dB]} \quad (2.1)$$

Os ruídos aéreos, transmitidos para o interior das edificações, variam muito quanto ao espaço, tempo, tipo de fonte e conseqüentemente, em composição espectral, ou seja, distribuição de energia no domínio da frequência². Como no caso das divisórias simples³, onde a perda da transmissão sonora depende da frequência do som incidente, conforme Figura 2.4.

Neste caso, a curva da perda de transmissão, está dividida em quatro regiões,

²Foi considerada, ao longo do presente trabalho, a classificação do Hopkins [11] para a divisão das frequências em baixas (50-200 Hz), médias (250-1000 Hz) e altas (1250-5000 Hz).

³Que foram as divisórias encontradas nas residências objeto desse estudo.

onde cada uma representa a característica da divisória que mais influencia na perda de transmissão.

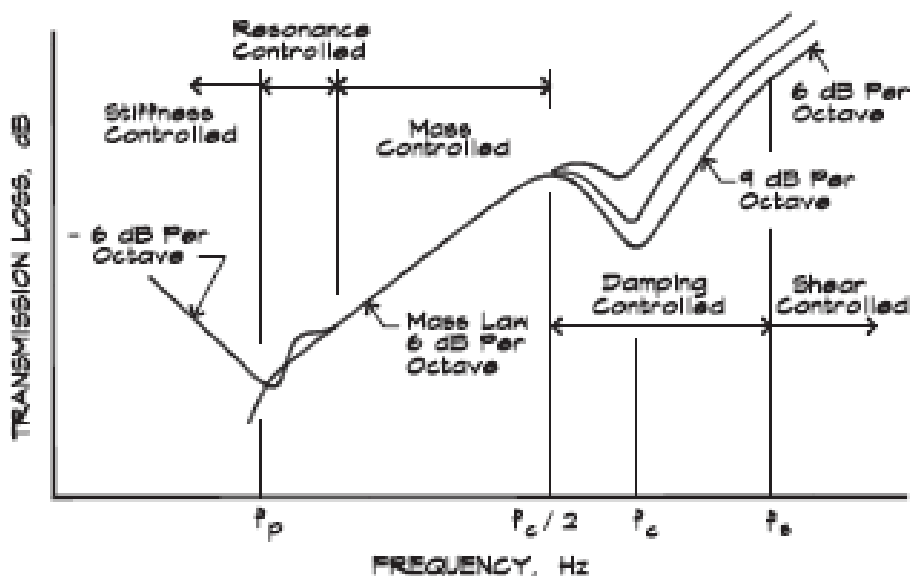


Figura 2.4.: Curva típica da PT sonora em divisórias simples, em função da frequência.

Fonte: [2].

Em frequências muito baixas, a perda de transmissão é controlada, primordialmente, pela rigidez e em seguida, pela ressonância da divisória. Na região controlada pela rigidez, a perda de transmissão sonora diminui com a frequência abaixo da f_{res} , em aproximadamente 6 dB para cada duplicação da frequência. Dessa maneira, quanto maior for o valor da rigidez, menor será o isolamento sonoro. Na região controlada pela ressonância, o movimento da divisória é grande, sendo a onda sonora facilmente transmitida pela parede. O movimento da divisória é controlado pelo amortecimento e, portanto, a perda na transmissão sonora controlada pela ressonância também será. Na maioria dos casos, a menor frequência de ressonância está inferior à faixa de interesse para isolamento sonoro em edificações, ou seja, da faixa de frequência audível [10].

Nas médias frequências⁴, aproximadamente em frequências maiores que o dobro da primeira f_{res} , o comportamento da perda de transmissão passa a ser influenciado pela massa da divisória, regido pela Lei da Massa. Nessa região, a perda de transmissão tende a aumentar em 6 dB, para cada duplicação da massa superficial da divisória ou da frequência

⁴250-1000 Hz, de acordo com a classificação do Hopkins [11].

da onda sonora incidente. Por isso, elementos com elevado valor de massa superficial - M em kg/m^2 - apresentam maior desempenho acústico nessa faixa de frequência. Essa região é delimitada pela região controlada pela coincidência - f_{res} .

Em frequências mais altas, ou seja, acima da frequência de coincidência, os comprimentos das ondas sonoras longitudinais se reduzem, aproximando-se dos comprimentos das ondas de flexão da divisória. O efeito de coincidência ocorre quando o comprimento da onda de flexão da divisória - λ_B - for igual ao coeficiente entre o comprimento da onda sonora incidente e o seno do ângulo de incidência da mesma - $\lambda \text{sen } \Theta$ - conforme Equação (2.2).

$$f_{\text{coinc}} = \frac{c^2}{2\pi \text{sen}^2 \Theta} \sqrt{\frac{M}{B}} \text{ [Hz]} \quad (2.2)$$

sendo:

c a velocidade de propagação da onda sonora em m/s;

Θ o ângulo de incidência da onda sonora na divisória;

M a massa superficial da divisória, em kg/m^2 ;

B rigidez à flexão da divisória, em Nm.

Nas frequências de coincidência, o movimento de flexão da divisória é máximo, e dessa maneira, a onda sonora incidente é facilmente transmitida, havendo a queda na perda de transmissão. A frequência crítica que corresponde a essa região, representa a menor frequência de coincidência, obtida pela onda sonora incidente em um ângulo de 90° .

De maneira geral, são observadas quatro diferentes regiões, cada uma controlada por características diferentes da divisória e limitadas pelas frequências de ressonância - f_{res} - e crítica - f_{crit} , obtidas através das Equações (2.3) e (2.4):

$$f_{res_{i,j}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{M}} \left(\frac{i}{a^2} + \frac{j}{b^2} \right) \text{ [Hz]} [i, j, \dots = 1, 2, \dots], \quad (2.3)$$

sendo a e b as dimensões da divisória em m. A frequência crítica é dada por:

$$f_{crit} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{B}} \text{ [Hz]}. \quad (2.4)$$

Observa-se através da Equação 2.4, que a frequência crítica - f_c - depende da rigidez à flexão do material - B - sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o valor de B , menor será o valor da f_c .

É possível obter um valor ponderado referente à perda de transmissão, através da comparação do espectro sonoro medido com a curva de referência, estabelecida pela ISO 717:1996 parte 1. Esse valor único facilita a interpretação e comparação dos resultados.

2.1.2 Transmissão sonora ao ruído de impacto

O ruído de impacto origina-se através da percussão ou colisão entre sólidos (queda de objetos, passos, entre outros) e podem ser ondas longitudinais, de cisalhamento, torsional e de flexão.

Nas edificações, o ruído de impacto se propaga com grande facilidade pela estrutura das edificações (Figura 2.5), havendo pouca atenuação sonora, devido à elevada rigidez dos sistemas estruturais. A deficiência na perda de transmissão sonora resulta em vibrações em regiões até mesmo distantes do local de emissão, o que configura um problema ao isolamento sonoro [12].

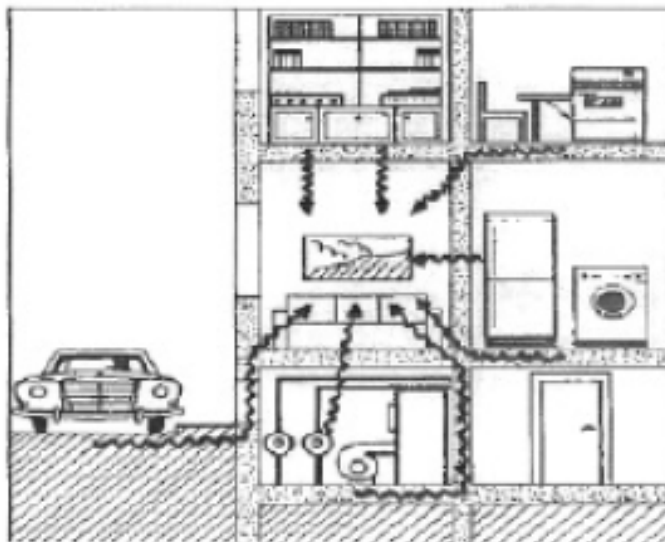


Figura 2.5.: Transmissão sonora, ao ruído de impacto, em edificações

Fonte: [12]

Dessa maneira, a transmissão sonora pelo ruído de impacto pode ser simplificado

como a vibração resultante de um choque mecânico entre corpos sólidos, que se propaga ao longo da estrutura da edificação. Porém, a parcela de energia que é transmitida à estrutura, quando lhe é aplicada uma excitação, depende de vários fatores como: natureza dessa força, variação temporal e impedância mecânica da estrutura, que, por sua vez também, está condicionada a vários fatores como: tipo da estrutura, velocidade de propagação da onda mecânica e frequência da vibração [12].

O parâmetro, utilizado para quantificar a capacidade do elemento em transmitir energia sonora ao ser excitado por uma fonte, é representado pela quantidade de energia logarítmica de energia que chega à sala receptora em termos de Nível de Pressão Sonora de Impacto Normalizado - L_n - que pode ser obtido através da Equação (2.5):

$$L_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) [\text{Hz}] \quad (2.5)$$

sendo:

L_i o nível de pressão sonora (NPS) de impacto no ambiente de recepção, em dB;

A a absorção sonora medida no ambiente de recepção, em m^2 ;

A_0 a área de absorção sonora de referência = 10 m^2 .

2.2. Procedimentos de normalização

Para obter valores comparáveis entre os resultados obtidos a partir das medições, existe a normalização desses ensaios acústicos. As normas que abordam a transmissão sonora, aos ruídos aéreo e de impacto, serão apresentadas, para melhor compreensão, como normas nacionais e internacionais.

2.2.1 Normas nacionais

No âmbito nacional, mostra-se pertinente abordar a nova norma NBR 15575:2013, composta por seis partes que estabelecem requisitos, os critérios e métodos para a avaliação do desempenho dos sistemas que compõem as edificações habitacionais.

Em função do tema abordado pelo presente trabalho, o conteúdo da NBR 15575:2013 [3] referente à acústica será melhor explicada na Seção 2.2.1.1.

2.2.1.1 NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho

O conjunto de normas ABNT NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais — Desempenho, é a primeira norma brasileira que determina níveis de desempenho térmico, estrutural, lumínico e acústico no interior das edificações. O desempenho de uma edificação é definido por requisitos, critérios e métodos de avaliação de certos aspectos, e nesse estudo, será apresentado o aspecto acústico.

A norma é composta por seis partes, cada uma se refere a um sistema da edificação. A Figura 2.6 ilustra a estrutura da norma, com os respectivos desempenhos acústicos estabelecidos.

Parte	Exigência
1. Geral	1. Isolamento acústico de paredes externas. 2. Isolamento acústico entre salas adjacentes. 3. Ruído de impacto e ruído gerado pelos equipamentos.
2. Sistemas estruturais	1. Desempenho acústico dos sistemas estruturais.
3. Pisos internos	1. Ruído de impacto em pisos. 2. Isolamento ao ruído aéreo de pisos entre unidades residenciais.
4. Paredes internas e externas	1. Nível máximo de pressão sonora na residência.
5. Terraço pisos	1. Isolamento ao ruído aéreo de pisos terraço. 2. Isolamento de som de ruído de impacto de terraço acessíveis ao público.
6. Sistemas Hidrosanitários	1. Limitação de ruído hidrosanitário

Figura 2.6.: Requisitos para desempenho acústico - NBR 15575:2013.

Fonte: [4]

A primeira parte estabelece os requisitos gerais comuns a todos os sistemas da edificação, bem como o método de avaliação de forma isolada, para um ou mais sistemas específicos. Além disso, afirma que as normas brasileiras existentes, NBR 10151:2003 [13] e NBR 10152:1992 [14], também deverão ser consideradas [4].

Nas demais partes, a norma apresenta critérios para a obtenção de três níveis de desempenho, divididos em: mínimos (M), intermediários (I) e superiores (S). Os níveis mínimos de desempenho devem ser obrigatoriamente atendidos, enquanto que os

demais, são opcionais. Os níveis opcionais são uma tentativa de melhorar a qualidade das habitações, uma vez que, poderão ser utilizados pelas construtoras, como propaganda para uma classe de consumidores com maior poder aquisitivo. Inclusive, a norma recomenda que seja especificado o nível de desempenho atendido pela edificação, ao se tratar dos níveis opcionais.

Tendo em vista que os requisitos estabelecidos pela norma são considerados dados qualitativos e, que os critérios representam os dados quantitativos, é possível destacar que os dados quantitativos são estabelecidos, pela norma, em termos de valores ponderados [4].

Para a obtenção dos dados quantitativos, a NBR 15575:2013 [3] sugere a realização das medições acústicas em campo, seguindo as diretrizes das normas internacionais : ISO 140:1998- *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements* [15]. Ou através da ISO 10052:2004 - *Acoustics - Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound - Survey method* [16]. Para as medições realizadas em laboratório, deve ser utilizado o conjunto de normas ISO 10140:2010 - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements* [17].

Para a ponderação dos valores medidos, tanto em laboratório como em campo, deve ser seguido o que recomenda a ISO 717:1996 - *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements* [18].

É válido destacar que as normas internacionais aqui citadas, serão detalhadas na Seção 2.2.2.

A NBR 15575:2013 [3] estabelece parâmetros a serem obtidos em medições aos ruídos aéreo e de impacto, descritos a seguir:

- $D_{n,T,w}$ - Diferença padronizada de nível de pressão sonora ponderada, em dB - para elementos verticais internos de vedação medidos em campo, como por exemplo as paredes;
- $D_{2m,n,T,w}$ - Diferença padronizada de nível de pressão sonora ponderada com a fonte a 2 m de distância da fachada, em dB - para envoltórias (fachadas) medidas em campo;
- R_w - Índice de redução sonora ponderado, em dB - para elementos construtivos

medidos em laboratório;

- $L_{n,T,w}$ - Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, em dB - para sistemas de piso.

Nesse trabalho, as medições em campo foram realizadas obtendo-se os parâmetros de desempenho acústico aos ruídos aéreo - $D_{n,T,w}$ - e de impacto $L_{n,T,w}$. Para o parâmetro $D_{n,T,w}$, a parte 4 da norma estabelece os valores mínimos necessários de acordo com a Tabela 2.1.

Tabela 2.1.: Valores de $D_{n,T,w}$ estabelecidos pela NBR 15575-3:2013.

Elemento	$D_{n,T,w}$ [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{n,T,w}$ obtida entre as unidades).	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Fonte: [3].

Já para as medições de impacto, os valores mínimos de $L_{n,T,w}$ devem atender a parte 03 da norma de acordo com a Tabela 2.2.

Tabela 2.2.: Valores de $L_{n,T,w}$ estabelecidos pela NBR 15575-3:2013.

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Fonte: [3].

2.2.2 Normas internacionais

Para a obtenção dos valores do isolamento sonoro aos ruídos aéreo e de impacto, a NBR 15575:2013 [3] recomenda seguir as diretrizes de algumas normas internacionais - ISO - *International standard* especificadas a seguir.

Para as medições em campo da transmissão sonora aos ruídos aéreo e de impacto, deve-se seguir as recomendações das ISO 140:1998 [15] partes 4 e 7, respectivamente. E para a obtenção dos valores do tempo de reverberação dos ambientes receptores, a própria ISO 140:1998 sugere seguir as diretrizes da ISO 3382:2008 [19].

Já para as medições da transmissão sonora em laboratório, aos ruídos aéreo e de impacto, recomenda-se seguir as especificações da ISO 10140:2010 [17] partes 2 e 3, respectivamente. A norma ainda sugere a ISO 354:2003 [20], para a obtenção dos valores de TR das câmaras receptoras.

Os valores obtidos das medições da PT, tanto em campo como em laboratório, são funções da frequência. Para transformar esses resultados em valores únicos, deve-se utilizar a curva de ponderação encontrada na ISO 717:1996 [18], sendo a parte 1 destinada à ponderação dos valores das medições do ruídos aéreos e a parte 2, aos de impacto.

As normas utilizadas no presente trabalho são detalhadas nas Seções 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6 e 2.2.7.

2.2.3 ISO 3382:2008 - *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements.*

Especifica métodos para a medição em campo do tempo de reverberação - TR - e outros parâmetros em desempenho acústico. Descreve os procedimentos para as medições, os aparelhos necessários e o método de avaliação dos dados.

2.2.4 ISO 140-4:1998 - *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements.*

O conjunto de normas ISO 140:1998 [15] descreve os procedimentos para medições *in loco* entre os ambientes, para determinação do isolamento acústico. Os métodos são destinados a ambientes com volumes entre 10 m³ e 250 m³ e para medições na faixa de frequências de 50 Hz a 5000 Hz. As medições em campo podem ser realizadas em ambientes mobiliados ou não mobiliados, podendo o campo sonoro ser considerado difuso ou não, sendo os resultados obtidos dependentes das frequências. As partes 4 e 7 da norma são detalhadas a seguir:

1. ISO 140-4:1998 [15] - *Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.*

A parte 4 da norma ISO 140:1998 [15] especifica os parâmetros importantes para as medições em campo que determinam o isolamento sonoro ao ruído aéreo entre ambientes. Também detalha os procedimentos e equipamentos para tal finalidade. A Figura 2.7 ilustra os ambientes de medição: o microfone é localizado tanto no ambiente emissor como no receptor, e a fonte sonora no ambiente emissor.

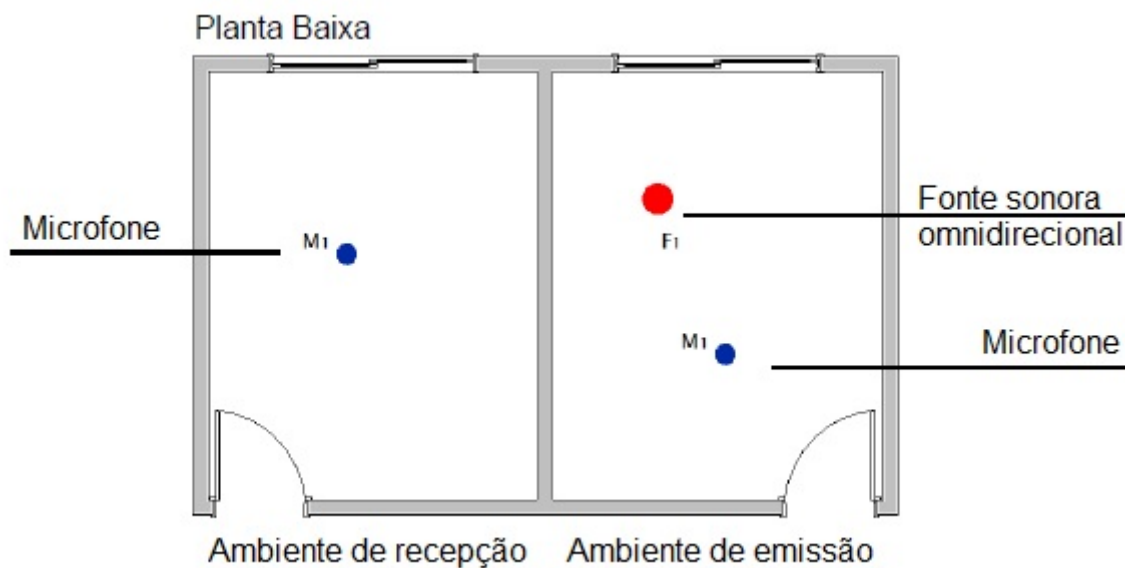


Figura 2.7.: Medição da transmissão sonora do ruído aéreo.

- Nível de pressão sonora médio - L : representa a média logarítmica dos valores de NPS medidos no ambiente emissor ou receptor, por banda de frequência, através de:

$$L = 10 \log \left(\sum 10^{L_j/10} \right) \text{ [dB]} \quad (2.6)$$

sendo:

L_j o NPS de L_1 até L_n em n posições diferentes no ambiente, por banda de frequência.

- Diferença de nível de pressão sonora - D : significa a diferença entre o NPS medido nos ambientes emissor e receptor, que é representada por:

$$D = L_1 - L_2 \text{ [dB]} \quad (2.7)$$

sendo:

L_1 a média logarítmica dos níveis de pressão sonora no ambiente emissor;

L_2 a média logarítmica dos níveis de pressão sonora no ambiente receptor.

- Diferença normalizada de nível de pressão sonora - D_n : representa a diferença de NPS médio correspondente à área de absorção sonora no ambiente receptor, sendo descrito pela Equação (2.8).

$$D_n = D - 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ [dB]} \quad (2.8)$$

sendo:

D a diferença do NPS médio, em dB;

A a área de absorção equivalente, medida na sala de recepção, em m^2 ;

A_0 a área de absorção equivalente de referência = 10 m^2 .

- Diferença padronizada de nível de pressão sonora - $D_{n,T}$: a diferença das médias logarítmicas dos níveis de pressão sonora considerando ainda o tempo de reverberação medido no ambiente receptor, conforme Equação (2.9).

$$D_{n,T} = D - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ [dB]} \quad (2.9)$$

sendo:

T a média dos tempos de reverberação medidos na sala de recepção, em s;

T_0 o tempo de reverberação de referência = 0,5 s.

A norma também aponta critérios para a utilização dos equipamentos e os procedimentos, para a realização das medições. Algumas sugestões pertinentes são destacadas a seguir:

- as medições devem ser realizadas em bandas de terça de oitava, preferencialmente;
- a potência sonora da fonte omnidirecional deve ser grande o suficiente para que o NPS no ambiente receptor seja pelo menos 10 dB maior que o nível de pressão sonora do ruído de fundo, em qualquer frequência;
- quando os ambientes adjacentes tiverem volumes diferentes, o ambiente com maior volume deverá ser o ambiente emissor;
- devem ser definidas duas posições de fonte no ambiente emissor;
- o número de posições de microfone depende do tipo de medição a ser utilizada:

- no caso de microfones fixos, devem ser definidas no mínimo cinco posições diferentes;
 - no caso de microfone rotativo - *rotating boom* - deve ser definida uma posição, dando preferência ao centro do ambiente.
- as posições dos microfones devem respeitar as seguintes distâncias, tanto no ambiente emissor como receptor:
 - 0,7 m entre as diferentes posições de microfones;
 - 0,5 m entre as posições dos microfones e as paredes do ambiente;
 - 1,0 m entre as posições dos microfones e as posições da fonte, no ambiente emissor.

Além disso, a norma destaca que as medições dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo - B_2 - devem ser realizadas, para garantir que os valores de NPS de impacto medidos, no ambiente receptor, não sejam afetados por outros sons estranhos, como ruído do ambiente exterior ou ruído elétrico do próprio sistema de medição. Os valores de B_2 devem estar 6 dB abaixo do NPS de impacto medido no ambiente receptor. Caso essa relação não seja atendida, deve-se aplicar uma correção ao L medido, através da Equação (2.10).

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \text{ [dB]} \quad (2.10)$$

sendo:

L o NPS ajustado, em dB;

L_{sb} o NPS do sinal e do ruído de fundo combinados, em dB;

L_b o NPS do ruído de fundo, em dB.

2. ISO 140-7:1998 - *Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.*

A parte 7 da norma ISO 140:1998 [15] especifica os parâmetros importantes para as medições em campo, que determinam o isolamento sonoro, ao ruído de impacto, em sistemas de piso. Também detalha os procedimentos e equipamentos, para tal finalidade. Para as medições do NPS de impacto, determina que a máquina de impacto - *tapping machine* - seja posicionada no pavimento superior, denominado ambiente de emissão, e

o microfone seja posicionado no pavimento inferior, denominado ambiente de recepção, conforme Figura 2.8.

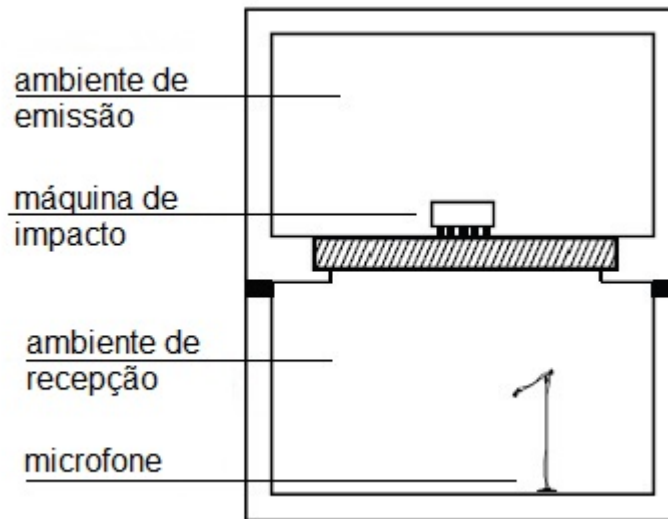


Figura 2.8.: Medição dos NPS ao ruído de impacto.

Os parâmetros importantes para a determinação do isolamento acústico ao ruído de impacto são obtidos no ambiente de recepção e descritos a seguir:

- Nível de pressão sonora de impacto - L : é a média logarítmica dos valores de NPS de impacto medidos na camada de recepção, por banda de frequência:

$$L_{\text{médio}} = 10 \log \frac{1}{n} \sum 10^{L_j/10} \text{ [dB]} \quad (2.11)$$

sendo:

L_j o NPS de impacto na câmara receptora em dB, na banda de frequência j ;

n o número de posições de microfone usados para obter L_j .

- Nível de pressão sonora de impacto - L_i : média logarítmica do nível de pressão sonora, em bandas de terça de oitava, no ambiente de recepção, quando o piso em teste é submetido aos impactos da *tapping machine*, expresso em dB.
- Nível de pressão sonora de impacto normalizado - L'_n : o NPS de impacto L_i reduzido por um termo de correção, expresso em dB, para retirar a influência do ambiente na medição, sendo calculado através da Equação (2.12):

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ [dB]} \quad (2.12)$$

sendo:

L_i a média logarítmica dos NPS de impacto medida na sala de recepção, em dB;

A a área de absorção equivalente medida na sala de recepção, em m²;

A_0 a área de absorção equivalente de referência = 0,5 m².

- Nível de pressão sonora de impacto normalizado - $L'_{n,T}$: o NPS de impacto L_i acrescido por um termo de correção expresso em dB, para retirar a influência do ambiente na medição, sendo calculado através da Equação (2.13).

$$L'_{n,T} = L_i - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ [dB]} \quad (2.13)$$

sendo:

L_i a média logarítmica dos NPS de impacto medida na sala de recepção, em dB;

T o tempo de reverberação medido na sala de recepção, em s;

T_0 o tempo de reverberação de referência = 10 s.

A norma também aponta critérios na utilização dos equipamentos e os procedimentos, para a realização das medições. Algumas sugestões pertinentes:

- as medições devem ser realizadas em bandas de terça de oitava, preferencialmente;
- o ruído de impacto deve ser gerado pela máquina de impacto normalizada - *tapping machine* na câmara de emissão;
- a *tapping machine* deve ser colocada em quatro posições diferentes, distribuídas aleatoriamente sobre o piso teste;
- as distâncias entre a *tapping machine* e as paredes do ambiente, devem respeitar pelo menos 0,5 m;
- os microfones devem ser locados na sala de emissão, de acordo com o tipo de microfone utilizado;

- para a utilização de microfones fixos, devem ser locados pelo menos quatro pontos, respeitando as seguintes distâncias:
 - 0,7 m entre as diferentes posições de microfones;
 - 0,5 m entre as posições dos microfones e as paredes do ambiente;
 - 1 m entre as posições dos microfones na sala receptora e o piso que está sendo submetido aos impactos da *tapping machine* na sala emissora.
- caso sejam utilizados microfones rotativos, apenas um ponto deverá ser locado no centro do ambiente receptor com um raio de varredura de 0,7 m.

As medições do NPS do ruído de fundo - B_2 - devem ser realizadas, e este também deve ser 6 dB abaixo do NPS de impacto medido, no ambiente receptor. Caso essa relação não seja atendida, deve-se aplicar uma correção ao L medido, através da Equação 2.14:

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \text{ [dB]} \quad (2.14)$$

sendo:

L o NPS ajustado, em dB;

L_{sb} o NPS do sinal e do ruído de fundo combinados, em dB;

L_b o NPS do ruído de fundo, em dB.

2.2.5 ISO 354: 2003- *Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room.*

Especifica um método de medição do coeficiente de absorção sonora de materiais acústicos, e também, todos os procedimentos e métodos para medição do tempo de reverberação, dentro de câmaras reverberantes.

2.2.6 ISO 10140-3:2010 - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements.*

Dividida em cinco partes, a primeira define regras específicas para os ensaios de elementos e sistemas construtivos, incluindo o procedimento detalhado para preparação, montagem e condições referentes ao ensaio.

A segunda e a terceira parte da norma contém os procedimentos completos para medições do isolamento acústico, aos ruídos aéreo e de impacto, respectivamente. A parte 4 estabelece todos os procedimentos básicos, para as medições de acordo com as ISO 10140-2:2010 e ISO 10140-3:2010. E por fim, a parte 5 fornece as informações para projetar, construir, e qualificar os elementos em laboratório, com a máquina de impacto padronizada e modificada⁵.

Nesse trabalho, os ensaios, realizados em laboratório, seguiram as recomendações da ISO 10140:2010 partes 01, 03, 04 e 05 que são:

1. ISO 10140-1:2010 - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 1 - Application rules for specific products.*
2. ISO 10140-3:2010 - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 3 - Measurement of impact sound insulation.*
3. ISO 10140-4:2010 - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 4 - Measurement procedures and requirements.*
4. ISO 10140-5:2010 - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 5 - Requirements for test facilities and equipment.*

⁵A máquina de impacto modificada consiste na utilização de material resiliente entre os martelos da máquina e o piso.

2.2.7 ISO 717 - *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements*

O isolamento acústico, medido através do conjunto de normas ISO 10140:2010 [17] em laboratório ou ISO 140:1998 [15] em campo, dependente da frequência e pode ser convertido em um número único, ou seja ponderado, para caracterizar o desempenho acústico, utilizando os procedimentos estabelecidos na ISO 717:1996 [18]. Dividida em duas partes, sendo a parte 1 referente aos valores medidos ao ruído aéreo e a parte 2, ao ruído de impacto. Através da comparação da curva dos valores medidos com a curva de ponderação apresentada pela norma, os valores ponderados podem ser utilizados para fins de comparação e para o cálculo do projeto em relação à acústica da sala e controle de ruído.

Para a obtenção dos valores ponderados obtidos nas medições do NPS ao ruído aéreo, R , R' ou $D'_{n,T}$ ou $D'_{n,T,w}$, a curva de referência deve ser deslocada a cada 01 dB em relação à curva com os valores medidos, até que a soma dos desvios seja grande o suficiente, porém não superior a 32 dB. A curva de referência dependerá da banda de frequência escolhida na medição, de acordo com a Figura 2.9. O valor, em dB, da curva de referência em 500 Hz após após deslocá-la de acordo com o procedimento descrito, será o valor ponderado de R_w , $D_{n,w}$, ou $D_{n,T,w}$, de acordo com a grandeza acústica que foi medida.

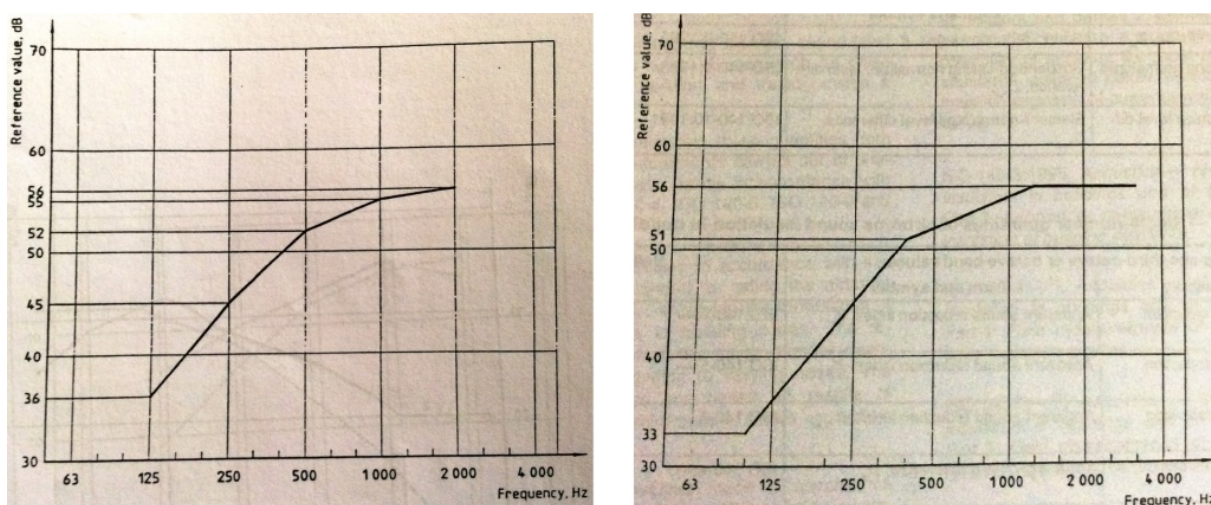


Figura 2.9.: Curva com valores de referência para ruído aéreo, em bandas de terça de oitava e de oitava respectivamente. Fonte: ISO 717-1:1996 [18].

Para a obtenção dos valores ponderados obtidos nas medições do NPS de impacto, L_n , L'_n ou $L'_{n,T}$, a parte 2 da referente norma determina as curvas de referência de acordo com a banda de frequência escolhida, terça de oitava ou oitava (Figura 2.10). A curva de referência deve ser deslocada a cada 1 dB de acordo com a curva dos valores medidos, com a maior diferença possível entre os valores, porém não extrapolando 32 dB. O valor, em dB, da curva de referência em 500 Hz, após o deslocá-la de acordo com os procedimentos descritos, será $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$ ou $L'_{n,T,w}$.

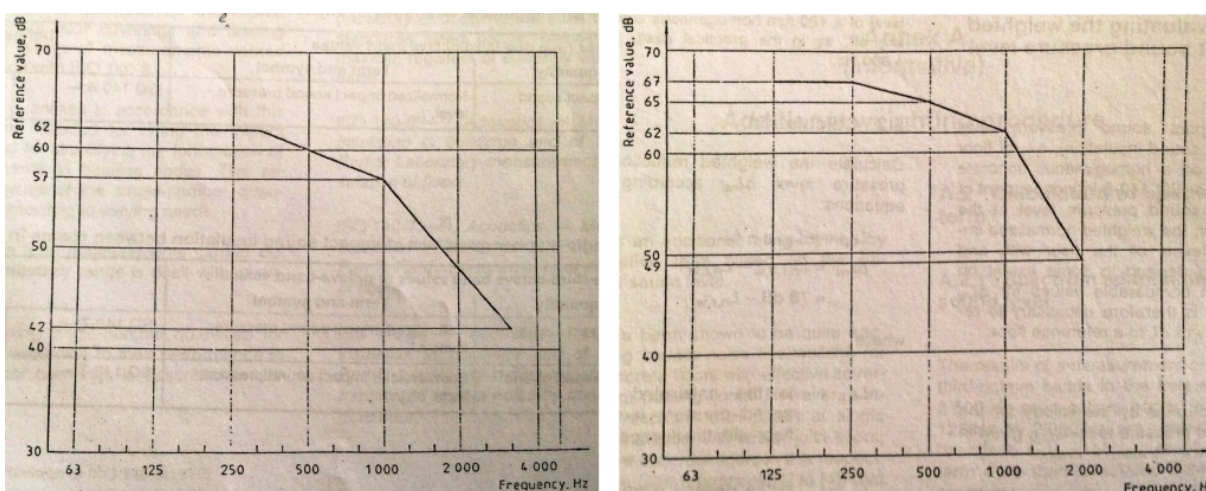


Figura 2.10.: Curva com valores de referência para ruído de impacto, em bandas de terça de oitava e de oitava respectivamente. Fonte: ISO 717-2:1996 [18].

2.3. Simulações

As medições *in loco* são processos demorados e requerem inúmeros recursos importantes, o que torna complicado obter resultados de vários elementos em um tempo reduzido. Já em ambientes não construídos, as medições acústicas são impossíveis de serem realizadas.

Os programas, de simulação da transmissão sonora, podem servir como ferramentas importantes para os profissionais, que necessitam desenvolver projetos acústicos. Através das simulações, é possível avaliar inúmeras composições de ambientes, com diferentes sistemas construtivos, em um tempo reduzido, ao contrário da situação com medições experimentais [21].

A modelagem dos fenômenos acústicos de geração, propagação e recepção do som são objetos de pesquisa em diversos países e a modelagem computacional é a principal ferramenta para a análise e validação experimental dos elementos propostos.

Os modelos de predição computacionais são essenciais para aperfeiçoar acusticamente um edifício, e a exatidão dessas previsões depende dos dados de entrada, como os resultados de ensaios normalizados em laboratório, dados geométricos e de conexão [22].

Ferreira (2004) [23] verificou uma boa relação entre valores simulados, utilizando software com modelo de cálculo da norma européia EN 12354:2000 [6] e dados de isolamento sonoro aéreo, medidos em campo. Em um estudo comparativo entre medições *in loco* e simulação computacional, os resultados medidos e simulados são muito similares. As pesquisas, acerca da eficácia de programas computacionais de simulação, vem aumentando gradativamente nos últimos anos [24, 23, 25, 26, 27, 28, 29]⁶.

⁶É pertinente destacar que a maioria dos estudos mencionados é referente à acústica de salas, não somente da perda de transmissão sonora em edificações.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da presente pesquisa, foram necessárias seis etapas, com diferentes métodos de pesquisa:

1. Aplicação de questionários;
2. Ensaaios acústicos, em laboratório;
3. Medições em campo, da transmissão sonora aos ruídos aéreo e de impacto;
4. Simulações da transmissão sonora aos ruídos aéreo e de impacto, no programa SONarchitect;
5. Determinação de coeficientes/fatores de segurança, para os programas de simulação.

A metodologia empregada, em cada etapa da pesquisa, será descrita ao longo do presente capítulo.

3.1. Questionários

Para a complementação da presente pesquisa, mostrou-se pertinente a obtenção de informações sobre a realidade dos profissionais, que atualmente desenvolvem projetos acústicos no país. Ou seja, verificar qual a formação desses profissionais, em que regiões do país estão inseridos e atuando, anos de experiência, bem como quais os métodos e ferramentas que utilizam na concepção dos projetos, qual a receptividade em relação a esses programas e até mesmo, descobrir se já existem projetos desenvolvidos, com o auxílio de algum *software* de simulação.

Para que essas informações fossem coletadas, foram utilizados como instrumentos de pesquisa as entrevistas semiestruturadas, seguidas pela aplicação de um questionário piloto, com um número reduzido de profissionais, e a elaboração do questionário final, aplicado com profissionais de diferentes regiões do país.

3.1.1 Entrevistas

Foram entrevistados três profissionais, na cidade de Santa Maria, com o objetivo de coletar informações, que pudessem auxiliar na elaboração das perguntas e respostas do questionário.

O contato inicial foi realizado por endereço eletrônico, as entrevistas foram realizadas pessoalmente, com o auxílio de um roteiro semi-estruturado (Apêndice A.1). Com duração média de 30 minutos, as respostas foram gravadas e depois, transcritas pelo entrevistador (Apêndice A.2).

3.1.2 Questionário piloto

Através das informações obtidas nas entrevistas, o questionário piloto foi desenvolvido. Composto por 10 perguntas, abertas e fechadas. O questionário, do tipo misto, foi estruturado em formato eletrônico, a fim de passar maior credibilidade e facilitar na coleta das respostas.

O contato foi realizado por endereço eletrônico, encaminhado para 30 profissionais de diferentes regiões do país, e foram obtidos 10 questionários preenchidos. Através das respostas e comentários fornecidos pelos profissionais que participaram dessa etapa piloto, foram desenvolvidas as perguntas e respostas para a versão final do questionário.

3.1.3 Questionário final

Através das respostas obtidas no questionário piloto, a versão final foi aprimorada. Estruturado em formato eletrônico, na plataforma Google e composto por perguntas abertas e fechadas. Foi enviado para mais de 150 profissionais, que desenvolvem projetos acústicos no Brasil, para que fosse possível receber no mínimo 30 questionários preenchidos, a fim de validá-lo estatisticamente.

O contato, com esses profissionais, foi realizado através de correio eletrônico, obtido nos sites de algumas associações da área de acústica, como ProAcústica - Associação Brasileira para a Qualidade Acústica - e SOBRAC - Sociedade Brasileira de Acústica. Outras associações e empresas, da área de acústica e afins, forneceram apoio na divulgação da pesquisa, como a AsBEA - Associação dos Escritórios de Arquitetura - enviando *e-mails* de divulgação da pesquisa aos seus associados, e a Anima Acústica com a publicação no site sobre a pesquisa (Apêndice B.2).

Cada pergunta do questionário foi desenvolvida, pensando em um objetivo específico dessa etapa da pesquisa, que pode ser verificado no Apêndice B.4.

3.2. Ensaio acústico em laboratório

Ensaio em laboratório foram realizados para que a próxima etapa, das medições *in loco* dos NPS de impacto, pudesse ser realizada sem danos aos pisos dos apartamentos. Conforme já mencionado, para a realização desse tipo de medição, a ISO 10140-3:2010 especifica a utilização da máquina de impacto normalizada, para a geração do ruído de impacto. Esse ruído de impacto é gerado através de cinco martelos posicionados na parte inferior da *tapping machine*, que caem de uma altura de 4 cm¹ sobre o piso que está sendo testado, conforme pode ser visualizado na Figura 3.1.

¹Altura especificada pela ISO 10140-5:2010.



Figura 3.1.: Vista frontal da máquina de impacto.

Fonte: Autora.

Percebendo a possibilidade da máquina de impacto normalizada - MIN - danificar os pisos das residências a serem medidas, a solução encontrada foi a utilização da máquina de impacto modificada - MIM - que consiste na utilização de um material de proteção entre a máquina de impacto e o piso, conforme mostra a Figura 3.2.

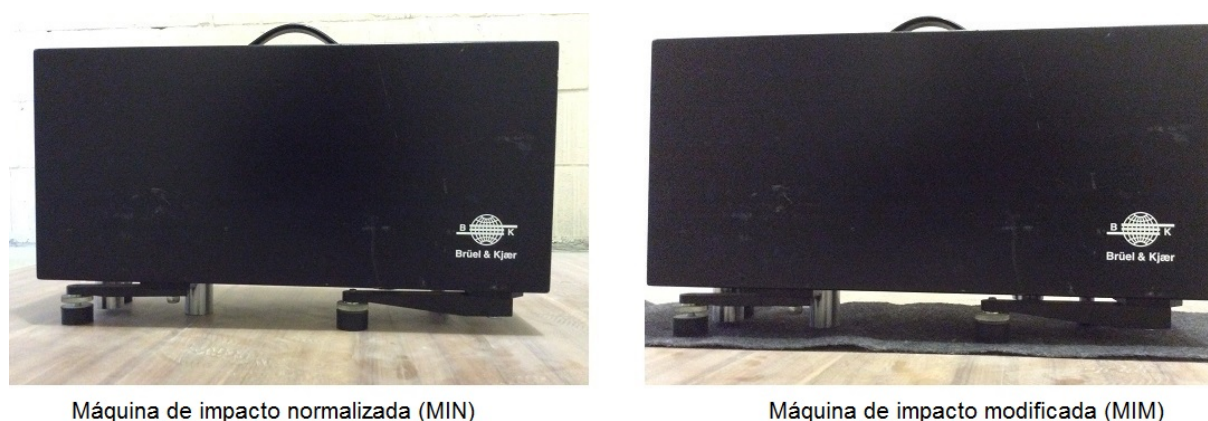


Figura 3.2.: Vistas frontais das MIN e MIM.

Fonte: Autora.

Dessa maneira, quatro materiais, com densidades e espessuras diferentes, foram testados em laboratório sobre diferentes pisos, objetivando determinar e caracterizar o material de proteção, a ser utilizado nas medições *in loco* da PT, ao ruído de impacto.

Os ensaios foram realizados nas câmaras de impacto do Laboratório de Acústica, da Universidade Federal de Santa Maria. Composto por duas câmaras adjacentes verticalmente, conforme ilustra Figura 3.3, as combinações de materiais e pisos foram locadas na sala de emissão, localizada no pavimento superior; e o microfone, para medir

o NPS de impacto, foi colocado na sala de recepção, no pavimento inferior. A Figura 3.4 mostra a planta baixa, com as medidas de cada sala.



Figura 3.3.: Corte - Câmaras de impacto da UFSM.

Fonte: Autora.

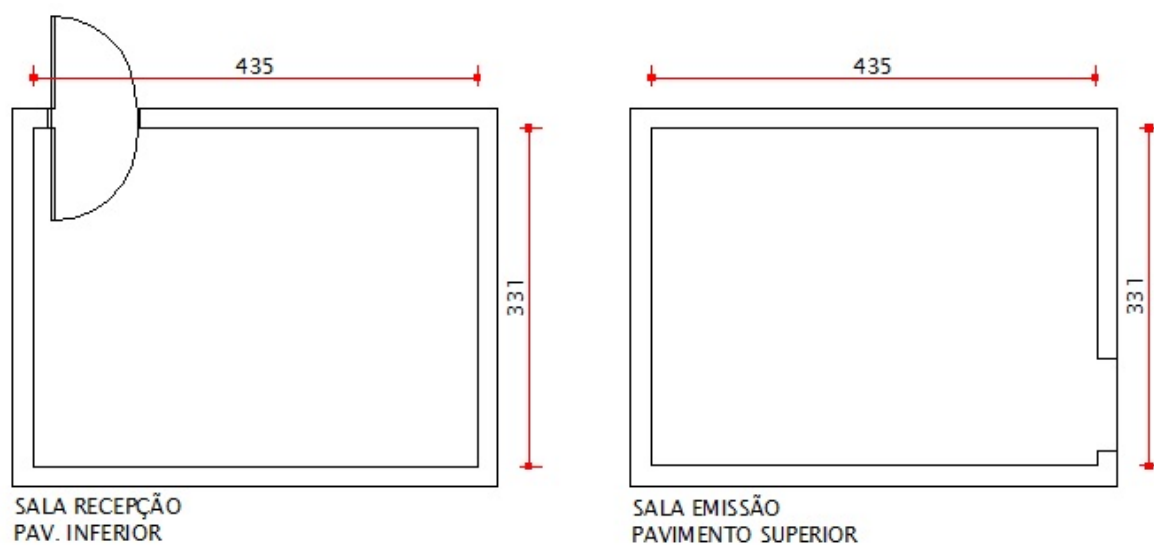


Figura 3.4.: Planta baixa - Câmaras de impacto da UFSM.

Fonte: Autora.

3.2.1 Materiais e procedimentos de medição

Para a realização dos ensaios, dos NPS de impacto, foram utilizados três sistemas de pisos:

- contrapiso de concreto de 3,5 cm de espessura;
- contrapiso de concreto de 3,5 cm de espessura com piso cerâmico;
- contrapiso de concreto de 3,5 cm de espessura, manta de polietileno expandido com 4 mm e piso laminado de 7 mm de espessura.

Esses pisos foram obtidos através das amostras existentes no laboratório da UFSM, com dimensões de 1 m x 1 m, colocados em cima da laje maciça de concreto² existente na câmara de emissão do laboratório e podem ser visualizados na Figura 3.5.



Figura 3.5.: Amostras de 1 m x 1 m dos pisos.

Fonte: Autora.

As fontes sonoras, utilizadas para gerar o ruído de impacto sobre o piso, foram: a máquina de impacto normalizada (MIN)³ e a máquina de impacto modificada (MIM)⁴. Dessa maneira, foram realizadas medições dos sistemas de piso com e sem os materiais, para que depois fosse possível calcular a influência dos materiais nos diferentes tipos de piso.

Os materiais testados na MIM foram escolhidos em concordância com a ISO 10140-5:2010, a qual recomenda que estes devam ser constituídos de borracha, cortiça, material

²Laje maciça de concreto, com 10 cm de espessura, existente no laboratório de acústica da UFSM.

³Máquina de impacto sem material de proteção entre os martelos da máquina e o piso.

⁴Máquina de impacto com material de proteção entre os martelos da máquina e o piso.

plástico ou similar. Outro fator importante na escolha dos materiais, foi a facilidade de encontrá-los em diferentes regiões do Brasil, uma vez que esse estudo pode servir para os profissionais que precisam realizar medições *in loco* e queiram garantir a proteção dos pisos.

Os materiais utilizados nos ensaios foram: feltro, TNT⁵, capa plástica⁶ e polipropileno⁷, ilustrados pela Figura 3.6.

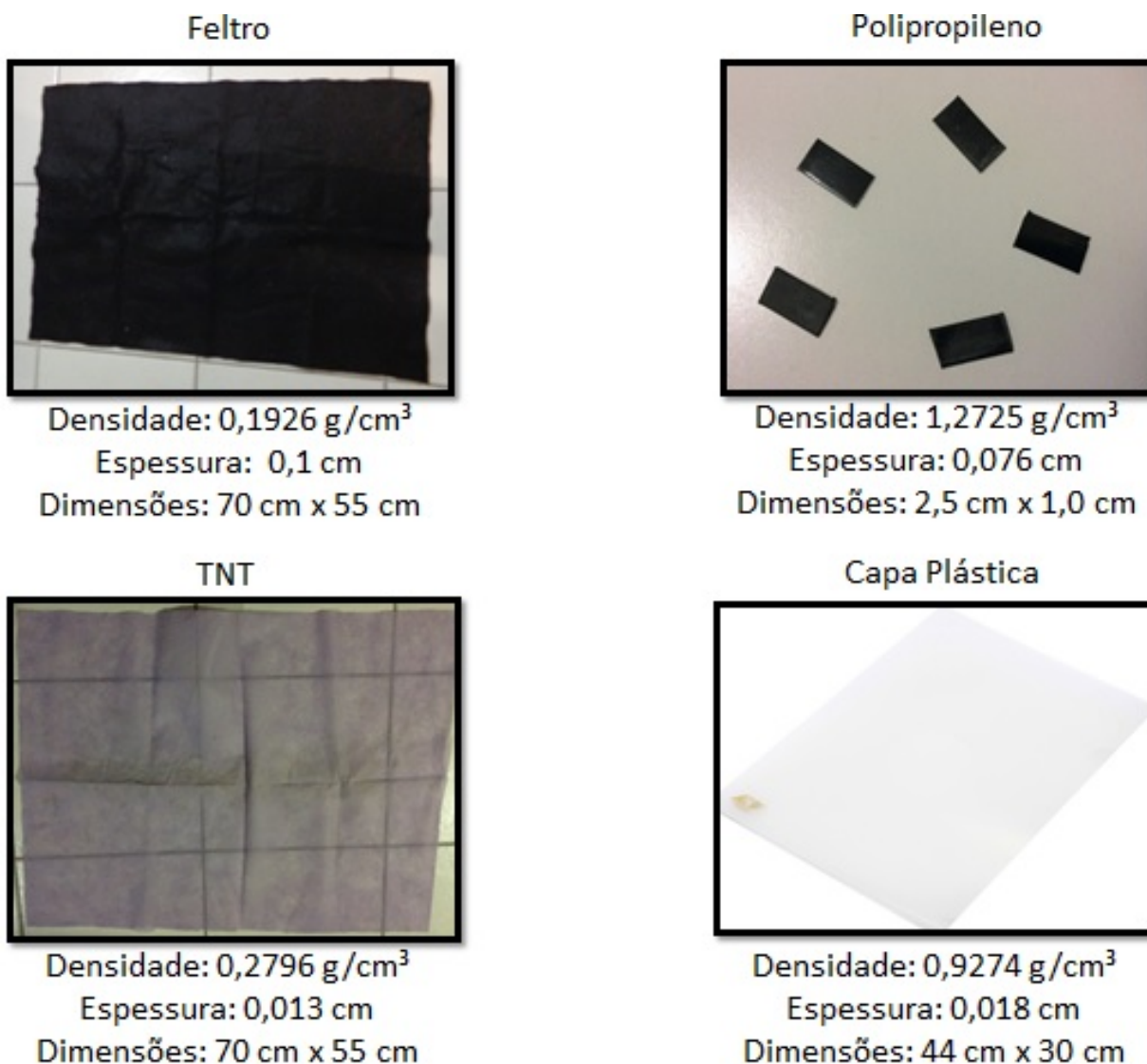


Figura 3.6.: Materiais de proteção.

Fonte: Autora.

⁵TNT é a sigla para Tecido Não Tecido, utilizado normalmente em decoração de festas e é encontrado nas papelarias para vender.

⁶Capa plástica encontrada em papelarias, para guardar papéis em formato de A4.

⁷Obtido de uma georelha de poliéster da marca Enkagrid.

Os materiais, utilizados nos ensaios, foram pesados em uma balança de precisão, do Laboratório de Química da Universidade Federal de Santa Maria, para que fosse possível calcular a densidade.

Os ensaios foram realizados de acordo com as recomendações da ISO 10140-5:2010. As camadas foram colocados diretamente sobre o piso, de acordo com o método B da norma ISO 10140-5:2010, com exceção do polipropileno, que foi fixado diretamente nos martelos da máquina de impacto, de acordo com o método A da ISO 10140-5:2010. Para cada combinação, de piso e camada de material, foram realizadas três medições, para que depois fosse possível fazer a média ou, caso necessário, descartar alguma medição discrepante.

As combinações, de pisos e materiais, podem ser visualizadas no Quadro 3.1.

Sistema de piso	MIM – feltro (F)	MIM – TNT	MIM – Polipropileno (P)	MIM – Capa plástica (CP)		
<p>Contrapiso (C)</p>  <p>Fonte: Autora.</p>	C – 01 F – MED 01 C – 01 F – MED 02 C – 01 F – MED 03	C – 01 TNT – MED 01 C – 01 TNT – MED 02 C – 01 TNT – MED 03	C – 01 P – MED 01 C – 01 P – MED 02 C – 01 P – MED 03	C – 01 CP – MED 01 C – 01 CP – MED 02 C – 01 CP – MED 03		
	C – 02 F – MED 01 C – 02 F – MED 02 C – 02 F – MED 03	C – 02 TNT – MED 01 C – 02 TNT – MED 02 C – 02 TNT – MED 03	C – 02 P – MED 01 C – 02 P – MED 02 C – 02 P – MED 03	C – 02 CP – MED 01 C – 02 CP – MED 02 C – 02 CP – MED 03		
	C – 03 F – MED 01 C – 03 F – MED 02 C – 03 F – MED 03	C – 03 TNT – MED 01 C – 03 TNT – MED 02 C – 03 TNT – MED 03	C – 03 P – MED 01 C – 03 P – MED 02 C – 03 P – MED 03	C – 03 CP – MED 01 C – 03 CP – MED 02 C – 03 CP – MED 03		
	C – 04 F – MED 01 C – 04 F – MED 02 C – 04 F – MED 03	C – 04 TNT – MED 01 C – 04 TNT – MED 02 C – 04 TNT – MED 03	C – 04 P – MED 01 C – 04 P – MED 02 C – 04 P – MED 03	C – 04 CP – MED 01 C – 04 CP – MED 02 C – 04 CP – MED 03		
	<p>Piso cerâmico (PC)</p>  <p>Fonte: Autora.</p>	PC – 01 F – MED 01 PC – 01 F – MED 02 PC – 01 F – MED 03	PC – 01 TNT – MED 01 PC – 01 TNT – MED 02 PC – 01 TNT – MED 03	PC – 01 P – MED 01 PC – 01 P – MED 02 PC – 01 P – MED 03		
		PC – 02 F – MED 01 PC – 02 F – MED 02 PC – 02 F – MED 03	PC – 02 TNT – MED 01 PC – 02 TNT – MED 02 PC – 02 TNT – MED 03	PC – 02 P – MED 01 PC – 02 P – MED 02 PC – 02 P – MED 03		
		PC – 03 F – MED 01 PC – 03 F – MED 02 PC – 03 F – MED 03	PC – 03 TNT – MED 01 PC – 03 TNT – MED 02 PC – 03 TNT – MED 03	PC – 03 P – MED 01 PC – 03 P – MED 02 PC – 03 P – MED 03		
		PC – 04 F – MED 01 PC – 04 F – MED 02 PC – 04 F – MED 03	PC – 04 TNT – MED 01 PC – 04 TNT – MED 02 PC – 04 TNT – MED 03	PC – 04 P – MED 01 PC – 04 P – MED 02 PC – 04 P – MED 03		
		<p>Piso laminado (PL)</p>  <p>Fonte: Autora.</p>	PL – 01 F – MED 01 PL – 01 F – MED 02 PL – 01 F – MED 03	PL – 01 TNT – MED 01 PL – 01 TNT – MED 02 PL – 01 TNT – MED 03	PL – 01 P – MED 01 PL – 01 P – MED 02 PL – 01 P – MED 03	
			PL – 02 F – MED 01 PL – 02 F – MED 02 PL – 02 F – MED 03	PL – 02 TNT – MED 01 PL – 02 TNT – MED 02 PL – 02 TNT – MED 03	PL – 02 P – MED 01 PL – 02 P – MED 02 PL – 02 P – MED 03	
			PL – 03 F – MED 01 PL – 03 F – MED 02 PL – 03 F – MED 03	PL – 03 TNT – MED 01 PL – 03 TNT – MED 02 PL – 03 TNT – MED 03	PL – 03 P – MED 01 PL – 03 P – MED 02 PL – 03 P – MED 03	
			PL – 04 F – MED 01 PL – 04 F – MED 02 PL – 04 F – MED 03	PL – 04 TNT – MED 01 PL – 04 TNT – MED 02 PL – 04 TNT – MED 03	PL – 04 P – MED 01 PL – 04 P – MED 02 PL – 04 P – MED 03	
Total de medições: 36			Total de medições: 36	Total de medições: 36	Total de medições: 12	
Número de medições completas de PT ao ruído de impacto: 120						

Quadro 3.1: Medições realizadas com a MIM.

Fonte: Autora.

As imagens das combinações podem ser verificadas na Figura 3.7.

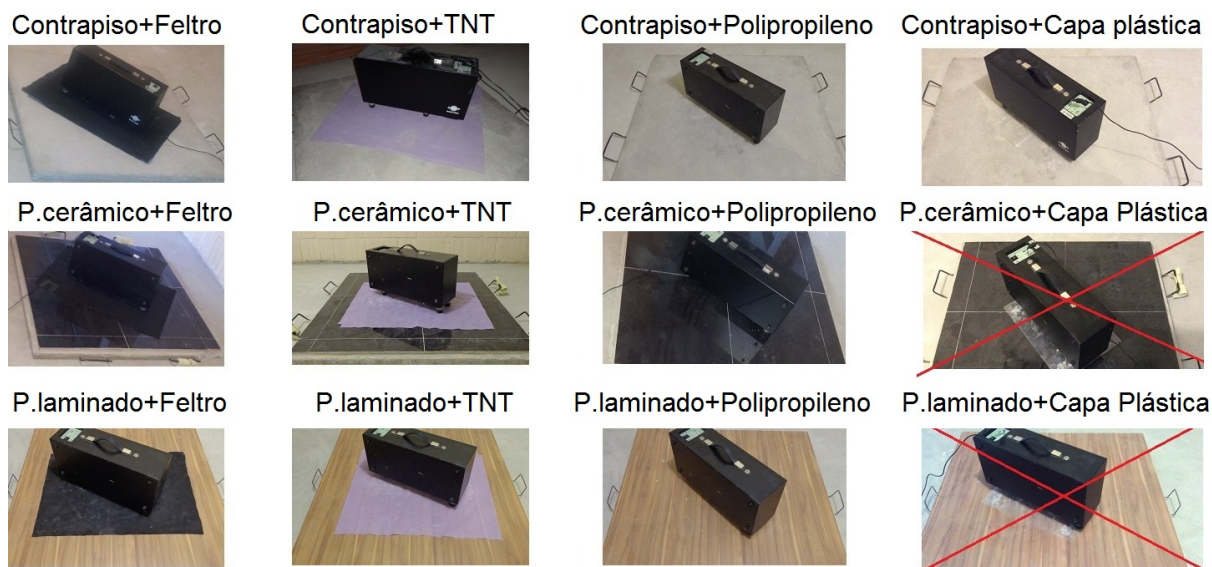


Figura 3.7.: Combinações das medições - piso e material.

Fonte: Autora.

Como pode ser observado, no Quadro 3.1 e ilustrado na Figura 3.7, a possibilidade de medições com a capa plástica foi descartada. O motivo para isso está no significativo desgaste apresentado pela capa plástica, após as medições sobre o contrapiso de concreto, demonstrando a pouca capacidade de proteção do material sobre o piso (Figura 3.8).



Figura 3.8.: Desgaste da capa plástica após as medições com o contrapiso de concreto.

Fonte: Autora.

Além disso, foi realizado um teste de nivelamento da máquina de impacto, através da colocação de papéis, sulfite e carbono, embaixo da máquina, conforme Figuras 3.9 e 3.10. As marcas redondas deixadas no papel sulfite, devido aos impactos dos martelos, evidenciaram o nivelamento da máquina.

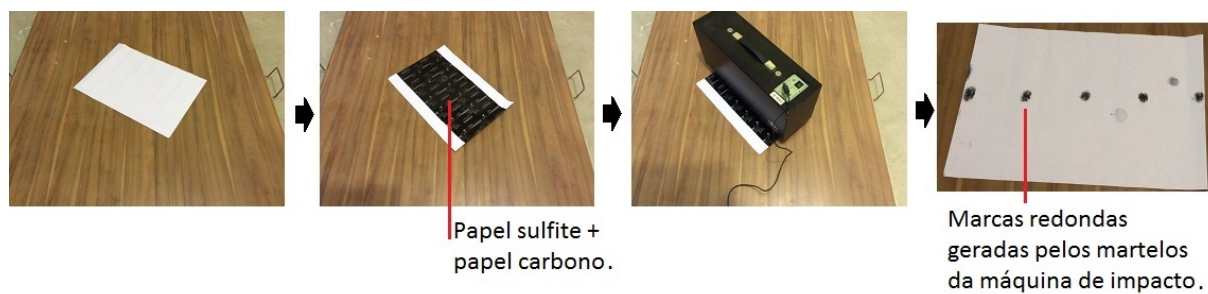


Figura 3.9.: Teste de nivelamento da máquina de impacto.

Fonte: Autora.

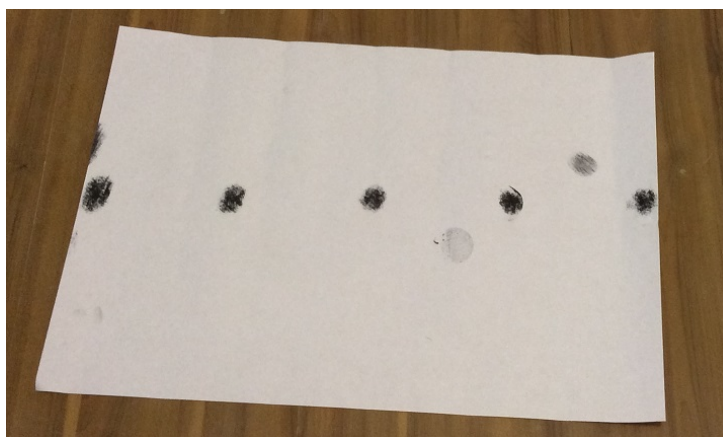


Figura 3.10.: Marcas geradas pelo impacto dos martelos da máquina, no papel.

Fonte: Autora.

3.2.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para as medições realizadas em laboratório, foram:

- máquina de impacto normalizada (MIN), marca Brüel & Kjaer, modelo 3207, número de série 02675439;
- máquina de impacto modificada (MIM), marca Brüel & Kjaer, modelo 3207, número

de série 02675439. Para modificá-la, foram acrescentados os materiais de proteção (feltro, TNT, capa plástica e polipropileno), entre a máquina e o piso;

- amplificador, marca Brüel & Kjaer, modelo 2716, número de série 2675484;
- calibrador de microfone, marca Brüel & Kjaer, modelo 4231, número de série 2699079;
- fonte sonora omnidirecional, marca Brüel & Kjaer, modelo 4292, número de série 028023, para a emissão de ruído rosa de banda larga nas medições de TR;
- medidor de temperatura, CE, NF: 171394-R, INSP: 05/08;
- medidor do Nível de Pressão Sonora, marca Brüel & Kjaer, modelo 2270, número de série 2679330;
- microfone, marca Brüel & Kjaer, pré-polarizado de campo livre, modelo 4189, número de série 2695313 (correção para campo difuso através da configuração do MNPS);
- tripé para suporte fixo do microfone, modelo 4189 (para medição do TR);
- *rotating boom*: suporte rotativo para microfone, Brüel & Kjaer, modelo 3923, número de série 2664265 (para medição da PT);
- *software* BZ-5503: *Measurement Partner Suite*, marca Brüel & Kjær, versão 4.2.0.227.

3.2.3 Parâmetros medidos

Para determinar os níveis de pressão sonora ao ruído de impacto são necessários três tipos diferentes de medições, na câmara de recepção:

- Tempo de reverberação - TR ;
- Nível de pressão sonora do ruído de impacto - L_2 ;
- Nível de pressão sonora do ruído de fundo - B_2 .

Através dessas medições foi possível determinar os valores de $L_{n,T}$ por banda de frequência, através da Equação (2.13); e o valor único de $L_{n,T,w}$ ⁸, através do método de comparação com a curva de ponderação especificada pela ISO 717-2:1996 [18].

Para determinar a influência do material nas medições, foram também calculados os valores de $\Delta L_{n,T}$, por banda de frequência, através da Equação 3.1, e os valores de $\Delta L_{n,T,w}$, através da Equação 3.2.

$$\Delta L_{n,T} = L_{n,T,ref} - L_{n,T,mod} \text{ [dB]} \quad (3.1)$$

sendo:

$L_{n,T,ref}$ o NPS de impacto normalizado do piso de referência, sem o material de proteção, em dB;

$L_{n,T,mod}$ o NPS de impacto normalizado do piso modificado com o material de proteção, em dB.

$$\Delta L_{n,T,w} = L_{n,T,w,ref} - L_{n,T,w,mod} \text{ [dB]} \quad (3.2)$$

sendo:

$L_{n,T,w,ref}$ o NPS de impacto normalizado ponderado do piso de referência, sem o material de proteção, em dB;

$L_{n,T,w,mod}$ o NPS de impacto normalizado ponderado do piso modificado com o material de proteção, em dB.

3.2.3.1 Medições do tempo de reverberação - TR

A medição do tempo de reverberação, na câmara de recepção, foi realizada seguindo as recomendações da ISO 354:2003:

- 02 posições de fonte sonora omnidirecional;
- 03 posições de microfone, para cada posição de fonte sonora;

⁸Apesar da ISO 10140-5:2010 especificar o parâmetro L_n para as medições em laboratório, nessa situação foram calculados os valores de $L_{n,T}$ para que fosse possível a aplicação do coeficiente de correção (CC) do material de proteção, nas medições em campo.

- totalizando 06 medições de TR.

Em função do espaço reduzido na câmara de recepção, nem todas as distâncias mínimas estabelecidas pela norma puderam ser respeitadas. Dessa maneira, foram priorizadas as distâncias dos equipamentos em relação às paredes, piso e forro do ambiente (Figura 3.11).

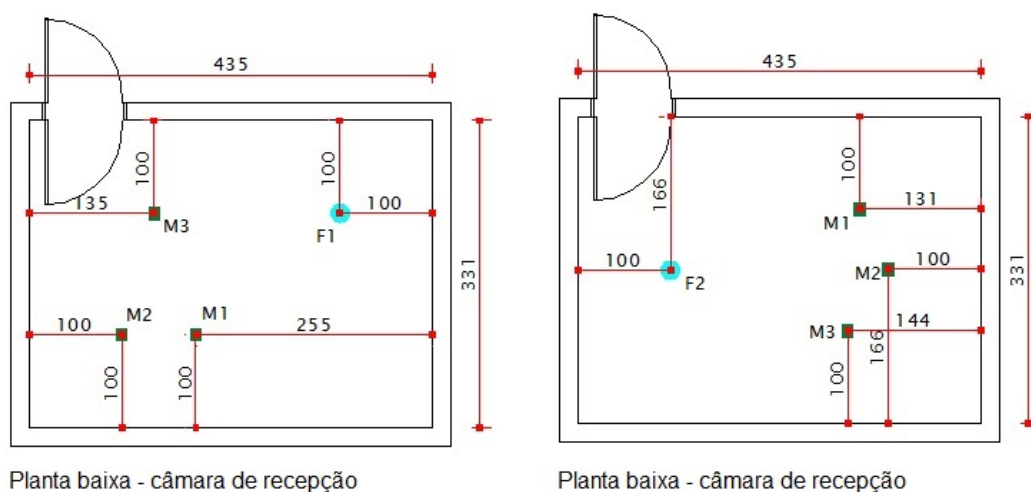


Figura 3.11.: Posições de fonte e microfones, para a medição do TR, na câmara receptora.

Fonte: Autora.

As medições foram realizadas em bandas de terça de oitava. O medidor de NPS foi configurado, para que a fonte sonora emitisse ruído rosa, em 03 decaimentos de NPS sucessivos, para cada combinação de fonte e microfones. Como os valores das medições do TR não apresentaram distribuição normal, foram calculadas as medianas dos valores de TR por banda de frequência (Apêndice C.1).

As medições de TR foram realizadas apenas uma vez, ao longo do dia de medição e os valores medidos, aproveitados em todas as demais medições de piso e material, realizadas no dia. Dessa maneira, foram obtidos 06 medições diferentes de TR, uma vez que os ensaios, com os materiais de proteção, foram realizados em 06 dias.

3.2.3.2 Medições do nível de pressão sonora do ruído de impacto - L_2

As medições do NPS do ruído de impacto, foram realizadas através da colocação da amostra de piso e da MIM ou MIN, na câmara de emissão; e do microfones rotativo,

na câmara receptora, conectado ao medidor de nível de pressão sonora (Figura 3.12).

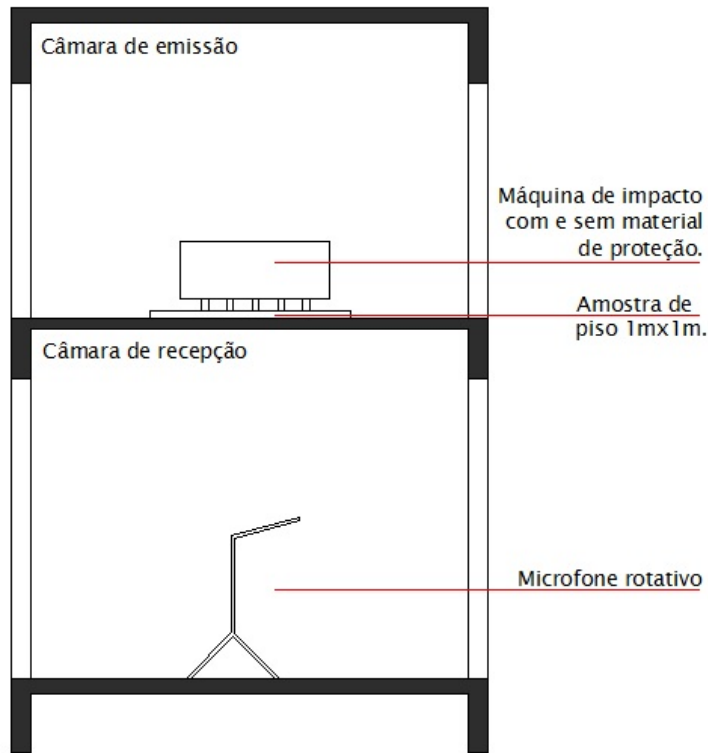


Figura 3.12.: Corte das câmaras do laboratório - medição da PT, ao ruído de impacto.

Fonte: Autora.

A máquina de impacto foi posicionada em quatro pontos, na câmara emissora, de acordo com as recomendações da ISO 10140-3 e ISO 10140-5. Já o microfone, por ser rotativo, foi colocado no centro da sala receptora, com um raio de varredura de 0,70 m. Os pontos utilizados para fonte e microfone podem ser visualizados na Figura 3.13.

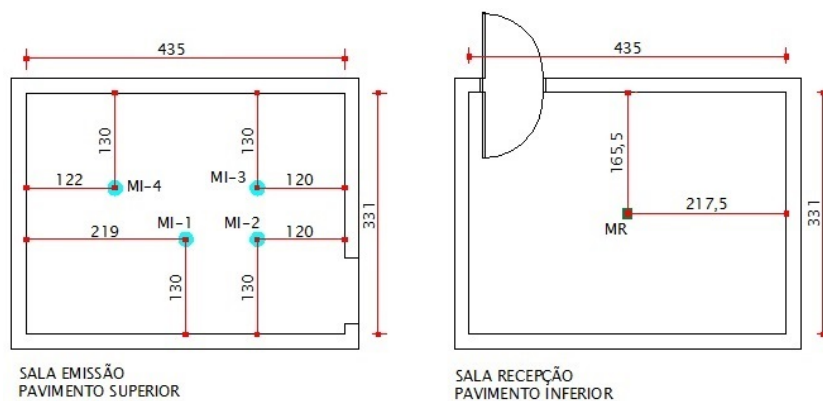


Figura 3.13.: Pontos da máquina de impacto (MI) e microfone rotativo (MR).

Fonte: Autora.

O microfone, localizado na câmara de recepção, foi conectado ao medidor de NPS, para captar os níveis de pressão sonora, na câmara de recepção. O medidor de NPS foi configurado com o *Template - Building Acoustics*.

Para cada combinação, de fonte e microfone, foram realizadas duas medições do NPS de impacto, totalizando 08 valores de NPS de impacto, por banda de frequência. As medições foram realizadas nas bandas de terça de oitava, entre 50 Hz e 5 kHz. O tempo médio, para a obtenção dos níveis de pressão sonora de impacto, respeitou o exigido pela ISO 10140-5:2010 de 30 s para cada posição de microfone e fonte, devido à utilização do microfone rotativo.

Devido às dimensões reduzidas das câmaras de impacto do laboratório, não foi possível respeitar todas as distâncias mínimas exigidas pela ISO 10140-3:2010 entre fonte, microfone e os elementos de vedação das câmaras. Dessa maneira, foram respeitadas, em primeiro lugar, as distâncias de fonte e microfone dos elementos de vedações das salas, como paredes, piso e forro. As distâncias, entre os pontos de microfone e entre os pontos da fonte, foram abaixo do mínimo estabelecido pela norma.

3.2.3.3 Medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo - B_2

As medições do B_2 foram realizadas na câmara de recepção, com a máquina de impacto desligada, sempre após as medições do L_2 em cada posição de microfone/fonte para cada combinação de piso/material, totalizando 08 valores de B_2 por banda de frequência. As condições, de altura e localização do microfone rotativo, foram as mesmas adotadas para a medição de L_2 .

3.2.4 Procedimentos para as análises dos resultados

Para os resultados de TR, foram calculadas as medianas dos 06 valores de TR medidos, por banda de frequência, uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal.

Para os valores medidos de NPS de impacto na sala receptora, foi calculado o NPS

de impacto médio - $L_{i,médio}$ - através da Equação (2.11).

Para os 08 valores de B_2 também foram calculados os valores médios, por banda de frequência. Com os valores médios de B_2 e L_2 , o critério da diferença de 12 dB foi verificado e nos casos em que essa diferença não foi atingida, o valor de L_2 foi corrigido através da Equação (2.14).

Para retirar a influência da câmara de recepção nos valores de L_2 , foram calculados os valores de $L_{n,T}$, através da Equação (2.13).

Para a análise da influência dos materiais em cada tipo de piso, foram realizadas as seguintes análises:

- transformação dos valores de $L_{n,T}$ para pressão sonora eficaz ao quadrado - p_{ef}^2 em Pa^2 ;
- análise estatística dos valores da p_{ef}^2 com e sem material;
- determinação do coeficiente de correção para o material de proteção escolhido, para cada tipo de piso, através da razão entre os valores de p_{ef}^2 medidos sem e com material de proteção.

3.3. Medições em campo

As medições em campo, da transmissão sonora ao ruídos aéreo de impacto, foram conduzidas em 20 residências, na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. As residências foram selecionadas, de acordo com dois critérios: padrão e sistema construtivo. Para a determinação do número de residências, foi realizado o cálculo amostral necessário para validação estatística.

Dessa maneira, a presente seção encontra-se dividida em:

- seleção das residências;
- tamanho da amostra;
- determinação da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo;
- medições em campo no NPS na sala receptora, ao ruído de impacto.

3.3.1 Seleção das residências

As residências foram escolhidas, seguindo dois critérios:

- padrões construtivos:
 - padrões escolhidos de acordo com a classificação da NBR 12721:2006 [30].
- sistemas construtivos:
 - sistemas escolhidos com pesquisa ao acervo da Prefeitura Municipal de Santa Maria, que contém projetos arquitetônicos com especificação dos sistemas construtivos empregados nas residências construídas na cidade.

3.3.1.1 Padrão construtivo

Buscando uma maior abrangência que representasse as diferentes residências construídas no Brasil, a escolha das residências seguiu os critérios de classificação da NBR 12721:2006 [30] de acordo com os padrões construtivos, que pode ser visualizado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1.: Critérios de classificação dos padrões construtivos.

Sigla	Nome e Descrição	Número Dormitórios	Área (m ²)	
			Real	Equivalente
PIS	Residência multifamiliar - Projeto de interesse social: Térreo e 4 pavtos/tipo Pavto. térreo: Hall, escada, 4 appts/andar, c/ 2 dormit, sala, banh, coz e AS. Na área externa estão localizados o cômodo da guarita, c/ banh e central de medição. Pavto-tipo: Hall, escada e 4 aparts/ andar, c/ 2 dormit, sala, banh, coz e AS.	2	991,45	978,09
R8-N	Residência multifamiliar, padrão normal: Garagem, pilotis e oito pavtos-tipo. Garagem: Escada, elev, 64 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo depósito e instalação sanitária. Pilotis: Escada, elev, hall de entrada, salão de festas, copa, 2 banh, central de gás e guarita. Pavto-tipo: Hall de circulação, escada, elev e quatro apartamentos por andar, c/ três dormit, sendo um suíte, sala estar/jantar, banh social, coz, AS c/ banh e varanda.	3	5.998,73	4.135,22
R8-A	Residência multifamiliar, padrão alto: Garagem, pilotis e oito pavtos-tipo. Garagem: Escada, elev, 48 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária. Pilotis: Escada, elev, hall de entrada, salão festas, salão de jogos, copa, 2 banh, central gás e guarita. Pavto. tipo: Halls de circulação, escada, elev e 2 apartamentos por andar, c/ 4 dormit, sendo um suíte c/ banh e closet, outro c/ banh, banh social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, coz, AS completa e varanda.	4	5.917,79	4.644,79

Fonte: [30]

3.3.1.2 Sistema construtivo

Foram pesquisados os principais sistemas construtivos, utilizados na cidade de Santa Maria, e selecionados, somente os representativos para os sistemas utilizados no restante do país.

Para isso, foram realizadas consultas ao acervo da Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Santa Maria, mediante apresentação do Ofício do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, explicando o objetivo da pesquisa. O acervo da prefeitura conta com projetos arquitetônicos e memoriais descritivos, das edificações construídas na cidade, pelo menos dos últimos 30 anos.

Dessa maneira, verificou-se os seguintes sistemas construtivos mais utilizados atualmente:

- Alvenaria estrutural:
 - Paredes de bloco estrutural de concreto;
 - Paredes de bloco estrutural cerâmico.
- Concreto armado:
 - Paredes de tijolo vazado.

Para sistemas de pisos, o critério de seleção foi o tipo de laje existente no Laboratório de Acústica da UFSM. Como os ensaios com o material de proteção foram realizados para pisos laminados e cerâmicos sobre lajes maciças de concreto, e os coeficientes de correção foram determinados para esses sistemas de pisos específicos, as residências escolhidas também seguiram esse padrão.

Como os sistemas construtivos, empregados nas edificações, também dependem do padrão da construção, nem todos os sistemas foram medidos em diferentes padrões, apenas aquelas combinações mais encontradas. Sendo assim, as combinações possíveis foram:

- PIS⁹ - parede de tijolo vazado;

⁹PIS - Projeto de interesse social, considerado um baixo padrão construtivo de acordo com classificação da norma NBR 12721:2006 [30].

- R8- N¹⁰ - parede de tijolo vazado / bloco cerâmico / bloco de concreto;
- R8 - A¹¹ - parede de tijolo vazado.

3.3.1.3 Tamanho da amostra

Considerando a população como infinita, é possível calcular o tamanho da amostra através da Equação (3.3).

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{d^2}, \quad (3.3)$$

sendo:

Z a abscissa da normal padrão;

p a estimativa da verdadeira proporção de um dos níveis da variável escolhida;

$q=1-p$;

d o erro amostral.

Dessa maneira, o número mínimo de amostras por combinação de padrão/sistema construtivo é 4 (Quadro 3.2), pois foram considerados os seguintes valores para o cálculo da amostragem:

$$p=1\%=0,01$$

$$q=99\%=0,99$$

$$Z=1,96$$

$$d=10\%=0,1$$

¹⁰R8-N - Residência multifamiliar padrão construtivo normal de acordo com a classificação da norma NBR 12721:2006 [30].

¹¹R8-N - Residência multifamiliar padrão construtivo alto de acordo com a classificação da norma NBR 12721:2006 [30].

Padrão	Combinações dos sistemas construtivos	Número de amostras
PIS	Parede tijolo vazado (TV) + laje maciça*	04 amostras
R8-N	Parede tijolo vazado (TV) + laje maciça*	04 amostras
R8-N	Parede bloco cerâmico (BCE) + laje maciça*	04 amostras
R8-N	Parede bloco de concreto (BCO) + laje maciça*	04 amostras
R8-A	Parede tijolo vazado (TV) + laje maciça*	04 amostras
Número total de residências a serem medidas:		20**

* laje maciça de concreto com piso cerâmico (PC) ou piso laminado (PL).

** 20 medições da PT, ao ruído aéreo e 20 medições da PT ao ruído de impacto.

Quadro 3.2: Combinações das residências a serem medidas

3.3.2 Determinação da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo

As medições da perda de transmissão ao ruído aéreo foram realizadas nas residências selecionadas, seguindo as recomendações da ISO 140-4:1998 [15].

3.3.2.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a execução das medições da PT, ao ruído aéreo foram:

- amplificador, marca Brüel & Kjaer, modelo 2716, número de série 2675484;
- calibrador de microfone, marca Brüel & Kjaer, modelo 4231, número de série 2699079;
- fonte sonora omnidirecional, marca Brüel & Kjaer, modelo 4292, número de série 028023, para emissão de ruído rosa de banda larga nas medições de TR;
- medidor de temperatura, CE, NF: 171394-R, INSP: 05/08;
- medidor do Nível de Pressão Sonora, marca Brüel & Kjaer, modelo 2270, número de série 2679330;

- microfones, marca Brüel & Kjaer, pré-polarizado de campo livre, modelo 4189, número de série 2695313 (correção para campo difuso através da configuração do MNPS);
- tripé para suporte fixo do microfone, modelo 4189 (para medição do TR);
- *rotating boom*: suporte rotativo para microfone, Brüel & Kjaer, modelo 3923, número de série 2664265 (para medição da PT);
- *software* BZ-5503: *Measurement Partner Suite*, marca Brüel & Kjaer, versão 4.2.0.227.

3.3.2.2 Parâmetros medidos

Para determinar a transmissão sonora, ao ruído aéreo, são necessários quatro tipos diferentes de medições:

- Tempo de reverberação, no ambiente de recepção - TR;
- Nível de pressão sonora, no ambiente de emissão - L_1 ;
- Nível de pressão sonora, no ambiente de recepção - L_2 ;
- Nível de pressão sonora do ruído de fundo, no ambiente de recepção - B_2 .

Através dessas medições, é possível determinar os valores de $D_{n,T}$ por banda de frequência e o valor único de $D_{n,T,w}$.

3.3.2.3 Medições do tempo de reverberação - TR

As medições do tempo de reverberação nos ambientes receptores - TR - foram realizadas, seguindo as recomendações da ISO 3382-2009:

- 02 posições de fonte sonora omnidirecional;
- 03 posições de microfone para cada fonte sonora;

- totalizando 06 medições de TR.

As distâncias mínimas entre microfone, fonte, e elementos de vedação dos ambientes, estabelecidos pela ISO 3382-2, não puderam ser cumpridas em todas as situações, devido às dimensões reduzidas dos ambientes dos apartamentos. Dessa maneira, procurou-se respeitar as distâncias mínimas dos microfones e fonte, em relação às paredes e teto. A Figura 3.14 mostra a locação dos pontos, de microfone e fonte, para medição do TR, em um dos apartamentos medidos. As plantas dos demais apartamentos medidos podem ser visualizadas no Apêndice D.2.

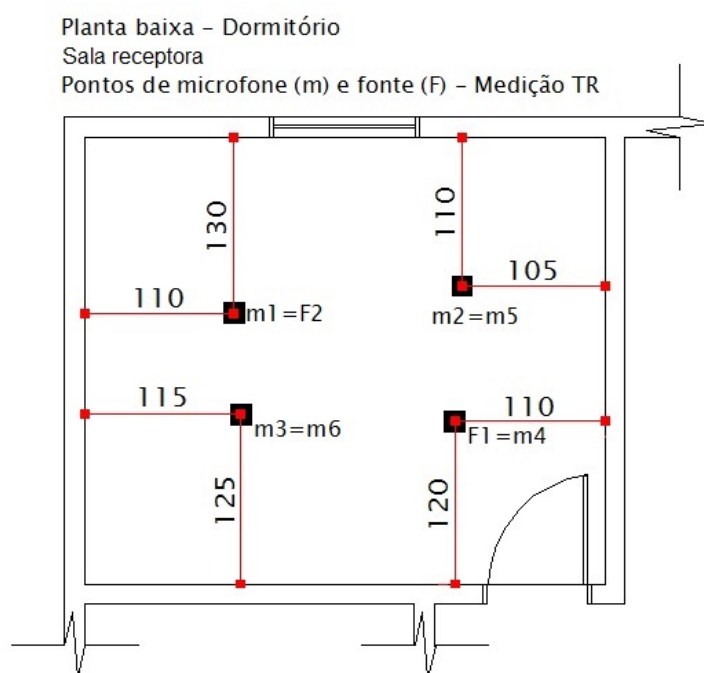


Figura 3.14.: Pontos de microfone e fonte, para medição do TR, no ambiente receptor.

Fonte: Autora.

As medições foram realizadas em bandas de terça de oitava. O medidor de NPS foi configurado para que a fonte sonora emitisse ruído rosa, em 03 decaimentos de NPS sucessivos, para cada combinação de fonte e microfone. As medições do tempo de reverberação foram realizadas em todos os ambientes de recepção nas medições *in loco*. Em algumas situações, o ambiente de recepção era o mesmo tanto para a medição da transmissão sonora ao ruído aéreo como para o de impacto, e assim a medição do tempo de reverberação era reaproveitada.

Além disso, foram realizadas as medições da temperatura e umidade, em todos os ambientes de recepção (Apêndice D.6.0.2).

3.3.2.4 Medições dos NPS no ambiente emissor e receptor - L_1 e L_2

As medições, dos valores de L_1 e L_2 , foram realizadas seguindo as recomendações da ISO 140-4:1998:

- 02 posições de fonte sonora omnidirecional, na sala emissora;
- 01 posição de microfone rotativo, na sala emissora;
- 01 posição de microfone rotativo, na sala receptora;
- totalizando 02 medições de L_1 e 02 medições de L_2 .

Para a obtenção dos valores de L_1 e L_2 foram utilizados microfones rotativos - *Rotating Boom*, posicionados no centro de cada sala (emissora e receptora). Respeitando um raio de varredura de 0,70 m e altura mínima de 1,20 m (Figura 3.15).



Figura 3.15.: Altura e raio de varredura, para o *Rotating Boom*.

Fonte: Autora.

Na sala emissora, a fonte sonora omnidirecional locada em duas posições, respeitando uma altura mínima de 1,20 m. A Figura 3.16 mostra a fonte e microfones posicionados para a medição da PT, ao ruído aéreo, em um dos apartamentos medidos.



Figura 3.16.: Medição da PT, ao ruído aéreo.

Fonte: Autora.

Os microfones rotativos, localizados nos ambientes de emissão e recepção, foram conectados ao medidor de NPS simultaneamente, para captar os níveis de pressão sonora emitido e transmitido. Para que isso fosse possível, o medidor de NPS foi configurado com o *Template - Building Acoustics - 02 Channels*.

Para cada combinação de fonte e microfone, foi realizada uma medição do NPS, em cada ambiente (receptor e emissor), totalizando 02 valores de L_1 e L_2 , por banda de frequência. As medições foram realizadas nas bandas de terça de oitava, entre 50 Hz e 5 kHz. O tempo médio, para a obtenção dos níveis de pressão sonora, respeitou o exigido pela ISO 10140-5:2010 de 30 s para cada posição de microfone e fonte, devido à utilização do microfone rotativo.

Devido às dimensões reduzidas de alguns ambientes medidos, nem sempre foi possível respeitar todas as distâncias mínimas exigidas pela ISO 10140-3:2010 entre fonte, microfone e os elementos de vedação das câmaras. Dessa maneira, foram priorizadas as distâncias mínimas de fonte e microfone dos elementos de vedações das salas como paredes e forros receberam, em detrimento das distâncias entre os equipamentos.

A Figura 3.17 mostra a planta baixa de um apartamento medido, com os pontos locados de fonte (F) e microfone rotativo (MR). As plantas dos outros apartamentos medidos podem ser visualizadas no Apêndice D.2.

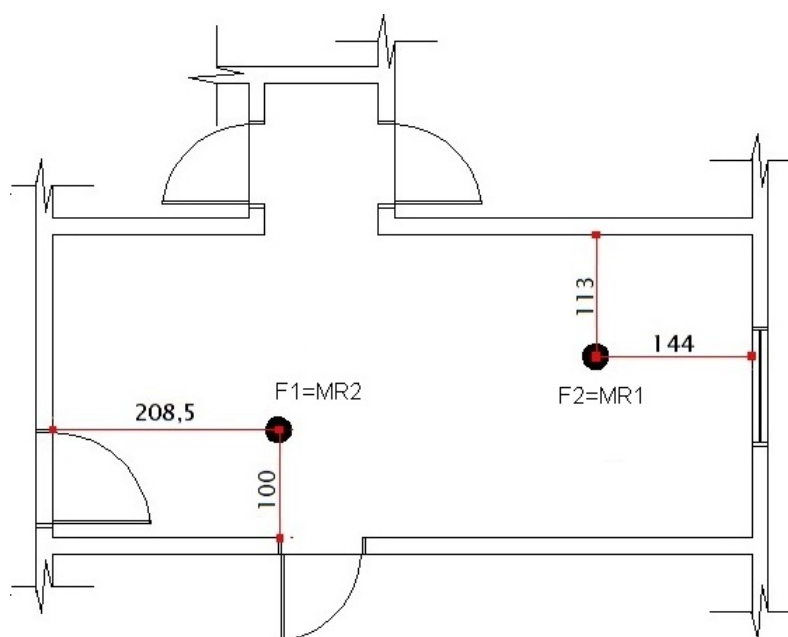


Figura 3.17.: Pontos microfone e fonte, na sala emissora para medição da PT, ao ruído aéreo.

Fonte: Autora.

3.3.2.5 Medições do NPS do ruído de fundo - B_2

As medições do B_2 foram realizadas nas salas receptoras dos apartamentos medidos com a fonte sonora omnidirecional desligada, sempre após as medições dos valores de L_1 e L_2 em cada posição de microfone/fonte, totalizando 02 valores de B_2 por banda de frequência. As condições de altura e locação do microfone rotativo, foram as mesmas adotadas para a medição de L_1 e L_2 exemplificadas na Seção 3.3.2.4.

3.3.2.6 Procedimentos para as análises dos resultados

Para a análise dos resultados obtidos através das medições da transmissão sonora ao ruído de aéreo, foram realizadas as seguintes etapas:

- Para os resultados medidos do tempo de reverberação na sala de recepção, foram calculadas as medianas dos 06 valores de TR obtidos por banda de frequência, uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal (Apêndice D.5).
- Cálculo do $L_{i,médio}$ da sala de emissão e da sala de recepção, separadamente, para cada banda de frequência, através da Equação (2.6). Apesar de não seguir uma distribuição normal (Apêndice D.3), optou-se por realizar a média dos valores de L_1 e L_2 por não apresentar diferença significativa nos valores finais entre médias e medianas. Dessa maneira, foi utilizada a equação do $L_{i,médio}$ conforme consta na ISO 140-4.
- Verificação se o critério da diferença mínima de 6 dB foi atendido entre $L_{i,médio}$ da sala de recepção e o ruído de fundo. Nos casos em que essa diferença não foi atingida, o valor de L_2 foi corrigido através da Equação (2.10).
- Cálculo da diferença de NPS ao ruído aéreo, D , para cada banda de frequência, através da Equação (2.7).
- Cálculo da diferença padronizada de nível de pressão sonora, $D_{n,T}$ em dB, para cada banda de frequência, através da Equação (2.9).

- Transformação da escala logarítmica em escala linear, ou seja, cálculo da p_{ef}^2 em Pa^2 a partir dos valores de $D_{n,T}$ em dB por banda de frequência, para análise estatística e comparações com os valores simulados, através da Equação (3.4).

$$p_{ef}^2 = (p_0^2)(10^{L_p/10}) [\text{Pa}^2] \quad (3.4)$$

sendo:

p_0 a pressão sonora eficaz de referência = 2×10^{-5} Pa;

L_p os valores de $D_{n,T}$ por banda de frequência, em dB.

- Transformação dos valores de p_{ef}^2 em $D_{n,T}$ novamente através da Equação (3.5).

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p_{ef}^2}{p_0^2} \right) [\text{dB}] \quad (3.5)$$

- Determinação do valor único da diferença padronizada ponderada de NPS, $D_{n,T,w}$ através da curva de ponderação da ISO 717-1:1996.

3.3.3 Medições do nível de pressão sonora de impacto

As medições dos níveis de pressão sonora ao ruído de impacto, foram realizadas nas residências selecionadas nos ambientes receptores, seguindo as recomendações da ISO 140-7:1998 [15].

3.3.3.1 Materiais e procedimentos de medição

As medições em campo do nível de pressão sonora ao ruído de impacto foram realizadas entre dormitórios de pavimentos sobrepostos. A máquina de impacto modificada, foi utilizada com uma camada de feltro como material de proteção, no pavimento superior. No pavimento inferior, foi utilizado o microfone rotativo centralizado no ambiente. A Figura 3.18 mostra um dos apartamentos medidos com os equipamentos

instalados para a medição do NPS ao ruído de impacto.

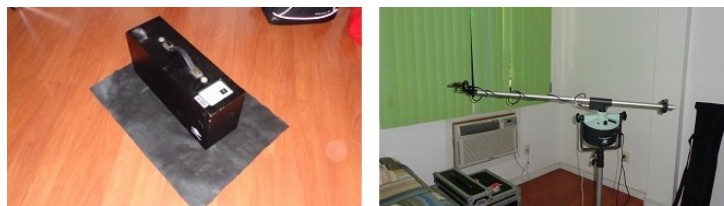


Figura 3.18.: Salas de emissão e recepção, respectivamente, para medição do NPS de impacto.

Fonte: Autora.

3.3.3.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a execução das medições em campo da PT ao ruído de impacto:

- máquina de impacto modificada (MIM), marca Brüel & Kjaer, modelo 3207, número de série 02675439, para modificá-la foi acrescentada uma camada de feltro, como material de proteção entre o piso e a máquina;
- amplificador para medição do TR, marca Brüel & Kjaer, modelo 2716, número de série 2675484;
- calibrador de microfone, marca Brüel & Kjaer, modelo 4231, número de série 2699079;
- fonte sonora omnidirecional para medição do TR, marca Brüel & Kjaer, modelo 4292, número de série 028023, para emissão de ruído rosa de banda larga nas medições de TR;
- medidor de temperatura, CE, NF: 171394-R, INSP: 05/08;
- medidor do nível de pressão sonora, marca Brüel & Kjaer, modelo 2270, número de série 2679330;
- microfone, marca Brüel & Kjaer, pré-polarizado de campo livre, modelo 4189, número de série 2695313 (correção para campo difuso através da configuração do MNPS);

- tripé para suporte fixo do microfone, modelo 4189 (para medição do TR);
- *rotating boom*: suporte rotativo para microfone, marca Brüel & Kjaer, modelo 3923, número de série 2664265 (para medição da PT);
- *software* BZ-5503: *Measurement Partner Suíte*, marca Brüel & Kjaer, versão 4.2.0.227.

3.3.3.3 Parâmetros medidos

Para determinar do nível de pressão sonora de impacto foram necessários três tipos diferentes de medições, no ambiente de recepção:

- Tempo de reverberação - TR;
- Nível de pressão sonora - L_2 ;
- Nível de pressão sonora do ruído de fundo - B_2 .

3.3.3.4 Medição do tempo de reverberação - TR

As medições do tempo de reverberação nas salas receptoras dos apartamentos foram realizadas seguindo as recomendações da ISO 354:2003, que determina:

- 02 posições de fonte sonora omnidirecional;
- 03 posições de microfone para cada fonte sonora;
- totalizando 06 medições de TR.

As medições foram realizadas em bandas de terça de oitava. O medidor de NPS foi configurado, para que a fonte sonora emitisse ruído rosa, em 03 decaimentos de NPS sucessivos, para cada combinação de fonte e microfone. Devido aos dados não seguirem uma distribuição normal, foram calculadas as medianas dos valores de TR medidos, em cada banda de frequência.

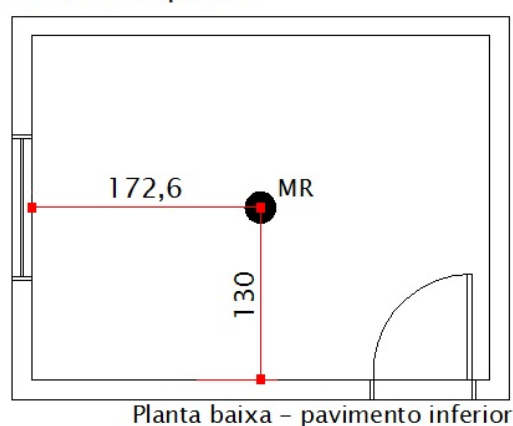
3.3.3.5 Medição do nível de pressão sonora de impacto - L_2

As medições do NPS do ruído de impacto seguiram as recomendações da ISO 140-7:2010:

- 04 posições da máquina de impacto - *tapping machine*;
- 01 posição centralizada do microfone rotativo - *Rotating Boom*;
- Totalizando 04 medições de L_2 por combinação máquina/microfone.

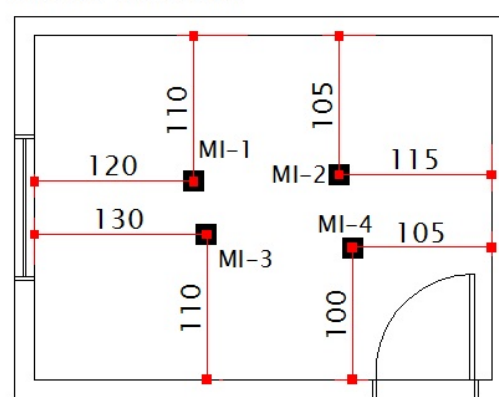
Foram realizadas através da máquina de impacto modificada, com uma camada de feltro, na sala de emissão. Na sala de recepção foi centralizado o microfone rotativo, respeitando o raio de varredura de 0,70 m. A máquina de impacto foi posicionada em quatro pontos, nos ambientes de emissão, de acordo com as recomendações da ISO 140-4 e ISO 140-7, conforme indicação das plantas de um dos apartamentos medidos na Figura 3.19. Já o microfone, por ser rotativo, foi colocado no centro da sala receptora, com um raio de varredura de 0,70 m. Devido ao mobiliário e às dimensões reduzidas de alguns ambientes medidos, as distâncias, entre as 04 posições da máquina de impacto, não puderam ser totalmente respeitadas.

Ponto do microfone rotativo (MR) na sala receptora.



Planta baixa - pavimento inferior

Pontos da máquina de impacto (MI) na sala emissora.



Planta baixa - pavimento superior

Figura 3.19.: Medições L_2 - pontos da máquina de impacto (MI) e microfone rotativo (MR).

Fonte: Autora.

O microfone rotativo, localizado na sala de recepção, foi conectado ao medidor de nível de pressão sonora, para captar os níveis de pressão sonora na sala receptora. O

medidor de NPS foi configurado com o *Template - Building Acoustics*.

Para cada combinação de fonte e microfone, foi realizada apenas uma medição do nível de pressão, por banda de frequência, totalizando 04 valores de NPS de impacto, por banda de frequência. As medições foram realizadas em bandas de terça de oitava, entre 50 Hz e 5 kHz. O tempo médio para a obtenção dos níveis de pressão sonora de impacto, respeitou o exigido pela ISO 140-5:2010 de 30 s para cada posição de microfone e fonte, devido à utilização do microfone rotativo.

3.3.3.6 Medição de B_2

As medições do B_2 foram realizadas nas salas receptoras dos apartamentos medidos com a máquina de impacto desligada, sempre após as medições dos valores L_2 em cada posição de microfone/fonte, totalizando 02 valores de B_2 por banda de frequência. As condições, de altura e locação do microfone rotativo, foram as mesmas adotadas para a medição de L_2 .

3.3.3.7 Procedimentos para as análises dos resultados

- Cálculo do $L_{i,\text{médio}}$ da sala de recepção para cada banda de frequência, através da Equação (2.11). Tanto para os valores de L_2 como para B_2 . Apesar de não seguir uma distribuição normal (Apêndice D.4), optou-se por realizar a média dos valores de L_1 e L_2 por não apresentar diferença significativa nos valores finais de $L'_{n,T}$ e $L'_{n,T,w}$ realizados através de médias ou de medianas. Dessa maneira, foi utilizada a equação do $L_{i,\text{médio}}$ conforme consta na ISO 140-4.
- Verificação se o critério da diferença mínima de 6 dB foi atendido entre $L_{i,\text{médio}}$ da sala de recepção e o ruído de fundo. Caso o valor seja inferior a 6 dB de diferença, deverá ser aplicada a correção através da Equação (2.14).
- Cálculo do NPS de impacto padronizado $L'_{n,T}$ ¹², para cada banda de frequência,

¹²O $L'_{n,T}$ foi utilizado para os resultados medidos em campo, e o $L_{n,T}$ para os resultados medidos em laboratório.

através da Equação (2.13).

- Transformação dos valores de $L'_{n,T}$ para p_{ef}^2 , e aplicação do coeficiente de correção (CC) para o material de proteção, por banda de frequência.
- Análise estatística dos valores corrigidos de p_{ef}^{2*} ¹³.
- Transformação dos valores de p_{ef}^{2*} para $L'_{n,T}*$ ¹⁴.
- Determinação dos valores de $L'_{n,T,w}*$ para cada medição ao ruído de impacto.

3.4. Simulações

As edificações medidas foram também simuladas, em relação à transmissão sonora, dos ruídos aéreo e de impacto. Porém, como o coeficiente de correção do material de proteção foi determinado apenas para os pisos laminados e cerâmico¹⁵, em lajes maciças de concreto, todas as medições realizadas em outros tipos de pisos¹⁶, não foram simuladas.

A Tabela 3.2 mostra o número realizado de simulações da PT, ao ruído aéreo; e a Tabela 3.3, o número de simulações, ao ruído de impacto.

Tabela 3.2.: Número de simulações da diferença de NPS ao ruído aéreo.

Simulações - ruído aéreo		
Padrão	Tipo de parede	Número de amostras
PIS	Parede tijolo vazado (TV)	04 amostras
R8-N	Parede tijolo vazado (TV)	04 amostras
R8-N	Parede bloco cerâmico (BCE)	04 amostras
R8-N	Parede bloco de concreto (BCO)	04 amostras
R8-A	Parede tijolo vazado (TV)	04 amostras
Número total de simulações: 20		

¹³Pressão sonora eficaz ao quadrado, com aplicação do coeficiente de correção.

¹⁴NPS de impacto padronizado, com aplicação do coeficiente de correção.

¹⁵Devido ao fato do laboratório possuir apenas essas duas amostras de pisos.

¹⁶Como parquet, carpete, taco, tabuão, entre outros.

Tabela 3.3.: Número de simulações do NPS produzido pelo ruído de impacto.

Simulações - ruído de impacto		
Padrão	Sistema de pisos	Número de amostras
PIS	laje maciça de concreto*	03 amostras
R8-N	laje maciça de concreto*	13 amostras
R8-A	laje maciça de concreto*	01 amostras
Número total de simulações: 17		

* revestida com piso cerâmico (PC) ou piso laminado (PL).

Como as simulações foram realizadas no *software* SONarchitect, a metodologia empregada será explicada na Seção 3.4.1.

3.4.1 SONarchitect

Para as simulações no programa SONarchitect, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Escolha dos parâmetros a serem simulados:
 - ruído de impacto: $T30$, $L_{n,T}$, $L_{n,T,w}$
 - ruído aéreo: $T30$, $D_{n,T}$, $D_{n,T,w}$
- Especificação dos valores da temperatura e umidade relativa do ar verificadas durante as medições *in loco*.
- Criação de um banco de dados com os elementos e sistemas construtivos encontrados nas medições *in loco*, através da inserção dos seguintes parâmetros:
 - espectros da grandeza característica que quantifica o isolamento sonoro na medição em laboratório:
 - * Sistemas de piso - valores de L_n , por banda de frequência;
 - * Vedações verticais¹⁷ - valores de R por banda de frequência.

¹⁷Elementos construtivos como paredes, portas, janelas, entre outros.

- massa superficial total do sistema inserido, em kg/m^2 ;
- massa superficial apenas do elemento principal, em kg/m^2 ;
- espessura dos elementos, em mm.
- Escolha do método de cálculo baseado na EN 12354:2000 para a obtenção do fator de amortecimento e frequência crítica dos novos materiais inseridos.

Todos os dados dos sistemas e elementos construtivos, que foram inseridos no programa, encontram-se no Apêndice E.2.

- Desenho da planta baixa dos ambientes medidos.
- Escolha dos materiais e sistemas construtivos para cada ambiente.
- Especificação do volume total do mobiliário encontrado nos ambientes medidos.

3.4.1.1 Resultados

Os resultados obtidos no programa são baseados nos parâmetros escolhidos pelo usuário, na configuração inicial. Dessa maneira, para as simulação da transmissão sonora ao ruído aéreo foram obtidos os valores de $D_{n,T}$ por banda de frequência e $D_{n,T,w}$. Já para as simulações da transmissão sonora ao ruído de impacto, foram obtidos os valores de $L_{n,T}$ por banda de frequência e $L_{n,T,w}$. Para ambos os tipos de simulação, foram fornecidos os valores medidos de T_{30} , do ambiente receptor, por banda de frequência, resultante da mediana dos valores medidos.

3.4.1.2 Procedimentos para determinação dos coeficientes de segurança

Para a determinação dos coeficientes de segurança, por banda de frequência, foram realizados os seguintes procedimentos:

- transformação dos valores simulados de dB em valores de Pa^2 :
 - $D_{n,T}$ em p_{ef}^2 ;

– $L'_{n,T}$ em p_{ef}^2 .

- mediana dos valores simulados de p_{ef}^2 , por banda de frequência;
- mediana dos valores medidos de p_{ef}^2 , por banda de frequência;
- cálculo da razão entre as medianas dos valores medidos de p_{ef}^2 com as medianas dos valores simulados de p_{ef}^2 , por banda de frequência, para cada combinação¹⁸.

3.4.1.3 Procedimentos para determinação dos fatores de segurança

Para uma aplicação direta nos valores em dB, foram calculados também os valores dos fatores de segurança, seguindo os seguintes procedimentos:

- média logarítmica dos valores simulados, em dB, para cada combinação¹⁹:
 - média logarítmica dos valores simulados de $D_{n,T}$;
 - média logarítmica dos valores simulados de $L'_{n,T}$;
- média logarítmica dos valores simulados, em dB, para cada combinação²⁰:
 - média logarítmica dos valores medidos de $D_{n,T}$;
 - média logarítmica dos valores medidos de $L'_{n,T}$;
- diferença dos valores medidos pelos valores simulados, em dB.

¹⁸procedimento realizado dentro de cada combinação (sistema x padrão construtivo).

¹⁹média calculada de todos os valores simulados da mesma combinação de sistema e padrão construtivo.

²⁰média calculada de todos os valores medidos da mesma combinação de sistema e padrão construtivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Questionário

Através da análise estatística dos dados obtidos da aplicação dos questionários foi possível obter informações a cerca dos principais métodos/ferramentas utilizados pelos profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil. Também foi possível obter outras informações pertinentes a respeito do perfil desses profissionais, como curso de formação e ano de conclusão, nível de escolaridade, assim como, as regiões do país onde estão concentrados estes profissionais e a abrangência de seus trabalhos. Além de descobrir quais os principais problemas encontrados por esses profissionais, no desenvolvimento dos projetos, e verificar se os profissionais, que responderam ao questionário, já desenvolveram projetos de acordo com a NBR 15575:2013.

A partir de 150 questionários enviados, 31 foram respondidos e os resultados serão apresentados nas seções a seguir.

4.1.1 Principais métodos e ferramentas utilizados

A Figura 4.1 mostra que há equilíbrio entre os principais métodos/ferramentas utilizados pelos profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil, sendo majoritariamente representados pelas planilhas de cálculo, desenvolvidas pelos próprios profissionais, com 27,48%. Em seguida, com 26,37%, tem-se a pesquisa na literatura (artigos publicados, dissertações, testes, livros, entre outros); seguido pelo banco de dados com as principais soluções acústicas, com 25,27%. A utilização de programas, de simulação da transmissão sonora, apresenta menor porcentagem em relação às demais

ferramentas, mas ainda assim aparece de maneira expressiva, com 20,88 %.

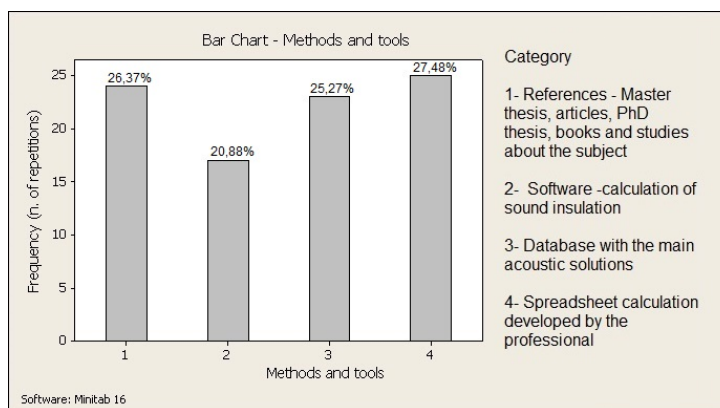


Figura 4.1.: Porcentagem dos métodos/ferramentas utilizadas pelos profissionais.

4.1.2 Perfil dos profissionais

Através da Figura 4.2, observa-se que arquitetura e engenharia são os principais cursos de graduação dos profissionais que desenvolvem os projetos acústicos no Brasil, sendo 41,94% formados em Arquitetura e Urbanismo, e 41,94% em Engenharia (considerando todas as engenharias: civil, elétrica, mecânica e de produção). A parcela restante, 16,12%, apresentou outros cursos de formação como Física, Fonoaudiologia, e um profissional que possui Licenciatura em Acústica e Vibrações, pela ENSIM, na França. Entre os engenheiros, há o predomínio de engenheiros civis e mecânicos.

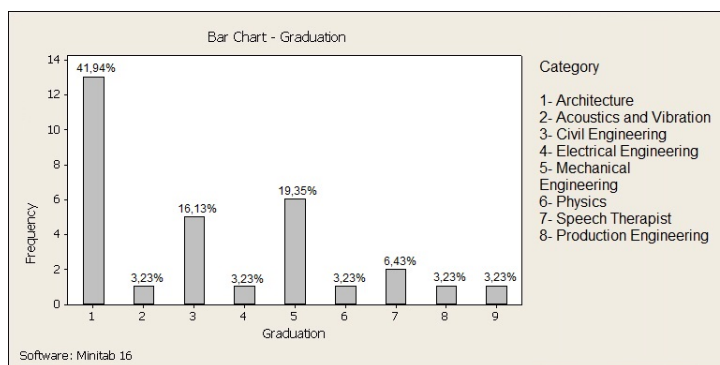


Figura 4.2.: Cursos de formação dos profissionais que responderam o questionário.

Analisando os dados referentes ao ano de formação, é possível comparar estes dados

com a normal, uma vez que são dados intervalares. O histograma destes dados junto com a normal, na Figura 4.3, indica a não normalidade na distribuição dos anos de formação, desses profissionais, mostrando uma maior concentração de profissionais com formação recente, principalmente entre os anos 2002 a 2012.

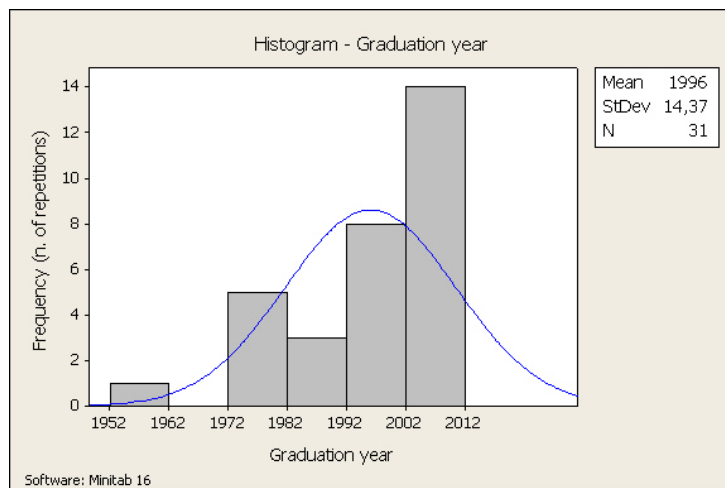


Figura 4.3.: Histograma - Ano de formação dos profissionais que responderam o questionário.

Devido à distribuição não-gaussiana dos dados, foi analisado o Boxplot (gráfico de caixas), dos mesmos dados. Como pode ser observado na Figura 4.4, 2001 é o ano que representa a mediana. Além disso, o gráfico mostra de maneira mais clara, uma concentração de profissionais com formação entre 1982 e 2007, contendo precisamente 50% de todos os profissionais. A abrangência dos dados, em sua totalidade, vai de 1952 até 2012.

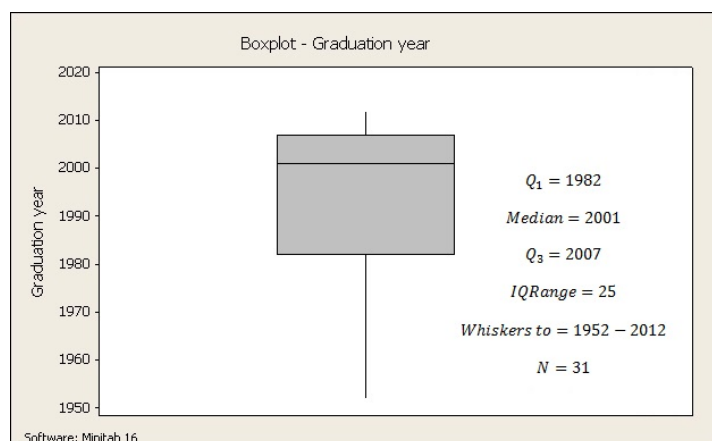


Figura 4.4.: *Boxplot* - Ano de graduação dos profissionais que responderam o questionário.

As regiões do Brasil, com maior concentração desses profissionais são o Sudeste, com 45,16 %; e o Sul, com 32,26 %. O Nordeste aparece com 12,90 %; o Norte, com 6,45 % e o Centro-Oeste apresenta o menor percentual, apenas 3,23 % (Figura 4.5).



Figura 4.5.: Região de trabalho dos profissionais que responderam o questionário.

Outra informação importante sobre o perfil dos profissionais que responderam a pesquisa, é o nível de escolaridade. Através da Figura 4.6, é possível observar que 3,23% são apenas graduados, sendo que 25,81% possuem especialização; 35,48% possuem mestrado; e 35,48% possuem doutorado.

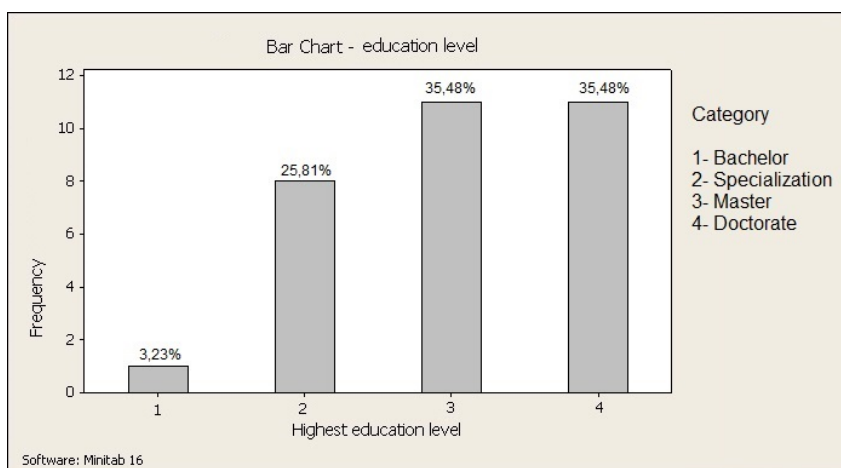


Figura 4.6.: Nível de escolaridade dos profissionais que responderam o questionário.

4.1.3 Principais problemas encontrados pelos profissionais

Os principais problemas encontrados pelos profissionais, no desenvolvimento dos projetos de acústica, partem desde a etapa inicial, na parte do levantamento de dados, como no desenvolvimento e execução dos projetos, conforme Figura 4.7. Os problemas que apareceram com maior frequência foram a ausência da mão-de-obra qualificada para a correta execução dos projetos envolvendo soluções acústicas e a ausência de uma legislação coerente.

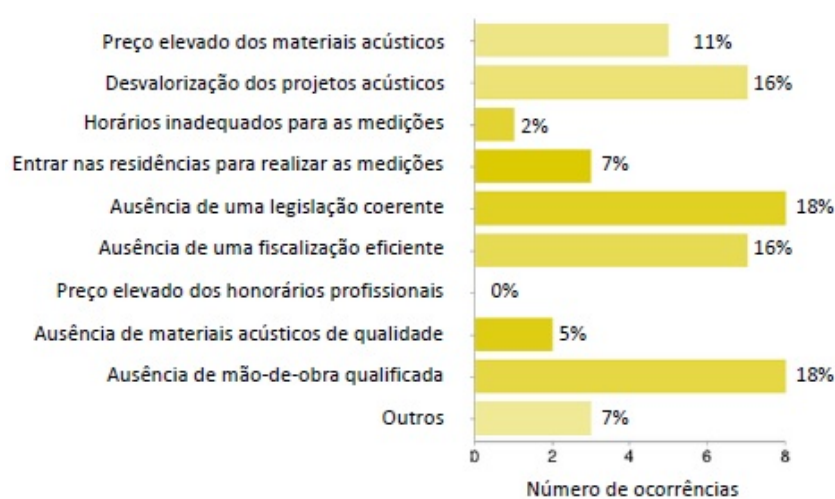


Figura 4.7.: Principais problemas encontrados pelos profissionais, no desenvolvimento dos projetos acústicos.

4.1.4 Projetos desenvolvidos em acordo com a NBR 15575:2013

Dada a recente implementação da NBR 15575:2013, mostra-se interessante verificar se os profissionais já estão desenvolvendo projetos acústicos, de acordo com as exigências da norma. A partir dos dados obtidos, é possível observar que 50% dos profissionais desenvolveram entre nenhum e cinco projetos, no entanto, os dados obtidos em sua totalidade vão até 10 projetos (Figura 4.8). O valor discrepante, contendo 25 projetos, não foi descartado desta análise, pois não foram encontrados erros de digitação ou contradição, entre as respostas do referente inquirido. Sendo possível concluir que o desenvolvimento

de projetos, respeitando os valores determinados pela norma, ainda é limitado.

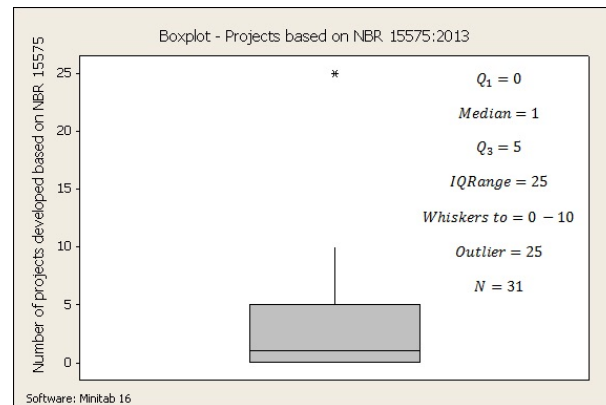


Figura 4.8.: Boxplot - Número de projetos acústicos desenvolvidos, de acordo com a NBR 15575:2013.

4.2. Medições em laboratório

Com o objetivo de determinar o material mais adequado para a proteção dos pisos, para ser utilizado nas medições *in loco* do ruído de impacto, a influência do material na medição foi medida em dois tipos de piso, laminado e cerâmico, e também com o contrapiso sem revestimento. Os materiais utilizados foram a capa plástica, o feltro, o TNT e o polipropileno, sendo utilizadas uma, duas, três e quatro camadas do material. As medições foram realizadas três vezes em cada combinação de piso e material.

Os métodos adotados para as medições em laboratório estão descritos na Seção 3.2. Os resultados obtidos através das medições são apresentados na presente seção, e são provenientes dos valores médios das 03 medições, para $L_{n,T}$, por combinação de material e piso.

Os valores de $\Delta L_{n,T}$ e $\Delta L_{n,T,w}$ foram obtidos através das Equações 3.1 e 3.2.

4.2.1 Capa plástica

As medições da capa plástica, foram realizadas apenas com o contrapiso. Isso porque o material apresentou muitas deformações, após essa bateria completa de medições, mostrando, dessa maneira, que não seria o material mais adequado para a função de proteção.

Os resultados da interação da capa plástica no contrapiso, com uma, duas, três e quatro camadas do material são apresentados no gráfico da Figura 4.9. O material apresentou pouca alteração no espectro da medição, mesmo com quatro camadas. As alterações ocorreram principalmente entre 63 Hz e 400 Hz, e nas altas frequências a partir de 2,5 kHz.

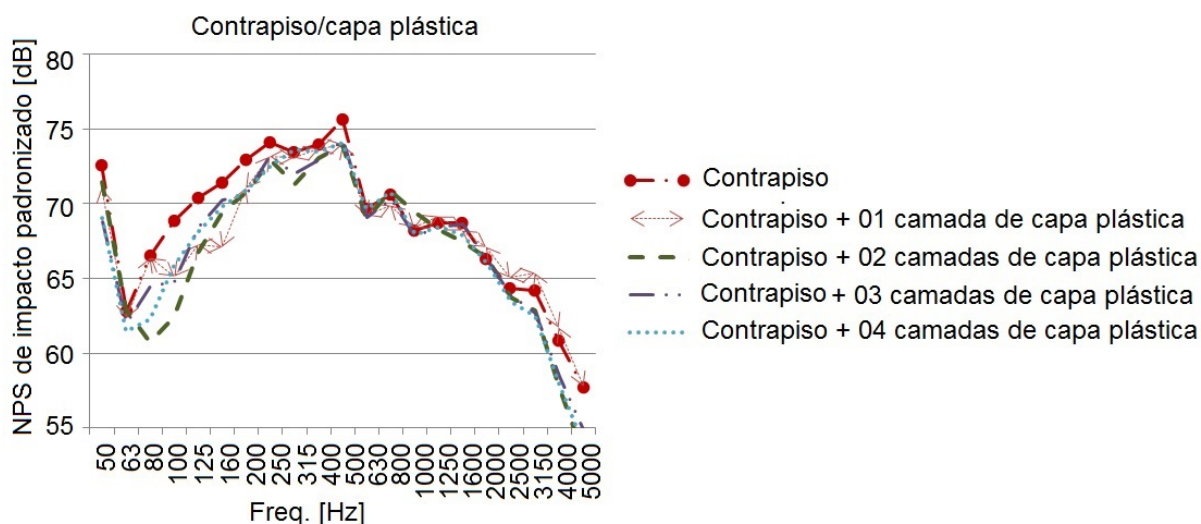


Figura 4.9.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção da capa plástica.

Foram calculados os valores de $\Delta L_{n,T}$ das medições com diferentes camadas, sempre em relação ao piso de referência (piso sem o material de proteção). Os maiores valores de $\Delta L_{n,T}$ ocorreram nas baixas frequências¹, e foram similares, mesmo com o acréscimo de outras camadas do material, com o maior valor de 6,39 dB em 100 Hz (Tabela 4.1).

¹De acordo com a classificação adotada [11], considerar baixas frequências de 50-200 Hz.

Tabela 4.1.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção da capa plástica.

Contrapiso (C)/Capa Plástica (CP) - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
C + 01CP	C + 02CP	C + 03CP	C + 04CP
4,32 dB @ 160 Hz	6,39 dB @ 100 Hz	4,08 dB @ 100 Hz	4,27 dB @ 80 Hz

4.2.2 Feltro

As medições do feltro, com uma, duas, três e quatro camadas, no contrapiso apresentaram maiores alterações no valor de $L_{n,T}$ nas médias e altas frequências² (Figura 4.10).

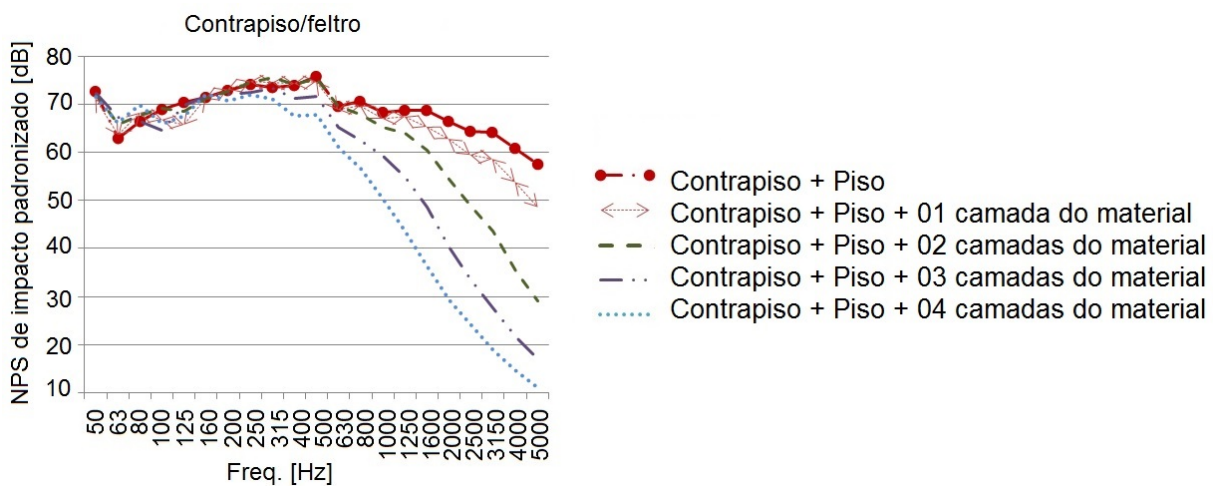


Figura 4.10.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção do feltro.

A influência do feltro nas medições foi significativa, com valores altos de $\Delta L_{n,T}$ ³, principalmente nas altas frequências. Os maiores valores ocorreram em 5 kHz, e aumentaram consideravelmente com o acréscimo de camadas do material, sendo o maior valor de 46,6 dB em 5 kHz, para quatro camadas do feltro (Tabela 4.2).

²De acordo com a classificação adotada [11], considerar baixas frequências de 50-200 Hz, médias de 250-1000 Hz e altas de 1250-5000 Hz.

³Obtido através da subtração do maior valor de $L_{n,T}$ pelo menor.

Tabela 4.2.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção do feltro.

Contrapiso (C)/Feltro (F) - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
C + 01F	C + 02F	C + 03F	C + 04F
8,86 dB @ 5 kHz	28,73 dB @ 5 kHz	40,76 dB @ 5 kHz	46,6 dB @ 5 kHz

A partir da alteração do espectro de $L_{n,T}$, com o uso do feltro, tem-se uma alteração direta no valor ponderado, $L_{n,T,w}$. Para uma camada do material, essa alteração foi menor, reduzindo o valor de $L_{n,T,w}$ em 2 dB. À medida que mais camadas são adicionadas ao piso, essa influência vai aumentando significativamente, chegando até 9 dB de redução no valor de $L_{n,T,w}$ (Tabela 4.3).

Tabela 4.3.: Influência do feltro no contrapiso nos valores ponderados, $L_{n,T,w}$.

Contrapiso (C)/Feltro (F)				
Contrapiso	C + 01F	C + 02F	C + 03F	C + 04F
$L_{n,T,w} = 73$ dB	$L_{n,T,w} = 71$ dB	$L_{n,T,w} = 69$ dB	$L_{n,T,w} = 66$ dB	$L_{n,T,w} = 64$ dB
$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	2	4	7	9

A utilização do feltro no piso cerâmico, com uma, duas, três e quatro camadas do material, resultou em diferenças significativas no $L_{n,T}$, principalmente nas médias e altas frequências, a partir de 200 Hz (Figura 4.11).

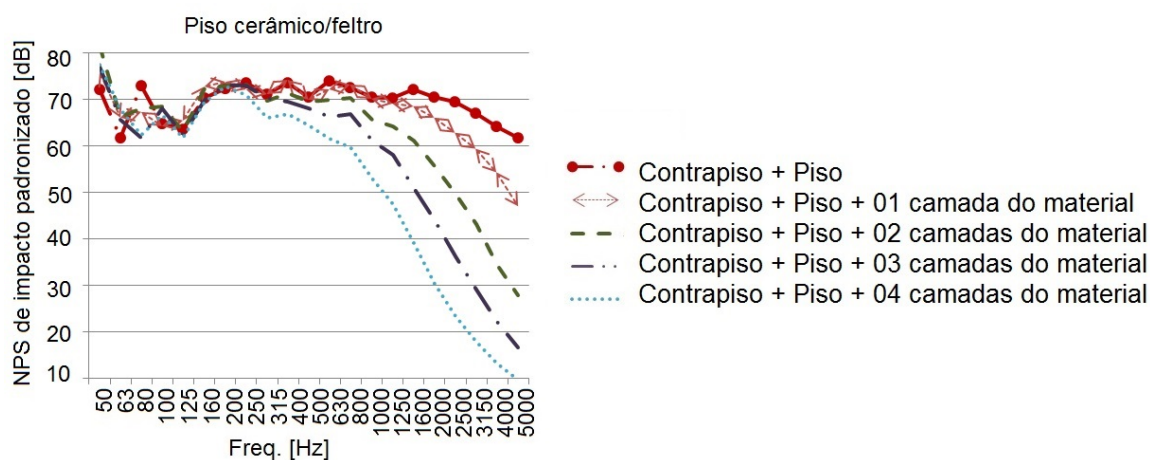


Figura 4.11.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso cerâmico com e sem a proteção do feltro.

Os valores máximos de $\Delta L_{n,T}$, apresentados na Tabela 4.4, representam a grande influência do feltro nos valores de $L_{n,T}$, no piso cerâmico.

Tabela 4.4.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso cerâmico com a proteção do feltro.

Piso cerâmico (PC)/Feltro (F) - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
PC + 01F	PC + 02F	PC + 03F	PC + 04F
15,32 dB @ 5 kHz	34,52 dB @ 5 kHz	45,65 dB @ 5 kHz	52,57 dB @ 5 kHz

Nos valores ponderados de $L_{n,T,w}$, a utilização do feltro provocou reduções de 4 dB até 14 dB, de acordo com o acréscimo de camadas (Tabela 4.5).

Tabela 4.5.: Influência do feltro no piso cerâmico, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$.

Piso cerâmico (PC)/Feltro (F)				
P.Cerâmico	PC + 01F	PC + 02F	PC + 03F	PC + 04F
$L_{n,T,w} = 76$ dB	$L_{n,T,w} = 72$ dB	$L_{n,T,w} = 68$ dB	$L_{n,T,w} = 65$ dB	$L_{n,T,w} = 62$ dB
$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	4	8	9	14

No piso laminado, as alterações foram menores do que as apresentadas para o contrapiso e piso cerâmico. Encontrou-se maior influência nas médias, e principalmente, nas altas frequências (Figura 4.12).

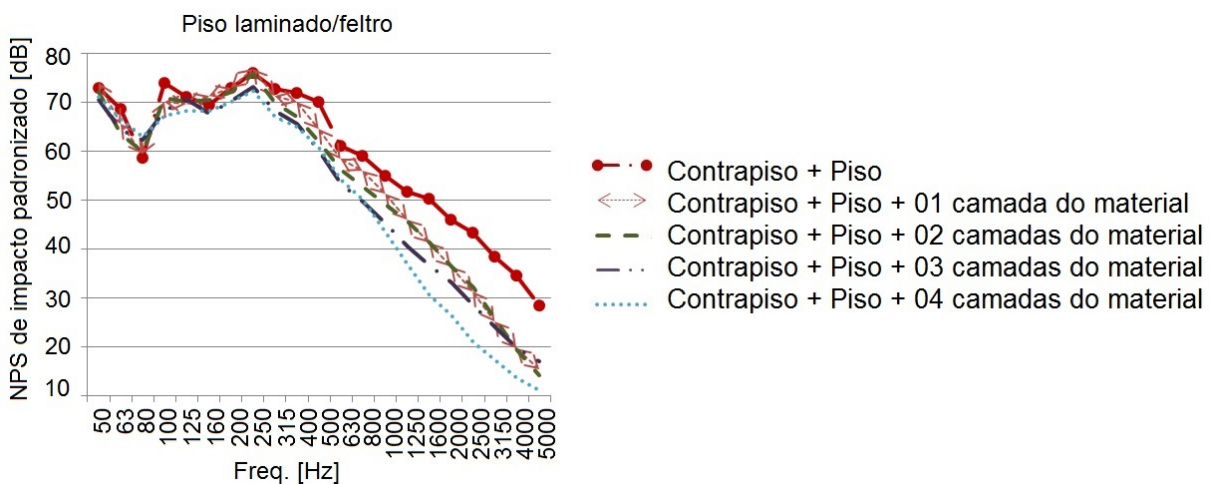


Figura 4.12.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso laminado com e sem a proteção do feltro.

Até três camadas do feltro, os valores máximos de $\Delta L_{n,T}$ foram similares. A maior alteração ocorreu com quatro camadas do feltro (Tabela 4.6).

Tabela 4.6.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso laminado com a proteção do feltro.

Piso laminado (PL)/Feltro (F) - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
PL + 01F	PL + 02F	PL + 03F	PL + 04F
15,01 dB @ 4 kHz	15,48 dB @ 4 kHz	15,02 dB @ 4 kHz	22,47 dB @ 2,5 kHz

A Tabela 4.7 resume a influência do feltro nos valores ponderados, $L_{n,T,w}$, com o piso laminado. Para uma camada do feltro, ocorreu uma redução de apenas 1 dB no valor de $L_{n,T,w}$. Com o acréscimo das camadas, as reduções chegaram em até 5 dB, quando comparado ao $L_{n,T,w}$ obtido com o piso de referência.

Tabela 4.7.: Influência do feltro no piso laminado, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$.

Piso Laminado (PL)/Feltro (F)				
P.Laminado	PL + 01F	PL + 02F	PL + 03F	PL + 04F
$L_{n,T,w} = 67$ dB	$L_{n,T,w} = 66$ dB	$L_{n,T,w} = 65$ dB	$L_{n,T,w} = 63$ dB	$L_{n,T,w} = 62$ dB
$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	1	2	4	5

4.2.3 TNT

Na Figura 4.13, podem ser observados os valores de $L_{n,T}$ resultante das medições do contrapiso, com e sem o TNT. O material resultou em pouca alteração do espectro de $L_{n,T}$, com pequenas alterações nas baixas frequências; e nas altas, apenas na medição com quatro camadas do material.

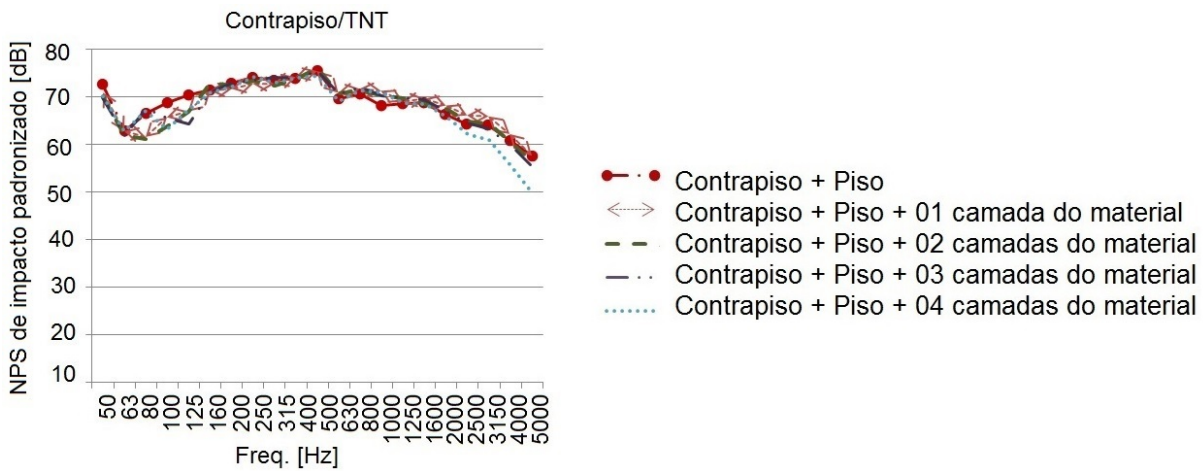


Figura 4.13.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção do TNT.

Até três camadas do TNT, os valores máximos de $\Delta L_{n,T}$ ocorreram nas baixas frequências; e com quatro camadas do material, nas altas frequências (Tabela 4.8).

Tabela 4.8.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção do TNT.

Contrapiso (C)/TNT - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
C + 01TNT	C + 02TNT	C + 03TNT	C + 04TNT
4,84 dB @ 80 Hz	5,29 dB @ 80 Hz	5,93 dB @ 125 Hz	7,71 dB @ 5 kHz

A influência do TNT, nos valores ponderados, foi praticamente insignificante, uma vez que o maior valor de $\Delta L_{n,T,w}$ foi de -1 dB (Tabela 4.9).

Tabela 4.9.: Influência do TNT no contrapiso, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$.

Contrapiso (C)/TNT				
Contrapiso	C + 01TNT	C + 02TNT	C + 03TNT	C + 04TNT
$L_{n,T,w} = 73$ dB	$L_{n,T,w} = 74$ dB	$L_{n,T,w} = 74$ dB	$L_{n,T,w} = 74$ dB	$L_{n,T,w} = 73$ dB
$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	-1	-1	-1	0

Nos resultados das medições utilizando o TNT com o piso cerâmico, o material também resultou em pouca alteração do espectro de $L_{n,T}$, com exceção de algumas frequências, principalmente nas baixas e altas (Figura 4.14).

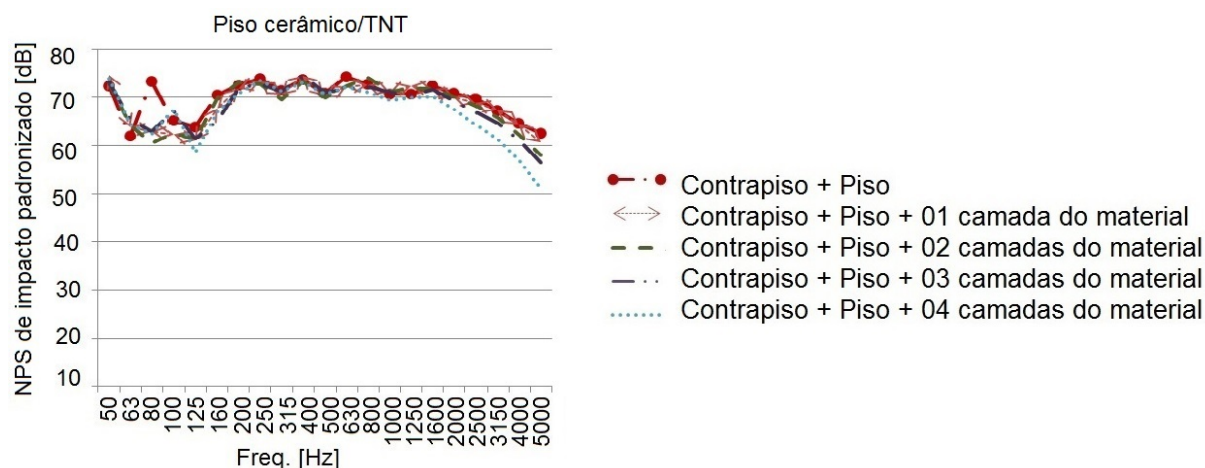


Figura 4.14.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso cerâmico com e sem a proteção do TNT.

O uso do TNT, no piso cerâmico, atenuou um pico no espectro da transmissão sonora, presente na medição do piso cerâmico sem o material, mais precisamente em 80 Hz. Dessa maneira, os maiores valores de $\Delta L_{n,T}$ aparecem justamente nessa frequência, para as medições com até três camadas do material. Já com 04 camadas, as maiores alterações ocorrem também nas altas frequências, conforme Tabela 4.10.

Tabela 4.10.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso cerâmico com a proteção do TNT.

Piso cerâmico (PC)/TNT - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
PC + 01TNT	PC + 02TNT	PC + 03TNT	PC + 04TNT
10,49 dB @ 80 Hz	12,70 dB @ 80 Hz	10,31 dB @ 80 Hz	11,24 dB @ 5 kHz

A utilização do TNT com o piso laminado, apresentou alterações nos espectros de $L_{n,T}$, em praticamente toda a faixa de frequência. Com exceção de algumas bandas de frequência, entre 160 Hz e 630 Hz (Figura 4.15).

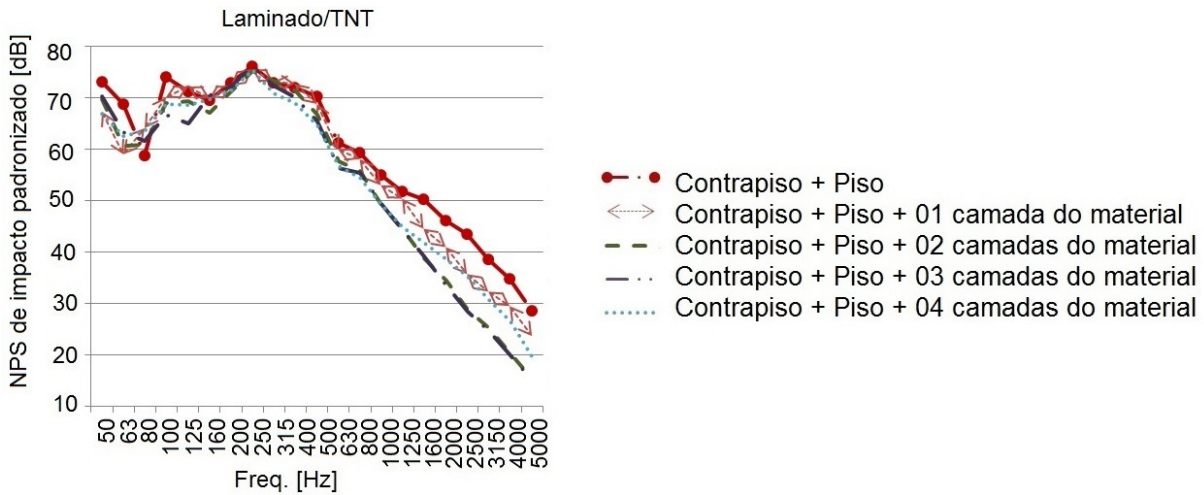


Figura 4.15.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso laminado com e sem a proteção do TNT.

A partir da Tabela 4.11 é possível concluir que o TNT altera o espectro de maneira diferente, com o acréscimo de camadas e não há uma ordem lógica para isso.

Através da Tabela 4.12, observa-se que a influência, do TNT nos valores ponderados de $L_{n,T,w}$, é pequena, uma vez que as maiores alterações são de apenas 2 dB.

Tabela 4.11.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso laminado com a proteção do TNT.

Piso laminado (PL)/TNT - maior ΔL [dB]			
PL + 01TNT	PL + 02TNT	PL + 03TNT	PL + 04TNT
9,90 dB @ 63 Hz	14,63 dB @ 2,5 kHz	15 dB @ 2,5 kHz	8,79 dB @ 5 kHz

Tabela 4.12.: Influência do TNT no piso laminado, nos valores ponderados de $L_{n,T,w}$.

Piso Laminado (PL)/TNT				
P.Laminado	PL + 01F	PL + 02F	PL + 03F	PL + 04F
$L_{n,T,w} = 67$ dB	$L_{n,T,w} = 67$ dB	$L_{n,T,w} = 65$ dB	$L_{n,T,w} = 65$ dB	$L_{n,T,w} = 65$ dB
$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	0	2	2	2

4.2.4 Polipropileno

Os resultados da interação do polipropileno⁴ com o contrapiso, para até quatro camadas do material, também apresentaram poucas alterações, principalmente se comparado às medições realizadas com o feltro (Figura 4.16).

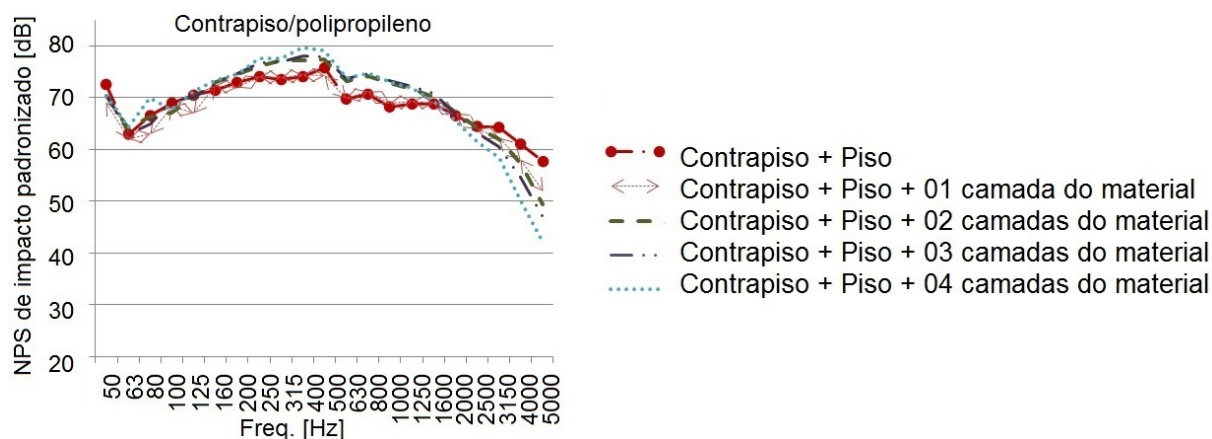


Figura 4.16.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no contrapiso com e sem a proteção do polipropileno.

Utilizando até duas camadas do polipropileno, as maiores alterações de $L_{n,T}$ são similares e ocorrem na mesma banda de frequência, em 5 kHz. A partir de três camadas, os valores máximos de $\Delta L_{n,T}$ aumentam significativamente, conforme Tabela 4.13.

Tabela 4.13.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no contrapiso com a proteção do polipropileno.

Contrapiso (C)/Polipropileno (P) - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
C + 01P	C + 02P	C + 03P	C + 04P
5,73 dB @ 5 kHz	8,31 dB @ 5 kHz	10,44 dB @ 5 kHz	15,63 dB @ 5 kHz

A partir da Tabela 4.14 é possível verificar a influência mínima do polipropileno no NPS, uma vez que, o valor do $\Delta L_{n,T,w}$ foi nulo, para até duas camadas do material. A partir de três camadas, a redução máxima do $L_{n,T,w}$ foi de 2 dB.

⁴Único material de proteção fixado de acordo com o método A da ISO 101405:2010, detalhado na metodologia. Os demais materiais seguiram as indicações do método B da referida norma.

Tabela 4.14.: Influência do polipropileno no contrapiso, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$.

Contrapiso(C)/Polipropileno (P)				
Contrapiso	C + 01P	C + 02P	C + 03P	C + 04P
$L_{n,T,w} = 76$ [dB]	$L_{n,T,w} = 76$ [dB]	$L_{n,T,w} = 76$ [dB]	$L_{n,T,w} = 75$ [dB]	$L_{n,T,w} = 74$ [dB]
ΔL_w [dB]	0	0	1	2

Já nas medições com o piso cerâmico, o polipropileno apresentou alterações em todas as frequências, porém, de maneira mais acentuada nas baixas e altas.(Figura 4.17).

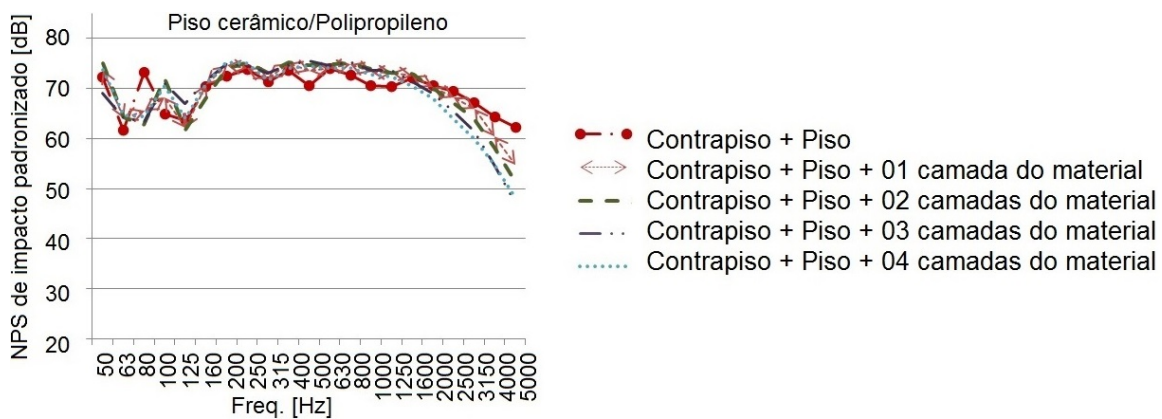


Figura 4.17.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso cerâmico com e sem a proteção do polipropileno.

Os valores de $\Delta L_{n,T}$ aumentam com o acréscimo de camadas do material, com exceção da medição com quatro camadas (Tabela 4.15).

Tabela 4.15.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso cerâmico com proteção do polipropileno.

Piso cerâmico (PC)/Polipropileno (P) - maior $\Delta L_{n,T}$ [dB]			
PC + 01P	PC + 02P	PC + 03P	PC + 04P
7,65 dB @ 80 Hz	10,97 dB @ 5 kHz	15,02 dB @ 5 kHz	14,22 dB @ 5 kHz

A influência do polipropileno, nos valores ponderados de $L_{n,T,w}$ com o piso cerâmico, foi nula para uma camada. Já para as demais camadas, apresentou um aumento de 2 dB, no isolamento sonoro ao ruído de impacto (Tabela 4.16).

Tabela 4.16.: Influência do polipropileno no piso cerâmico, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$.

Piso Cerâmico(PC)/Polipropileno(P)				
P. Cerâmico	PC + 01P	PC + 02P	PC + 03P	PC + 04P
$L_{n,T,w} = 73$ [dB]	$L_{n,T,w} = 73$ [dB]	$L_{n,T,w} = 75$ [dB]	$L_{n,T,w} = 75$ [dB]	$L_{n,T,w} = 75$ [dB]
ΔL_w [dB]	0	-2	-2	-2

A utilização do polipropileno, nas medições com o piso laminado, apresentou mais alterações nas baixas e médias frequências (Figura 4.18).

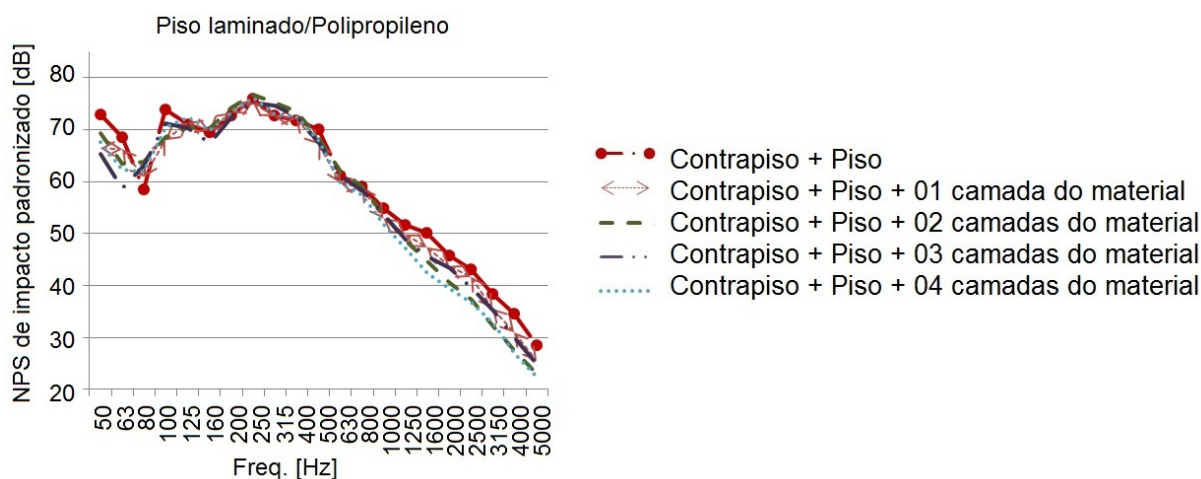


Figura 4.18.: $L_{n,T}$ obtido nas medições de ruído de impacto no piso laminado com e sem a proteção do polipropileno.

Os valores de $\Delta L_{n,T}$ aumentam com o acréscimo do número de camadas do polipropileno, com exceção da medição com quatro camadas. As maiores reduções, nos valores de $L_{n,T}$ ocorreram nas baixas e médias frequências, com o valor máximo apresentado de 10,04 dB em 63 Hz (Tabela 4.17).

Tabela 4.17.: Maior alteração do $L_{n,T}$ medido no piso laminado com proteção do polipropileno.

Piso laminado (PL)/Polipropileno (P) - maior ΔL [dB]			
PL + 01P	PL + 02P	PL + 03P	PL + 04P
6,60 dB @ 50 Hz	7,22 dB @ 4 kHz	10,04 dB @ 63 Hz	7,83 dB @ 1,6 kHz

A partir dos valores ponderados apresentados na Tabela 4.18, é possível observar que o polipropileno apresentou menor influência nas medições do ruído de impacto com o piso laminado, do que com o piso cerâmico ou contrapiso.

Tabela 4.18.: Influência do polipropileno no piso laminado, nos valores ponderados $L_{n,T,w}$.

Piso Laminado (PL)/Polipropileno (P)				
P.Laminado	PL + 01P	PL + 02P	PL + 03P	PL + 04P
$L_{n,T,w} = 67$ dB	$L_{n,T,w} = 66$ dB	$L_{n,T,w} = 67$ dB	$L_{n,T,w} = 66$ dB	$L_{n,T,w} = 67$ dB
$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	1	0	1	0

4.2.5 Correção dos valores de $L_{n,T}$ usando uma camada de feltro

Optou-se pela utilização de uma camada de feltro, devido à boa capacidade de proteção do material ao piso, junto a uma alteração quase nula do espectro de $L_{n,T}$ nas baixas frequências e uma alteração razoável nas médias e altas frequências, conforme Figuras 4.11 e 4.12, permitindo assim quantificar as alterações nas medições provocadas pelo material de proteção.

Portanto, os resultados das medições do feltro com os pisos, laminado e cerâmico, foram analisados separadamente. Os resultados desse material com o contrapiso não foram analisados, pois todas as residências, posteriormente medidas *in loco*, possuíam revestimento sobre a laje.

A partir dessa análise, foi determinado o coeficiente de correção (CC), para ser aplicado nos resultados das medições *in loco*, que utilizaram o feltro, como material de proteção. Sendo possível, assim, retirar a influência do material, nos espectros das medições de $L_{n,T}$.

Para a determinação do coeficiente de correção dos valores de $L_{n,T}$ medidos *in loco*, a escala logarítmica foi convertida para uma escala linear, convertendo os valores obtidos em dB para Pa^2 . Os 24 valores de $L_{n,T}$, por banda de frequência em cada combinação de piso e material de proteção, foram transformados em 24 valores de p^2_{ef} . Como os dados não apresentaram distribuição normal (Apêndices C.4 e C.5), foram obtidas as medianas

desses valores, por banda de frequência, que são apresentadas nas Tabelas 4.19 e 4.20.

Dessa maneira, o coeficiente de correção consiste na razão entre as medianas de p^2_{ef} do piso sem o material de proteção, pelas medianas de p^2_{ef} do piso com o material, em cada banda de frequência, conforme Equação (4.1).

$$CC = \frac{p^2_{ef,referência}}{p^2_{ef,material}} \quad (4.1)$$

sendo:

$p^2_{ef,referência}$ a mediana de todos os valores medidos do piso de referência, ou seja, sem o material de proteção, em Pa^2 , para cada banda de frequência;

$p^2_{ef,material}$ a mediana de todos os valores medidos do piso com o material de proteção, em Pa^2 , para cada banda de frequência.

Os valores do coeficiente de correção são apresentados por banda de frequência, para cada tipo de piso separadamente, cerâmico e laminado, nas Tabelas 4.19 e 4.20, respectivamente.

Tabela 4.19.: Coeficiente de correção para os valores de p_{ef}^2 na combinação do feltro no piso cerâmico.

Piso cerâmico (PC)/Feltro (F)			
Freq. [Hz]	PC - p_{ef}^2 [Pa ²]	PC+01F - p_{ef}^2 [Pa ²]	CC
50	0,0375	0,0577	0,6508
63	0,0025	0,0061	0,4076
80	0,0380	0,0019	19,5982
100	0,0028	0,0017	1,6683
125	0,0050	0,0064	0,7861
160	0,0339	0,0503	0,6730
200	0,0552	0,0710	0,7776
250	0,0695	0,0383	1,8123
315	0,0425	0,0315	1,3486
400	0,0762	0,1006	0,7573
500	0,0300	0,0257	1,1683
630	0,0805	0,0524	1,5346
800	0,0603	0,0671	0,8988
1000	0,0317	0,0318	0,9943
1250	0,0313	0,0219	1,4307
1600	0,0441	0,0164	2,6892
2000	0,0293	0,0083	3,5277
2500	0,0194	0,0033	5,9774
3150	0,0118	0,0015	7,7415
4000	0,0051	0,0004	12,5321
5000	0,0020	0,0001	29,1072

Tabela 4.20.: Coeficiente de correção para os valores de p_{ef}^2 na combinação do feltro no piso laminado.

Freq. [Hz]	PL - p_{ef}^2 [Pa ²]	PL+01F - p_{ef}^2 [Pa ²]	CC
50	0,0032327	0,03878880	0,0833
63	0,0118840	0,00315954	3,7613
80	0,0012825	0,00181172	0,7079
100	0,0393809	0,01592636	2,4727
125	0,0344423	0,02019849	1,7052
160	0,0245224	0,04663503	0,5258
200	0,0636899	0,07598710	0,8382
250	0,1016400	0,14571171	0,6975
315	0,0603337	0,04978270	1,2119
400	0,0540267	0,03846490	1,4046
500	0,0367582	0,00962997	3,8171
630	0,0041324	0,00223663	1,8476
800	0,0024270	0,00132042	1,8381
1000	0,0009666	0,00034127	2,8324
1250	0,0003928	0,00006726	5,8395
1600	0,0001562	0,00001369	11,4056
2000	0,0000439	0,00000380	11,5505
2500	0,0000109	0,00000096	11,3351
3150	0,0000036	0,00000032	11,3205
4000	0,0000015	0,00000009	16,6718
5000	0,0000005	0,00000004	10,6608

4.3. Medições em campo

As medições da transmissão sonora ao ruído aéreo e de impacto, foram realizadas em 20 residências, na cidade de Santa Maria. As plantas dos ambientes medidos podem ser visualizadas no Apêndice D.2.

Nas Seções 4.3.1 e 4.3.2, os resultados das medições são apresentados através dos valores médios de $D_{n,T}$ e $L'_{n,T}$, em cada banda de frequência.

4.3.1 Medições em campo da perda de transmissão ao ruído aéreo

Foram selecionadas quatro residências de acordo com o padrão e sistema construtivo, para as medições da perda de transmissão ao ruído aéreo, sempre entre dormitórios e salas de estar, por serem espaços de maior permanência do usuário⁵. Os elementos construtivos escolhidos foram: tijolo vazado (TV), bloco cerâmico (BCE) e bloco de concreto (BCO). Os padrões foram: baixo (PIS), normal (R8-N) e alto (R8-A), de acordo com a classificação da norma NBR 12721:2006 [30] descrita na Seção 3.3.1.1.

4.3.1.1 Tijolo vazado x padrão construtivo

Para as medições com tijolo vazado, foram selecionadas quatro residências, dentro de cada padrão. Como foram adotados três padrões diferentes - PIS, R8-N e R8-A - foram realizadas 12 medições, em residências diferentes com esse material.

Todas as paredes, apresentadas nessa seção, são constituídas de tijolo vazado de 9 cm (6 furos) e reboco de 2,5 cm dos dois lados, com demão de pintura, tendo massa superficial de 162 kg/m², conforme ilustra a Figura 4.19.

⁵Com exceção da medição 11-R8-N-BCE, devido à planta do apartamento não possuir dormitório e sala de estar como ambientes adjacentes.

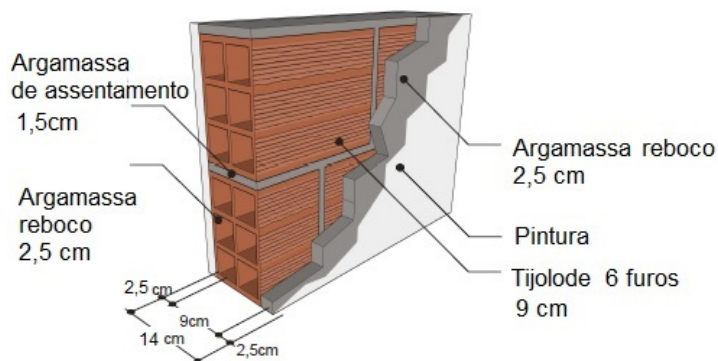


Figura 4.19.: Constituição das paredes medidas, de tijolo vazado.

Fonte: Adaptado da apostila do LabEEE [31].

As quatro medições da perda de transmissão sonora, ao ruído aéreo, em residências com paredes de tijolo vazado no padrão PIS, apresentam similaridade no comportamento espectral, com uma maior transmissão sonora nas baixas frequências, e um maior isolamento nas médias e altas frequências (Figura 4.20), conforme se espera pela Figura 2.4.

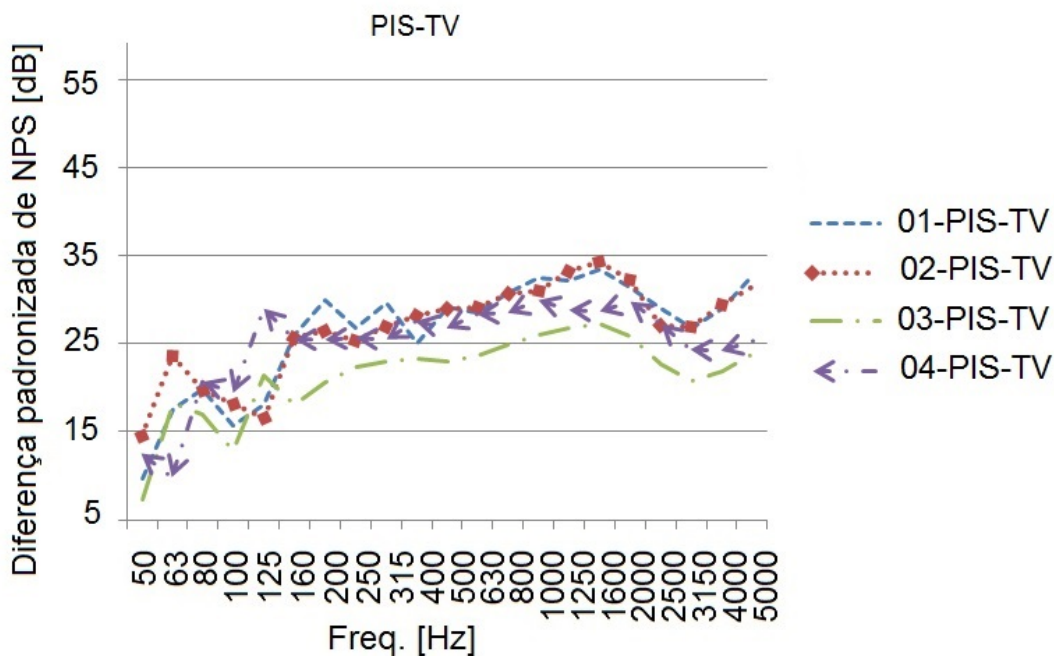


Figura 4.20.: $D_{n,T}$ medidos em paredes de tijolo vazado (9 cm) no padrão PIS.

Os valores ponderados $D_{n,T,w}$ obtidos nas medições no padrão PIS, vão de 25 dB a 30 dB, conforme Tabela 4.21, e são coerentes com os dados de literatura.

Tabela 4.21.: $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com tijolo vazado de 9 cm, no padrão PIS, em comparação com a tipologia da planta baixa de cada residência.

PIS-TV			
Código medição	$D_{n,T,w}$ [dB]	Tipologia	Área da partição [m ²]
01-PIS-TV	30	A	12,13
02-PIS-TV	30	A	16,12
03-PIS-TV	25	B	8,22
04-PIS-TV	28	A	20

O valor mais baixo de $D_{n,T,w}$ medido em 03-PIS-TV pode ser em função do *layout* da planta baixa da residência, que é diferente dos demais. A residência 03 foi a única que apresentou a tipologia B. Enquanto que as demais residências apresentaram a tipologia A, que possui a porta mais distante do centro do ambiente emissor, e conseqüentemente mais distante das posições da fonte sonora, nas medições realizadas (Figura 4.21). Considerando que os ambientes não apresentam difusividade igual a uma câmara reverberante.

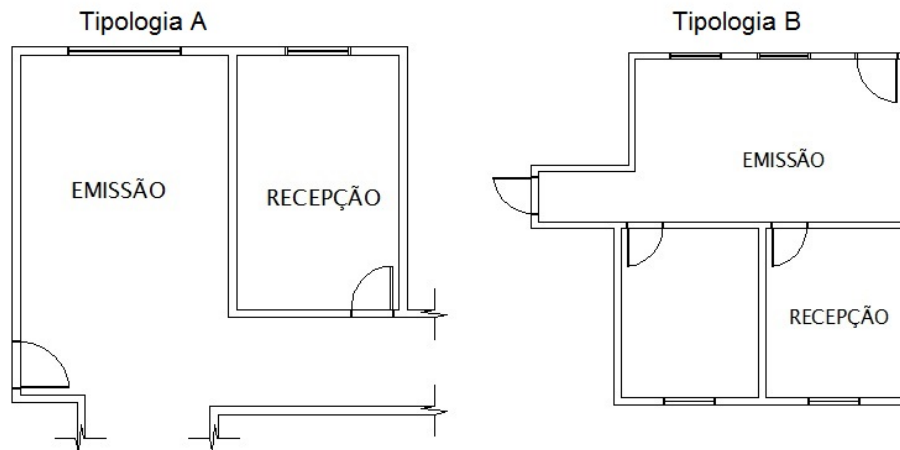


Figura 4.21.: Diferentes tipologias de plantas encontradas nos apartamentos medidos, do padrão PIS-TV e posições das fontes sonoras.

Os resultados das medições no padrão R8-N (Figura 4.22) apresentam valores mais altos de $D_{n,T}$ do que nas medições no padrão PIS. Os espectros de $D_{n,T}$ variam em todas as frequências, mas principalmente nas baixas e altas.

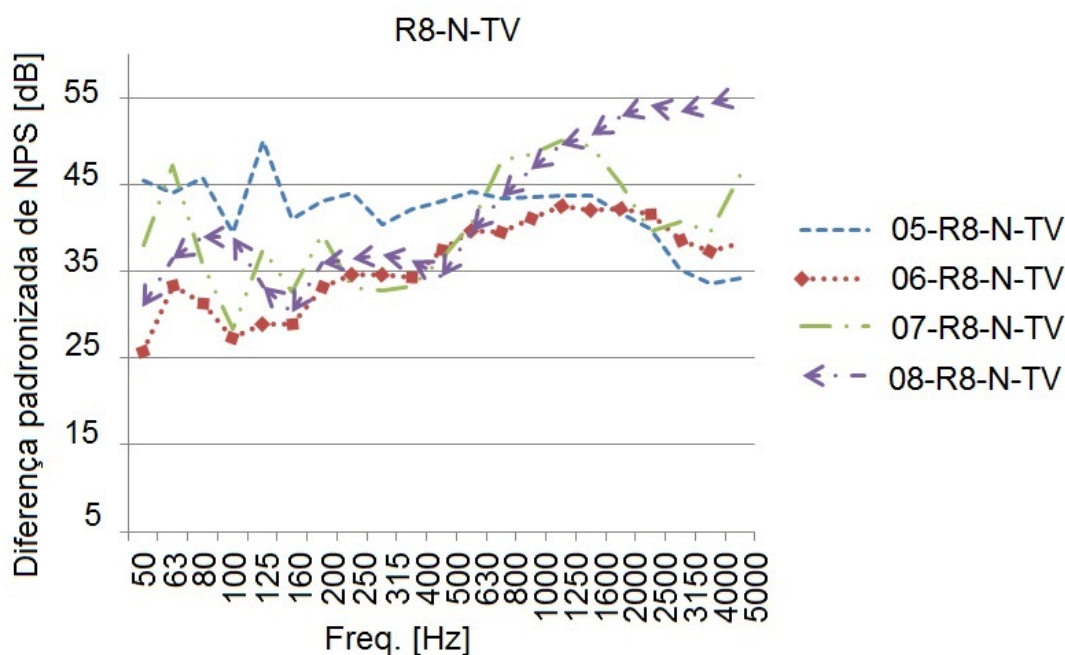


Figura 4.22.: $D_{n,T}$ medidos em paredes de tijolo vazado (9 cm) no padrão R8-N.

A Tabela 4.22 apresenta valores ponderados de $D_{n,T,w}$ similares para as medições 05, 06 e 07, com diferença não superior a 2 dB. Porém, a medição de número 08 resultou em um maior isolamento, com uma diferença de 4 dB no valor de $D_{n,T,w}$, quando comparado à medição 06, que apresenta o menor valores de $D_{n,T,w}$.

Tabela 4.22.: Valores medidos de $D_{n,T,w}$, em paredes com tijolo vazado, no padrão R8-N.

R8-N-TV			
Código medição	$D_{n,T,w}$ [dB]	Tipologia	Área da partição [m ²]
05-R8-N-TV	42	D	13,10
06-R8-N-TV	40	D	3,54
07-R8-N-TV	41	D	4,23
08-R8-N-TV	44	C	7,80

O maior isolamento, na medição 08, pode ser devido ao *layout* da planta baixa. A planta baixa dessa residência está representada pela tipologia C, da Figura 4.23, na qual os ambientes de emissão e recepção apresentam as aberturas nas paredes, como portas, separadas por uma vedação vertical adicional (parede + porta). As demais residências medidas se encaixam na tipologia D, onde os dois ambientes, emissor e receptor, são

fechados por portas, que dão para o mesmo ambiente, no caso a circulação.

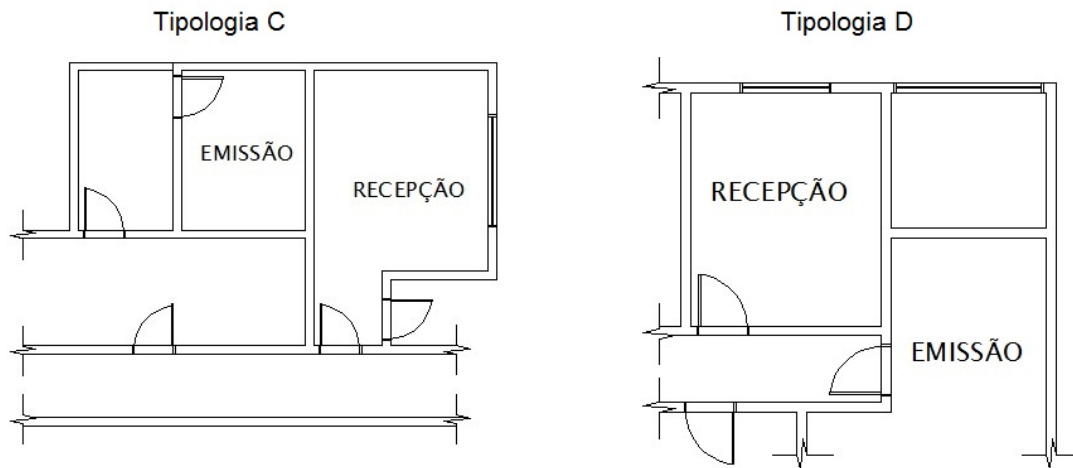


Figura 4.23.: Diferentes tipologias de plantas encontradas nos apartamentos medidos, do padrão R8-N-TV.

As medições realizadas com as residências do padrão alto - R8-A - resultaram em comportamento espectral do $D_{n,T}$ semelhante entre si, com exceção para a medição 20 que forneceu maiores valores de $D_{n,T}$ em praticamente todas as frequências (Figura 4.24).

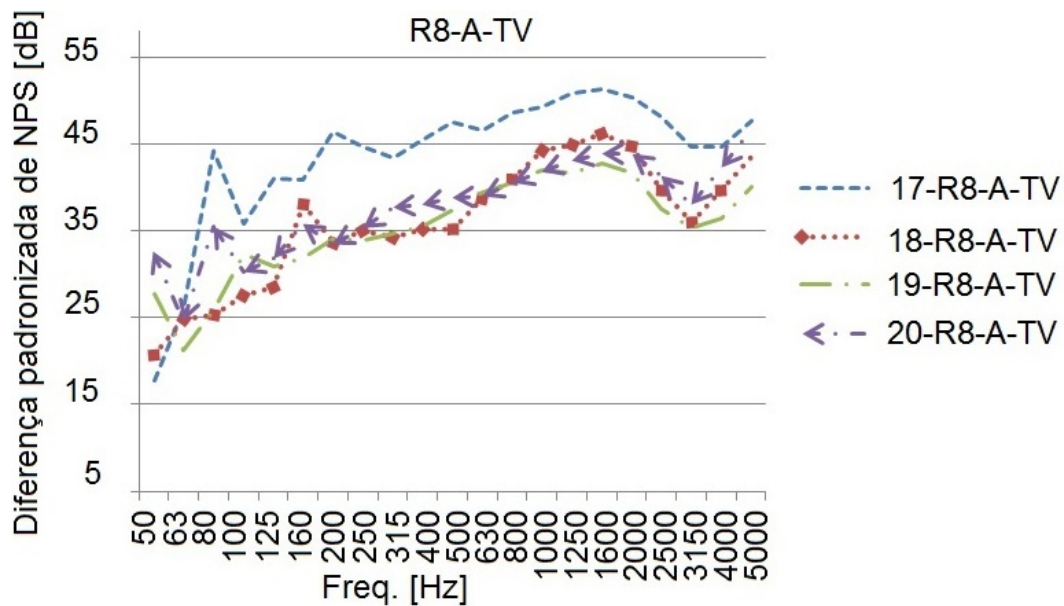


Figura 4.24.: $D_{n,T}$ medidos de paredes de tijolo vazado (9 cm), no padrão R8-A.

Os valores ponderados de $D_{n,T,w}$, para o padrão R8-A (Tabela 4.23), são

semelhantes aos obtidos nas medições do padrão R8-N (Tabela 4.22), com exceção da medição 17, que apresentou uma diferença máxima de 9 dB em relação aos resultados das demais medições. Uma explicação para isso, pode ser o mobiliário específico existente no ambiente emissor. Nessa residência, a parede de geminação possuía um armário feito sob-medida, em toda a sua extensão, fornecendo uma barreira adicional à transmissão sonora.

Tabela 4.23.: Valores medidos de $D_{n,T,w}$ em paredes com tijolo vazado no padrão R8-A.

R8-A-TV			
Código medição	$D_{n,T,w}$ [dB]	Tipologia	Área da partição [m ²]
17-R8-A-TV	48	D	11,14
18-R8-A-TV	40	D	6,40
19-R8-A-TV	39	D	11,83
20-R8-A-TV	41	D	7,72

Com base nos resultados obtidos em todas as medições, observou-se que o isolamento sonoro, em termos de $D_{n,T,w}$, das paredes do padrão baixo - PIS - foi menor quando comparado aos padrões normal e alto - R8-N e R8-A, conforme a Tabela 4.25.

Tabela 4.24.: $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com tijolo vazado (9 cm) × padrão construtivo.

Cód. med.	$D_{n,T,w}$ [dB]	Cód. med.	$D_{n,T,w}$ [dB]	Cód. med.	$D_{n,T,w}$ [dB]
01-PIS-TV	30	05-PIS-TV	42	17-PIS-TV	48
02-PIS-TV	30	06-PIS-TV	40	18-PIS-TV	40
03-PIS-TV	25	07-PIS-TV	41	19-PIS-TV	39
04-PIS-TV	28	08-PIS-TV	44	20-PIS-TV	41

Em todas as residências do padrão baixo, a parede de geminação apresentava uma porta, de acordo com as tipologias A e B. Já as residências dos padrões mais altos, seguiam as tipologias C e D. Dessa maneira, observa-se que a disposição dos ambientes tem influência no isolamento sonoro e que está diretamente ligada ao padrão construtivo, por razões econômicas.

Tabela 4.25.: Tipologias das plantas encontradas nas residências, das medições do tijolo vazado (9 cm) × padrão construtivo.

Cód. med.	Tipologia	Cód. med.	Tipologia	Cód. med.	Tipologia
01-PIS-TV	A	05-PIS-TV	D	17-PIS-TV	D
02-PIS-TV	A	06-PIS-TV	D	18-PIS-TV	D
03-PIS-TV	B	07-PIS-TV	D	19-PIS-TV	D
04-PIS-TV	A	08-PIS-TV	C	20-PIS-TV	D

4.3.1.2 Bloco cerâmico no padrão construtivo R8-N

Para as medições da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo considerando o bloco cerâmico, foram realizadas apenas no padrão construtivo R8-N, que seria o padrão normal de residências.

Os resultados, apresentados nessa seção, são provenientes das medições acústicas da transmissão sonora ao ruído aéreo em paredes constituídas por bloco estrutural vazado cerâmico de 12 MPa com 14 cm, argamassa de 1,5 cm em cada lado, e demão de pintura, tendo massa superficial de 200 Kg/m² (Figura 4.25).

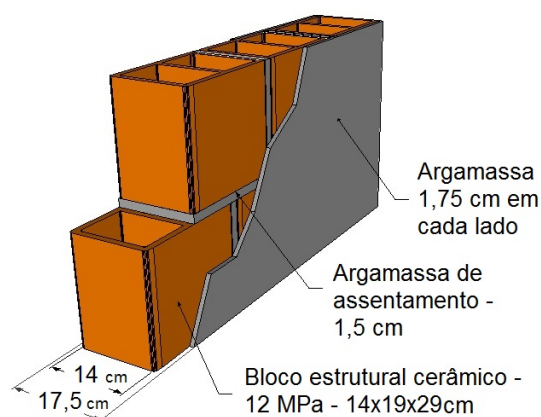


Figura 4.25.: Composição das paredes de BCE medidas.

Fonte: Autora.

As medições, com o bloco cerâmico, mostraram espectros bem diferentes. As medições, 09 e 11, apresentaram um isolamento sonoro bastante reduzido em relação às

medições 10 e 12 (Figura 4.26).

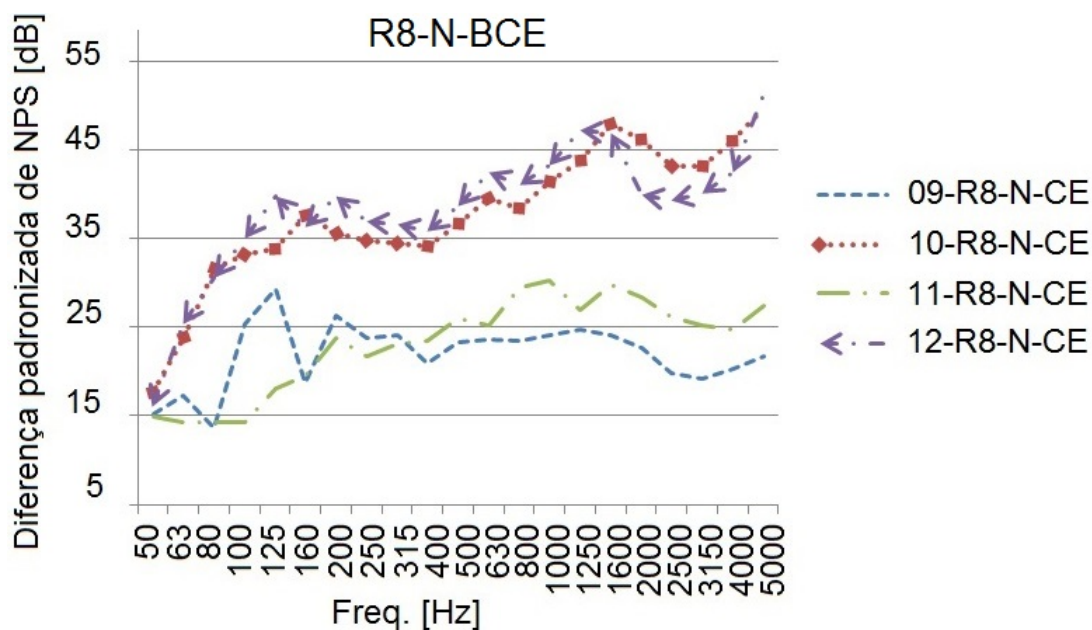


Figura 4.26.: $D_{n,T}$ medidos de parede com bloco cerâmico (14 cm), no padrão R8-N.

Da mesma forma, essa diferença nas medições resultou em valores ponderados bem distintos, de 23 dB a 41 dB (Tabela 4.26).

Tabela 4.26.: $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com blocos cerâmicos (14 cm) no padrão R8-N, e tipologias das plantas.

R8-N-BCE			
Código medição	$D_{n,T,w}$ [dB]	Tipologia	Área da partição [m ²]
09-R8-N-BCE	23	E	10,27
10-R8-N-BCE	41	F	7,65
11-R8-N-BCE	27	E	13,02
12-R8-N-BCE	41	F	9,75

As plantas baixas dessas residências, também apresentaram tipologias diferentes entre si. As residências 09 e 11 se encaixam na tipologia E, na qual a parede de geminação apresenta porta. As residências 10 e 12 se encaixam na tipologia F, na qual a parede de geminação não apresenta uma porta (Figura 4.27). Considera-se, dessa maneira, que a presença da porta na parede de geminação, influencia significativamente na transmissão

sonora.

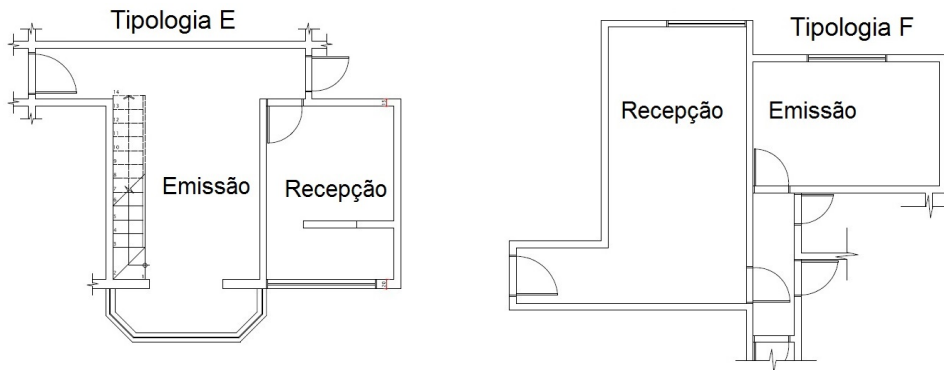


Figura 4.27.: Diferentes tipologias encontradas nos apartamentos medidos, do padrão R8-N-BCE.

4.3.1.3 Bloco de concreto no padrão construtivo R8-N

Para as medições da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo considerando o bloco de concreto, foram realizadas apenas no padrão construtivo R8-N, que seria o padrão normal das residências.

Os resultados apresentados, nessa seção, são provenientes das medições acústicas da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo em ambientes constituídos por bloco estrutural vazado de concreto de 6 MPa com dimensões de 14×19×39 cm, argamassa de 1,5 cm em cada lado e demão de pintura, tendo massa superficial de 230 kg/m², conforme ilustra a Figura 4.28.

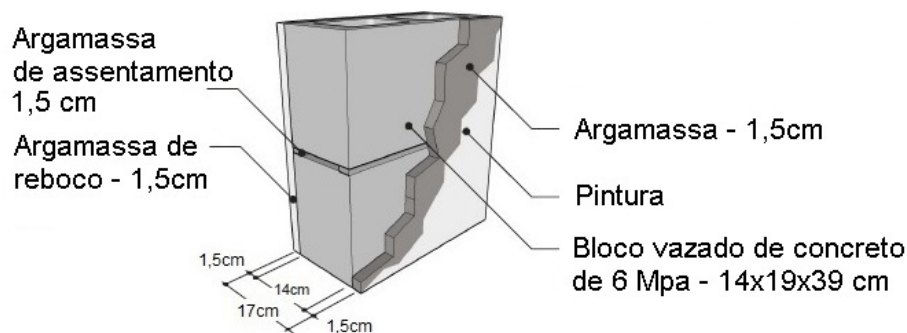


Figura 4.28.: Composição das paredes de bloco de concreto.

Fonte: Adaptado da apostila do LabEEE [31].

As medições da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo em paredes constituídas por blocos de concreto no padrão R8-N apresentaram comportamento espectral similares, com exceção da medição 13, que apresentou menor isolamento nas baixas frequências e maior isolamento nas altas, quando comparada com às demais medições, conforme mostra na Figura 4.29.

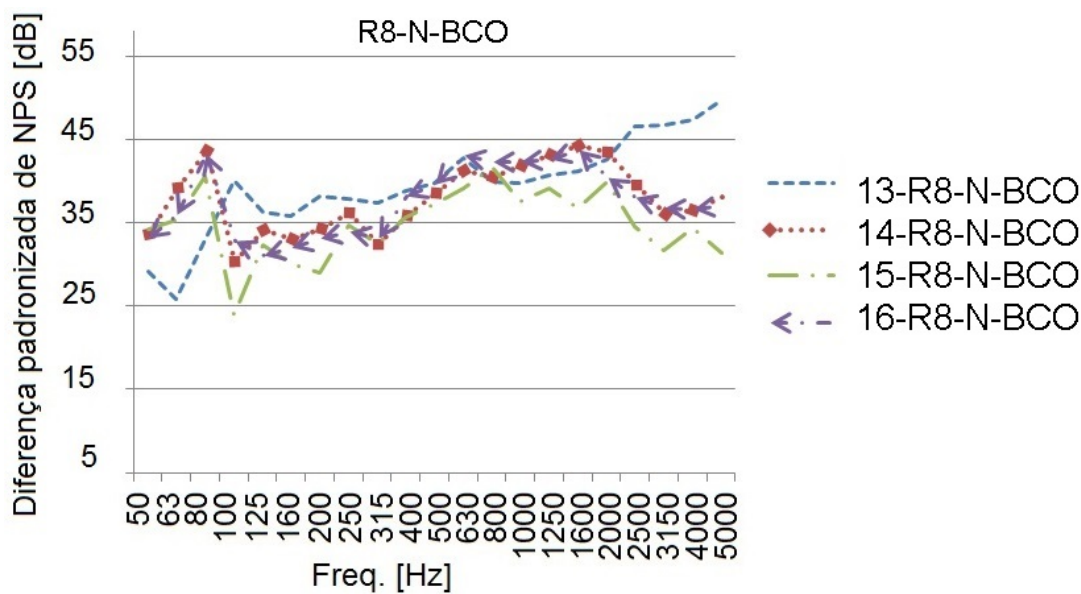


Figura 4.29.: $D_{n,T}$ medidos de parede com bloco de concreto (14 cm), no padrão R8-N.

Os valores ponderados de $D_{n,T,w}$, obtidos nas medições das paredes com blocos de concreto, apresentam valores próximos, com a maior diferença de 05 dB (Tabela 4.27).

Tabela 4.27.: $D_{n,T,w}$ medidos em paredes com blocos de concreto (14 cm), no padrão R8-N, e as tipologias das plantas.

R8-N-BCO			
Código medição	$D_{n,T,w}$ [dB]	Tipologia	Área da partição [m ²]
13-R8-N-BCO	42	D	11,69
14-R8-N-BCO	40	D	7,8
15-R8-N-BCO	37	D	7,95
16-R8-N-BCO	40	D	8,58

4.3.2 Medições em campo da transmissão sonora de impacto

Para as medições dos níveis de pressão sonora de impacto nas salas receptoras, foram selecionadas quatro residências de acordo com o padrão e sistema construtivo. Os sistemas de pisos escolhidos foram: laje maciça de concreto, com piso de revestimento. As medições foram realizadas com uma camada de feltro sobre o piso, para fins de proteção, e depois aplicados os coeficientes de correção, apresentados na Seção 4.2.5.

Para poder aplicar o coeficiente de correção, os sistemas de piso medidos precisavam ser compostos por laje maciça de concreto, com pisos cerâmico ou laminado. Como em algumas residências medidas foram encontrados outros tipos de piso, como parquet e tabuão, essas medições tiveram que ser descartadas.

Dessa maneira, foram aproveitadas 16 medições, no total. Os resultados apresentados, nas Seções 4.3.2.1 e 4.3.2.2, já estão com os coeficientes de correção aplicados e serão apresentados como $L'_{n,T,w}$.

4.3.2.1 Piso cerâmico × padrão construtivo

As medições apresentadas, nessa seção, foram feitas em piso cerâmico assentado sobre contrapiso de 4 cm e laje maciça de concreto de 10 cm (Figura 4.30).

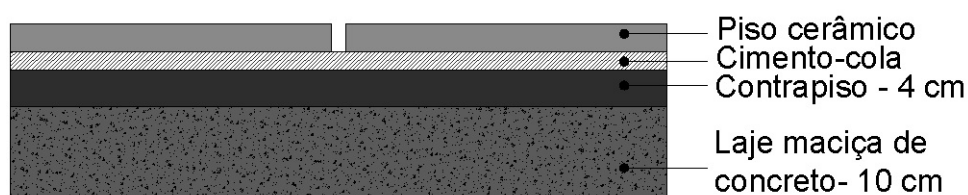


Figura 4.30.: Composição do sistema de piso cerâmico medido.

Fonte: Autora.

Os resultados em termos de $L'_{n,T,w}$ apresentam comportamento espectral similar, com maior isolamento nas baixas frequências, e maior transmissão sonora nas altas frequências (Figura 4.31).

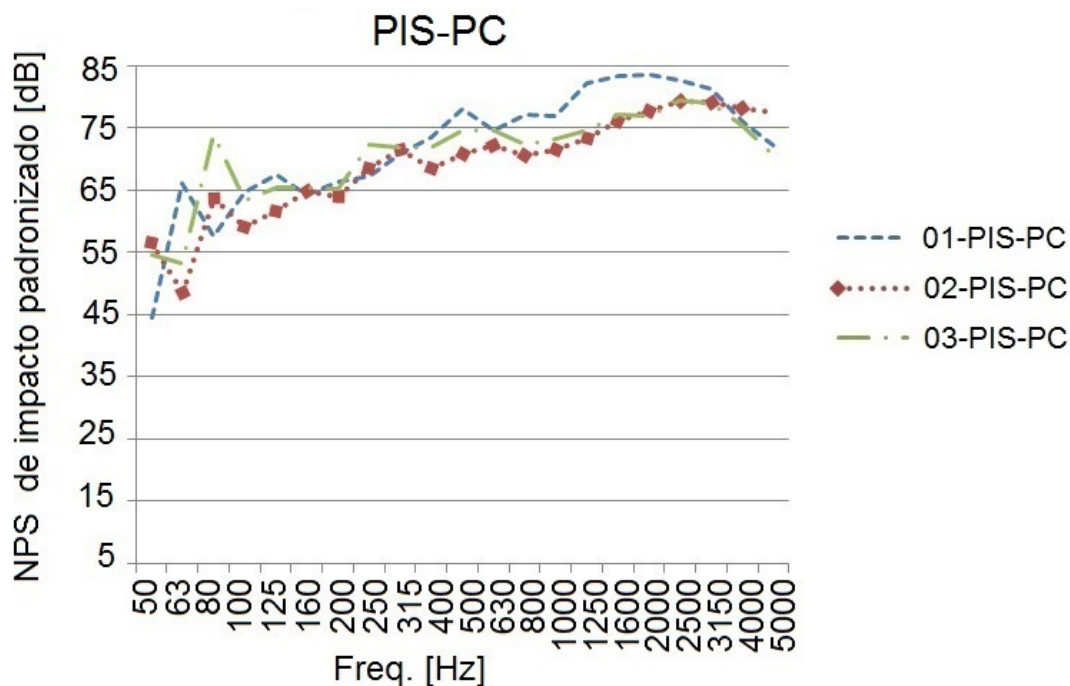


Figura 4.31.: $L'_{n,T,w}$ * obtido considerando piso cerâmico no padrão PIS.

Os valores ponderados, $L'_{n,T,w}$ *, também são similares, com a diferença não superior a 5 dB (Tabela 4.28).

Tabela 4.28.: $L'_{n,T,w}$ * medidos em lajes com piso cerâmico (PC), no padrão PIS.

PIS-PC		
Código medição	$L'_{n,T,w}$ * [dB]	Área da partição [m ²]
01-PIS-PC	89	12,60
02-PIS-PC	84	9
03-PIS-PC	84	10,35

Os resultados das medições de $L'_{n,T}$ * no padrão normal - R8-N - apresentam espectros similares, com maiores variações nas altas frequências (Figura 4.32). Com relação aos resultados no padrão PIS, o padrão R8-N apresenta valores menores de $L'_{n,T}$ *, ou seja, com maior isolamento sonoro.

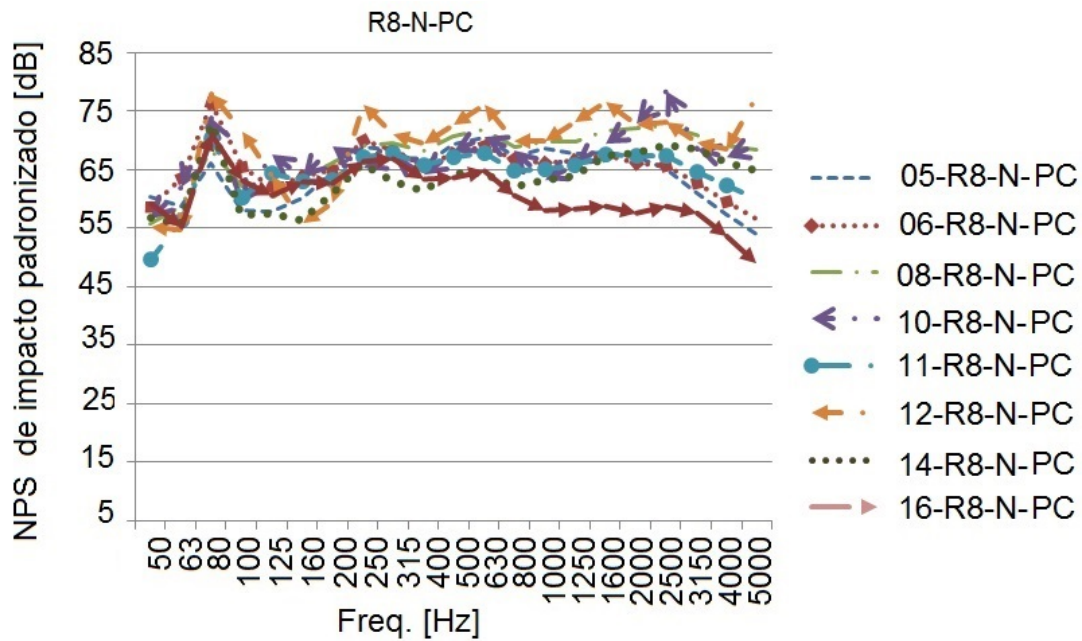


Figura 4.32.: $L'_{n,T}^*$ obtido considerando o piso cerâmico no padrão R8-N.

A Tabela 4.29 apresenta os valores ponderados, de $L'_{n,T,w}^*$, para o padrão R8-N. A medição 16 foi realizada em um sistema de piso com material resiliente⁶, entre a laje e o contrapiso, aumentando o isolamento acústico.

Tabela 4.29.: $L'_{n,T,w}^*$ medidos em lajes com piso cerâmico (PC) no padrão R8-N.

R8-N-PC		
Código medição	$L'_{n,T,w}^*$ [dB]	Área da partição [m ²]
05-R8-N-PC	72	11,1
06-R8-N-PC	72	28,60
08-R8-N-PC	78	14,30
10-R8-N-PC	78	10,95
11-R8-N-PC	73	18,63
12-R8-N-PC	79	12,17
14-R8-N-PC	74	34,74
16-R8-N-PC*	65	38,34

* com material resiliente (piso flutuante).

⁶Resiliência se refere à propriedade de alguns materiais, em acumular energia potencial, quando exigidos ou submetidos a um esforço mecânico, sem ocorrer ruptura.

A medição com o piso cerâmico no padrão alto, R8-A, apresentou valores reduzidos de $L'_{n,T}*$, pois incorpora soluções acústicas para melhorar o desempenho dos sistemas de piso, em forma de agregado leve⁷ na produção do contrapiso. Em relação às medições realizadas nos padrões mais baixos, o material resiliente atenuou o ruído de impacto, principalmente, as médias e altas frequências (Figura 4.33).

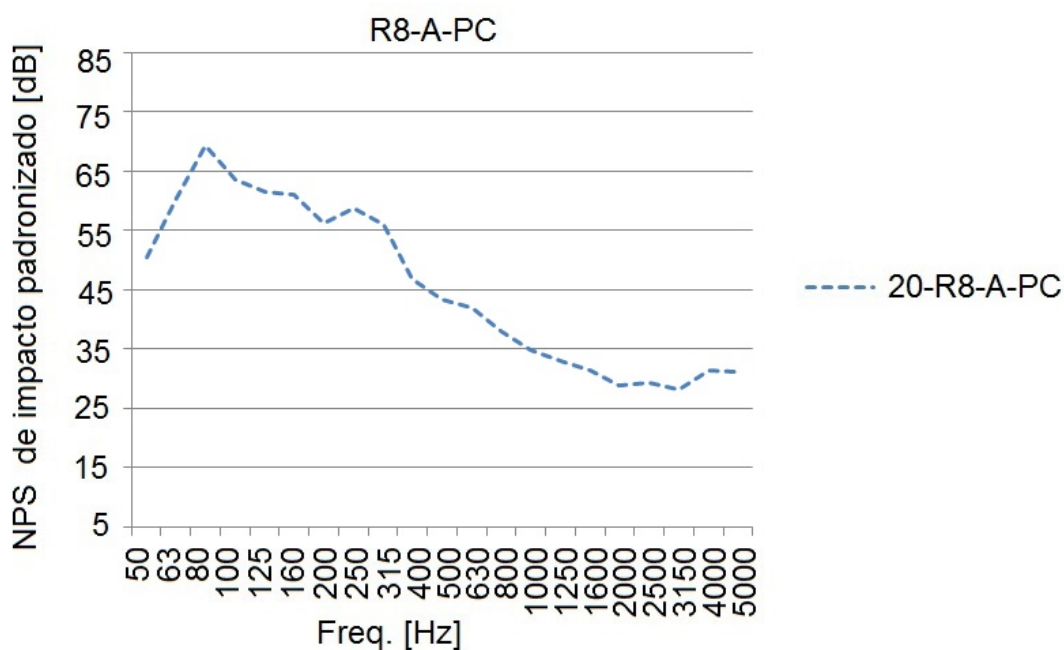


Figura 4.33.: $L'_{n,T}*$ obtido considerando o piso cerâmico no padrão R8-A.

O valor ponderado de $L'_{n,T,w}*$ obtido para piso cerâmico no padrão alto, R8-A, demonstra uma considerável melhoria no desempenho do sistema. Se comparado com os valores encontrados nos outros padrões, apresenta diferença de até 36 dB (Tabela 4.30).

Tabela 4.30.: $L'_{n,T,w}*$ medido em laje com piso cerâmico (PC) no padrão R8-A.

R8-A-PC		
Código medição	$L'_{n,T,w}*$ [dB]	Área da partição [m ²]
20-R8-A-PC	53	15,80

⁷Agregados são materiais, utilizados na construção civil, com forma e volume aleatórios, para a elaboração de concreto e argamassa.

4.3.2.2 Piso laminado × padrão construtivo

As medições apresentadas, nessa seção, foram feitas em piso laminado sobre manta de polietileno expandido⁸ 4mm, colado sobre o contrapiso de 4cm e laje maciça de concreto de 10 cm de espessura (Figura 4.34).

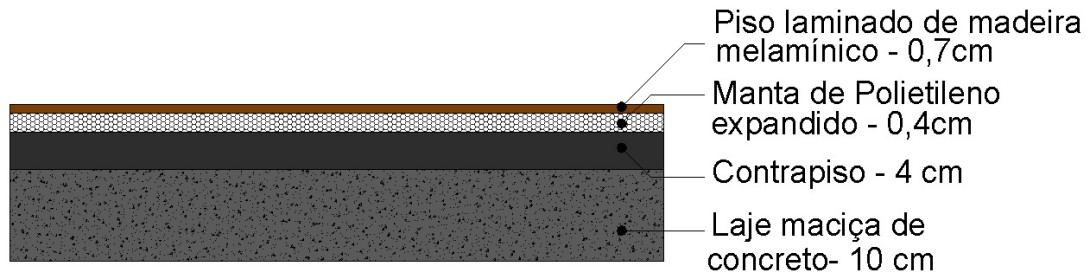


Figura 4.34.: Composição do sistema de piso medido - PL.

Fonte: Autora.

As medições considerando os pisos laminados no padrão normal resultaram em espectros similares, com maiores diferenças nas altas frequências. Os resultados, de $L'_{n,T}^*$, apresentaram maior isolamento nas médias e altas frequências (Figura 4.35).

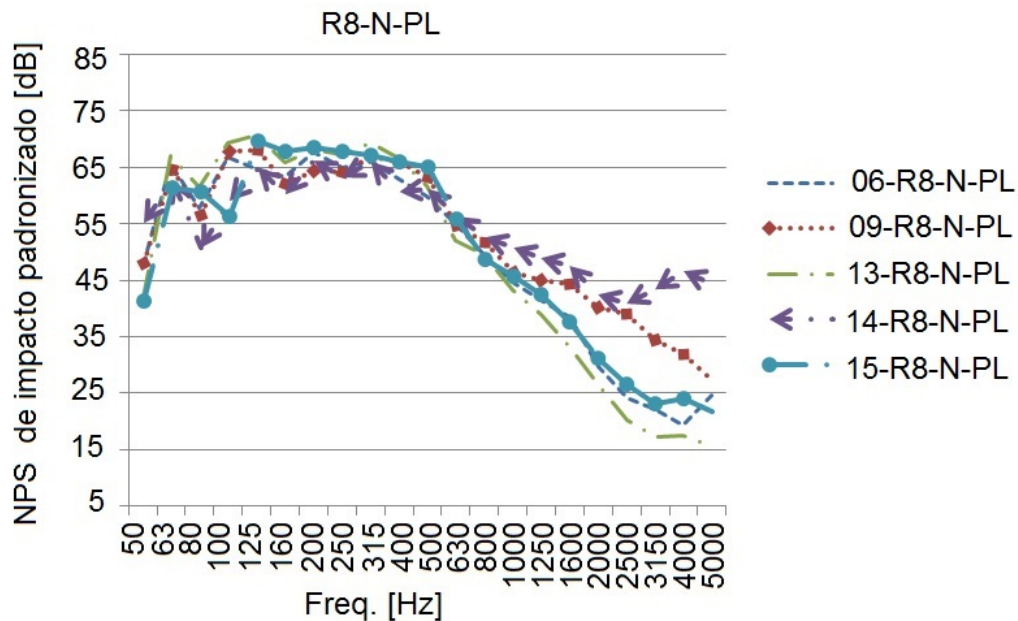


Figura 4.35.: $L'_{n,T}^*$ obtido considerando o piso laminado no padrão R8-N.

⁸A manta de polietileno expandido é fornecida juntamente com o piso laminado, deve ser aplicada entre o piso e o contrapiso, visando promover pequenas imperfeições do contrapiso.

Os valores ponderados de $L'_{n,T}^*$ resultantes das medições com o piso laminado no padrão normal (R8-N), apresentaram valores entre 58 dB e 62 dB (Tabela 4.31).

Tabela 4.31.: $L'_{n,T,w}^*$ medidos em lajes com piso laminado (PL), no padrão R8-N.

R8-N-PL		
Código medição	$L'_{n,T,w}^*$ [dB]	Área da partição [m ²]
06-R8-N-PL	59	10,80
09-R8-N-PL	60	9
13-R8-N-PL	62	21,49
14-R8-N-PL	58	10,08
15-R8-N-PL	62	9,99

No padrão alto, apenas um piso laminado foi medido. Essa medição resultou em espectro similar aos encontrados no padrão normal, com maior atenuação sonora nas médias e altas frequências (Figura 4.36). O valor ponderado de $L'_{n,T,w}^*$ (Tabela 4.32) possui valor parecido com os resultados obtidos no padrão normal.

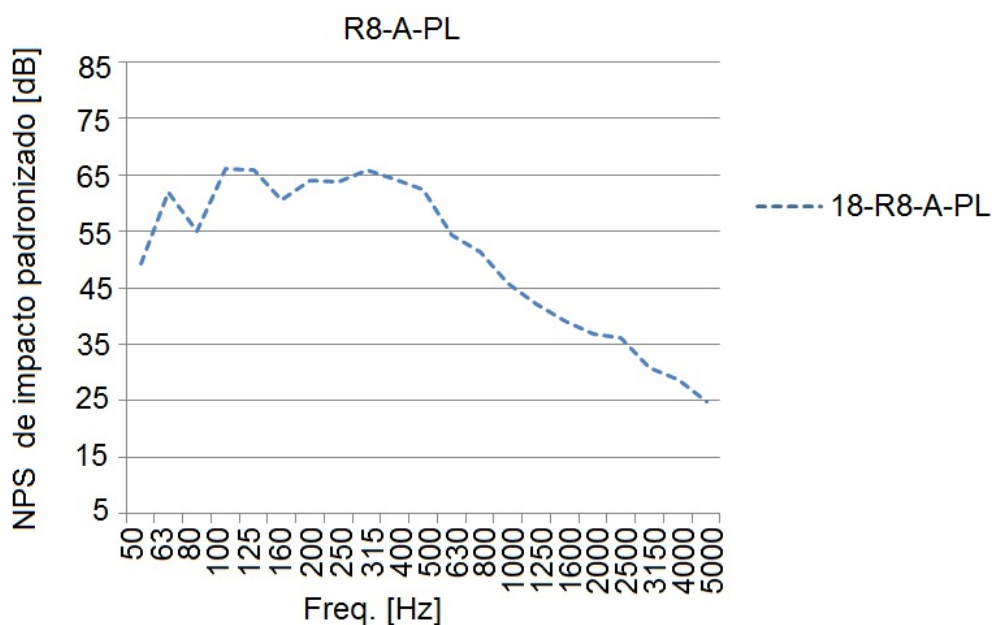


Figura 4.36.: $L'_{n,T}^*$ obtido considerando o piso laminado no padrão R8-A.

Tabela 4.32.: $L'_{n,T,w}$ * medidos em lajes com piso laminado (PL) no padrão R8-A.

R8-A-PL		
Código medição	$L'_{n,T,w}$ * [dB]	Área da partição [m ²]
18-R8-A-PL	59	7

4.4. Simulações - SONarchitect

As simulações da transmissão sonora aos ruídos aéreos e de impacto foram realizadas no *software* SONarchitect ISO, para todas as configurações medidas na Seção 4.3.

Devido ao banco de dados, com os elementos e sistemas construtivos do programa, não representar o padrão brasileiro, foram inseridos no programa os valores normalizados de laboratório⁹ de todos os materiais e sistemas construtivos encontrados nas medições realizadas em campo.

4.4.1 Simulações da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo

Foram realizadas 20 simulações da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo, com o *software* SONarchitect, através dos parâmetros $D_{n,T}$, por bandas de frequência¹⁰, e de $D_{n,T,w}$, como valor único. Também foram fornecidos os valores do tempo de reverberação (TR) das salas receptoras, por banda de frequência, assim como, o valor único do tempo de reverberação, conforme pode ser visualizado no relatório gerado pelo programa no Apêndice E.1. Os resultados serão apresentados nas Seções 4.4.1.1, 4.4.1.2 e 4.4.1.3, e no Apêndice E.3.

⁹ R para os elementos verticais, e L_n para sistemas de piso, ambos foram fornecidos por banda de frequência.

¹⁰Bandas de terça de oitava de 50 Hz a 5000 Hz

4.4.1.1 Tijolo vazado x padrão construtivo

Os resultados das simulações da perda de transmissão sonora ao ruído aéreo, com tijolo vazado no padrão PIS, apresentaram similaridade no comportamento espectral, com maior transmissão sonora nas baixas frequências, que diminui com o aumento da frequência (Figura 4.37).

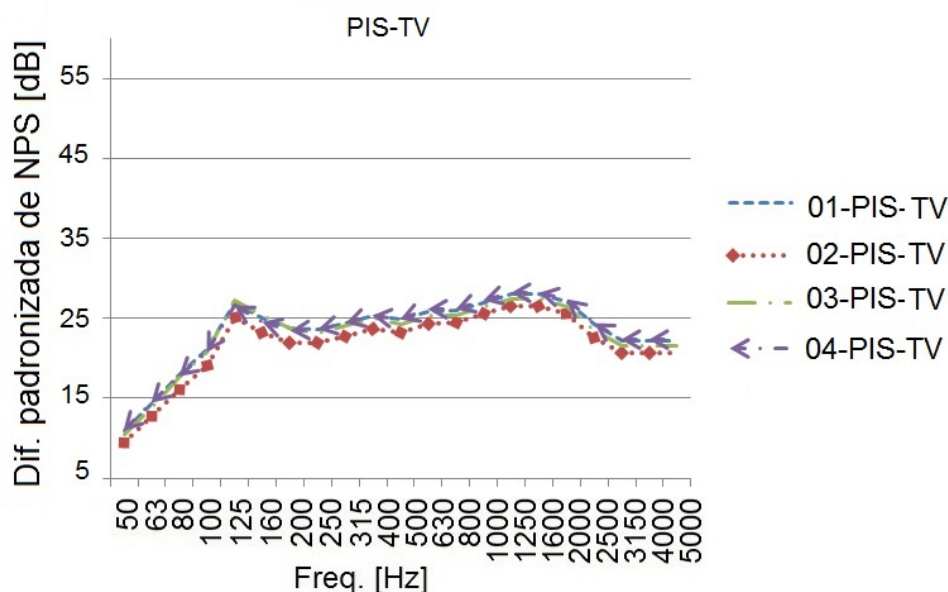


Figura 4.37.: $D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com tijolo vazado (9 cm) no padrão PIS.

Em relação aos valores ponderados, observa-se que os valores simulados, nas edificações 03 e 04, estão próximos dos valores medidos. Porém, há diferença de até 5 dB, nas demais residências (Tabela 4.33).

Tabela 4.33.: $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de tijolo vazado (9 cm) no padrão PIS, comparando com as tipologias das plantas.

PIS-TV					
Código	$D_{n,T,w}$ medido [dB]	$D_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta D_{n,T,w}$ [dB]	Tip.	Área part. [m ²]
01-PIS-TV	30	26	4	A	12,13
02-PIS-TV	30	25	5	A	16,12
03-PIS-TV	25	25	0	B	8,22
04-PIS-TV	28	26	2	A	20

Os resultados simulados de $D_{n,T}$, para tijolo vazado no padrão R8-N, possuem valores mais altos em todas as frequências, quando comparado com o padrão PIS. Os espectros obtidos nas simulações da transmissão sonora, do padrão R8-N, apresentam um aumento na perda da transmissão sonora com o aumento da frequência (Figura 4.38).

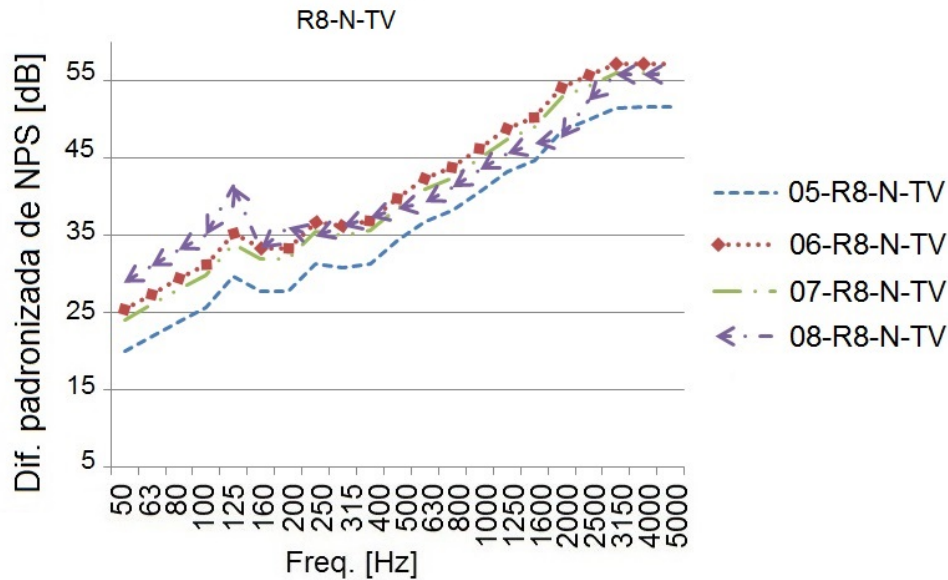


Figura 4.38.: $D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com tijolo vazado (9 cm) no padrão R8-N.

Os valores ponderados de $D_{n,T,w}$, medidos e simulados, são similares em, praticamente, todas as edificações no padrão R8-N (Tabela 4.34). A edificação 06 apresentou a maior diferença, de 5 dB.

Tabela 4.34.: $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de tijolo vazado (9cm) no padrão R8-N, comparando com as tipologias das plantas.

R8-N-TV					
Código	$D_{n,T,w}$ medido [dB]	$D_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta D_{n,T,w}$ [dB]	Tip.	Área part. [m ²]
05-R8-N-TV	42	39	3	D	13,10
06-R8-N-TV	40	45	-5	D	3,54
07-R8-N-TV	41	44	-3	D	4,23
08-R8-N-TV	44	43	1	C	7,80

Os resultados simulados, do tijolo vazado no padrão R8-A (Figura 4.39), foram muito próximos aos obtidos no padrão R8-N Figura 4.38. Todos os espectros das

simulações no padrão R8-A apresentam o mesmo comportamento espectral, como o aumento da perda na transmissão sonora à medida que as frequências vão aumentando.

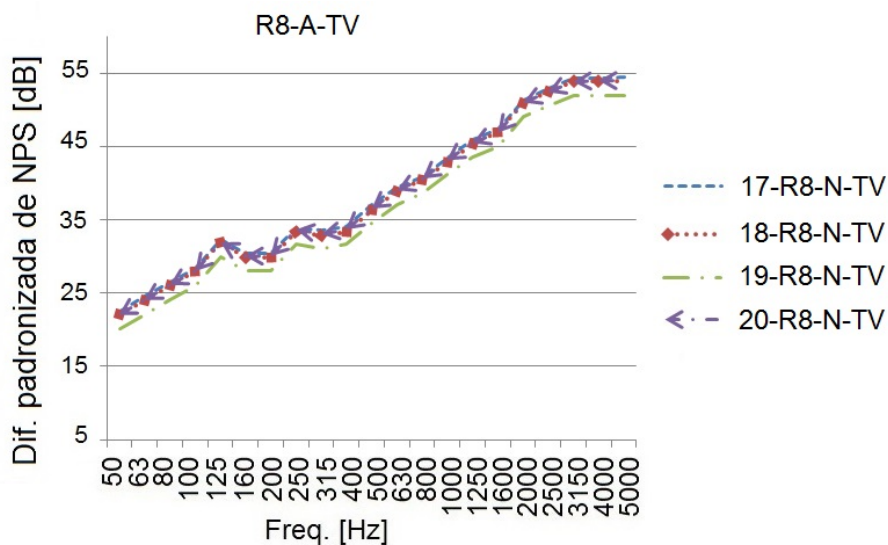


Figura 4.39.: $D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com tijolo vazado (9 cm) no padrão R8-A.

Os valores ponderados, $D_{n,T,w}$ medidos e simulados, no padrão R8-A, são próximos em todas as edificações, com exceção da edificação 17 (Tabela 4.35). Essa residência possuía um armário sob medida, em toda a extensão da parede, agregando uma camada de ar de 60cm, delimitado por duas ripas de MDF¹¹, com vários objetos no seu interior, o que proporciona diferentes impedâncias à onda sonora. Esse pode ser o motivo da diferença de 8 dB, entre os resultados medidos e simulados, uma vez que a inserção do roupeiro na simulação não foi possível devido à diversidade de objetos no seu interior.

Tabela 4.35.: $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de tijolo vazado (9cm) no padrão R8-A, comparando com as tipologias das plantas.

R8-A-TV					
Código	$D_{n,T,w}$ medido [dB]	$D_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	Tip	Área da part. [m ²]
17-R8-A-TV	48	40	8	D	11,14
18-R8-A-TV	40	43	-3	D	6,40
19-R8-A-TV	39	42	-3	D	11,83
20-R8-A-TV	41	38	3	D	7,72

¹¹MDF é a sigla para *Medium-Density Fiberboard*, ou seja, placa de fibra de madeira de média densidade, a qual representa o material derivado da madeira, muito utilizado na fabricação de móveis.

4.4.1.2 Bloco cerâmico no padrão R8-N

Os resultados simulados apresentaram comportamentos espectrais bem distintos. As medições 09 e 11, apresentaram valores menores de $D_{n,T}$, bem como nos resultados medidos. As medições 10 e 12, apresentaram valores maiores de $D_{n,T}$, principalmente nas médias e altas frequências (Figura 4.40).

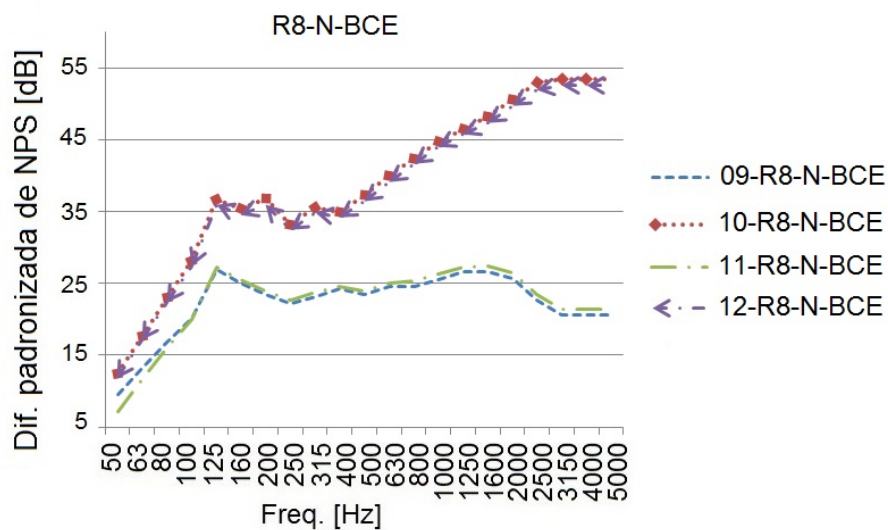


Figura 4.40.: $D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com bloco cerâmico (14 cm) no padrão R8-N.

Os valores de $D_{n,T,w}$, medidos e simulados, para o bloco cerâmico no padrão R8-N, foram bastante similares, com a maior diferença de 2 dB (Tabela 4.36).

Tabela 4.36.: $D_{n,T,w}$ medido e simulado em paredes de bloco de concreto (14cm) no padrão R8-N, comparando com as tipologias das plantas.

R8-N-BCE					
Código	$D_{n,T,w}$ medido [dB]	$D_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	Tip.	Área part.[m ²]
09-R8-N-BCE	23 dB	25 dB	-2 dB	E	10,27
10-R8-N-BCE	41 dB	43 dB	-2 dB	F	7,65
11-R8-N-BCE	27 dB	25 dB	2 dB	E	13,02
12-R8-N-BCE	41 dB	42 dB	-1 dB	F	9,75

4.4.1.3 Bloco de concreto no padrão R8-N

Para que fosse possível simular os valores de $D_{n,T}$ e $D_{n,T,w}$ para os ambientes com paredes constituídas por blocos de concreto, foram inseridos no SONarchitect os valores obtidos em laboratório de R em dB, por banda de frequência, do material com e sem argamassa de revestimento, disponíveis através dos Laudos Acústicos do Laboratório de Acústica da UFSM.

Para paredes constituídas por blocos de concreto, com argamassa de reboco com 2,0 cm em um dos lados (correspondente ao lado externo) e de 1,0 cm em outro lado (correspondente ao lado interno), os valores simulados são apresentados na (Figura 4.41). Os valores de $D_{n,T}$ aumentam à medida que as frequências aumentam e seguem comportamento espectral de acordo com o esperado (Figura 2.4).

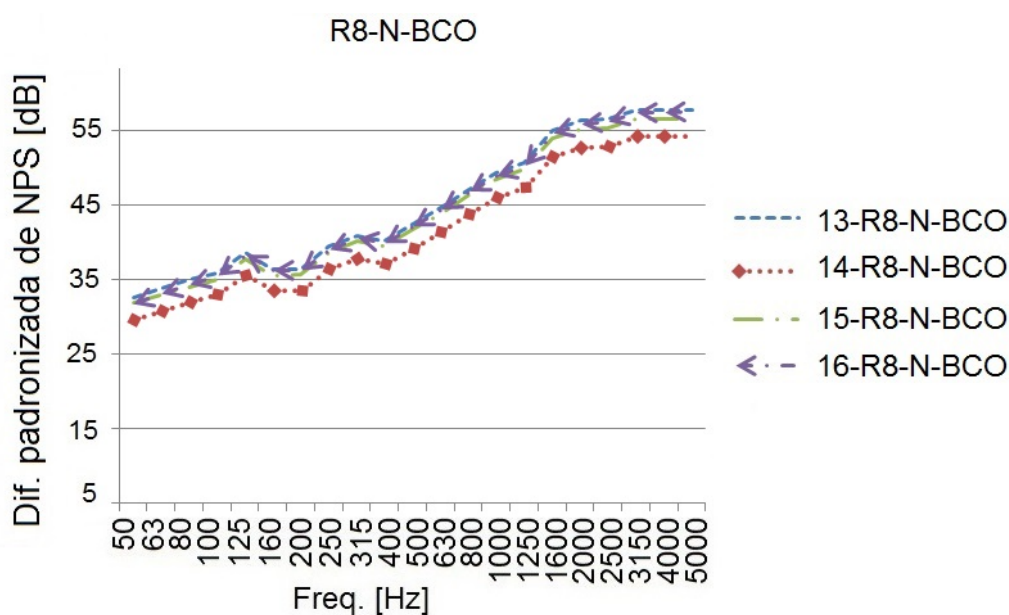


Figura 4.41.: $D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com bloco de concreto (14 cm), rebocada dos dois lados, no padrão R8-N.

Observa-se que os valores medidos e simulados de $D_{n,T}$ foram similares nas baixas e médias frequências. Porém, nas altas frequências, os valores simulados de $D_{n,T}$ são maiores do que os valores medidos.

Porém, os valores ponderados, medidos e simulados, foram diferentes, com

diferenças de até -10 dB (Tabela 4.37). Isso pode estar relacionado com o grau de incerteza que esses dados normalizados contém, uma vez que não foram obtidos em espaços apropriados.

Tabela 4.37.: Valores medidos de $D_{n,T,w}$, em paredes de bloco de concreto, no padrão R8-N.

R8-N-BCO					
Código	$D_{n,T,w}$ medido [dB]	$D_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	Tip.	Área part.[m ²]
13-R8-N-BCO	42	48	-6	D	11,69
14-R8-N-BCO	40	45	-5	D	7,8
15-R8-N-BCO	37	47	-10	D	7,95
16-R8-N-BCO	40	48	-8	D	8,58

Devido às grandes diferenças entre os valores ponderados de $D_{n,T,w}$, medidos e simulados, estes foram novamente simulados através da inserção, no banco de dados do programa, dos valores normalizados da parede de bloco de concreto, sem revestimento, medida no Laboratório de Acústica da UFSM (Figura 4.42). Observa-se que as maiores alterações ocorreram nas baixas frequências, com um aumento significativo na transmissão sonora.

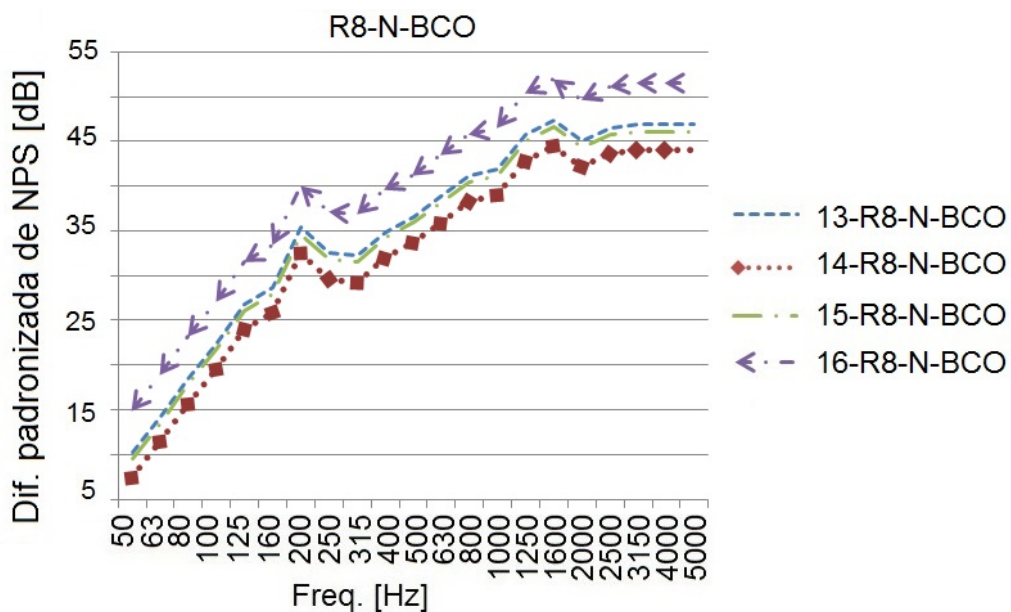


Figura 4.42.: $D_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora através de parede com bloco de concreto (14 cm), sem reboco, no padrão R8-N.

O comportamento espectral nas simulações da parede sem reboco foi diferente do comportamento espectral das medições, principalmente nas baixas frequências, que na simulação apresenta valores de $D_{n,T}$ menores que na medição.

Apesar disso, os valores ponderados se aproximaram, com alteração não superior à 6 dB, de acordo com a Tabela 4.38.

Tabela 4.38.: Valores medidos de $D_{n,T,w}$, em paredes de bloco de concreto, no padrão R8-N.

R8-N-BCO					
Código	$D_{n,T,w}$ medido [dB]	$D_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	Tip.	Área part. [m ²]
13-R8-N-BCO	42	42	0	D	11,69
14-R8-N-BCO	40	39	1	D	7,8
15-R8-N-BCO	37	41	-4	D	7,95
16-R8-N-BCO	40	46	-6	D	8,58

4.4.2 Simulações da transmissão sonora ao ruído de impacto

Foram realizadas 17 simulações do nível de pressão sonora ao ruído de impacto, com o *software* SONarchitect, sendo que 11 foram realizadas com o piso cerâmico e 6 com o piso laminado. Os resultados foram obtidos em termos de $L'_{n,T}$, por banda de frequência, e de $L'_{n,T,w}$, como valor único. Esses resultados são apresentados em tabelas no Apêndice E.4 e em gráficos nas Seções 4.4.2.1 e 4.4.2.2.

4.4.2.1 Piso cerâmico × padrão construtivo

Os resultados simulados de $L'_{n,T}$ considerando o piso cerâmico no padrão PIS, apresentaram maior transmissão sonora nas médias frequências (Figura 4.43).

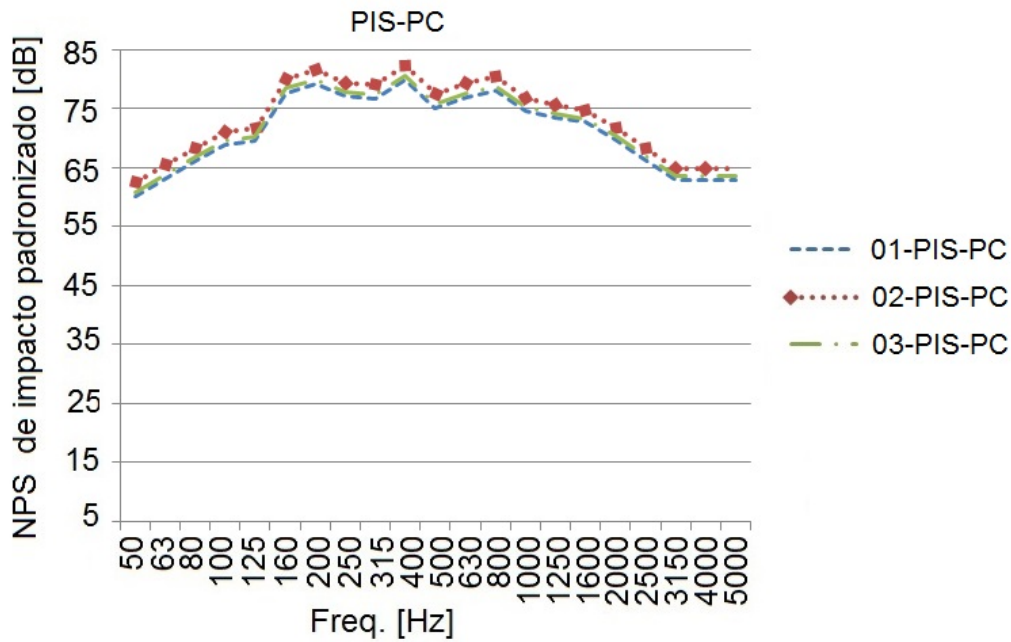


Figura 4.43.: $L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso cerâmico no padrão PIS.

Os valores ponderados ($L'_{n,T,w}$) medidos e simulados apresentaram diferenças consideráveis, de 5 dB à 9 dB (Tabela 4.39). Outro dado analisado foi a metragem quadrada dos sistemas de piso, e pode-se concluir que aqueles com maiores áreas, apresentam valores simulados menores de $L'_{n,T,w}$ em comparação com aqueles com menores áreas. Com os valores medidos, os valores de $L'_{n,T,w}$ não são influenciados pela metragem quadrada do ambiente.

Tabela 4.39.: $L'_{n,T,w}$, medido e simulado do piso cerâmico, no padrão PIS.

PIS-PP				
Código	$L'_{n,T,w}$ * medido [dB]	$L'_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	Área part. [m ²]
01-PIS-PP	89	78	11	12,60
02-PIS-PP	84	79	5	9
03-PIS-PP	84	78	6	10,35

Para o padrão R8-N e piso cerâmico, os valores simulados de $L'_{n,T}$, apresentaram espectros similares, com exceção da edificação 16 (Figura 4.44). Essa edificação possuía material resiliente entre a laje e o contrapiso. Desta forma os valores de L_n , obtidos através do laudo acústico do material, foram inseridos no programa (Apêndice E.2).

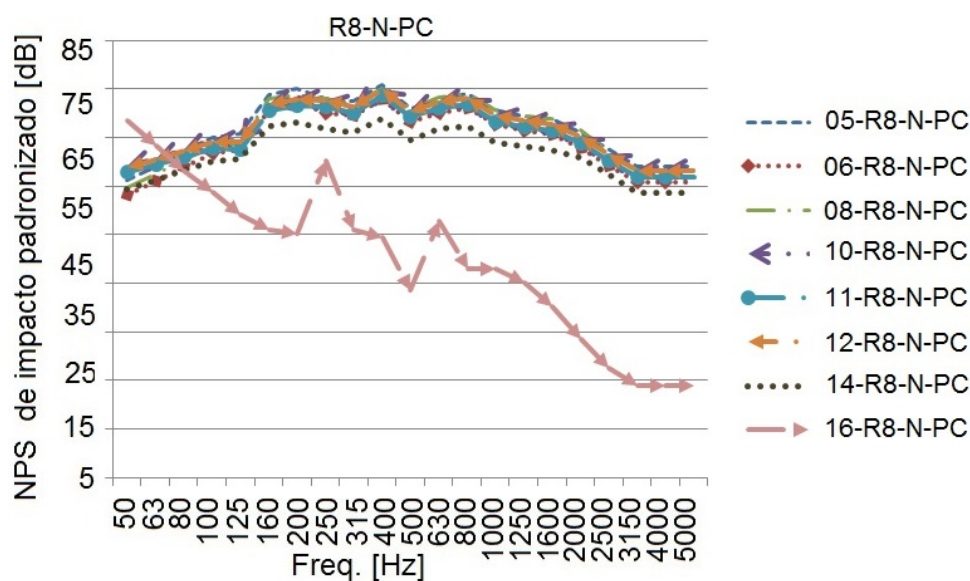


Figura 4.44.: $L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso cerâmico no padrão R8-N.

Apesar da inserção, no programa, do espectro da medição em laboratório de L_n do sistema de piso encontrado na edificação 16, os valores ponderados, medidos e simulados, apresentaram muita diferença, de 16 dB (Tabela 4.40). Essa diferença pode ser devido à má instalação do material resiliente no local da obra.

Tabela 4.40.: $L'_{n,T,w}$ medido e simulado do piso cerâmico, no padrão R8-N.

R8-N-PC				
Código	$L'_{n,T,w}$ * medido [dB]	$L'_{n,T,w}$ simulado [dB]	$\Delta L_{n,T,w}$ [dB]	Área part. [m ²]
05-R8-N-PC	72 dB	78 dB	-6 dB	11,1
06-R8-N-PC	72 dB	75 dB	-3 dB	28,60
08-R8-N-PC	78 dB	78 dB	0 dB	14,30
10-R8-N-PC	78 dB	77 dB	1 dB	10,95
11-R8-N-PC	73 dB	76 dB	-3 dB	18,63
12-R8-N-PC	79 dB	77 dB	2 dB	12,17
14-R8-N-PC	74 dB	68 dB	6 dB	34,74
16-R8-N-PC	65 dB	49 dB	16 dB	38,34

Novamente a área do sistema de piso influenciou nos valores de $L'_{n,T,w}$, desconsiderando a simulação 16-R8-N-PC, a qual possui soluções acústicas empregadas.

A medida que a área aumenta, os valores de $L'_{n,T,w}$ diminuem, conforme Tabela 4.40.

4.4.2.2 Piso laminado × padrão construtivo

Os resultados das simulações de $L'_{n,T}$ para o piso laminado, no padrão construtivo R8-N, apresentaram elevada transmissão sonora nas baixas frequências (Figura 4.45), o que nas medições *in loco*, não ocorreu (Figura 4.35). Os dados do piso laminado foram inseridos no programa, através dos valores de L_n , medidos no Laboratório de Acústica, da Universidade Federal de Santa Maria. Todavia, não é possível considerar as câmaras, do laboratório, como normalizadas, uma vez que não estão separadas da estrutura do prédio, nem possuem paredes com um material adequado. Dessa maneira, a probabilidade de aparecerem erros, principalmente nas baixas frequências, é maior.

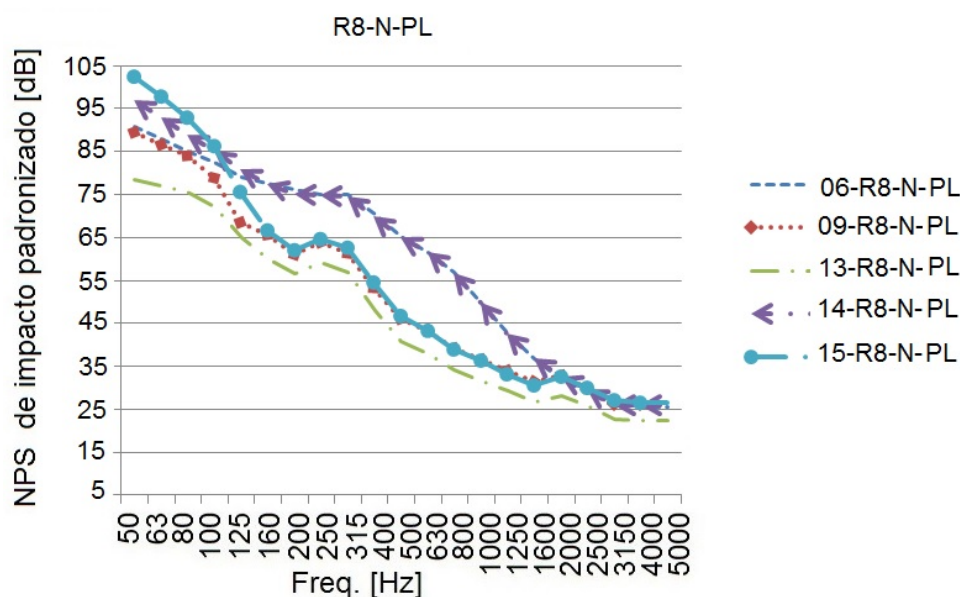


Figura 4.45.: $L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso laminado no padrão R8-N.

Os resultados ponderados $L'_{n,T,w}$, medidos e simulados, apresentaram diferenças significativas (Tabela 4.41). Na tentativa de aproximar os dados, foi marcada a opção, no programa, para adicionar um *floating floor* (FF), ou seja, adicionar as características de um piso flutuante ao sistema de piso, uma vez que o piso laminado é instalado, nas edificações, sobre um manta de polietileno expandido.

A consideração do piso flutuante apresentou pouca influência nos espectros das simulações (Figura 4.46), atenuando minimamente a transmissão sonora nas médias frequências, que podem ser melhor visualizadas no Apêndice E.4.

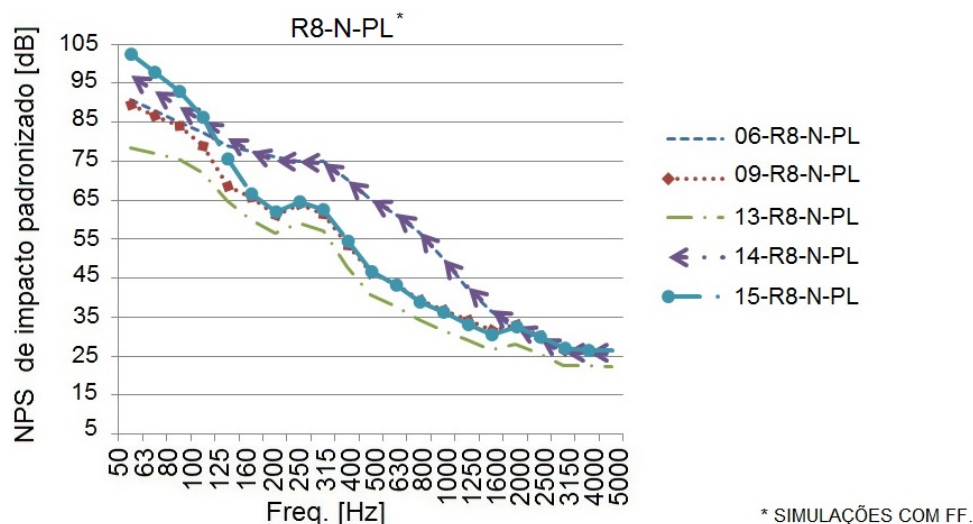


Figura 4.46.: $L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso laminado, com FF, no padrão R8-N.

Já os valores ponderados, reduziram significativamente, se aproximando dos valores medidos nas residências (Tabela 4.41). As áreas dos sistemas de piso também influenciaram nos valores de $L'_{n,T,w}$, uma vez que a maior área de 21,49 m² apresentou 56 dB para $L'_{n,T,w}$, enquanto que a menor área de 7 m² apresentou 63 dB, uma diferença de 7 dB.

Tabela 4.41.: $L'_{n,T,w}$ medido e simulado do piso laminado, no padrão R8-N.

Código	$L'_{n,T,w}$ [dB]					
	$L'_{n,T,w}$ med.	$L'_{n,T,w}$ sim.	$L'_{n,T,w}$ sim.*	$\Delta L_{n,T,w}$	$\Delta L_{n,T,w}^*$	Área part. [m ²]
06-R8-N-PL	59 dB	73 dB	62 dB	-14 dB	-3 dB	10,80
09-R8-N-PL	60 dB	72 dB	61 dB	-12 dB	-1 dB	9
13-R8-N-PL	62 dB	67 dB	56 dB	-5 dB	6 dB	21,49
14-R8-N-PL	58 dB	71 dB	60 dB	-13 dB	-2 dB	10,08
15-R8-N-PL	63 dB	73 dB	64 dB	-10 dB	-1 dB	9,99
18-R8-A-PL	59 dB	74 dB	63 dB	-15 dB	-4 dB	7

* com opção "floating floor".

Para o padrão R8-A com piso laminado, a Figura 4.47 apresenta espectro similar aos obtidos nas simulações do mesmo piso no padrão R8-N (Figura 4.45). E, dessa maneira, diferente dos espectros obtidos nas medições *in loco* da transmissão sonora ao ruído de impacto.

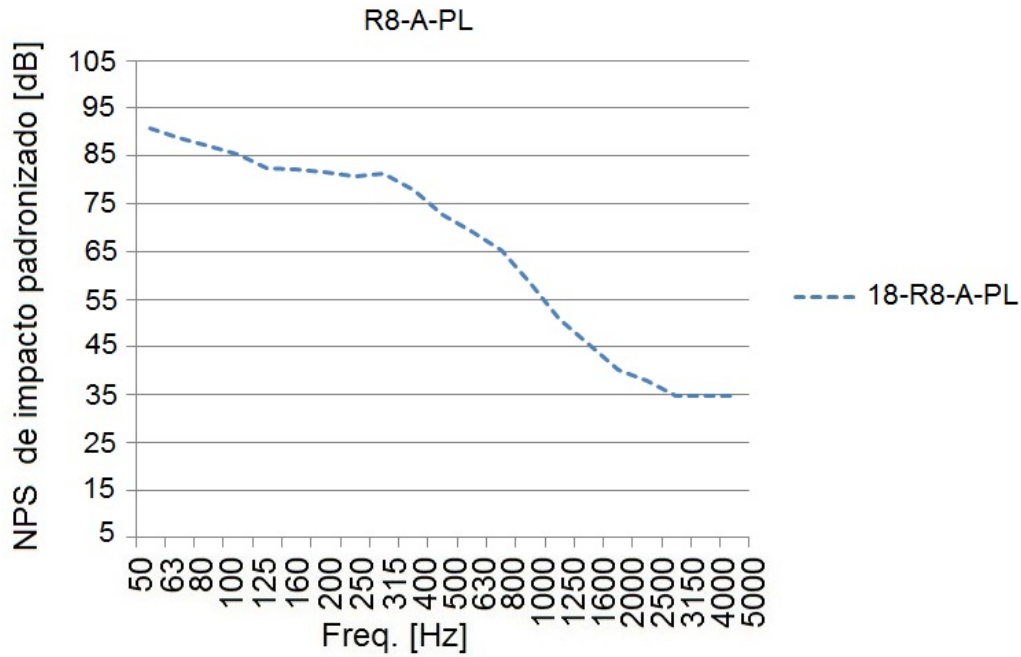


Figura 4.47.: $L'_{n,T}$ obtido da simulação da transmissão sonora do ruído de impacto considerando o piso laminado, sem FF, no padrão R8-A.

Com a opção do *floating floor*, os dados medidos e simulados se aproximaram, tendo uma diferença de 4 dB (Tabela 4.42).

Tabela 4.42.: Valores medidos de $L'_{n,T,w}$, piso cerâmico, no padrão PIS.

Código	$L'_{n,T,w}$ [dB]					Área part. [m ²]
	$L'_{n,T,w}$ med.	$L'_{n,T,w}$ sim.	$L'_{n,T,w}$ sim.*	$\Delta L_{n,T,w}$	$\Delta L_{n,T,w}^*$	
18-R8-A-PL	59 dB	74 dB	63 dB	-15 dB	-4	7

* com opção "*floating floor*".

4.5. Coeficientes e fatores de segurança

Para que o programa de simulação da transmissão sonora, SONarchitect, seja utilizado pelos profissionais, que desenvolvem os projetos acústicos, de uma forma segura, os valores simulados de $D_{n,T,w}$ e $L'_{n,T,w}$ devem estar o mais próximo possível dos valores medidos.

Visando aproximar os valores simulados dos medidos de $D_{n,T,w}$ e $L'_{n,T,w}$, foram determinados os coeficientes de segurança (CS) para cada combinação de padrão e sistema construtivo, a serem aplicados nos espectros das simulações.

Para a determinação dos coeficientes de segurança, os valores de $D_{n,T}$ e $L'_{n,T}$, por banda de frequência, medidos e simulados, foram transformados em p_{ef}^2 (Equação (4.2)).

$$p_{ef}^2 = p_0^2 (10^{L_p/10}) \text{ [Pa}^2\text{]} \quad (4.2)$$

sendo:

p_0 a pressão sonora eficaz de referência, em Pa;

L_p os NPS, aéreo ou de impacto, em dB, por cada banda de frequência.

Como os dados não seguem uma distribuição normal, que pode ser comprovado através dos testes de normalidade apresentado no Apêndice ??, foram obtidas as medianas dos valores de p_{ef}^2 , medidos e simulados, por banda de frequência.

Dessa maneira, o coeficiente de segurança consiste na razão entre as medianas de p_{ef}^2 medidas, em cada banda de frequência e medianas de p_{ef}^2 simuladas, em cada banda de frequência, a fim de ter um valor único representativo Equação (4.3).

$$CS = \frac{p_{ef,medido}^2}{p_{ef,simulado}^2} \quad (4.3)$$

sendo:

$p_{ef,medido}^2$ a mediana dos valores medidos de p_{ef}^2 em Pa², em cada banda de frequência;

$p_{ef,simulado}^2$ a mediana dos valores simulados de p_{ef}^2 em Pa², em cada banda de frequência.

Para que, os coeficientes de segurança, possam ser aplicados no espectros das simulações, o profissional precisará converter os valores obtidos em dB, para Pa², e após a multiplicação dos valores dos coeficientes de segurança em cada valor de Pa², por banda de frequência, converter os dados, da multiplicação, novamente para dB (Equação (4.4)).

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p_{ef}^{2*}}{p_0^2} \right) \text{ [dB]} \quad (4.4)$$

sendo: p_{ef}^{2*} a pressão sonora eficaz ao quadrado, em Pa², com o coeficiente de segurança aplicado.

Objetivando uma maneira mais prática, de aplicar essa correção aos valores simulados, foram determinados também os fatores de segurança (FS). Os fatores de segurança podem ser aplicados diretamente nos valores simulados em na escala logarítmica, através da adição desses valores em cada banda de frequência.

Para a determinação dos fatores de segurança, foram calculadas as médias logarítmicas de $D_{n,T}$ e $L'_{n,T}$, medidos e simulados, por banda de frequência, para cada combinação de sistema e padrão construtivo. E logo após, realizada a subtração desses valores (Equações 4.5 e 4.6).

$$FS = D_{n,T,medido} - D_{n,T,simulado} \text{ [dB]} \quad (4.5)$$

sendo:

$D_{n,T,medido}$ valor médio de $D_{n,T}$ medido, em cada banda de frequência;

$D_{n,T,simulado}$ valor médio de $D_{n,T}$ simulado, em cada banda de frequência.

$$FS = L'_{n,T,medido} - L'_{n,T,simulado} \text{ [dB]} \quad (4.6)$$

sendo:

$L'_{n,T,medido}$ valor médio de $L'_{n,T}$ medido, em cada banda de frequência;

$L'_{n,T,simulado}$ valor médio de $L'_{n,T}$ simulado, em cada banda de frequência.

4.5.1 Coeficiente de segurança - tijolo vazado \times padrão construtivo

Objetivando aproximar os valores simulados dos medidos de $D_{n,T}$, para o tijolo vazado (TV), foram determinados os coeficientes de segurança em cada banda de frequência, para cada sistema construtivo. Para os padrões PIS e R8-N, foram consideradas todas as medições e simulações. No padrão R8-A, a medição de número 17 foi descartada, devido ao mobiliário existente que influenciou consideravelmente nos valores de $D_{n,T}$ (Figura 4.24). Os resultados são apresentados na Tabela 4.43.

Tabela 4.43.: Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para tijolo vazado (TV) em cada padrão construtivo.

Freq. [Hz]	CS-PIS-TV	CS-R8-N-TV	CS-R8-A-TV
50	3,04	0,78	161,01
63	3,18	1,82	27,12
80	2,43	1,52	12,36
100	1,24	1,46	11,94
125	0,70	2,55	5,19
160	1,08	1,51	3,15
200	1,42	2,31	2,37
250	1,58	1,67	6,44
315	1,56	2,45	3,80
400	1,39	2,07	2,30
500	1,72	1,76	3,19
630	1,43	2,02	3,06
800	1,77	2,63	2,89
1000	1,65	2,87	2,01
1250	1,61	2,50	1,27
1600	1,88	1,77	0,97
2000	1,63	0,90	0,48
2500	1,44	0,52	0,09
3150	1,68	0,32	0,03
4000	2,18	0,27	0,05
5000	2,92	0,41	0,07

4.5.2 Coeficiente de segurança - bloco cerâmico no padrão R8-N

Foram determinados diferentes coeficientes de segurança para o bloco cerâmico no padrão R8-N, devido às duas tipologias diferentes encontradas nas residências, que influenciaram nos valores de $D_{n,T}$ e $D_{n,T,w}$. O CF-1 foi determinado considerando as medições 09 e 11, e o CF-2, as medições 10 e 12, e os resultados são apresentados na Tabela 4.44.

Tabela 4.44.: Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para bloco cerâmico (BCE), no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	CS-1-R8-N-BCE	CS-2-R8-N-BCE
50	4,50	3,01
63	2,27	5,33
80	0,56	6,80
100	1,82	4,38
125	0,89	1,35
160	0,24	1,63
200	1,42	1,49
250	1,12	2,03
315	1,06	1,13
400	0,62	1,12
500	1,28	1,22
630	0,92	1,46
800	1,78	0,62
1000	1,67	0,64
1250	0,78	0,95
1600	1,19	0,92
2000	1,09	0,24
2500	1,25	0,08
3150	1,65	0,08
4000	1,60	0,14
5000	2,73	0,58

4.5.3 Coeficientes de segurança - bloco de concreto no padrão R8-N

Foram determinados diferentes coeficientes de segurança para o bloco de concreto, no padrão R8-N, uma vez que as simulações foram realizadas com a parede de blocos de concreto, com e sem reboco. Os coeficientes apresentados na Tabela 4.45 foram determinados considerando a parede de blocos de concreto com reboco, e na Tabela 4.46, sem reboco.

Tabela 4.45.: Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), com reboco, no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	CS-R8-N-BCO
50	1,34
63	1,90
80	7,60
100	0,52
125	0,37
160	0,47
200	0,62
250	0,49
315	0,18
400	0,68
500	0,57
630	0,69
800	0,23
1000	0,19
1250	0,17
1600	0,08
2000	0,05
2500	0,02
3150	0,01
4000	0,01
5000	0,01

Tabela 4.46.: Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), sem reboco, no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	CS-R8-N-BCO
50	198,70
63	151,27
80	309,59
100	11,05
125	5,34
160	2,68
200	0,77
250	2,30
315	1,26
400	2,16
500	2,06
630	2,52
800	0,84
1000	0,99
1250	0,50
1600	0,43
2000	0,58
2500	0,20
3150	0,10
4000	0,10
5000	0,13

4.5.4 Coeficientes de segurança - piso cerâmico × padrão construtivo

Para a obtenção dos coeficientes de segurança, por banda de frequência, para o piso cerâmico no padrão R8-N, foram consideradas todas as simulações e medições, com exceção da edificação 16, que em função do material resiliente, apresentou valores de $L_{n,T}$ e $L_{n,T,w}$ muito diferentes dos valores encontrados nas demais edificações. Os resultados são apresentados na Tabela 4.47.

Tabela 4.47.: Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para piso cerâmico (PC) por padrão construtivo.

Freq. [Hz]	CS-PIS-PC	CS-R8-N-PC
50	0,23	0,41
63	0,09	0,43
80	0,51	1,17
100	0,24	0,26
125	0,33	0,14
160	0,04	0,03
200	0,03	0,05
250	0,12	0,12
315	0,26	0,14
400	0,14	0,04
500	0,74	0,21
630	0,49	0,17
800	0,22	0,06
1000	0,63	0,19
1250	1,12	0,21
1600	2,39	0,26
2000	5,28	0,41
2500	17,45	0,64
3150	35,92	0,60
4000	17,64	0,25
5000	7,14	0,12

4.5.5 Coeficiente de segurança - piso laminado no padrão R8-N

Para a determinação dos coeficientes de segurança, para o piso laminado, no padrão R8-N, foram consideradas todas as medições e simulações. Porém, como foram realizadas duas simulações diferentes, foram determinados os valores de CS-1 e CS-2, com e sem a opção "*floating floor*", respectivamente (Tabela 4.48).

Tabela 4.48.: Coeficientes de segurança, por banda de frequência, para piso laminado (PL) no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	CS-1-R8-N-PL	CS-2-R8-N-PL
50	0,00001	0,00007
63	0,00108	0,00461
80	0,00147	0,00466
100	0,01002	0,04176
125	0,04893	0,85033
160	0,03926	0,63674
200	0,12444	2,91718
250	0,16929	2,18084
315	0,16855	3,68749
400	0,37577	17,98554
500	0,60844	49,45617
630	0,27185	17,96113
800	0,29315	16,48527
1000	0,46061	9,62347
1250	1,77056	12,82655
1600	5,31742	18,86690
2000	5,80878	5,42107
2500	8,42292	8,04382
3150	6,49872	5,92690
4000	3,87363	3,53279
5000	1,39278	1,24132

4.5.6 Fator de segurança - tijolo vazado × padrão construtivo

Também visando aproximar os resultados simulados dos medidos, foram determinados os fatores de segurança. Com uma aplicação mais direta e prática, os fatores de segurança podem ser aplicados diretamente nos resultados simulados, sem que seja necessária a conversão para escala linear. Para a determinação dos fatores de segurança no caso do tijolo vazado nos padrões PIS e R8-N, foram consideradas todas as medições e simulações. Porém, no padrão R8-A, a edificação 17, foi descartada devido à influência do mobiliário nos valores de $D_{n,T}$ (Tabela 4.49).

Tabela 4.49.: Fatores de segurança, por banda de frequência, para tijolo vazado (TV) por padrão construtivo.

Freq. [Hz]	FS-PIS-TV	FS-R8-N-TV	FS-R8-A-TV
50	1,3 dB	14,6 dB	7,7 dB
63	5,7 dB	15,5 dB	0,4 dB
80	2,1 dB	11,2 dB	5,9 dB
100	-3,3 dB	4,8 dB	3,1 dB
125	-2,3 dB	7,3 dB	-0,7 dB
160	0,1 dB	4,1 dB	6,5 dB
200	3,5 dB	6,2 dB	4,2 dB
250	2,2 dB	4,3 dB	1,9 dB
315	2,9 dB	2,1 dB	3,4 dB
400	1,6 dB	2,2 dB	3,5 dB
500	3,2 dB	1,0 dB	1,4 dB
630	2,4 dB	1,2 dB	0,5 dB
800	3,7 dB	2,7 dB	0,6 dB
1000	3,8 dB	1,5 dB	0,4 dB
1250	3,3 dB	0,9 dB	-1,5 dB
1600	4,3 dB	-0,4 dB	-2,0 dB
2000	3,7 dB	-3,6 dB	-6,8 dB
2500	3,3 dB	-5,1 dB	-12,2 dB
3150	3,6 dB	-7,8 dB	-16,8 dB
4000	5,4 dB	-7,1 dB	-13,4 dB
5000	8,1 dB	-5,7 dB	-9,2 dB

4.5.7 Fatores de segurança para bloco cerâmico no padrão R8-N

Os valores dos fatores de segurança, por banda de frequência, para o bloco cerâmico, no padrão R8-N, foram obtidos considerando todas as medições e simulações. Como o *layout* nas plantas baixas das residências apresentavam duas tipologias bem definidas, com grande influência nos valores de $D_{n,T}$ e $D_{n,T,w}$, foram determinados diferentes fatores de segurança. Para os valores de FS-1, foram consideradas as medições 09 e 11; e para os valores de FS-2, as medições 10 e 12 (Tabela 4.50).

Tabela 4.50.: Fatores de segurança, por banda de frequência, para bloco cerâmico (BCE) no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	FS-1-R8-N-BCE	FS-2-R8-N-BCE
50	6,5 dB	4,8 dB
63	3,6 dB	7,3 dB
80	-2,5 dB	8,3 dB
100	2,6 dB	6,4 dB
125	-0,5 dB	1,3 dB
160	-6,2 dB	2,1 dB
200	1,5 dB	1,7 dB
250	0,5 dB	3,1 dB
315	0,2 dB	0,5 dB
400	-2,1 dB	0,5 dB
500	1,1 dB	0,9 dB
630	-0,3 dB	1,6 dB
800	2,5 dB	-2,1 dB
1000	2,2 dB	-1,9 dB
1250	-1,1 dB	-0,2 dB
1600	0,8 dB	-0,4 dB
2000	0,4 dB	-6,1 dB
2500	1,0 dB	-10,9 dB
3150	2,2 dB	-11,1 dB
4000	2,0 dB	-8,5 dB
5000	4,4 dB	-2,4 dB

4.5.8 Fatores de segurança para bloco de concreto no padrão R8-N

Para a determinação dos fatores de segurança, para bloco de concreto no padrão construtivo R8-N, foram consideradas todas as medições e simulações. Como foram realizadas medições com a parede de blocos de concreto, com e sem reboco, foram determinados fatores de segurança considerando as duas situações, separadamente. Os valores são apresentados nas Tabelas 4.51 e 4.52.

Tabela 4.51.: Fatores de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), com reboco, no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	FS-R8-N-BCO
50	1,35 dB
63	3,20 dB
80	7,63 dB
100	0,26 dB
125	-3,77 dB
160	-2,28 dB
200	-0,78 dB
250	-2,64 dB
315	-5,60 dB
400	-1,89 dB
500	-2,62 dB
630	-1,87 dB
800	-5,03 dB
1000	-7,63 dB
1250	-8,07 dB
1600	-11,64 dB
2000	-13,38 dB
2500	-13,49 dB
3150	-15,15 dB
4000	-14,51 dB
5000	-12,47 dB

Tabela 4.52.: Fatores de segurança, por banda de frequência, para bloco de concreto (BCO), sem reboco, no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	FS-R8-N-BCO
50	21,56 dB
63	20,60 dB
80	21,98 dB
100	11,76 dB
125	5,96 dB
160	3,39 dB
200	-1,67 dB
250	2,28 dB
315	1,12 dB
400	1,34 dB
500	1,19 dB
630	1,94 dB
800	-1,14 dB
1000	-2,30 dB
1250	-5,22 dB
1600	-6,18 dB
2000	-4,28 dB
2500	-5,65 dB
3150	-6,46 dB
4000	-5,82 dB
5000	-3,75 dB

4.5.9 Fatores de segurança - piso cerâmico x padrão construtivo

Para a determinação dos fatores de segurança, em cada banda de frequência, para o piso cerâmico no padrão PIS, foram consideradas todas as medições e simulações. Já para o padrão construtivo, R8-N, a edificação de número 16 foi descartada, uma vez que o material resiliente existente entre a laje e o contrapiso, influenciou significativamente nos valores medidos e simulados (Tabela 4.53).

Tabela 4.53.: Fatores de segurança, por banda de frequência, para piso cerâmico (PC) no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	FS-PIS-PC	FS-R8-N-PC
50	-6,3 dB	-4,6 dB
63	-10,4 dB	-3,7 dB
80	4,4 dB	7,8 dB
100	-7,8 dB	-3,0 dB
125	-6,6 dB	-4,8 dB
160	-13,7 dB	-13,8 dB
200	-15,3 dB	-12,2 dB
250	-7,3 dB	-6,4 dB
315	-6,2 dB	-7,3 dB
400	-10,4 dB	-12,6 dB
500	-3,3 dB	-5,5 dB
630	-4,5 dB	-5,2 dB
800	-6,8 dB	-9,9 dB
1000	-3,2 dB	-6,8 dB
1250	0,3 dB	-4,6 dB
1600	3,1 dB	-1,1 dB
2000	6,9 dB	0,4 dB
2500	12,2 dB	6,6 dB
3150	15,4 dB	5,2 dB
4000	12,4 dB	3,4 dB
5000	11,8 dB	7,8 dB

4.5.10 Fatores de segurança - piso laminado no padrão R8-N

Para a determinação dos fatores de segurança (FS) para o piso laminado no padrão R8-N, foram consideradas todas as medições e simulações. Porém, como foram realizadas duas simulações diferentes, foram determinados os valores de FS-1 e FS-2, com e sem a opção "*floating floor*", respectivamente (Tabela 4.54).

Tabela 4.54.: Fatores de segurança, por banda de frequência, para piso laminado (PL) no padrão R8-N.

Freq. [Hz]	FS-1-R8-N-PL	FS-2-R8-N-PL
50	-46,85 dB	-46,41 dB
63	-27,88 dB	-27,38 dB
80	-29,80 dB	-29,23 dB
100	-18,71 dB	-16,64 dB
125	-12,42 dB	-8,96 dB
160	-12,66 dB	-7,89 dB
200	-8,05 dB	-2,41 dB
250	-9,79 dB	-4,10 dB
315	-7,83 dB	-2,15 dB
400	-5,27 dB	0,17 dB
500	-2,94 dB	3,32 dB
630	-6,76 dB	-0,29 dB
800	-6,35 dB	0,53 dB
1000	-2,81 dB	3,43 dB
1250	2,17 dB	7,68 dB
1600	5,87 dB	10,23 dB
2000	5,66 dB	6,62 dB
2500	7,00 dB	7,83 dB
3150	11,14 dB	11,21 dB
4000	14,25 dB	14,20 dB
5000	12,00 dB	11,92 dB

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa foi constituída por diferentes etapas, tais como: aplicação de questionários, medições em laboratório do ruído de impacto, medição *in loco* e simulações da transmissão sonora aos ruídos aéreo e de impacto. Dessa maneira, foi possível obter dados com os diferentes tipos de pesquisa.

Através da aplicação de questionários com os profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil, foi possível descobrir quais os principais métodos e ferramentas utilizados por eles na elaboração desses projetos, os quais são representados pelas planilhas de cálculos, com 27,48%; pesquisa na literatura, com 26,37% e banco de dados com as principais soluções acústicas, com 25,27%, mostrando dessa maneira, um equilíbrio entre essas ferramentas. A utilização de *software* de simulação apareceu em 4º lugar, com 20,88%, mas de qualquer forma, se mostrou expressiva entre os profissionais que responderam à pesquisa.

Esses profissionais são graduados principalmente em Arquitetura ou Engenharias, englobando Engenharia Civil, Mecânica, Elétrica, e de Produção. A formação desses profissionais é relativamente recente, com a maior concentração de profissionais formados entre 2002 e 2012. Em relação ao nível de escolaridade, a maioria possui algum curso de pós graduação, sendo que 25,81% possuem especialização; 35,48% possuem mestrado e 35,48% possuem doutorado. Além de obter informações de que os profissionais já estavam elaborando projetos de acordo com NBR 15575:2013, na época em que os questionários foram aplicados.

A etapa da pesquisa realizada no Laboratório de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, através de medições do nível de pressão sonora de impacto objetivou determinar o material mais adequado para ser utilizado como proteção do piso nas medições *in loco* ao ruído de impacto. Os materiais medidos foram a capa plástica, o feltro, o TNT e o polipropileno, com uma, duas, três e quatro camadas do material sobre

os pisos cerâmico e laminado. O feltro foi determinado como o material mais adequado devido à boa capacidade de proteção do material ao piso, junto a uma alteração quase nula do espectro de $L_{n,T}$ nas baixas frequências¹ e uma alteração razoável nas médias e altas frequências. A partir disso, foram determinados diferentes coeficientes de correção, por banda de frequência, a serem aplicados nos espectros das medições a fim de retirar a influência de uma camada do feltro nos pisos cerâmico e laminado.

Para a etapa das medições in loco, as residências foram selecionadas de acordo com os sistemas construtivos, tais como: paredes com tijolo vazado, bloco de concreto ou bloco cerâmico; lajes maciças de concreto com pisos laminado ou cerâmico; e padrões construtivos baixo (PIS), normal (R8-N) e alto (R8-A), totalizando 20 residências.

Nas medições da transmissão sonora ao ruído aéreo considerando a parede de tijolo vazado, nos três diferentes padrões construtivos, o padrão mais baixo (PIS) apresentou os menores valores de $D_{n,T}$ e $D_{n,T,w}$, representando um menor isolamento no sistema de vedação. Já os padrões normal (R8-N) e alto (R8-A) apresentaram valores similares de $D_{n,T}$ e $D_{n,T,w}$. Essa diferença no desempenho ao ruído aéreo entre os padrões construtivos, pode ser justificado pela tipologia das plantas desses apartamentos, as quais apresentam dormitórios e salas de estar mais setorizados nos padrões normal e alto, em comparação ao padrão baixo.

Em relação ao bloco cerâmico no padrão normal, os desempenhos ao ruído aéreo apresentaram dois comportamentos espectrais bem definidos, que também pode ser justificado pela tipologia das plantas, apresentando uma maior ou menor setorização do ambiente emissor.

As medições da transmissão sonora ao ruído aéreo nas paredes com bloco de concreto seguiram comportamentos espectrais similares, e apresentaram maiores valores de $D_{n,T,w}$ em relação aos demais sistemas construtivos.

Nas medições da transmissão sonora o ruído de impacto realizados no piso cerâmico, o padrão PIS apresentou os maiores valores de $L'_{n,T}$, com grande transmissão sonora nas altas frequências e $L'_{n,T,w}$, em comparação ao padrão R8-N. No padrão R8-A, foi obtida apenas uma medição com piso cerâmico que possuía soluções acústicas empregadas, não podendo portanto ser comparada às demais.

As medições da transmissão sonora ao ruído de impacto do piso laminado foram

¹De acordo com a classificação adotada [11], considerar as baixas frequências de 50-200 Hz, as médias de 250-1000 Hz e as altas de 1250-5000 Hz.

realizadas apenas nos padrões R8-N e R8-A, os quais apresentaram valores similares de $L'_{n,T}$ e $L'_{n,T,w}$. No padrão PIS não foi encontrado esse tipo de piso.

Através da comparação dos dados da perda de transmissão aérea e transmissão do ruído de impacto medidos e simulados, foi possível concluir que o programa de simulação da perda de transmissão, SONarchitect, possui bom desempenho, referente aos valores ponderados de $D_{n,T,w}$ e $L'_{n,T,w}$. Porém, os valores simulados de $D_{n,T}$ e $L'_{n,T}$ apresentam algumas diferenças em relação aos medidos, principalmente nas baixas frequências. É válido também destacar que a eficácia do programa quanto à simulação da transmissão sonora depende da correta inserção dos dados de entrada.

As diferenças entre os valores medidos e simulados de $D_{n,T}$, para tijolo vazado no padrão PIS foram pequenas. Já no padrão R8-N, as maiores diferenças ocorreram nas baixas frequências, e no padrão R8-A, nas altas frequências.

Em relação às diferenças entre os valores ponderados, de $D_{n,T,w}$, medidos e simulados, para o padrão PIS também foram pequenas, variando entre 0 a 5 dB. No padrão R8-N, as diferenças variaram de -5 a 3 dB. E o padrão R8-A, apresentou pouca diferença de no máximo de 3 dB, com exceção da medição/simulação 17-R8-N-TV que foi desconsiderada em função do mobiliário existente.

Para o bloco cerâmico, as diferenças entre os valores medidos e simulados de $D_{n,T}$ foram pequenas. Os valores ponderados, $D_{n,T,w}$, medidos e simulados, apresentaram diferença máxima de 2 dB.

No bloco de concreto, foram realizados dois tipos de simulação, considerando a parede com e sem reboco. Através da análise dos dados obtidos da simulação da parede sem reboco com o valores medidos e simulados de $D_{n,T}$ apresentaram grande diferença, principalmente nas baixas frequências. Em contrapartida, os valores de $D_{n,T,w}$ medidos e simulados foram similares, com diferença máxima de 6 dB. Considerando as simulações com a parede rebocada, os valores medidos e simulados de $D_{n,T}$ apresentaram grandes diferenças, principalmente nas altas frequências. Assim como os valores ponderados medidos e simulados, $D_{n,T,w}$, com diferenças de até 10 dB.

As maiores diferenças encontradas foram na comparação das medições e simulações ao ruído de impacto, no pisos cerâmico e laminado, tanto nos valores de $L'_{n,T}$ e $L'_{n,T,w}$. Isso pode ser devido à utilização do feltro como material de proteção e à aplicação do coeficiente de correção para a retirada da influência desse material, que aumenta o erro.

Além disso, as áreas das partições simuladas influenciam diretamente nos valores de isolamento sonoro. Foram realizadas simulações dentro de uma mesma edificação, em diferentes ambientes, e aquelas com área maior, apresentaram um menor valor de $L'_{n,T,w}$, mesmo com a utilização de sistemas construtivos iguais.

E por fim, a grande contribuição do presente trabalho foi de determinar coeficientes e fatores de segurança para serem aplicados nos espectros simulados, em combinações de sistemas e padrões construtivos apresentados no estudo, de forma que a ferramenta de simulação possa ser utilizada com confiança na fase de projeto.

Referências Bibliográficas

- [1] PAUL, S. *O ruído, as vibrações e o ser humano*. Apostila EAC UFSM. Santa Maria, 2011.
(Citado na página 41)
- [2] LONG, M. *Architectural acoustics*. Elsevier Inc., 2006.
(Citado nas páginas 41, 46 e 48)
- [3] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho.
(Citado nas páginas 41, 42, 52, 53, 54 e 55)
- [4] VERGARA, F.; PAUL, S. Introducing the Brazilian standard NBR 15575 regarding the acoustical requirements, criteria and assessment methods for residential dwellings. *In: Fortschritte der Akustik 2011, Duesseldorf, Alemanha*, 2011.
(Citado nas páginas 42, 52 e 53)
- [5] BECKER, R. Research and development needs for better implementation of performance concept in building. *Automation in Construction*, 8:525–532, 1999.
(Citado na página 42)
- [6] EUROPEAN NORM - EN 12354-2 - Building acoustics. Estimation of acoustic performance in buildings from the performance of elements.
(Citado nas páginas 42, 66 e 310)
- [7] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15575-1:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.
(Citado na página 43)
- [8] BERANEK, L. L. *Noise and vibration control engineering - Principles and application*. New York: McGraw-Hill, 1960.
(Citado na página 45)

- [9] MÉNDEZ, A. M. *Acustica Arquitectonica*. Buenos Aires: UMSA, 1994.
(Citado na página 47)
- [10] BISTAFA, S. R. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
(Citado nas páginas 47 e 48)
- [11] HOPKINS, C. *Sound Insulation*. Elsevier Inc., 2007.
(Citado nas páginas 47, 48, 107, 108 e 166)
- [12] LLINARES, J.; LLOPIS, A.; SANCHO, J. *Acustica - arquitectonica y urbanistica*. Universidad Politecnica de Valencia, 1996.
(Citado nas páginas 50 e 51)
- [13] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10151:2003 - acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento.
(Citado na página 52)
- [14] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico - Procedimento.
(Citado na página 52)
- [15] ISO 140: 1998 - Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. All parts.
(Citado nas páginas 53, 55, 56, 59, 64, 86 e 92)
- [16] ISO 10052:2004 - Acoustics - Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound - Survey method.
(Citado na página 53)
- [17] ISO 10140:2010 - Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements.
(Citado nas páginas 53, 55 e 64)
- [18] ISO 717:1996 - Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements. All parts.
(Citado nas páginas 17, 53, 55, 64, 65 e 78)
- [19] ISO 3382-2:2008 - Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
(Citado na página 55)

- [20] ISO 354:2003 - Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room.
(Citado na página 55)
- [21] PINTO, R. B. Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações. Master's thesis, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2011.
(Citado nas páginas 65 e 317)
- [22] GERRETSEN, E. Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. *Fortschritte der Akustik*, 2003.
(Citado na página 66)
- [23] FERREIRA, J. A. C. Avaliação acústica de residências: resultados medidos e simulados. Master's thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba., 2004.
(Citado na página 66)
- [24] RINDEL, J. The use of computer modeling in room acoustics. *Journal of Vibroengineering*, 2000.
(Citado na página 66)
- [25] BRADLEY, D. WANG, L. Comparison of measured and computer-modeled objective parameters for an existing coupled volume concert hall. *Building Acoustics, Multi-Science*, 2007.
(Citado na página 66)
- [26] MELO, V. et al. Aperfeiçoamento do software raios para simulação numérica de acústica de salas com inclusão de modelo modal para baixas frequências. *Acústica e Vibrações*, 38, 2007.
(Citado na página 66)
- [27] WANG, L.; VIGEANT, M. Evaluations of output from room acoustic computer modeling and auralization due to different sound source directionalities. *Applied Acoustics*, 69, 2008.
(Citado na página 66)
- [28] MARROS, F.; PAUL, S.; VERGARA, E. F. M. Avaliação da confiabilidade de um modelo computacional. In *In: Semana Acadêmica da UFSM, Santa Maria*., 2010.
(Citado na página 66)

- [29] PASSERO, C. R. M. *Avaliação e adequação acústica de escritórios panorâmicos através de medições e simulações*. PhD thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba., 2009.
(Citado na página 66)
- [30] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12721:2006 - Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios e outras disposições para condomínios edilícios.
(Citado nas páginas 83, 84, 85 e 122)
- [31] MORISHITA, C.; SORGATO, J. M.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. *Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas*. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações., 2010.
(Citado nas páginas 123 e 130)
- [32] *SOUND OF NUMBERS. SONarchitect User Manual – Pontevedra, 2012.*
(Citado nas páginas 310, 311, 312, 313, 314, 315 e 316)
- [33] SANTOS, J. L. P. *Isolamento sonoro de partições arquitetônica*. Editora UFSM, 2012.
(Citado nas páginas 318 e 321)
- [34] CARVALHO, M. L.; OLIVEIRA, A. B.; MACIEL, C.; CALIXTO, R. J. Laboratory measurements of sound insulation of comercial doors. *19 International Congress of Mechanical Engineering*, pages 5–9, 2007.
(Citado na página 322)

APÊNDICES

A Entrevistas

Nesse Apêndice serão apresentados: o roteiro utilizado nas entrevistas, as respostas das entrevistas, o questionário piloto, a carta de apresentação, publicação em site como forma de incentivo à divulgação da pesquisa e o questionário final na íntegra.

A.1. Roteiro para entrevistas semi-estruturadas

Roteiro de entrevista:

1. Qual o seu curso de graduação?
2. Qual o ano de conclusão do curso de graduação?
3. Possui pós-graduação? Caso afirmativo, especifique o curso e ano de conclusão.
4. O seu curso de graduação abordou temas referentes à acústica? De que maneira?
5. Caso tenha feito algum curso de aperfeiçoamento, atualização, especialização ou mestrado/doutorado, temas referentes à acústica foram abordados?
6. Quando surgiu o interesse pela acústica?
7. Em que ano começou a trabalhar com projetos acústicos?
8. Qual o foco dos projetos de isolamento sonoro realizados pelo escritório? Residencial, comercial, hospitalar, casas noturnas?

9. Qual a quantidade de projetos acústicos que entram no escritório por mês?
10. No caso específico de residências, quais são os motivos pelos quais os clientes pedem projetos de isolamento acústico?
11. Quais métodos/ferramentas você utiliza para o desenvolvimento dos projetos de isolamento sonoro?
12. Quais os principais problemas encontrados na realização dos projetos de isolamento acústico?
13. Possui conhecimento de programas computacionais que simulam a transmissão sonora?
14. Em caso afirmativo, especifique quais programas.
15. Utiliza no desenvolvimento dos projetos?
16. Teria interesse em utilizar ferramentas de simulação nas edificações para o desenvolvimento desses projetos?
17. O valor desses programas é relevante para a aquisição dos mesmos?
18. Possui conhecimento sobre a NBR 15575 – Edificações habitacionais - Desempenho - que entra em vigor dia 19 de julho de 2013?
19. De que maneira o escritório está se preparando para a entrada em vigor da norma em 19 de julho de 2013 com relação aos critérios acústicos?

A.2. Resultados das entrevistas

A.2.1 Entrevista n.01

Entrevista n.01

1. Qual o seu curso de graduação? Arquitetura e Urbanismo.
2. Qual o ano de conclusão do curso de graduação? 1982
3. Possui pós-graduação? Caso afirmativo, especifique o curso e ano de conclusão. Curso de aperfeiçoamento em paisagismo e meio ambiente, em 1993. Curso de especialização em Arquitetura Hospitalar, em 2001. Mestrado em Engenharia Civil, na área de Conforto Ambiental Acústico, em 2009.
4. O seu curso de graduação abordou temas referentes à acústica? De que maneira? Não, apenas conforto térmico e lumínico.
5. Caso tenha feito algum curso de aperfeiçoamento, atualização, especialização ou mestrado/doutorado, temas referentes à acústica foram abordados? Sim, foi no curso de aperfeiçoamento que surgiu interesse pela acústica pois foram abordados temas como o uso da vegetação como barreira acústica e os impactos do ruído no meio ambiente. No curso de especialização foi muito abordada a importância da acústica principalmente nas áreas de psicologia e psiquiatria e aprofundado com projetos de acústica na disciplina de Conforto Acústico em Hospitais.
6. Quando surgiu o interesse pela acústica? (respondeu no item 02)
7. Em que ano começou a trabalhar com projetos acústicos? 2008.
8. Qual o foco dos projetos de isolamento sonoro realizados pelo escritório? Residencial, comercial, hospitalar, casas noturnas? Bares, salões de eventos e casas noturnas tanto para projetos de isolamento, como para emissão de laudos acústicos.

9. Qual a quantidade de projetos acústicos que entram no escritório por mês? Com o acontecimento da Kiss em janeiro, a quantidade cresceu muito, principalmente de laudos acústicos. Daria para fazer uma média de pelo menos 04 projetos e laudos por mês.
10. No caso específico de residências, quais são os motivos pelos quais os clientes pedem projetos de isolamento acústico? Ruído proveniente da rua, e de vizinhos de outros andares, levando a especificação de esquadrias e pisos flutuantes.
11. Quais métodos/ferramentas você utiliza para o desenvolvimento dos projetos de isolamento sonoro? Primeiramente é feita uma análise do projeto arquitetônico, depois são realizadas as medições dentro e fora do estabelecimento, pois os projetos de isolamento foram até hoje realizados em locais existentes. No caso das casas noturnas, tanto para emissão de laudo como para a realização de projetos de isolamento acústico, são realizadas medições em situação real, com banda tocando e, se possível, com o público no local. Depois é feita uma consulta na bibliografia e em estudos já realizados para a especificação na fase de projeto, a empresa tem também um banco de dados com as principais soluções.
12. Quais os principais problemas encontrados na realização dos projetos de isolamento acústico? O custo do projeto acústico, tanto dos honorários profissionais como dos materiais. Os clientes não querem investir tanto nisso. Só investem depois que passam por situação complicada. Além disso, dificuldade com os horários de medição quando se trata de casas noturnas. Estamos fazendo isso com uma em Santa Maria, temos que ir em 04 finais de semana no local à 1:30 da manhã fazer as medições.
13. Possui conhecimento de programas computacionais que simulam a transmissão sonora? Não.
14. Em caso afirmativo, especifique quais programas. (Respondido no item 11).
15. Utiliza no desenvolvimento dos projetos? (Respondido no item 11).
16. Teria interesse em utilizar ferramentas de simulação nas edificações para o desenvolvimento desses projetos? Com certeza.

-
17. O valor desses programas é relevante para a aquisição dos mesmos? Sim, com a atual demanda não teria como adquirir esses programas.
 18. Possui conhecimento sobre a NBR 15575 – Edificações habitacionais - Desempenho - que entra em vigor dia 19 de julho de 2013? Sim.
 19. De que maneira o escritório está se preparando para a entrada em vigor da norma em 19 de julho de 2013 com relação aos critérios acústicos? Ainda não me aprofundei muito na norma.

A.2.2 Entrevista n.02

Entrevista n.02

1. Qual o seu curso de graduação? Arquitetura e Urbanismo.
2. Qual o ano de conclusão do curso de graduação? 2004
3. Possui pós-graduação? Caso afirmativo, especifique o curso e ano de conclusão.
Mestrado em Engenharia Civil - Conforto Ambiental Acústico, em 2008.
4. O seu curso de graduação abordou temas referentes à acústica? De que maneira?
Sim, na verdade eu me interessei pela acústica porque eu tive aula com o professor Pizzutti, tinha gostado da disciplina, participei em um dos projetos de um orientada dele, ajudamos a coletar e carregar mil garrafas PET, colocar no laboratório e participamos dos ensaios, meio mão de obra mas foi legal para aprender.
5. Caso tenha feito algum curso de aperfeiçoamento, atualização, especialização ou mestrado/doutorado, temas referentes à acústica foram abordados? Sim, no mestrado.
6. Quando surgiu o interesse pela acústica? Na graduação, mas quando entrei no mestrado ainda estava em dúvida entre a térmica e a acústica. Primeiro fiz a disciplina de térmica e depois de acústica e achei a de térmica relativamente fácil comparada com a acústica. Aí pensei que como queria trabalhar nessa área foquei no que era mais difícil.
7. Em que ano começou a trabalhar com projetos acústicos? Desde 2008, os primeiros laudos e medições foram realizados durante o mestrado.
8. Qual o foco dos projetos de isolamento sonoro realizados pelo escritório? Residencial, comercial, hospitalar, casas noturnas? Casas noturnas, restaurantes, bares, locais para festas, porque a gente faz também o estudo de impacto de vizinhança. O problema é que a NBR 10151 deixa muita brecha para as medições. Por exemplo, se a gente faz uma medição durante a semana, coloca um som mecânico na boate e faz a medição dentro da casa do vizinho, o valor geralmente é menor do que quando

voltamos no final de semana, antes da boate abrir, em função do ruído da rua. Claro que o movimento aumenta por causa da boate, mas é complicado. Para residências a gente nunca fez, para não dizer que nunca fizemos, uma residência já foi aprovada na prefeitura com esquadrias com vidros duplos, parede dupla, piso flutuante e agora estamos orçando esses itens, ainda não temos os valores finais, então não sabemos se os clientes irão fazer realmente. Já orçamos algumas residências principalmente em ruas mais ruidosas, mas os clientes acabam não fechando. A questão é que os estabelecimentos comerciais que dependem de laudos acústicos acabam chamando a gente e se adaptando, mas residências onde não é obrigatório é mais difícil. Se para o projeto arquitetônico ainda estamos desmistificando a ideia de que não é tão caro, quer dizer, não é barato, claro, mas tem valor agregado, o cliente está se conscientizando de que está pagando pela qualidade. Para que aconteça a mesma coisa com a acústica vai demorar mais um bom tempo.

9. Qual a quantidade de projetos acústicos que entram no escritório por mês? Não, por mês não, é por ano. Na verdade, também realizamos muitos projetos em parceria com um escritório aqui de Santa Maria, que participa bastante de projetos por licitações no Brasil, onde a gente desenvolve os projetos acústicos para essa empresa. No fim a gente realiza mais projetos acústicos através dessa parceria do que com clientes aqui de Santa Maria.
10. No caso específico de residências, quais são os motivos pelos quais os clientes pedem projetos de isolamento acústico? Ruído proveniente da rua, principalmente.
11. Quais métodos/ferramentas você utiliza para o desenvolvimento dos projetos de isolamento sonoro? Buscamos muitas informações na bibliografia e em estudos já realizados, principalmente na UFSM, tenho muitas dissertações onde me baseio.
12. Quais os principais problemas encontrados na realização dos projetos de isolamento acústico? Para tratamento, o principal problema é o tempo de reverberação, já no caso de isolamento é o custo dos materiais para isolamento, o cliente se apavora. Mas é aquela coisa, tem que acabar com essa ideia de que é barato abrir um bar/boate, não é assim, o investimento tem que ser pesado. E agora os Bombeiros não estão nem mais aceitando a espuma tratada com retardamento a chamas, tem que ser material incombustível.

13. Possui conhecimento de programas computacionais que simulam a transmissão sonora? Não.
14. Em caso afirmativo, especifique quais programas. (Respondido pelo item 11).
15. Utiliza no desenvolvimento dos projetos? (Respondido pelo item 11).
16. Teria interesse em utilizar ferramentas de simulação nas edificações para o desenvolvimento desses projetos? Teria, se o preço não fosse tão alto.
17. O valor desses programas é relevante para a aquisição dos mesmos?
18. Possui conhecimento sobre a NBR 15575 – Edificações habitacionais - Desempenho - que entra em vigor dia 19 de julho de 2013? Eu não li ainda a norma depois das alterações, mas os valores encontrados na primeira versão eram ridículos. Principalmente ao ruído de impacto, o mínimo era 80dB e a pior laje que eu medi já era menor que 80dB. Então uma norma que não traça o desempenho mínimo com um valor que obrigue o pior construtor a mudar o seu padrão, não adianta nada. Teve até uma obra que eu acompanhei desde o início, consegui medir a laje crua, depois com contrapiso e com piso flutuante. Os desempenhos estavam muito parecidos e muito baixos. Então eu tentar descobrir o que estava acontecendo e na verdade eles colocaram o material resiliente sem subir na parede, o contrapiso encostou na alvenaria. Então não adiantou a boa vontade do construtor mas não teve um bom suporte técnico. Tem outro construtor para o qual eu realizo projetos arquitetônicos que ele utiliza o contrapiso com agregado leve como uma maneira de amenizar, mas nunca utilizou com piso flutuante.
19. De que maneira o escritório está se preparando para a entrada em vigor da norma em 19 de julho de 2013 com relação aos critérios acústicos? (Respondido pelo item 13).

A.3. Entrevista n.03

Entrevista n.03

1. Qual o seu curso de graduação? Engenharia Civil.
2. Qual o ano de conclusão do curso de graduação? 2007
3. Possui pós-graduação? Caso afirmativo, especifique o curso e ano de conclusão. Comecei o mestrado em Engenharia Civil - Conforto Ambiental Acústico, em 2008 porém não acabei não finalizando.
4. O seu curso de graduação abordou temas referentes à acústica? De que maneira? Sim, mas muito pouco. Cheguei a ter um contato com o tema na disciplina do professor Jorge Pizzutti.
5. Caso tenha feito algum curso de aperfeiçoamento, atualização, especialização ou mestrado/doutorado, temas referentes à acústica foram abordados? (Respondido no início da entrevista).
6. Quando surgiu o interesse pela acústica? Na graduação, durante o 3º semestre quando conheci o laboratório e comecei a participar como bolsista do CNPQ de um grupo de pesquisa.
7. Em que ano começou a trabalhar com projetos acústicos? Desde 2008, quando entrei para a empresa Confortotal.
8. Qual o foco dos projetos de isolamento sonoro realizados pelo escritório? Residencial, comercial, hospitalar, casas noturnas? Principalmente bares e casas noturnas, com foco em laudos acústicos. Com relação aos projetos a demanda é menor.
9. Qual a quantidade de projetos acústicos que entram no escritório por mês? Tem épocas que não tem nada e outras que surgem uns 6 no mesmo mês. Dá para fazer uma média de 1 por mês, mas são principalmente laudos acústicos.
10. No caso específico de residências, quais são os motivos pelos quais os clientes pedem projetos de isolamento acústico? Cheguei a fazer tratamento em salas de televisão/home theater, isolamento nunca foi realizado.

11. Quais métodos/ferramentas você utiliza para o desenvolvimento dos projetos de isolamento sonoro? No início utilizávamos um software gratuito mas não era muito confiável, além de ser muito ruim para simular. Atualmente consultamos planilhas, temos um banco de dados no excel obtido na UFSM e também buscamos informações na bibliografia.
12. Quais os principais problemas encontrados na realização dos projetos de isolamento acústico? Os clientes não valorizam o projeto acústico, não tem a noção de quanto custa e quando recebem os orçamentos desistem de fazer e acabam não querendo pagar os honorários do profissional. Também, a questão da necessidade de medições em casas noturnas e assemelhados durante a madrugada. Além do incomodo de entrar nas casas das pessoas, muitas ficam desconfiadas achando que os laudos podem ser tendenciosos quando envolve denúncias.
13. Possui conhecimento de programas computacionais que simulam a transmissão sonora? Sim.
14. Em caso afirmativo, especifique quais programas. O software Db Bati vem junto com o medidor de NPS (Blue Solo) que compramos para as medições.
15. Utiliza no desenvolvimento dos projetos? Não pois a simulação é mais para laboratório, utilizei bastante no período do mestrado mas agora não mais.
16. Teria interesse em utilizar ferramentas de simulação nas edificações para o desenvolvimento desses projetos? Sim, ainda mais depois da NBR 15575. Pretendo inclusive fazer algum curso, essa empresa do equipamento (01 dB Metravib) que temos no escritório possui um software de simulação e o curso.
17. O valor desses programas é relevante para a aquisição dos mesmos? Sim.
18. Possui conhecimento sobre a NBR 15575 – Edificações habitacionais - Desempenho - que entra em vigor dia 19 de julho de 2013? Sim.
19. De que maneira o escritório está se preparando para a entrada em vigor da norma em 19 de julho de 2013 com relação aos critérios acústicos? Já dei uma lida na norma mas preciso me aprofundar melhor. Pretendemos também comprar os equipamentos para as medições na emissão dos laudos, pois apenas a fonte não será mais permitido.

Além disso, de repente comprar algum software de simulação, sou mais eu que penso nisso, não foi algo discutido ainda entre os sócios.

A.4. Questionário piloto

Realidade profissional dos projetos acústicos no Brasil

***1. Formação**

Curso de Graduação	<input type="text"/>
Ano de Conclusão	<input type="text"/>
Instituição	<input type="text"/>
Curso de Especialização	<input type="text"/>
Ano de Conclusão	<input type="text"/>
Instituição	<input type="text"/>
Mestrado	<input type="text"/>
Ano de Conclusão	<input type="text"/>
Instituição	<input type="text"/>
Doutorado	<input type="text"/>
Ano de Conclusão	<input type="text"/>
Instituição	<input type="text"/>
Outra Formação	<input type="text"/>

***2. Você ou sua empresa realiza projetos de isolamento sonoro?**

Sim

Não

3. Em caso afirmativo, quais áreas apresentam maior demanda?

Hospitalar

Comercial

Residencial

Industrial

Serviços (casas noturnas, bares, salões de eventos, etc)

Outro (especifique)

Figura A.1.: Perguntas questionário piloto em formato eletrônico - Parte I.

Site: <https://pt.surveymonkey.com/s/2GJ2M3Z>

***9. Na sua opinião, qual o valor aproximado dos programas de simulação de transmissão sonora?**

- Entre R\$ 1.000,00 e R\$ 5.000,00
- Entre R\$ 5.001,00 e R\$ 10.000,00
- Entre R\$ 10.001,00 e R\$ 15.000,00
- Entre R\$ 15.001,00 e R\$ 20.001,00
- Entre R\$ 20.001,00 e R\$ 25.000,00

***10. Qual o valor máximo que você estaria disposto a pagar pela licença de um programa computacional de transmissão sonora?**

Concluído

[Ativados pela SurveyMonkey](#)
Crie seus próprios questionários online gratuitos agora!

Figura A.3.: Perguntas questionário piloto em formato eletrônico - Parte III.

Site: <https://pt.surveymonkey.com/s/2GJ2M3Z>

B Questionário final

B.1. Carta de apresentação

Questionário - Realidade dos profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil

Através da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, sob orientação do prof. Stephan Paul, uma pesquisa está sendo realizada junto aos principais profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil. Visando obter maiores informações sobre a realidade na qual os profissionais realizam esses projetos, um questionário sobre o tema foi elaborado.

Caso queira contribuir com a pesquisa, favor preencher o questionário através do *link*:

<https://docs.google.com/forms/d/1MzINjGlvA6mrlrH8tVcnGVhszVb4Q0sdVqxbRzbM9tl/viewform>

Todas as respostas serão tratadas com sigilo absoluto e não serão atribuídas a nenhum entrevistado individualmente. Como participante, você terá acesso privilegiado aos resultados.

Desde já agradecemos,

Renata Costa,
Géssica Silva,
Dr. Stephan Paul.



Figura B.1.: Carta de apresentação para aplicação do questionário final.

Fonte: Autora.

B.2. Apoio na divulgação dos questionários

Projetos acústicos e a NBR 15575



Com a entrada em vigor da norma NBR 15575, níveis mínimos de desempenho passaram a ser exigidos para diversos sistemas que compõem uma edificação.

Antes do surgimento dessa norma, era comum que os problemas construtivos fossem todos da construtora.

A NBR 15575, além de colocar limites de desempenho, que servem para dirimir dúvidas entre a opinião de um usuário e o trabalho feito pelas construtoras, a norma estabelece incumbências para todos intervenientes no processo, ou seja, os fornecedores, construtoras e incorporadoras, projetistas e usuários, como falamos no post ***NBR 15575, enfim chegou o dia***. Dessa forma é possível rastrear o problema para verificar onde houve falha no processo.

Vejamos o caso dos projetistas:

Cabe ao projetista o papel de especificar materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho mínimo estabelecido nesta Norma com base nas normas prescritivas e no desempenho declarado pelos fabricantes dos produtos a serem empregados em projeto.

Observa-se que para o bom desenvolvimento do projeto acústico são necessárias informações de desempenho acústico de materiais e soluções providas pelos fornecedores. Por exemplo, caso um empreendimento esteja próximo a uma via ruidosa, talvez o projetista pense em colocar janelas acústicas. Para o correto dimensionamento da fachada é necessário conhecer o **Índice de Redução sonora** da janela específica, dado que deve ser apresentado pelo fornecedor. Sem esse dado o projetista não terá como saber qual o desempenho da janela e o projeto ficará prejudicado, logo o desempenho da fachada da edificação.

Figura B.2.: Publicação no site da Anima Acústica como apoio na divulgação da pesquisa.

Site: <http://melhoracustica.com.br/projetos-acusticos-e-nbr-15575/>

(continua)

Essa norma deve mudar a forma de atuação dos projetistas, em especial o acústico, uma vez que existem diferentes mecanismos de transmissão de ruído entre ambientes e que contribuem para o desempenho acústico do mesmo.

Pensando nisso, a pesquisadora Renata Costa da Silva da **Universidade Federal de Santa Maria – UFSM** está desenvolvendo sua dissertação de mestrado com o tema “Realidade dos profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil”. A ideia do trabalho é conhecer a realidade dos profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil, quais técnicas e ferramentas utilizam, quais dificuldades estão enfrentando e quais critérios são levados em consideração no desenvolvimento de seus projetos acústicos.

Para isso, foi estruturado um **questionário eletrônico** que servirá de base estatística para a pesquisa.

Que tal colaborar com essa pesquisa? Certamente, no fim do trabalho teremos informações interessantes sobre nossa realidade.

Por Vítor Litwinczik

Figura B.3.: Publicação no site da Anima Acústica como apoio na divulgação da pesquisa.

Site: <http://melhoracustica.com.br/projetos-acusticos-e-nbr-15575/>

B.3. Perguntas do questionário final

Estudo UFSM - Realidade dos profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil

Questionário destinado aos principais profissionais que atualmente desenvolvem projetos de isolamento sonoro no Brasil, com o objetivo de obter maiores informações sobre a maneira como esses projetos são concebidos.

Questionário

Graduação em:

Instituição:

Ano de Conclusão:

Curso de Especialização em:

Instituição:

Ano de Conclusão:

Mestrado em:

Instituição:

Ano de Conclusão:

Outra Formação:

Figura B.4.: Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte I.

Site:<https://docs.google.com/forms/d/1Mz1NjG1vA6mrlrH8tVcnGVhszVb4Q0sdVqxbRzbM9tI/viewform>

(continua)

Você ou sua empresa realiza projetos de isolamento sonoro?

- Sim
- Não

Em caso afirmativo, quais áreas apresentam maior demanda?

- Hospitalar
- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Serviços (bares, casas noturnas, salões de eventos, etc)
- Outro:

Cidade onde trabalha: *

Você ou sua empresa realiza projetos de isolamento sonoro apenas localmente?

- Sim
- Não

Em caso negativo, especifique quais são as cidades de abrangência:

Quais os principais problemas encontrados na elaboração de projetos acústicos?

- Preço elevado dos materiais acústicos para o consumidor (cliente).
- Desvalorização dos projetos acústicos.
- Horários inadequados para as medições acústicas.
- Necessidade de entrar nas residências para realizar as medições.
- Ausência de uma legislação coerente.
- Ausência de uma fiscalização eficiente.
- Preço elevado dos honorários profissionais.
- Ausência de materiais acústicos de qualidade.
- Ausência de mão de obra qualificada.
- Outro:

Figura B.5.: Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte II.

Site: <https://docs.google.com/forms/d/1Mz1NjGIvA6mrlrH8tVcnGVhszVb4Q0sdVqxbRzbM9tI/viewform>

(continua)

Quais métodos/ferramentas utiliza na elaboração dos projetos de isolamento sonoro?

- Dissertações e publicações de estudos realizados.
- Ferramentas computacionais de simulação da transmissão sonora.
- Banco de dados com as principais soluções acústicas.
- Planilha de cálculo (Excel, OpenOffice, StarOffice, e afins) desenvolvida pelo próprio profissional.
- Outro:

Utiliza o cálculo da transmissão pelos flancos nos projetos de isolamento sonoro que realiza?

- Sim
- Não
- Desconheço

Tem conhecimento sobre as ferramentas computacionais de simulação da transmissão sonora?

- Não sei como funciona.
- Tenho conhecimentos básicos de como funciona.
- Utilizo no desenvolvimento dos projetos de isolamento sonoro.

Em caso afirmativo, especifique qual/ quais programa(s):**Na sua opinião, o que o software deveria ser capaz de fazer?**

- Calcular a relação Intensidade x Tempo, bem como a pressão sonora em relação à Perda Auditiva induzida por Ruído (PAIR) e Perda Auditiva induzida por Níveis de Pressão Sonora Elevados (PAINPSE). Para que os demais profissionais possam utilizar as simulações também na análise da exposição diária dos indivíduos.
- Calcular a transmissão sonora aos ruídos aéreo e de impacto.
- Calcular a transmissão marginal (pelos flancos) de acordo com as normativas internacionais mais recentes.
- Avaliar os parâmetros acústicos dos ambientes, como Tempo de Reverberação, Tempo de Decaimento, etc.
- Possuir banco de dados compatível com os sistemas construtivos brasileiros, além de dados específicos locais como ruído de veículos, equipamentos da construção civil, etc.
- Comparar valores simulados com os valores exigidos pelas normas.
- Pós simulação: recomendar quais os locais que necessitam maior isolamento e quais possíveis soluções poderiam ser aplicadas.
- Outro:

Figura B.6.: Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte III.

Site: <https://docs.google.com/forms/d/1MzlnjGIvA6mrlrH8tVcnGVhszVb4Q0sdVqxbRzbM9tI/viewform>

(continua)

Teria interesse em adquirir alguma ferramenta computacional de simulação da transmissão sonora?

- Sim
- Não

Justifique a sua resposta*

Na sua opinião, qual o valor aproximado dos programas de simulação de transmissão sonora?

- Até R\$ 1.000,00
- Entre R\$ 1.000,00 e R\$ 5.000,00
- Entre R\$ 5.001,00 e R\$ 10.000,00
- Entre R\$ 10.001,00 e R\$ 15.000,00
- Entre R\$ 15.001,00 e R\$ 20.000,00
- Entre R\$ 20.001,00 e R\$ 25.000,00
- Acima de R\$ 25.001,00

Qual o valor máximo que você estaria disposto a pagar pela licença de um programa computacional de transmissão sonora?

Quantos projetos você ou sua empresa já realizou tendo em vista a NBR 15575:2013?

Acha necessário um treinamento para a utilização do software?

- Sim
- Não

Justifique a sua resposta*

Em caso afirmativo, qual o valor máximo que estaria disposto a pagar por um curso de treinamento?

Acredita que as licenças dos programas computacionais deveriam ser:*

- Anuais (pagamentos de taxas anuais, porém mais econômicas)
- Vitalícias (pagamento de um valor único, porém mais elevado)

Justifique sua resposta:

Caso tenha interesse em receber as respostas desse questionário, informe abaixo o seu e-mail:

Enviar formulário

Figura B.7.: Perguntas questionário final em formato eletrônico - Parte IV.

Site: <https://docs.google.com/forms/d/1Mz1NjGIvA6mrlrH8tVcnGVhszVb4Q0sdVqxbRzbM9tI/viewform>

B.4. Questionário - perguntas e objetivos

Item	Objetivo
Curso de graduação.	Descobrir quais os cursos de graduação dos profissionais que desenvolvem projetos acústicos no Brasil.
Ano de conclusão da graduação.	Verificar se existe uma relação entre ano de graduação e a receptividade/utilização dos programas.
Nível de escolaridade.	Relacionar com a receptividade/utilização dos programas.

Quadro B.1: Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte I

Você ou sua empresa desenvolvem projetos de isolamento acústico no Brasil?	Delimitar o universo da pesquisa.
Em caso afirmativo, quais áreas apresentam maiores demandas por projetos de isolamento acústico?	Descobrir se determinadas áreas induzem à utilização dos programas.
Cidade onde trabalha.	Relacionar com a utilização dos programas.
Você ou sua empresa realiza projetos de isolamento sonoro apenas localmente?	Verificar se existe relação entre o nível de abrangência da empresa com a utilização dos programas.
Em caso negativo, especifique quais são as cidades de abrangência:	Descobrir quais as regiões do Brasil que possuem maior demanda por projetos de isolamento acústico.
Quais os principais problemas encontrados na elaboração de projetos acústicos?	Relacionar com a utilização/receptividade dos programas.

Quadro B.2: Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte II.

Quais métodos/ferramentas utilizam na elaboração dos projetos de isolamento sonoro?	Obter mais informações sobre os métodos e ferramentas utilizados pelos profissionais que desenvolvem os projetos acústicos no Brasil.
Utiliza o cálculo da transmissão pelos flancos nos projetos de isolamento sonoro que realiza?	Descobrir quais critérios os profissionais utilizam nos projetos de isolamento acústico.
Tem conhecimento sobre as ferramentas computacionais de simulação da transmissão sonora?	Descobrir se os profissionais estão familiarizados com os programas de simulação da transmissão sonora.
Em caso afirmativo, especifique qual/ quais programa(s):	Verificar os programas mais conhecidos pelos profissionais.
Na sua opinião, o que o software deveria ser capaz de fazer?	Descobrir quais as expectativas dos profissionais em relação aos programas.

Quadro B.3: Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte III.

Teria interesse em adquirir alguma ferramenta computacional de simulação da transmissão sonora?	Verificar a receptividade dos profissionais em relação aos programas.
Na sua opinião, qual o valor aproximado dos programas de simulação de transmissão sonora?	Descobrir se existe uma relação entre o preço que os profissionais acreditam que tenham os programas com o valor máximo que estariam dispostos a pagar.
Qual o valor máximo que você estaria disposto a pagar pela licença de um programa computacional de transmissão sonora?	Verificar se existe uma relação entre os valores máximos que os profissionais estariam dispostos a pagar com os verdadeiros valores dos programas.
Quantos projetos você ou sua empresa já realizou tendo em vista a NBR 15575:2013?	Verificar se os profissionais já estão desenvolvendo projetos acústicos de acordo com a NBR 15575:2013. Descobrir se existe uma relação entre os profissionais que já desenvolveram projetos de acordo com a NBR 15575:2013 com aqueles que utilizam programas de simulação da transmissão sonora.

(continua)

Acha necessário um treinamento para a utilização do software?	Descobrir se os profissionais pensam que aprender a simular com os programas é uma tarefa fácil ou difícil.
Em caso afirmativo, qual o valor máximo que estaria disposto a pagar por um curso de treinamento?	Descobrir as necessidades dos profissionais.
Acha que seria importante ter representantes do software no Brasil?	Descobrir as necessidades dos profissionais.
Acredita que as licenças dos programas computacionais deveriam ser vitalícias ou anuais?	Descobrir as necessidades dos profissionais.

Quadro B.4: Perguntas do questionário com os respectivos objetivos - Parte IV.

C Medições em laboratório

C.1. Medições do TR

Tabela C.1.: Valores medidos do TR, na câmara de recepção, do Laboratório da UFSM.

Freq. [Hz]	TR ₁ [s]	TR ₂ [s]	TR ₃ [s]	TR ₄ [s]	TR ₅ [s]	TR ₆ [s]
50	3,01	3,02	2,57	3,07	3,06	3,07
63	2,32	2,37	2,2	2,4	2,05	2,18
80	3,17	3,19	4,1	2,37	2,94	3,29
100	2,25	1,83	2,37	2,25	2,35	2,27
125	3,38	2,80	3,77	3,56	3,89	3,74
160	4,18	3,36	4,04	4,2	3,87	3,88
200	4,17	3,17	4,25	4,02	4,51	4,49
250	3,93	3,10	3,72	3,82	4,21	4,13
315	4,05	3,55	4,03	4,05	4,9	4,41
400	4,62	3,78	4,35	4,57	4,98	4,84
500	4,51	3,74	4,49	4,43	5,06	4,79
630	4,58	3,90	4,46	4,54	5,07	4,68
800	4,62	3,89	4,41	4,5	5,11	4,74
1000	4,21	3,62	4,09	4,14	4,53	4,29
1250	3,9	3,42	3,75	3,8	4,13	3,94
1600	3,44	3,09	3,27	3,35	3,55	3,35
2000	3,3	3,02	3,12	3,25	3,42	3,27
2500	3,12	2,87	3,03	3,15	3,22	3,14
3150	2,93	2,69	2,82	2,91	2,97	2,88
4000	2,64	2,44	2,55	2,61	2,7	2,6
5000	2,26	2,12	2,23	2,28	2,32	2,23
Mediana	3,44	3,1	3,75	3,56	3,87	3,74

C.2. *Boxplot* das medições do piso cerâmico

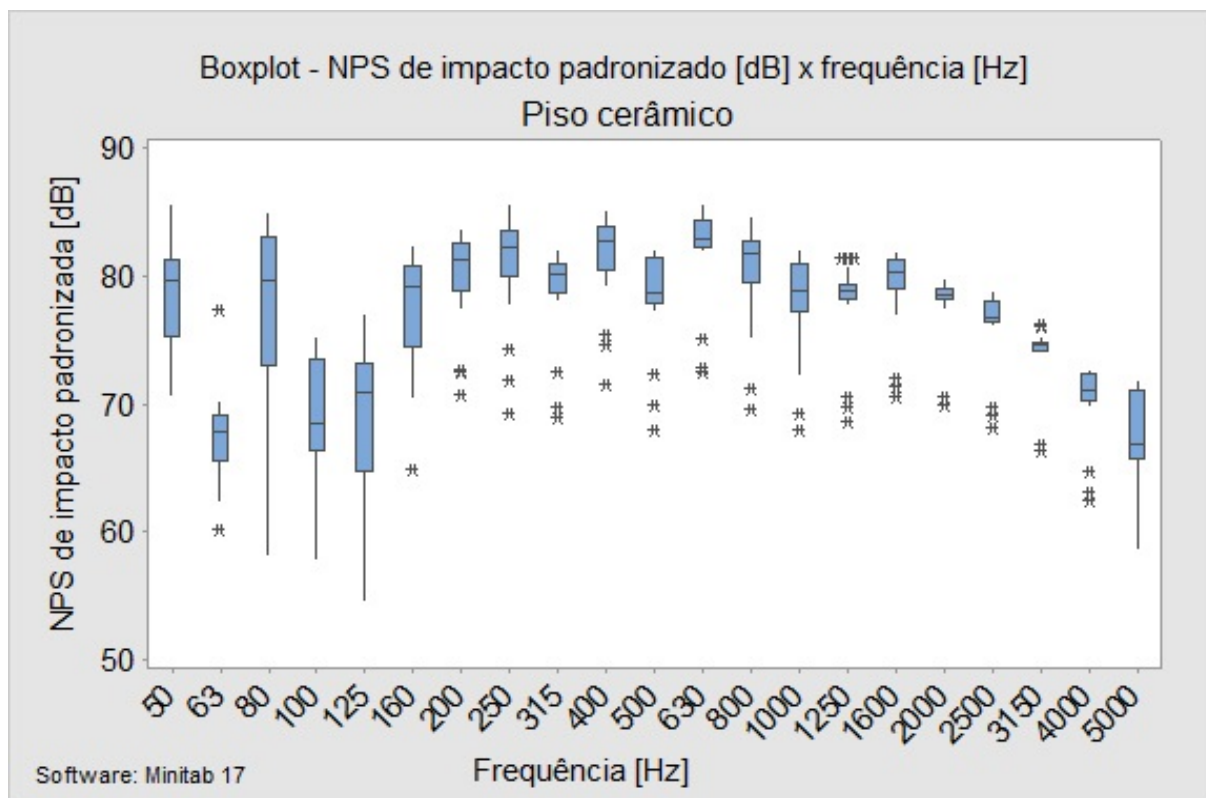


Figura C.1.: Boxplot das medições com o piso cerâmico.

Outliers: 60,25dB - 77,43dB@63Hz - 65dB@160Hz - 70,88dB - 72,62dB - 72,78dB@200Hz - 69,32dB - 72,01dB - 74,36dB@250Hz - 69,01dB - 69,80dB - 72,57dB@315Hz - 71,58dB - 74,74dB - 75,54dB@400Hz - 68,13dB - 70,07 dB -72,40 dB@500Hz - 72,62dB - 72,88dB - 75,22dB@630Hz - 69,70dB - 71,37dB@800Hz - 68dB - 69,38dB@1kHz - 68,74dB - 69,87dB - 70,60dB - 81,47dB - 1,25kHz - 70,66dB - 71,53dB - 72,10dB@1,6kHz - 70,06dB - 70,66dB@2kHz - 68,28dB -69,18dB - 69,77dB@2,5kHz- 66,45dB - 66,86dB - 76,23dB - 76,41dB@3,15kHz - 62,51dB -63,11dB - 64,82dB@4kHz

C.3. *Boxplot* das medições do piso cerâmico com 01 camada de feltro

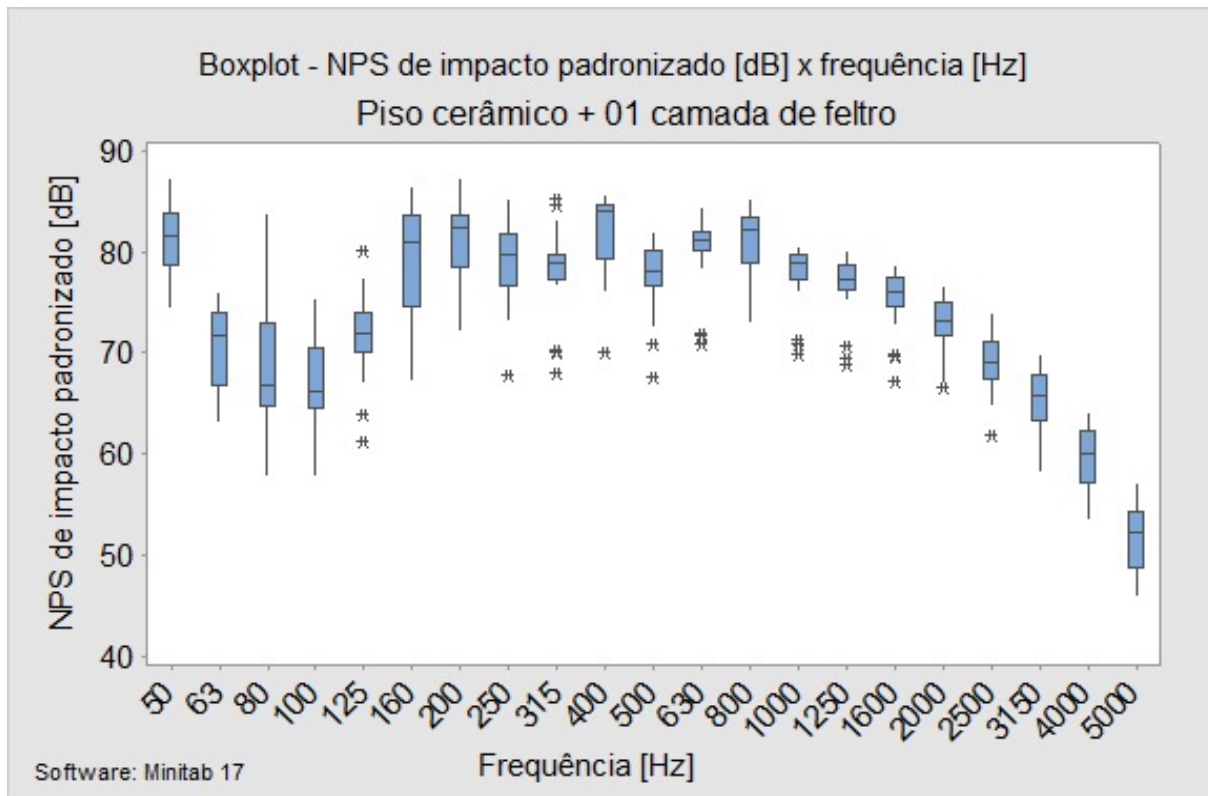


Figura C.2.: Boxplot das medições com o piso cerâmico e 01 camada de feltro

Outliers: 61,26dB - 64,05dB - 80,07dB@125Hz - 67,78dB@250Hz - 68,04dB - 70,23dB - 70,43dB - 84,65dB - 85,25dB@315Hz - 70,19dB@400Hz - 67,70dB - 70,93dB@500Hz - 71,02dB - 71,87dB@630Hz - 70,02dB - 70,88dB - 71,34dB@1kHz - 68,98dB - 69,53dB - 70,70dB@1,25kHz - 67,21dB - 69,66dB - 69,99dB@1,6kHz - 66,54dB@2kHz - 61,89dB@2,5kHz

C.4. *Boxplot* das medições do piso laminado

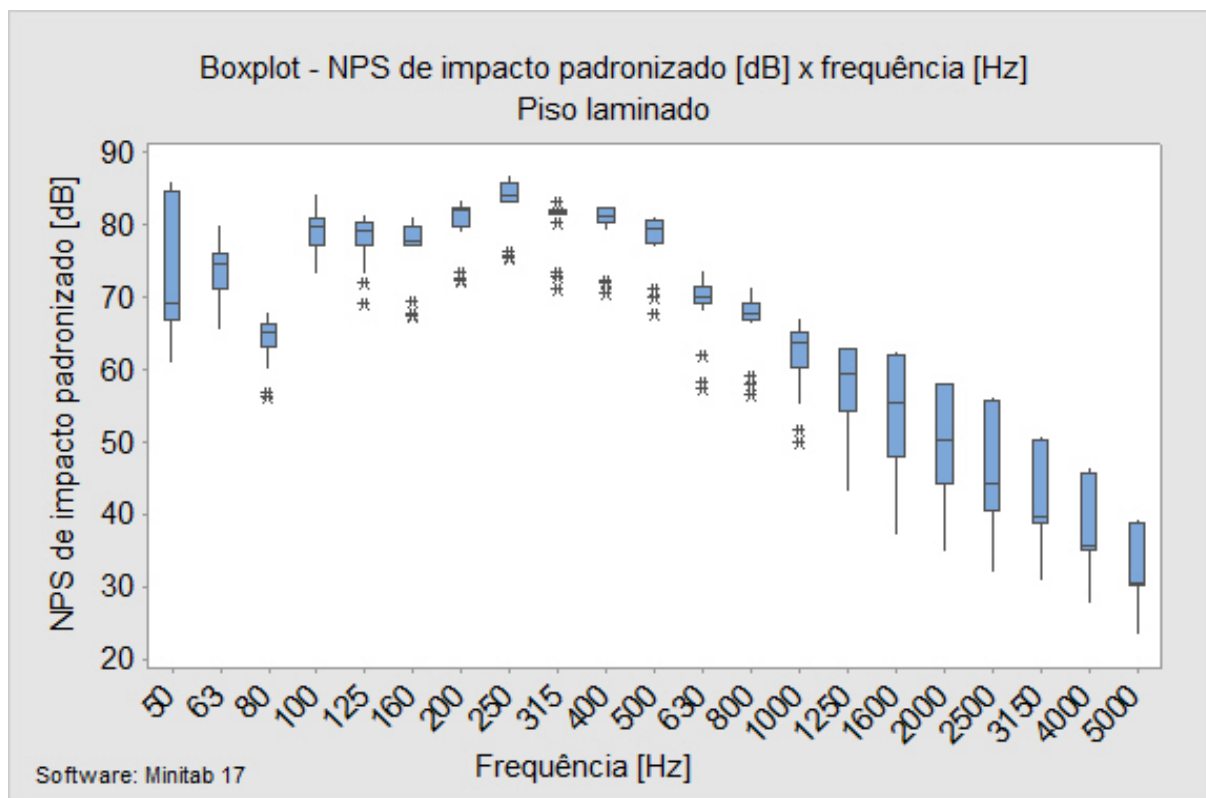


Figura C.3.: Boxplot das medições com o piso cerâmico e 01 camada de feltro

Outliers: 56,34dB - 56,91dB@80Hz - 69,08dB - 71,96dB@125Hz - 67,51dB - 67,71dB
- 69,59dB@160Hz - 72,45dB - 73,62dB@200Hz - 75,52dB - 76,30@250Hz - 71,30dB -
72,92dB - 73,45dB - 80,40dB - 83,38dB@315Hz - 70,75dB - 72,15dB - 72,28dB@400Hz
- 67,70dB - 70,11dB - 71,10dB@500Hz - 57,31dB - 58,31dB@630Hz - 56,63dB -
58,12dB - 59,22dB@800Hz - 49,90dB - 51,73dB@1kHz

C.5. *Boxplot* das medições do piso laminado com 01 camada de feltro

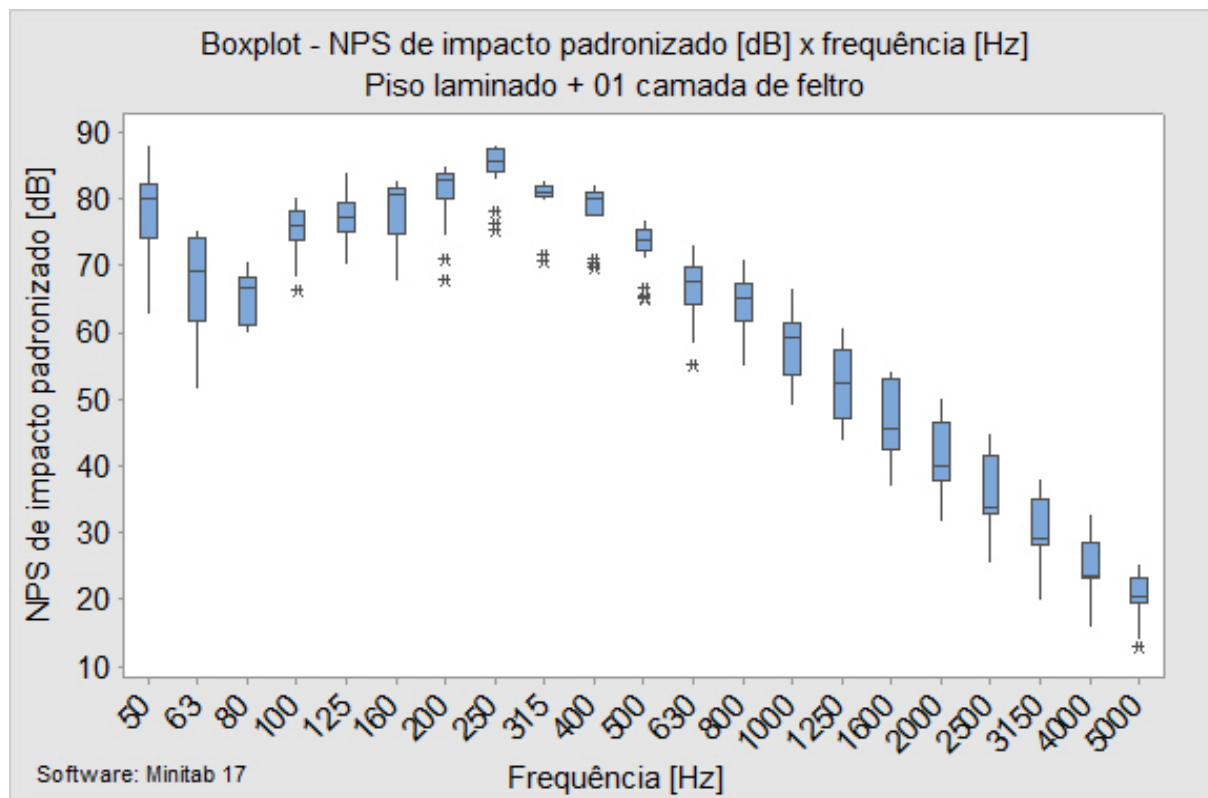


Figura C.4.: Boxplot das medições com o piso laminado e 01 camada de feltro.

Outliers: 66,40dB@100Hz - 67,83dB - 71dB@200Hz - 75,26dB - 76,17dB - 78,22dB@250Hz - 70,74dB - 71,46dB - 71,60dB@315Hz - 69,64dB - 71,03dB@400Hz - 65,18dB - 65,29dB - 66,68dB@500Hz - 54,99dB@630Hz - 12,76dB@5kHz

D **Medições *in loco***

D.1. Cartaz - medições *in loco*

 Você que se interessa por:
**ACÚSTICA ARQUITETÔNICA;
TRANSMISSÃO SONORA;
MEDIÇÕES ACÚSTICAS.**

Participe dessa pesquisa de mestrado e aprenda mais sobre esses assuntos na prática! Precisa-se de voluntários que possam disponibilizar suas residências para medições acústicas, tanto aos ruídos aéreo como de impacto, com duração máxima de 01 turno.

**MEDIÇÃO RÚIDO AÉREO
(DOIS AMBIENTES DO MESMO APARTAMENTO)**



**MEDIÇÃO RÚIDO DE IMPACTO
(DOIS APARTAMENTOS)**



PARA A MEDIÇÃO DO RÚIDO DE IMPACTO SERÃO NECESSÁRIOS DOIS APARTAMENTOS, DE PAVIMENTOS SOBREPOSTOS, PORTANTO FALE COM SEU VIZINHO ANTES.

Entre em contato:
renata.costa@eac.ufsm.br
(55) 9994.7878



Figura D.1.: Cartaz solicitando apartamentos para as medições acústicas.

Fonte: Autora.

D.2. Plantas baixas dos apartamentos medidos

D.2.1 Planta baixa - Medição 01-PIS-TV-PC

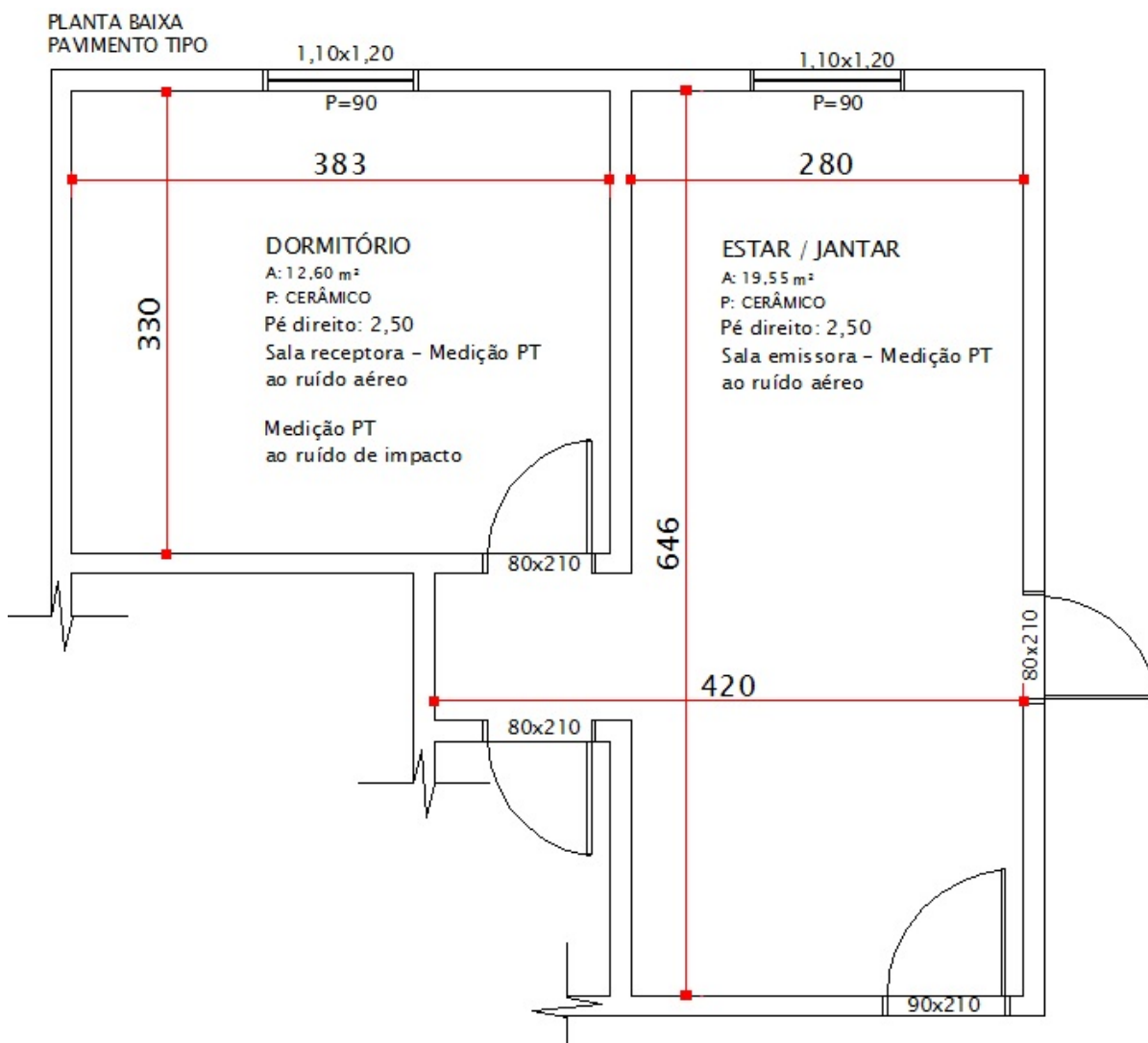


Figura D.2.: Planta baixa - pavimento tipo - 01-PIS-TV-PC

Fonte: Autora.

D.2.2 Planta baixa - Medição 02-PIS-TV

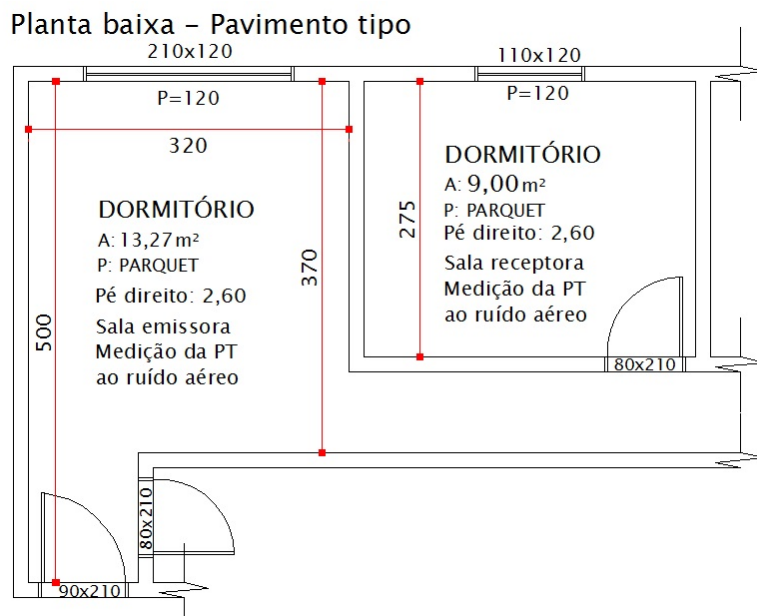


Figura D.3.: Planta baixa - pavimento tipo - 02-PIS-TV

Fonte: Autora.

D.2.3 Planta baixa - Medição 02-PIS-PC

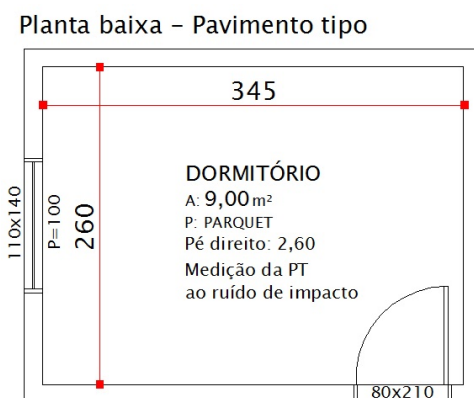


Figura D.4.: Planta baixa - pavimento tipo - 02-PIS-PC

Fonte: Autora.

D.2.4 Planta baixa - Medição 03-PIS-TV-PC

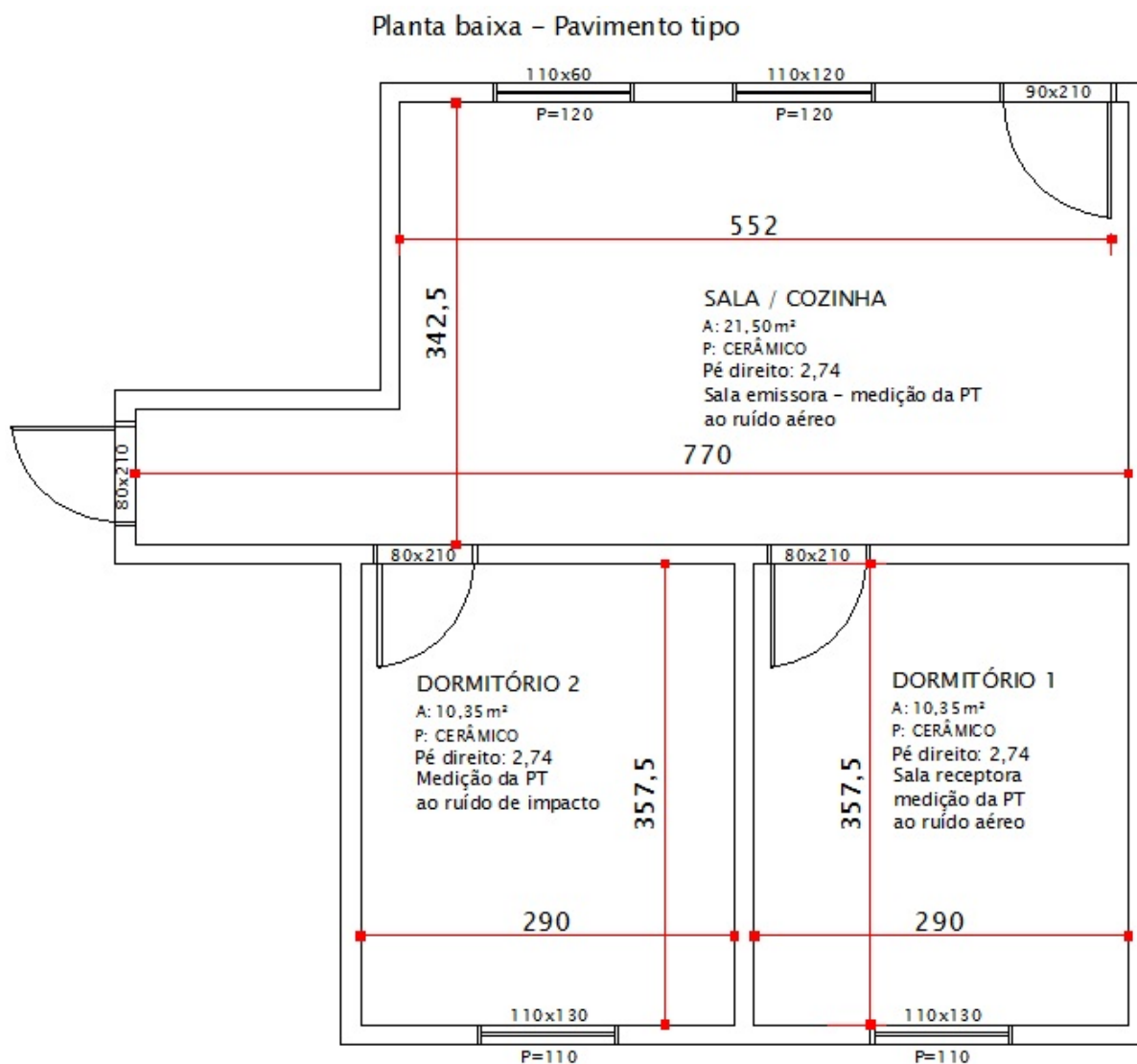


Figura D.5.: Planta baixa - pavimento tipo - 03-PIS-TV-PC

Fonte: Autora.

D.2.5 Planta baixa - Medição 04-PIS-TV

Planta baixa - Pavimento tipo

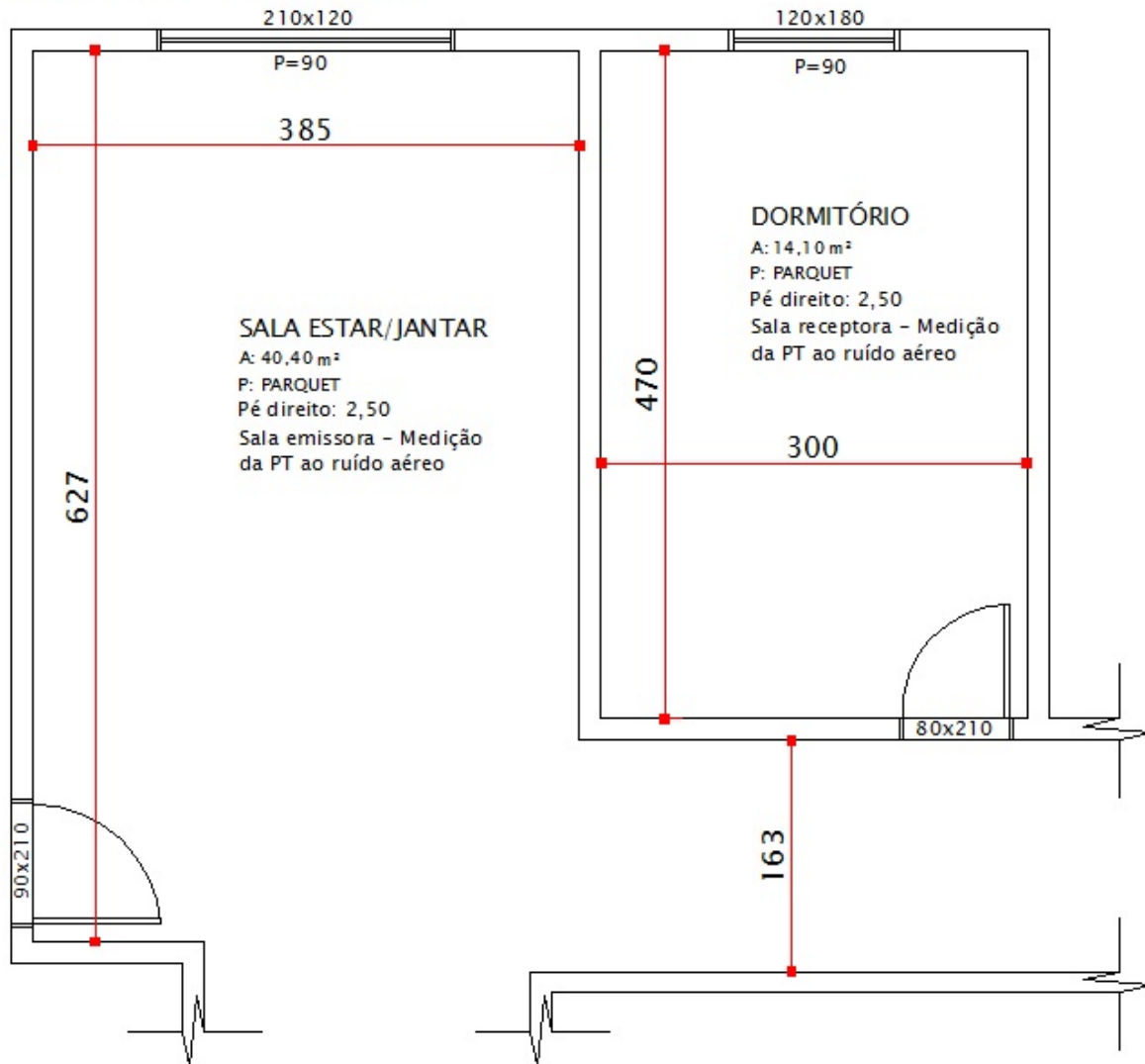


Figura D.6.: Planta baixa - pavimento tipo - 04-PIS-TV

Fonte: Autora.

D.2.6 Planta baixa - Medição 05-R8-N-TV-PC

Planta baixa - Pavimento inferior

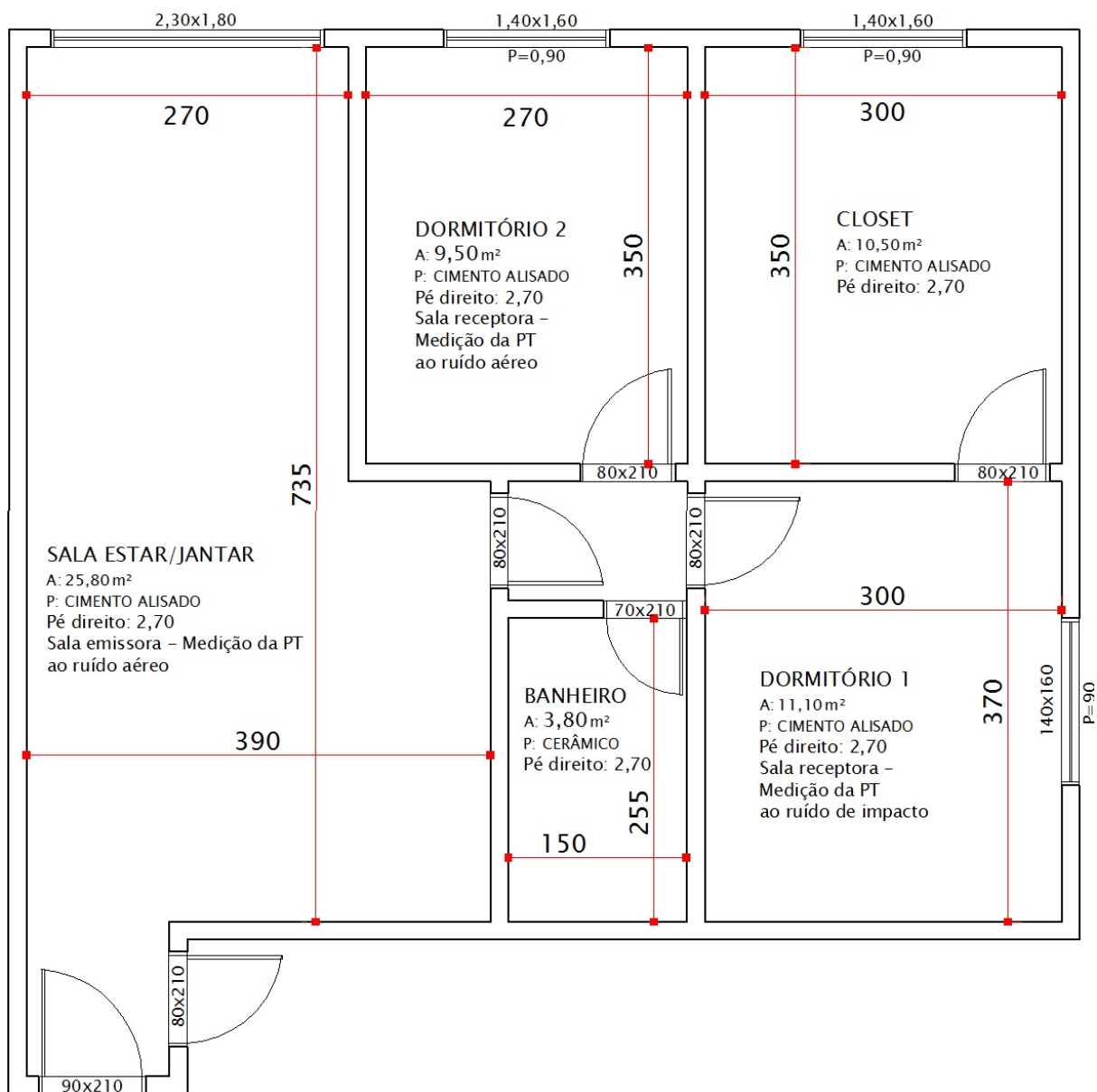


Figura D.7.: Planta baixa - pavimento inferior - 05-R8-N-TV

Fonte: Autora.

Planta baixa - Pavimento superior

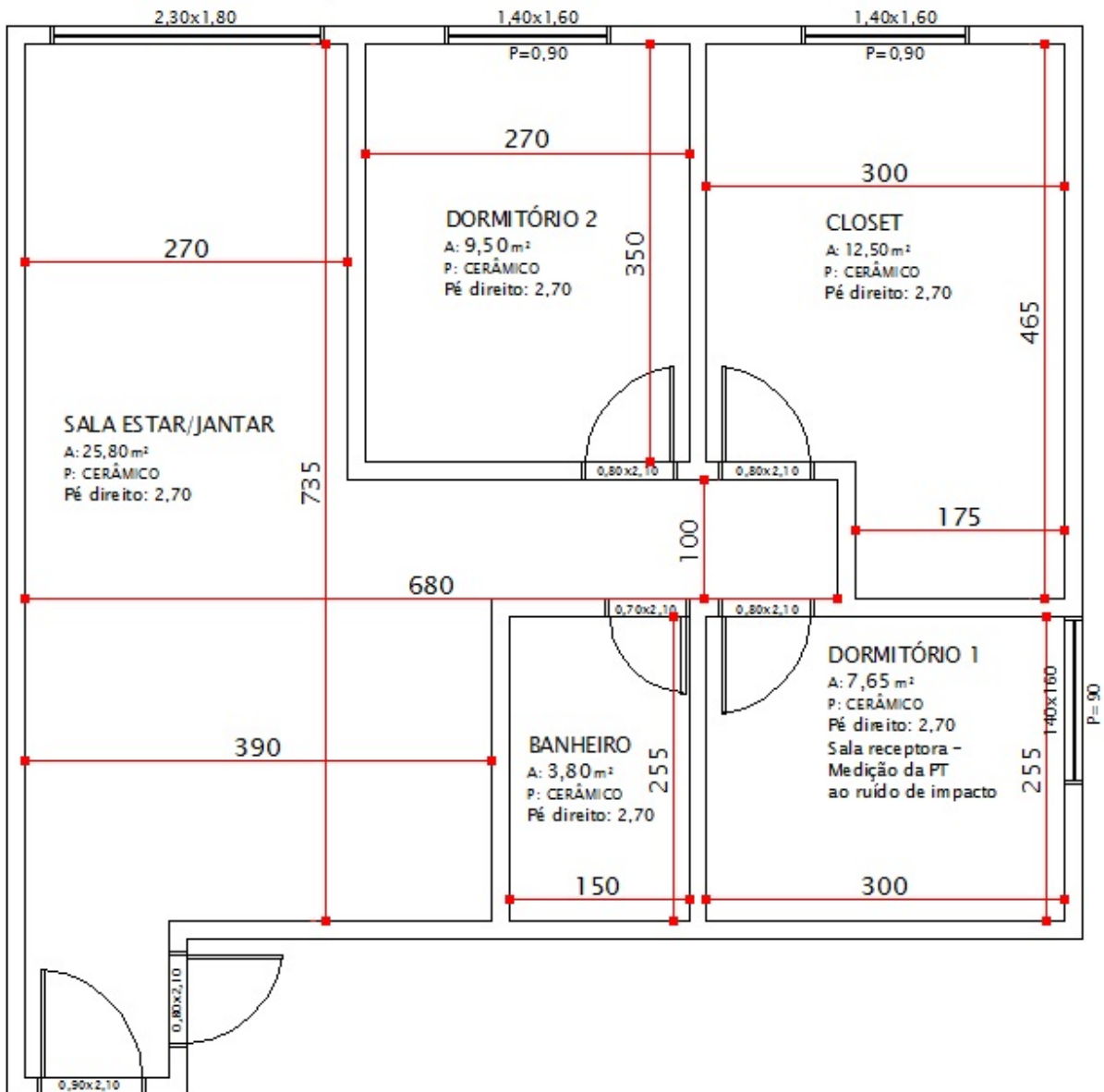


Figura D.8.: Planta baixa - pavimento superior - 05-R8-N-PC

Fonte: Autora.

D.2.7 Planta baixa - Medição 06-R8-N-TV-PC-PL

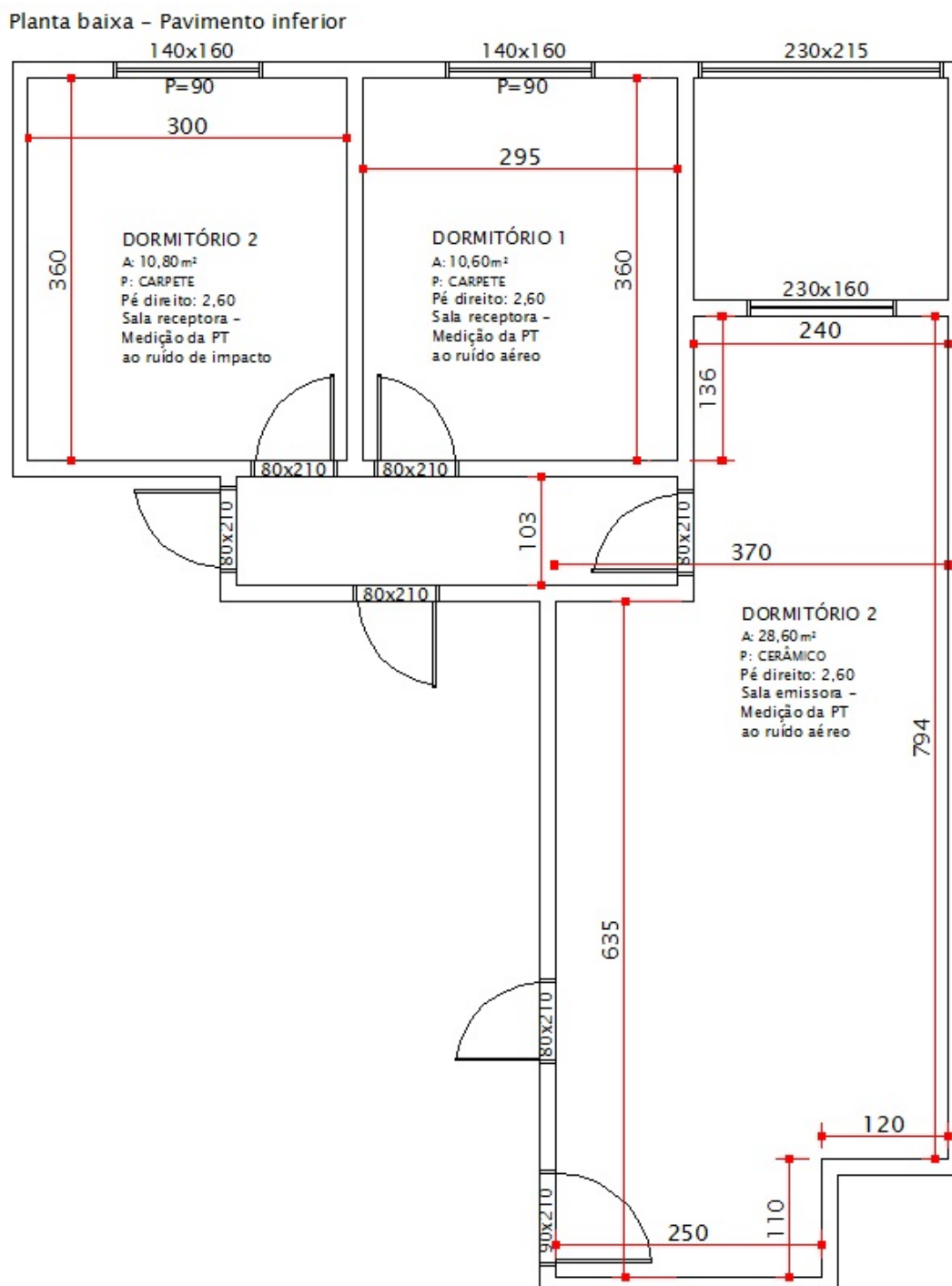


Figura D.9.: Planta baixa - pavimento inferior - 06-R8-N-TV

Fonte: Autora.

Planta baixa - Pavimento superior

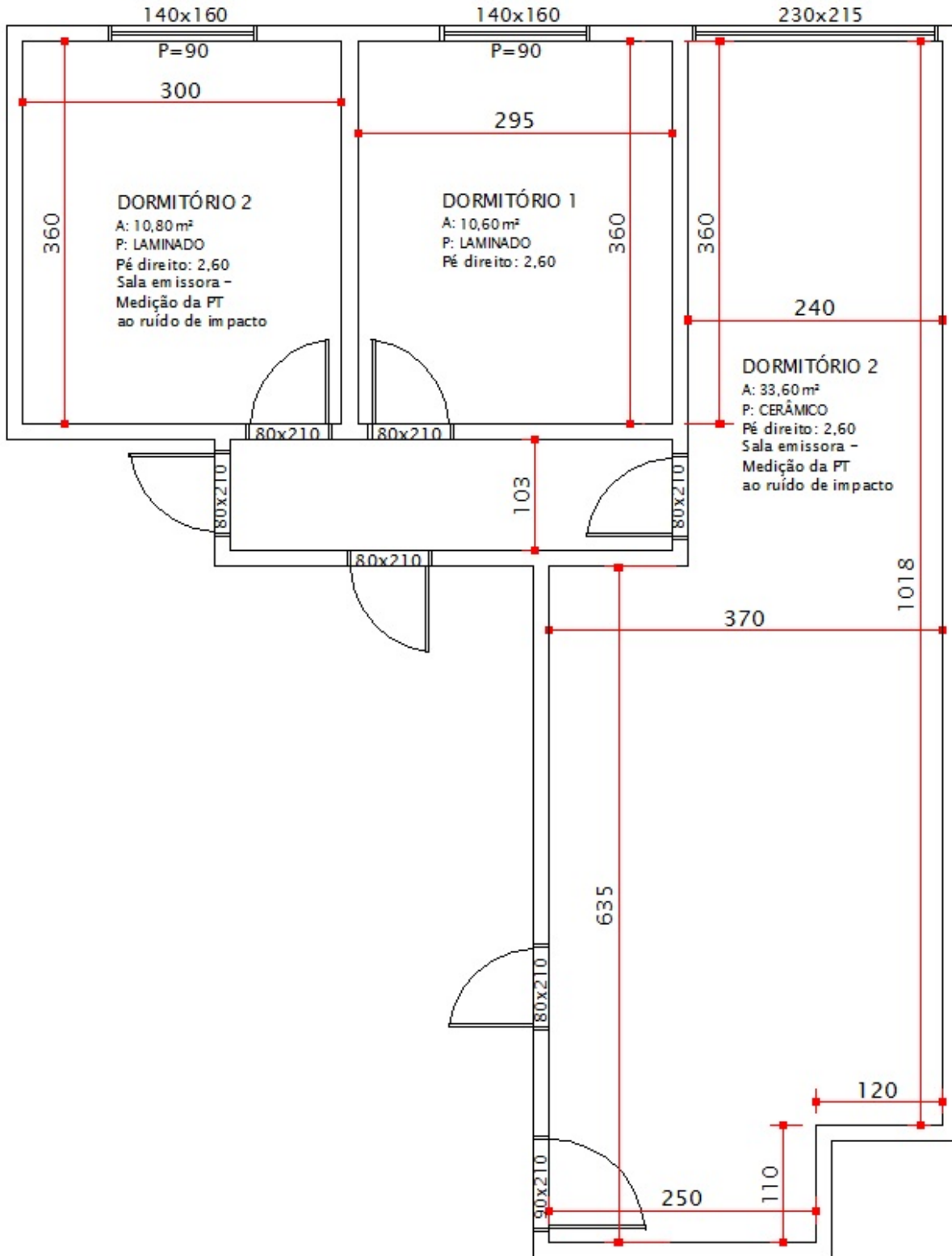


Figura D.10.: Planta baixa - pavimento inferior - 06-R8-N-PC-PL

Fonte: Autora.

D.2.8 Planta baixa - Medição 07-R8-N-TV

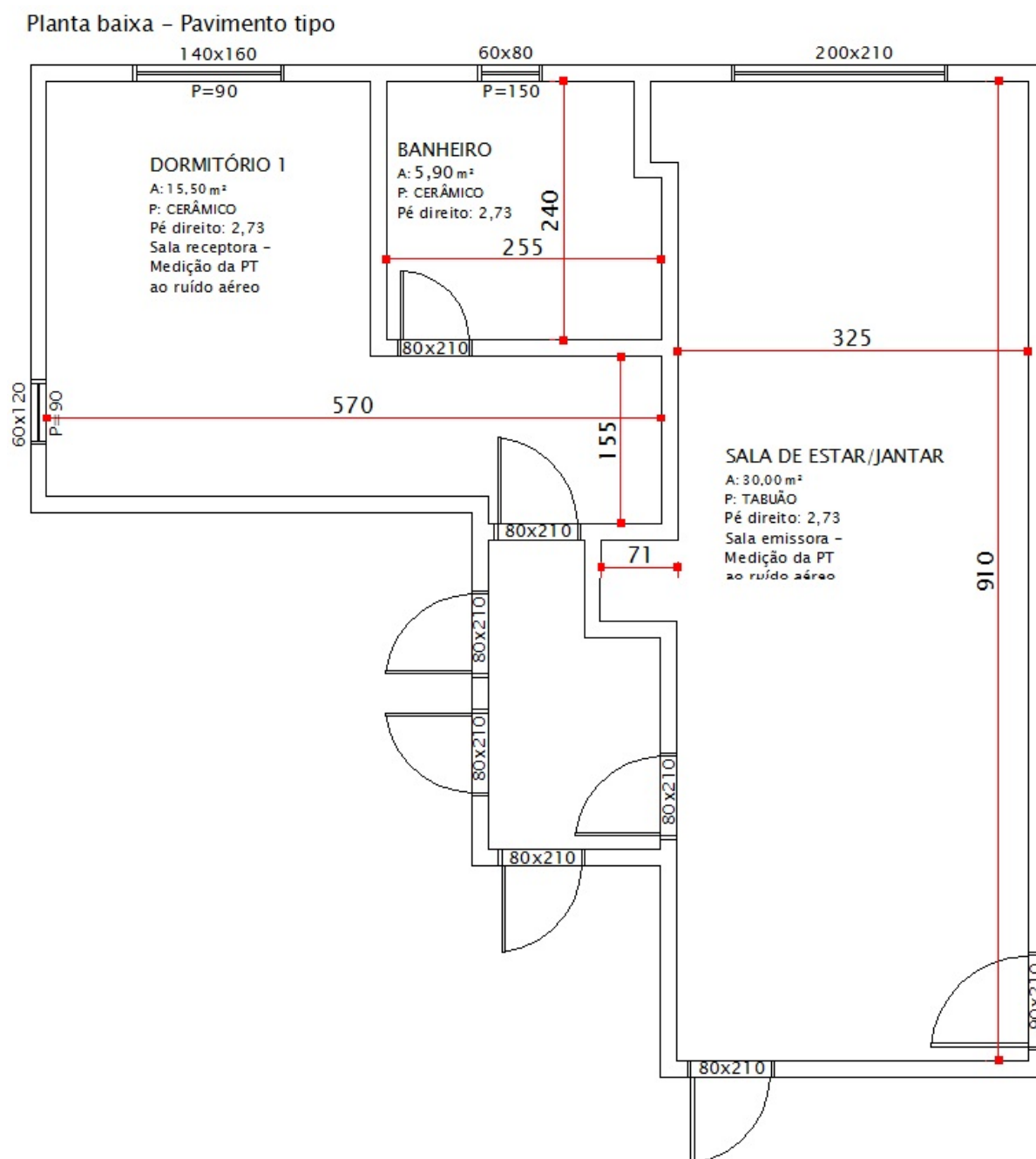


Figura D.11.: Planta baixa - pavimento tipo - 07-R8-N-TV

Fonte: Autora.

D.2.9 Planta baixa - Medição 08-R8-N-TV-PC

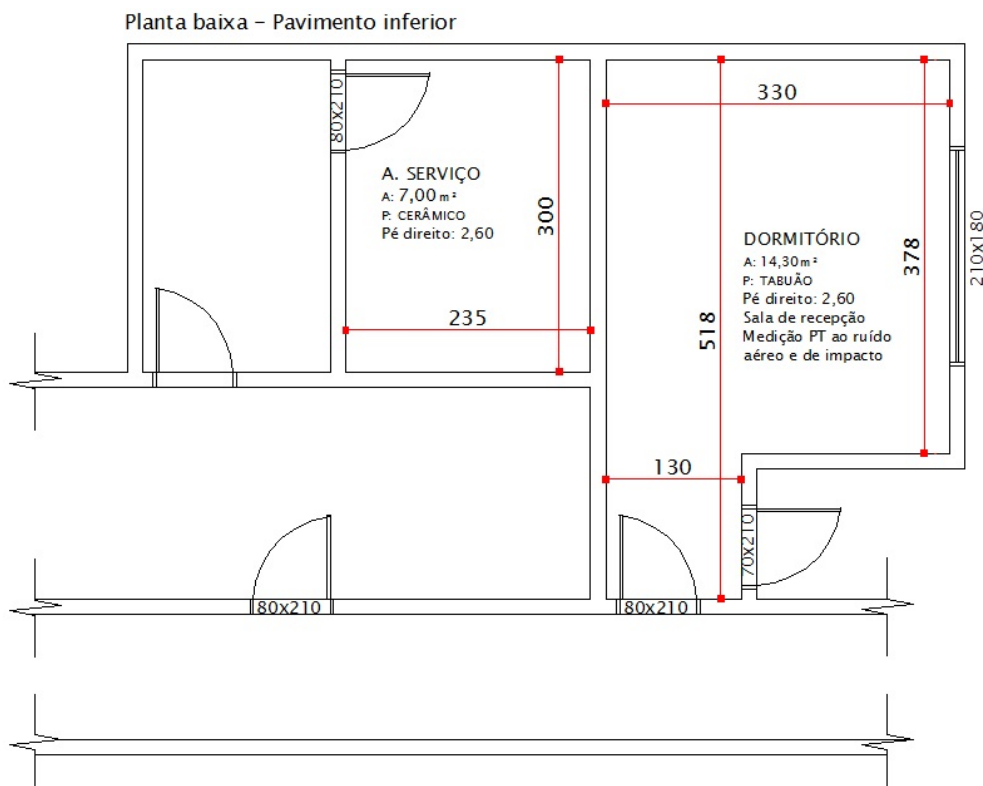


Figura D.12.: Planta baixa - pavimento inferior - 08-R8-N-TV

Fonte: Autora.

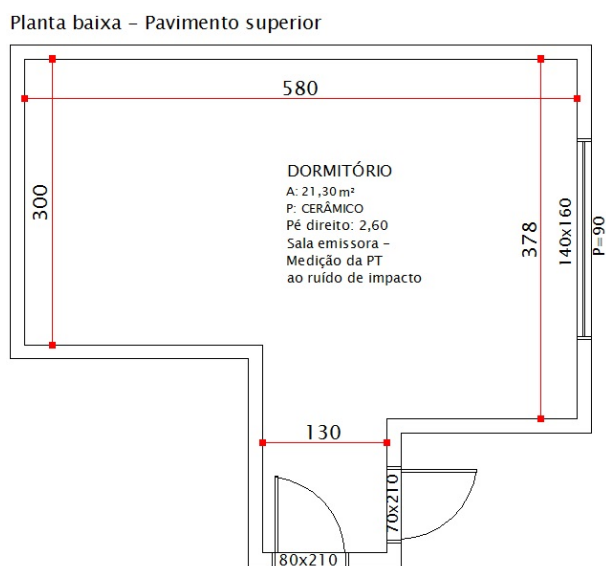


Figura D.13.: Planta baixa - pavimento superior - 08-R8-N-PC

Fonte: Autora.

D.2.10 Planta baixa - Medição 09-R8-BCE-PL

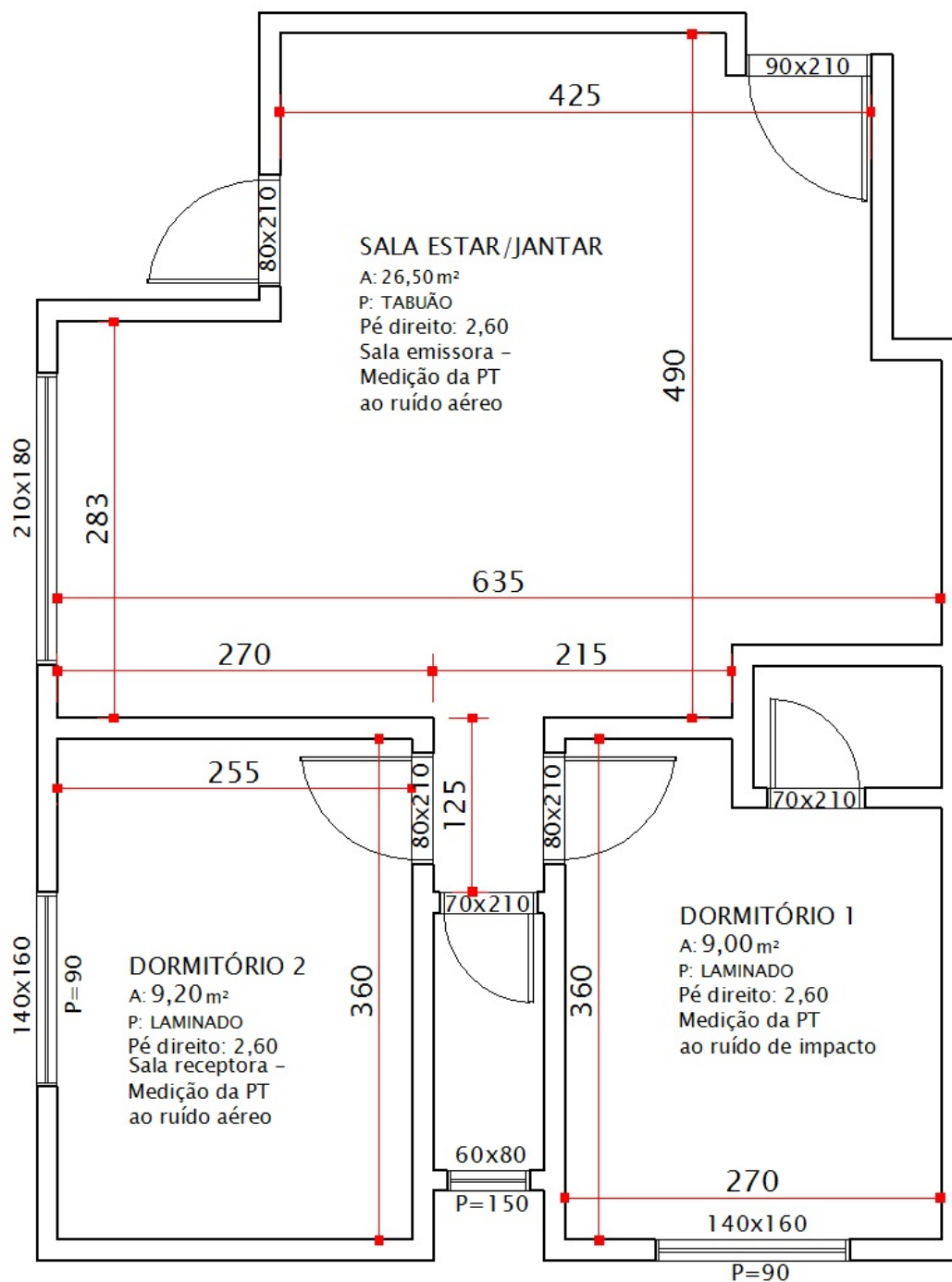


Figura D.14.: Planta baixa - pavimento tipo - 09-R8-N-BCE-PL

Fonte: Autora.

D.2.11 Planta baixa - Medição 10-R8-N-BCE-PC

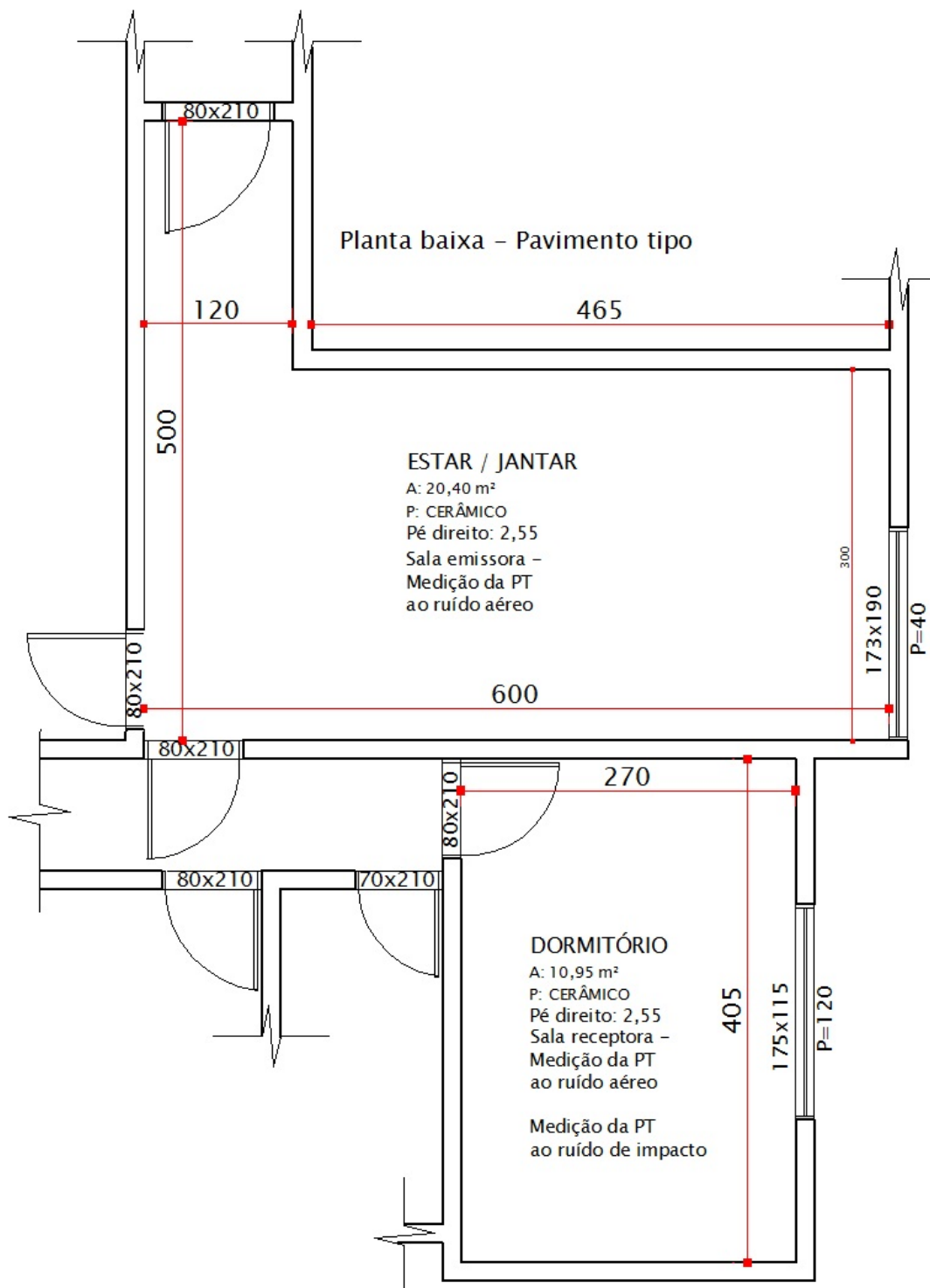


Figura D.15.: Planta baixa - pavimento tipo - 10-R8-N-BCE-PC

Fonte: Autora.

D.2.12 Planta baixa - Medição 11-R8-N-BCE-PC

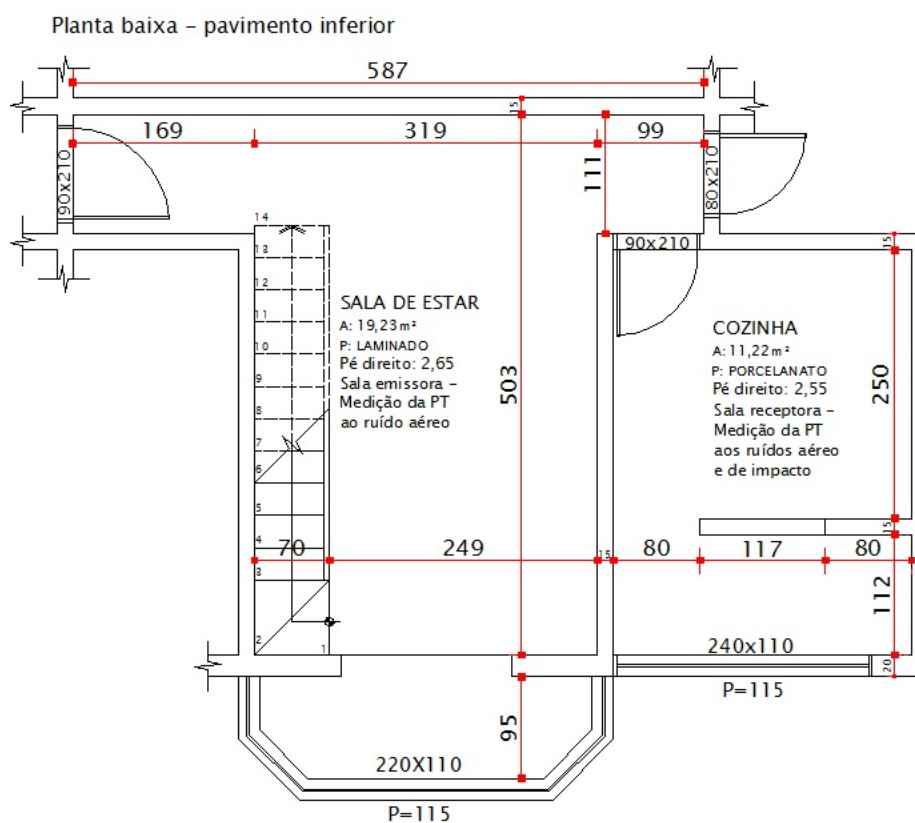


Figura D.16.: Planta baixa - pavimento inferior - 11-R8-N-BCE

Fonte: Autora.

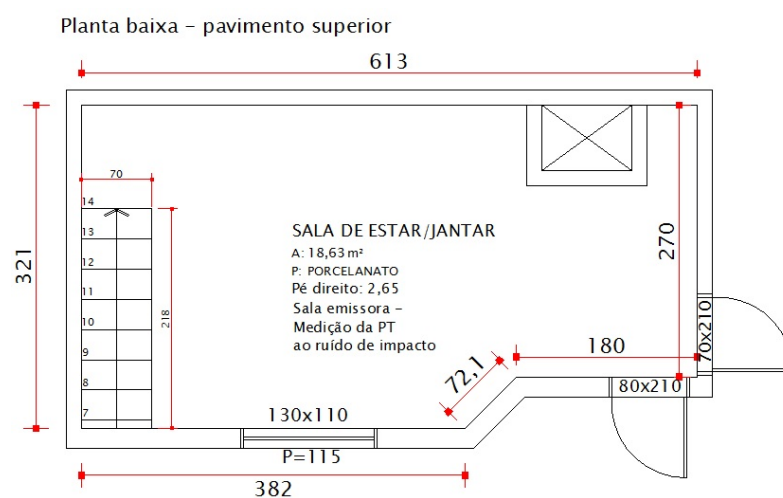


Figura D.17.: Planta baixa - pavimento superior - 11-R8-N-PC

Fonte: Autora.

D.2.13 Planta baixa - Medição 12-R8-N-BCE-PC

Planta baixa - Pavimento inferior

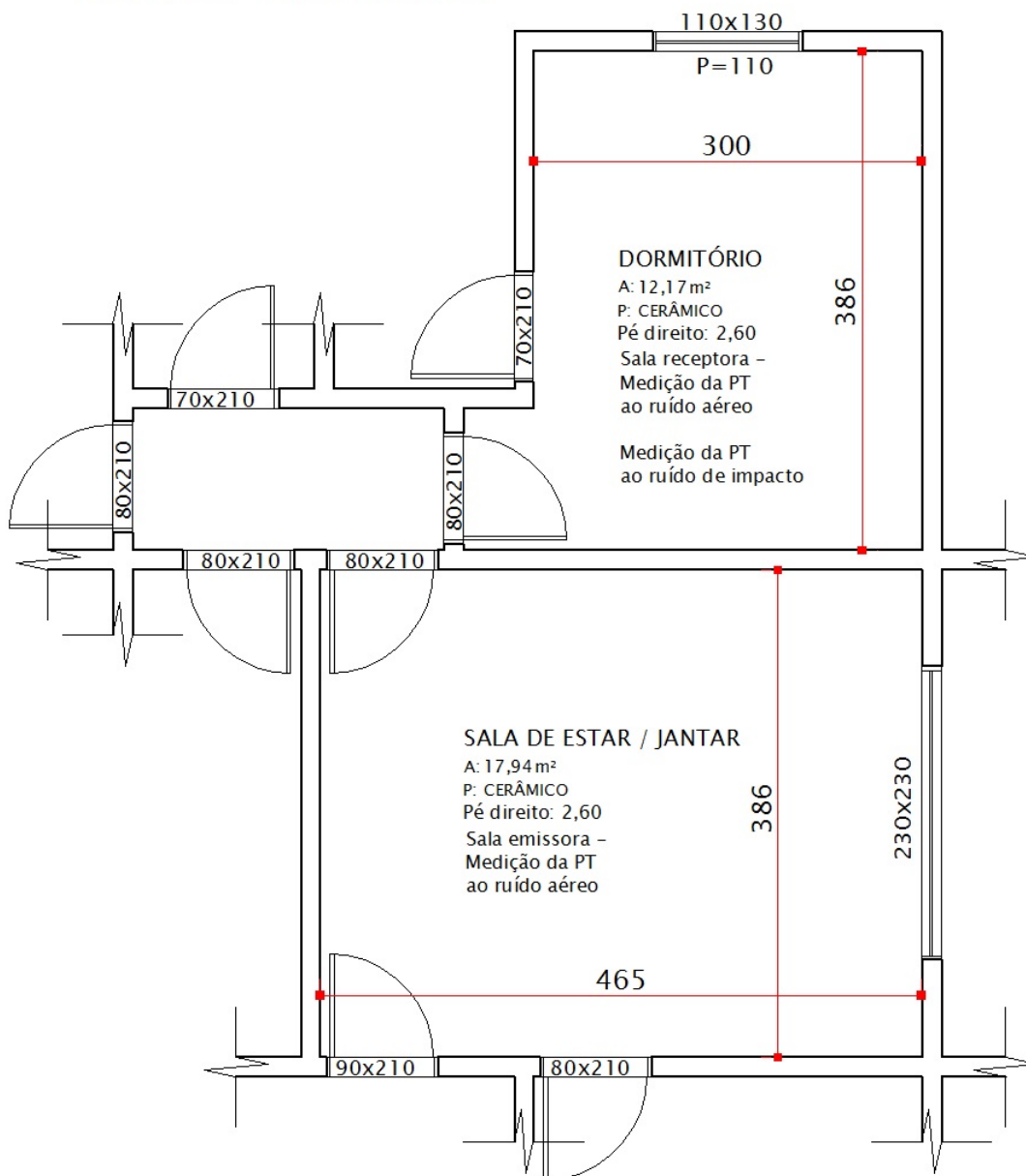


Figura D.18.: Planta baixa - pavimento tipo - 12-R8-N-BCE-PC

Fonte: Autora.

D.2.14 Planta baixa - Medição 13-R8-N-BCO-PL

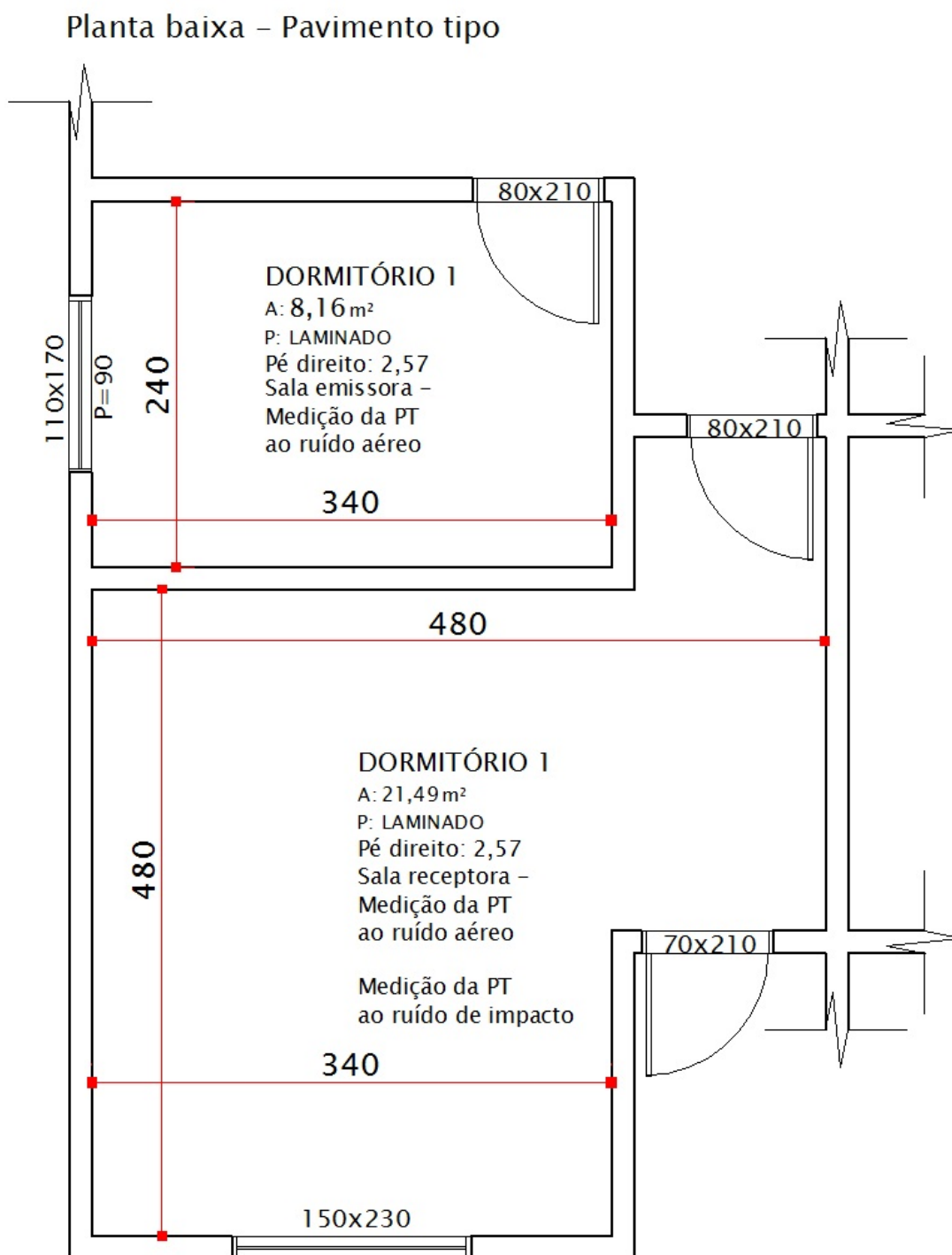


Figura D.19.: Planta baixa - pavimento tipo - 13-R8-N-BCO-PL

Fonte: Autora.

D.2.15 Planta baixa - Medição 14-R8-N-BCO-PC-PL

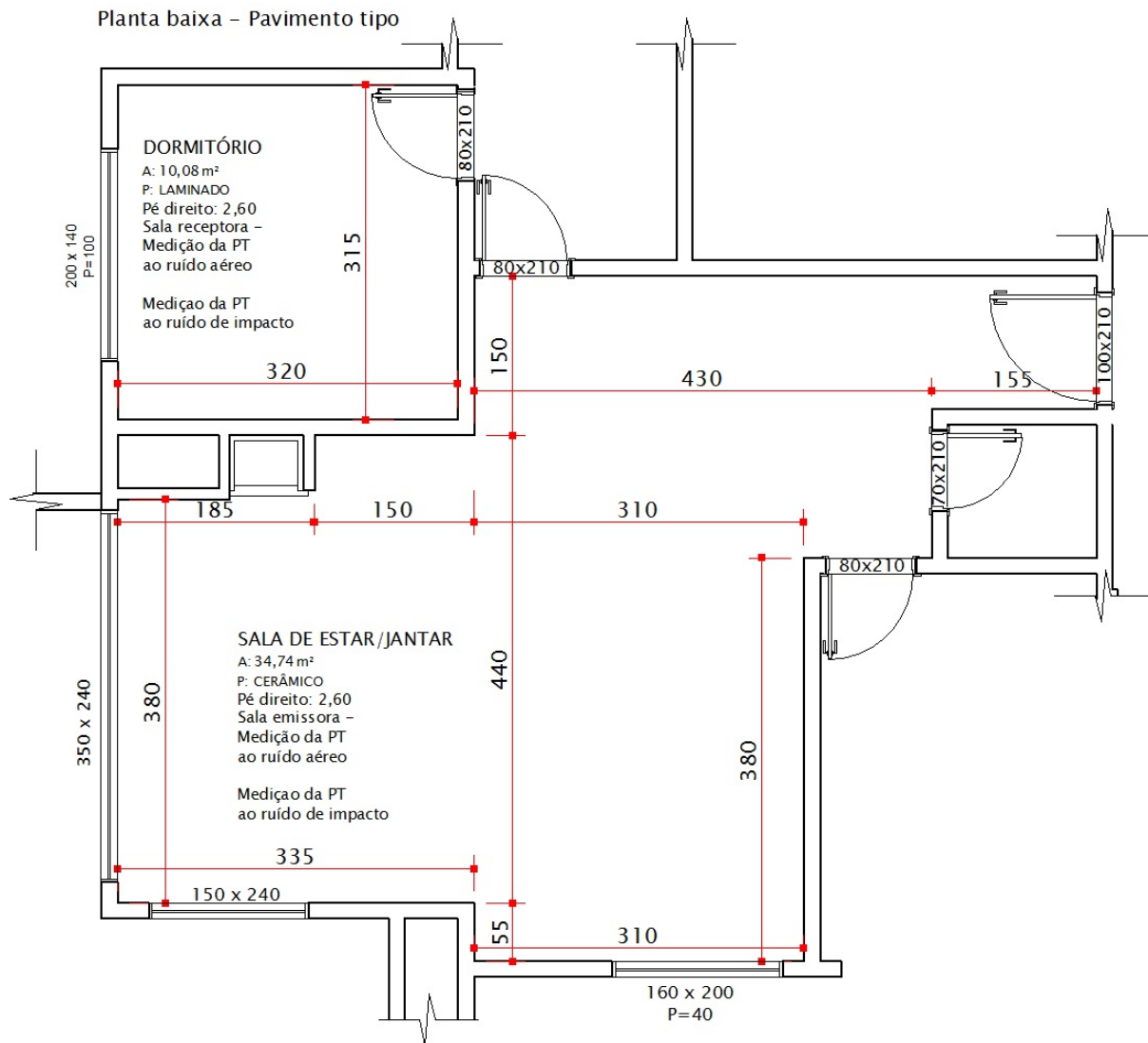


Figura D.20.: Planta baixa - pavimento tipo - 14-R8-N-BCO-PC-PL

Fonte: Autora.

D.2.16 Planta baixa - Medição 15-R8-N-BCO-PL

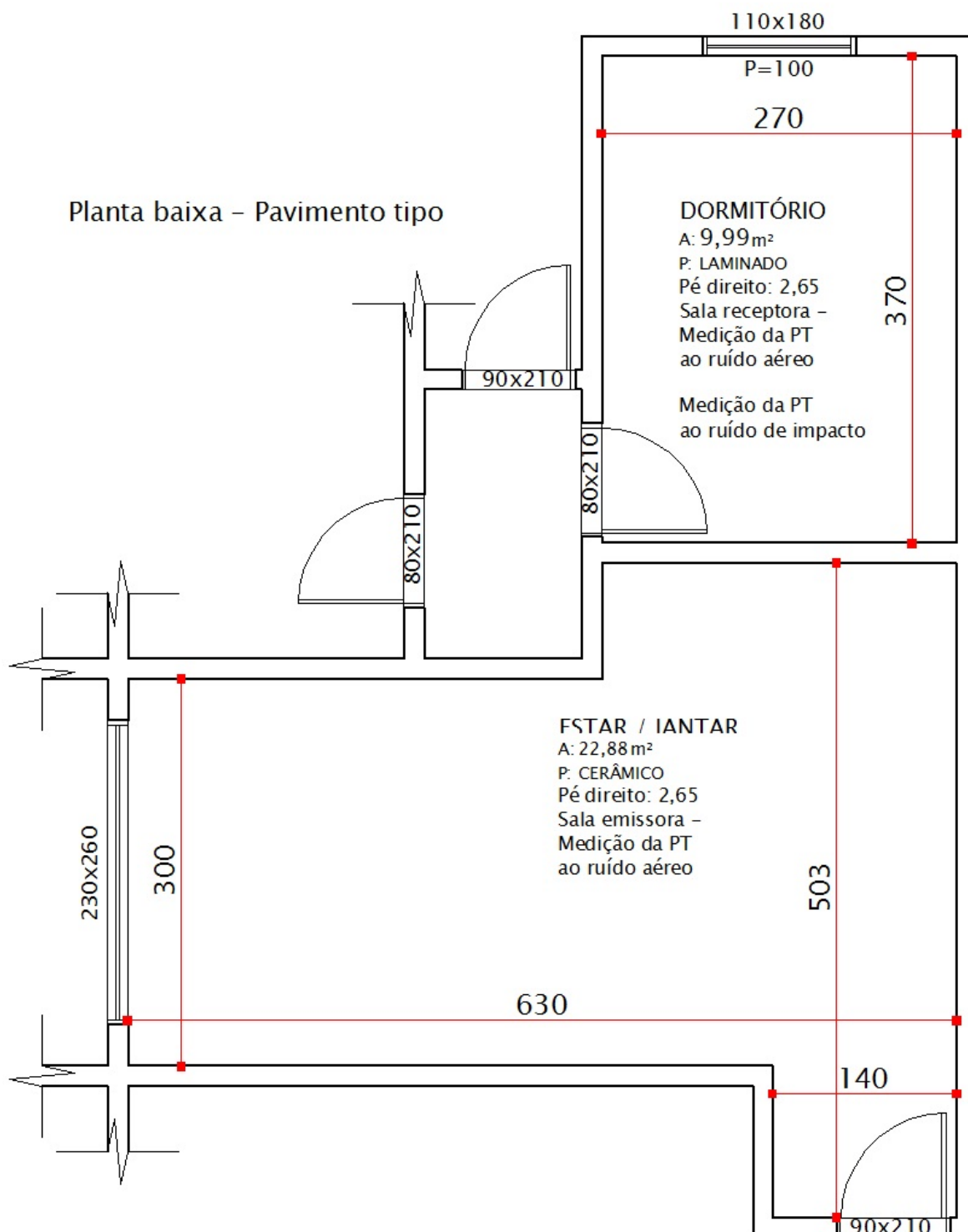


Figura D.21.: Planta baixa - pavimento tipo - 15-R8-N-BCO-PL

Fonte: Autora.

D.2.17 Planta baixa - Medição 16-R8-N-BCO-PC

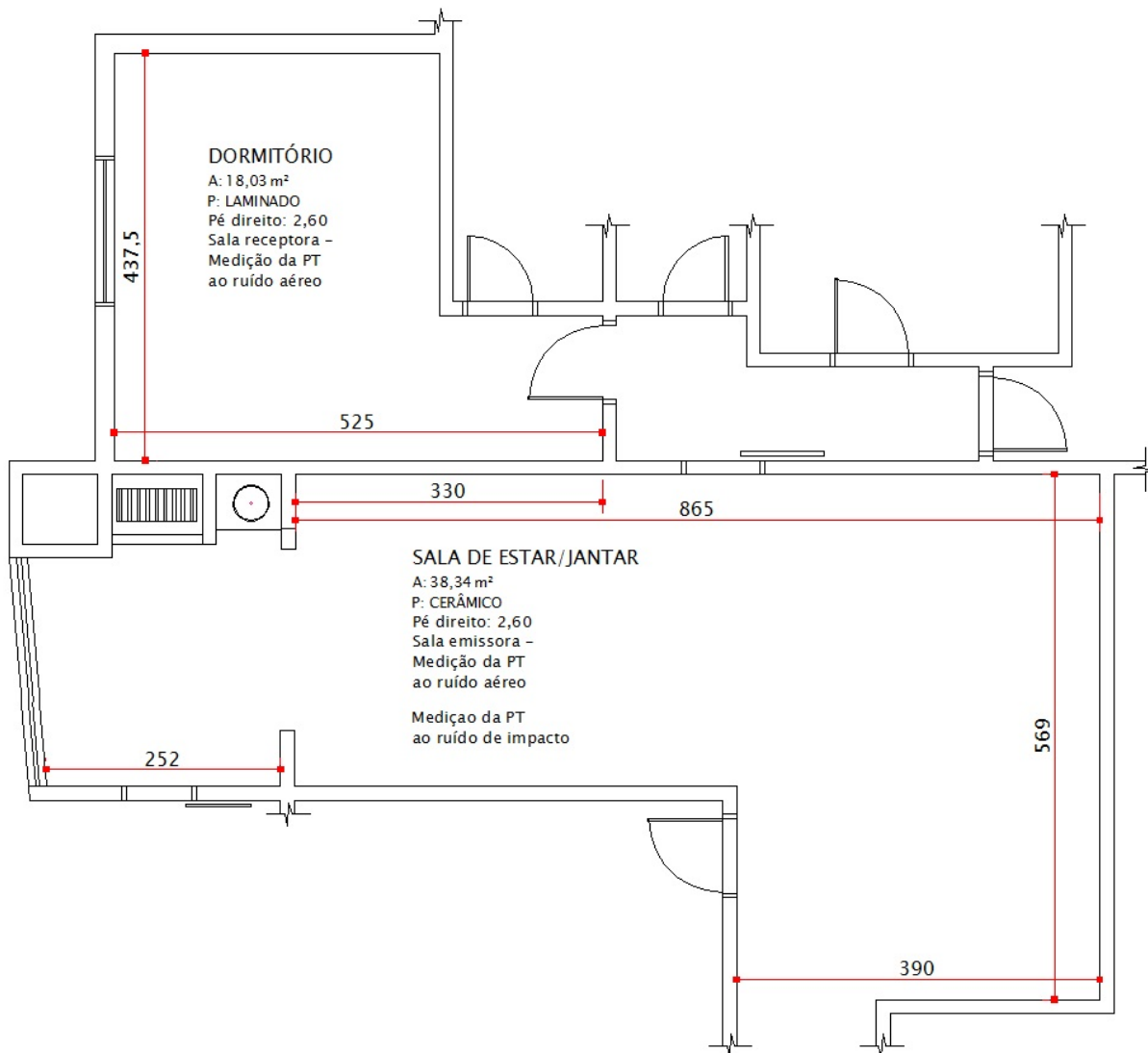


Figura D.22.: Planta baixa - pavimento tipo - 16-R8-N-BCO-PC

Fonte: Autora.

D.2.18 Planta baixa - Medição 17-R8-N-TV

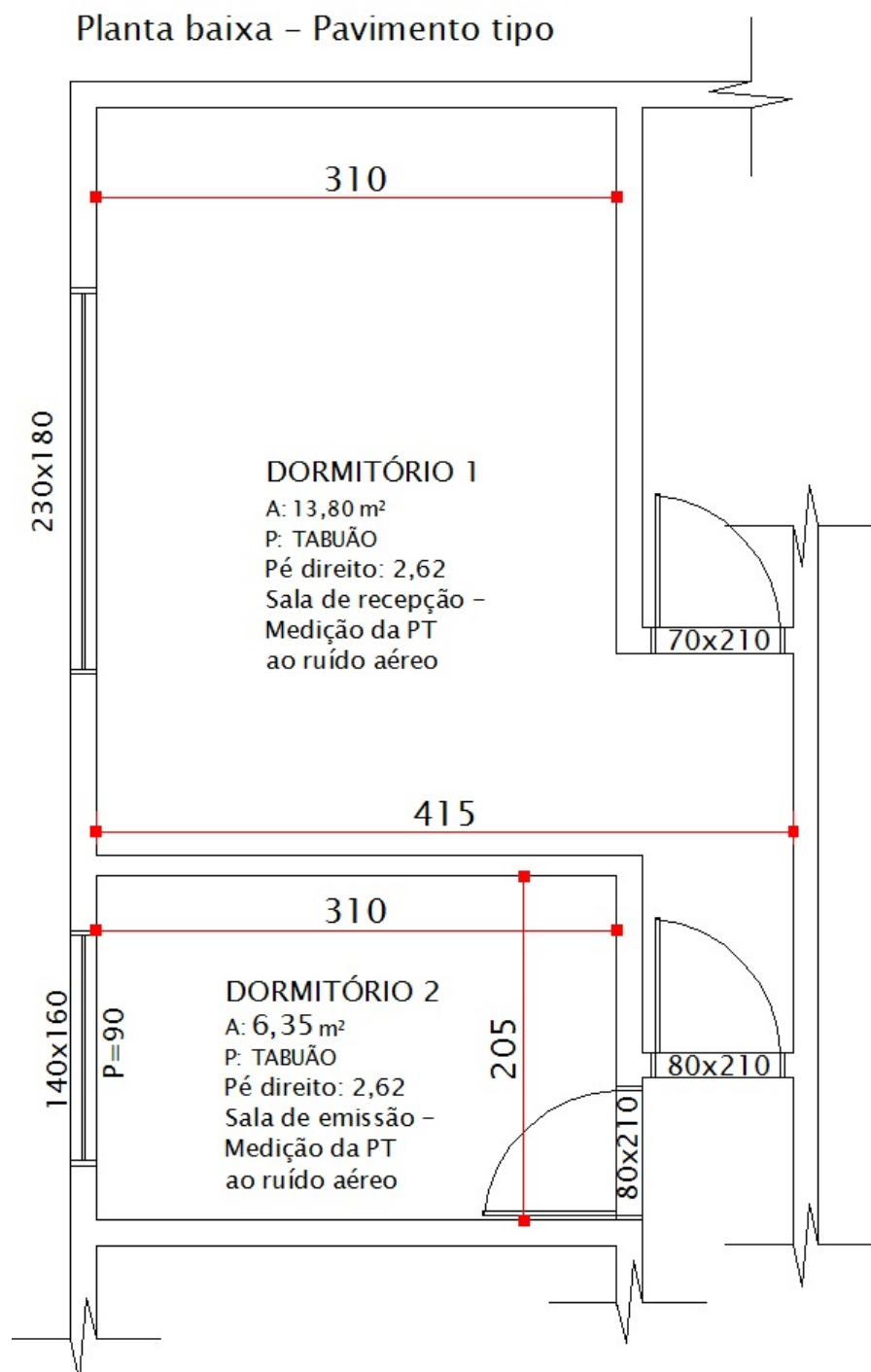


Figura D.23.: Planta baixa - pavimento tipo - 17-R8-A-TV

Fonte: Autora.

D.2.19 Planta baixa - Medição 18-R8-A-TV-PL



Figura D.24.: Planta baixa - pavimento tipo - 18-R8-A-TV-PL

Fonte: Autora.

D.2.20 Planta baixa - Medição 19-R8-A-TV

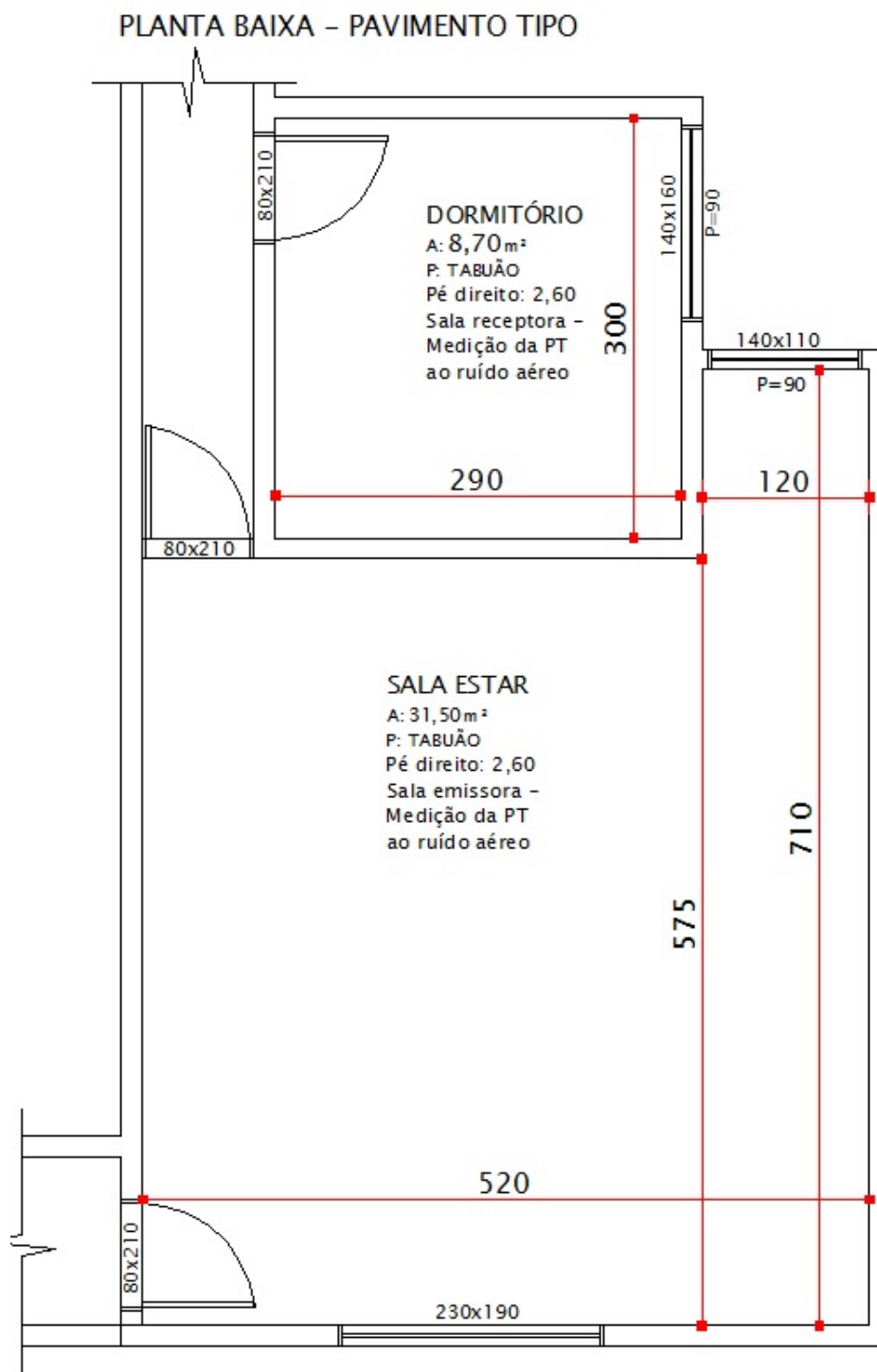


Figura D.25.: Planta baixa - pavimento tipo - 19-R8-A-TV

Fonte: Autora.

D.2.21 Planta baixa - Medição 20-R8-A-TV

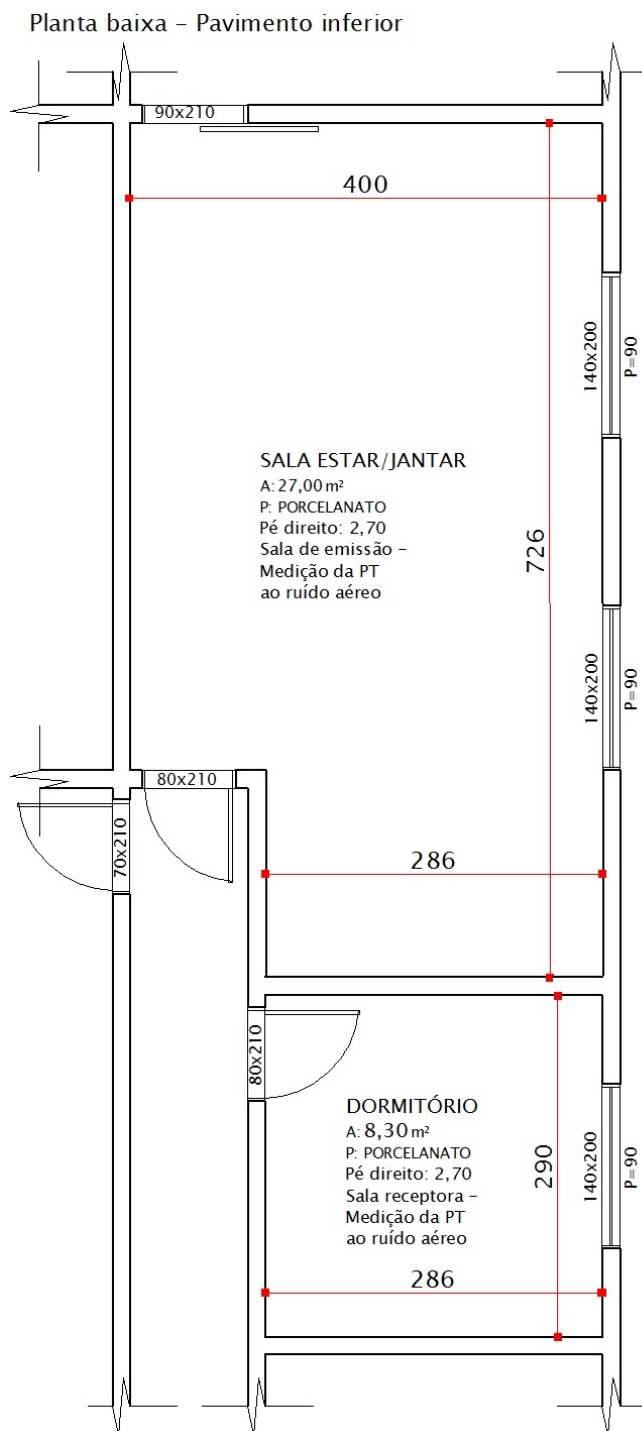


Figura D.26.: Planta baixa - pavimento tipo - 20-R8-A-TV

Fonte: Autora.

D.2.22 Planta baixa - Medição 20-R8-A-PC

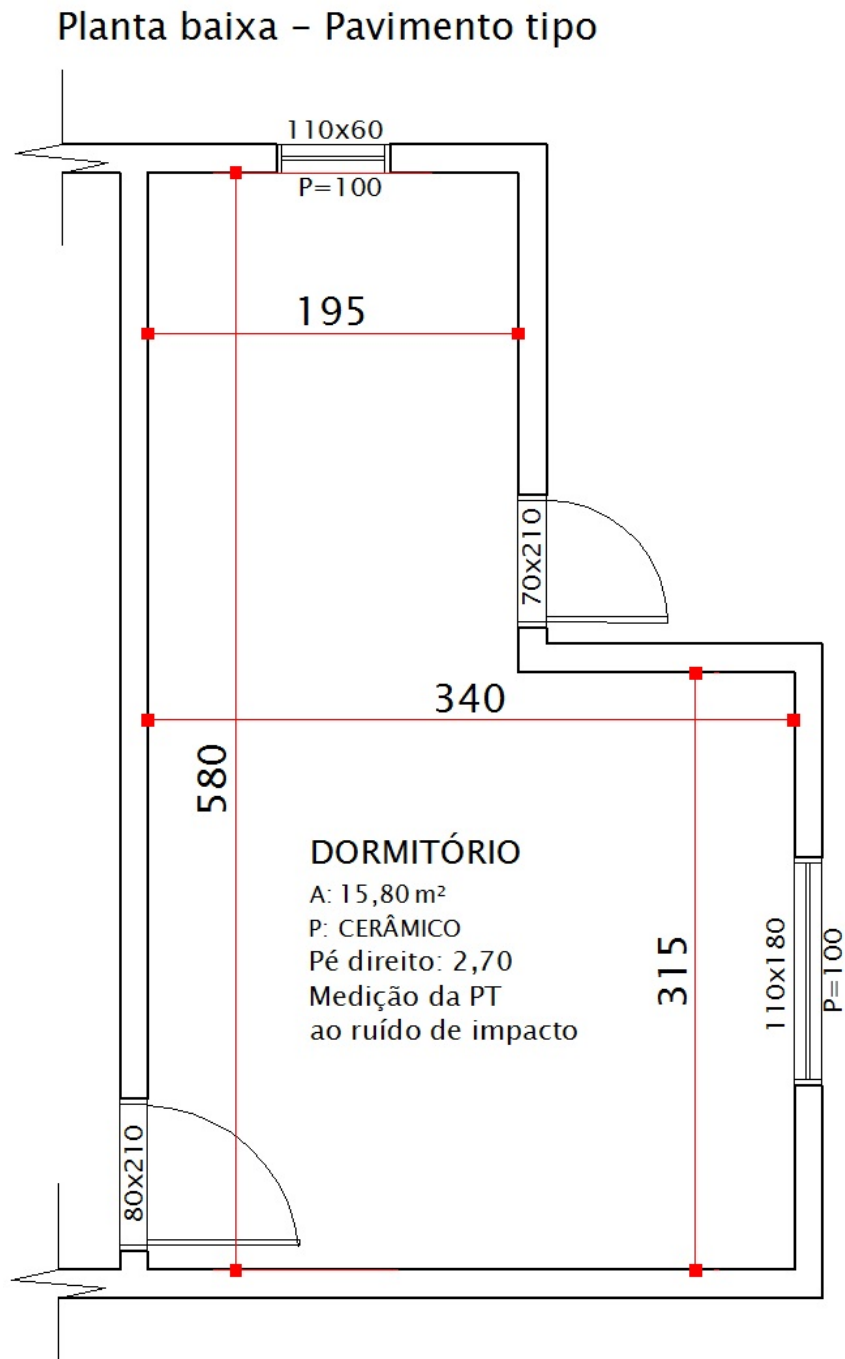


Figura D.27.: Planta baixa - pavimento tipo - 20-R8-A-PC

Fonte: Autora.

D.3. Análise estatística das medições *in loco* ao ruído aéreo

D.3.1 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 PIS-TV

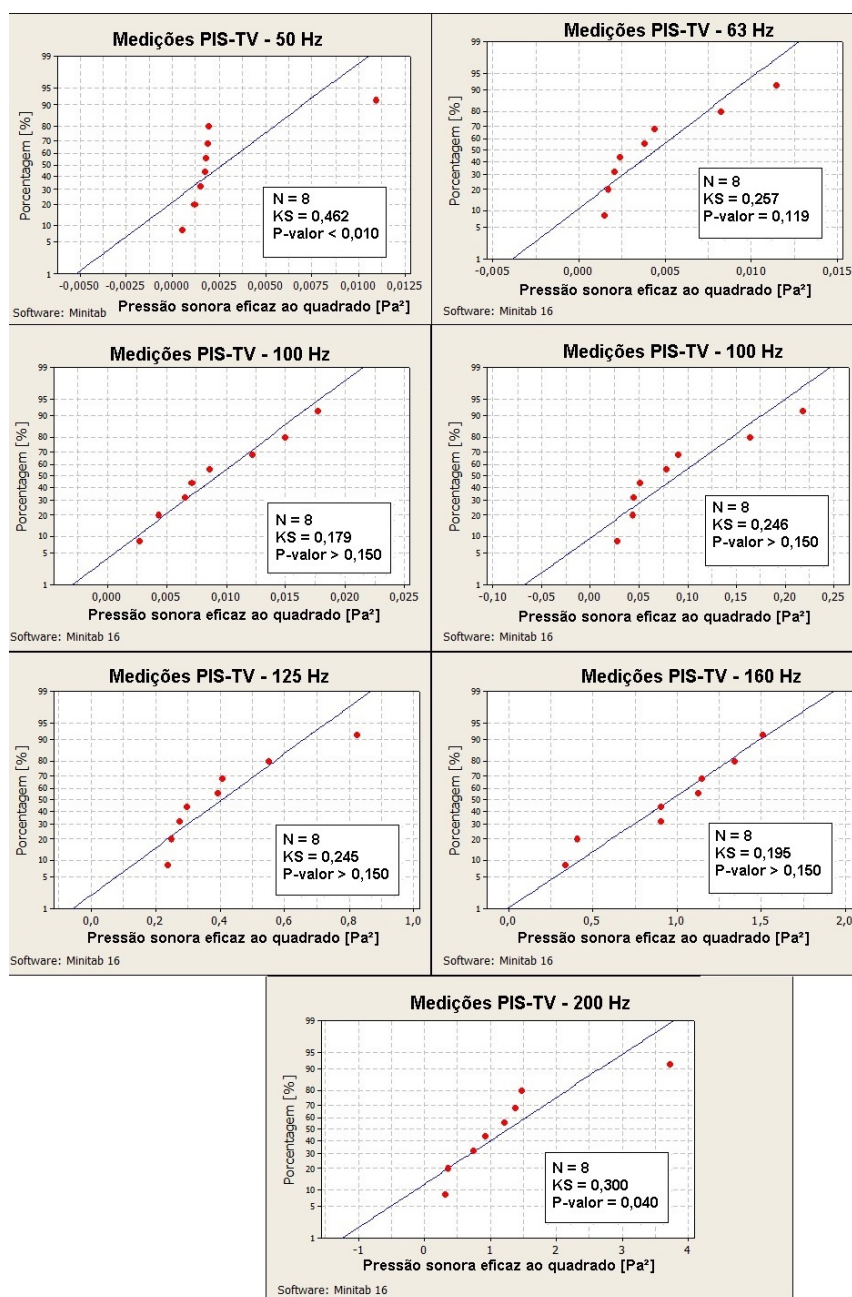


Figura D.28.: Teste de normalidade - Medições L_1 PIS-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

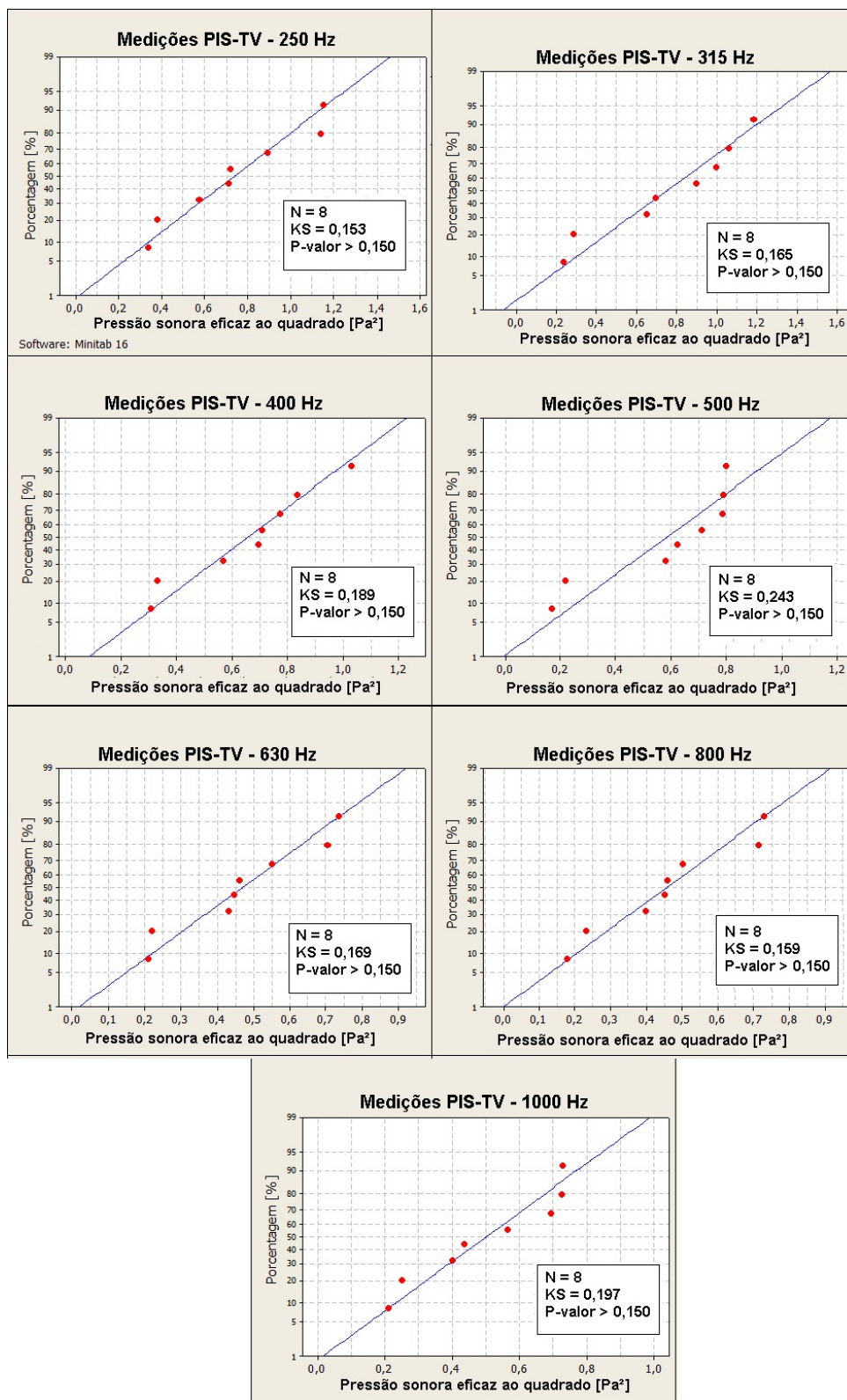


Figura D.29.: Teste de normalidade - Medições L_1 PIS-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

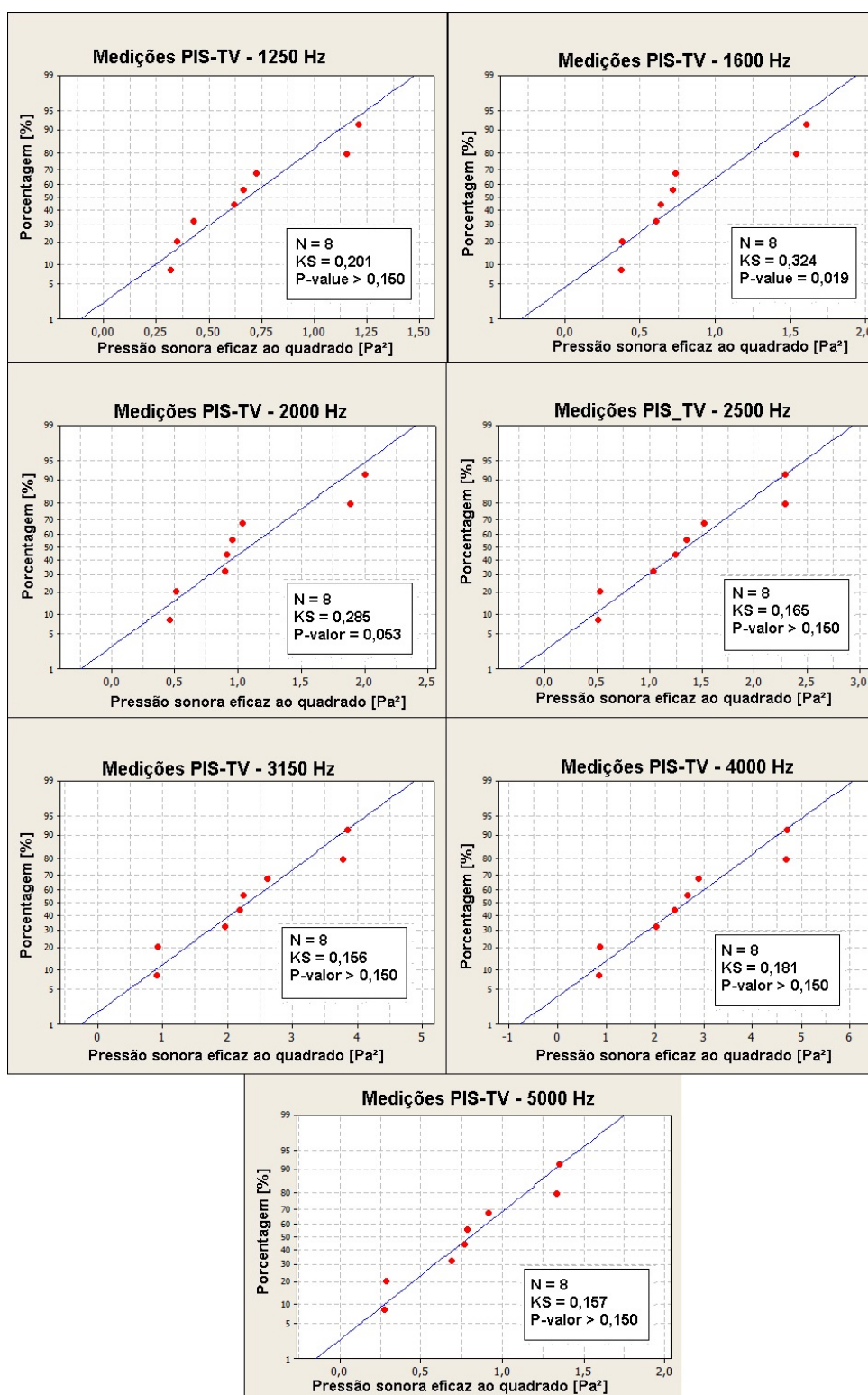


Figura D.30.: Teste de normalidade - Medições L_1 PIS-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.2 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 PIS-TV

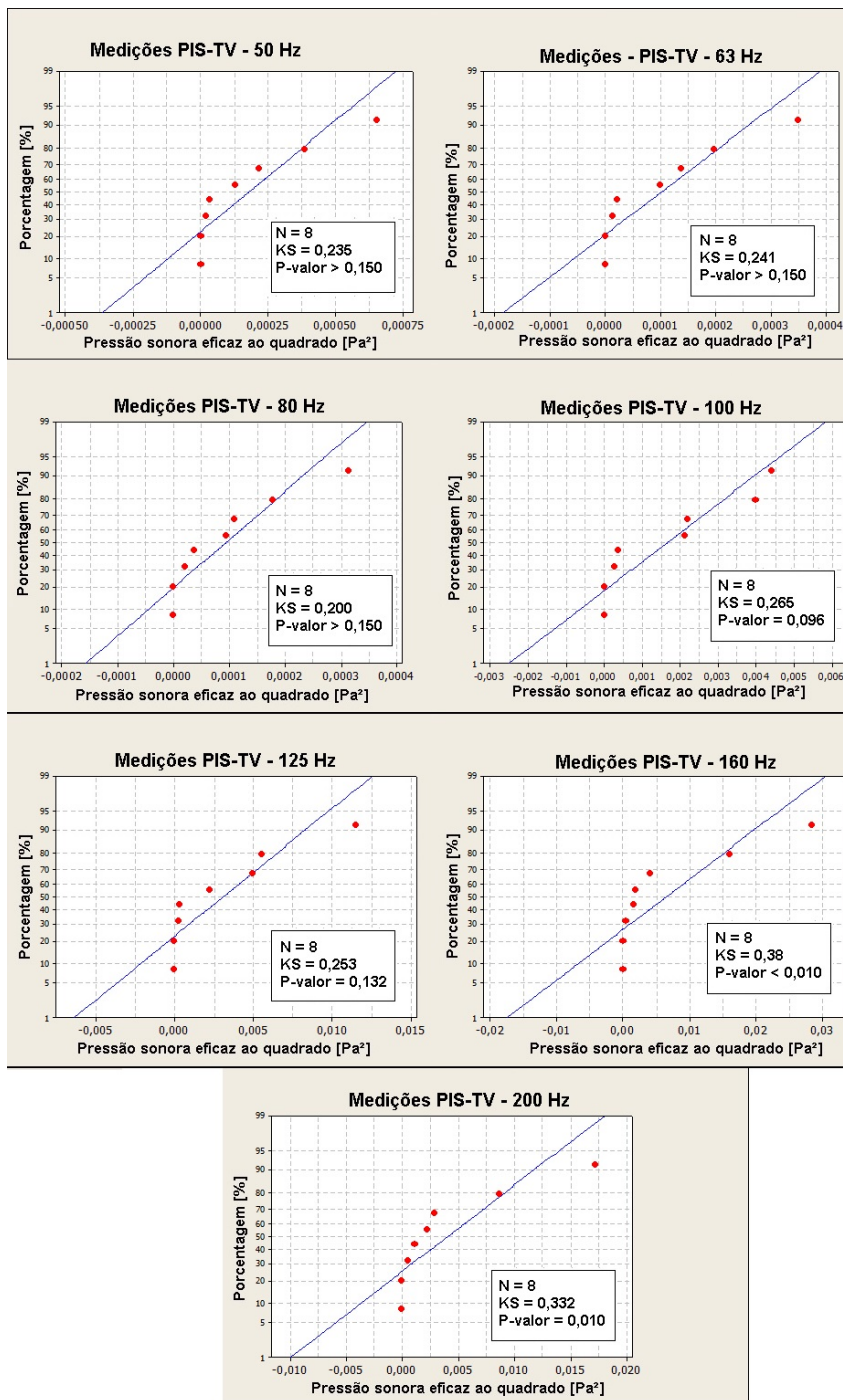
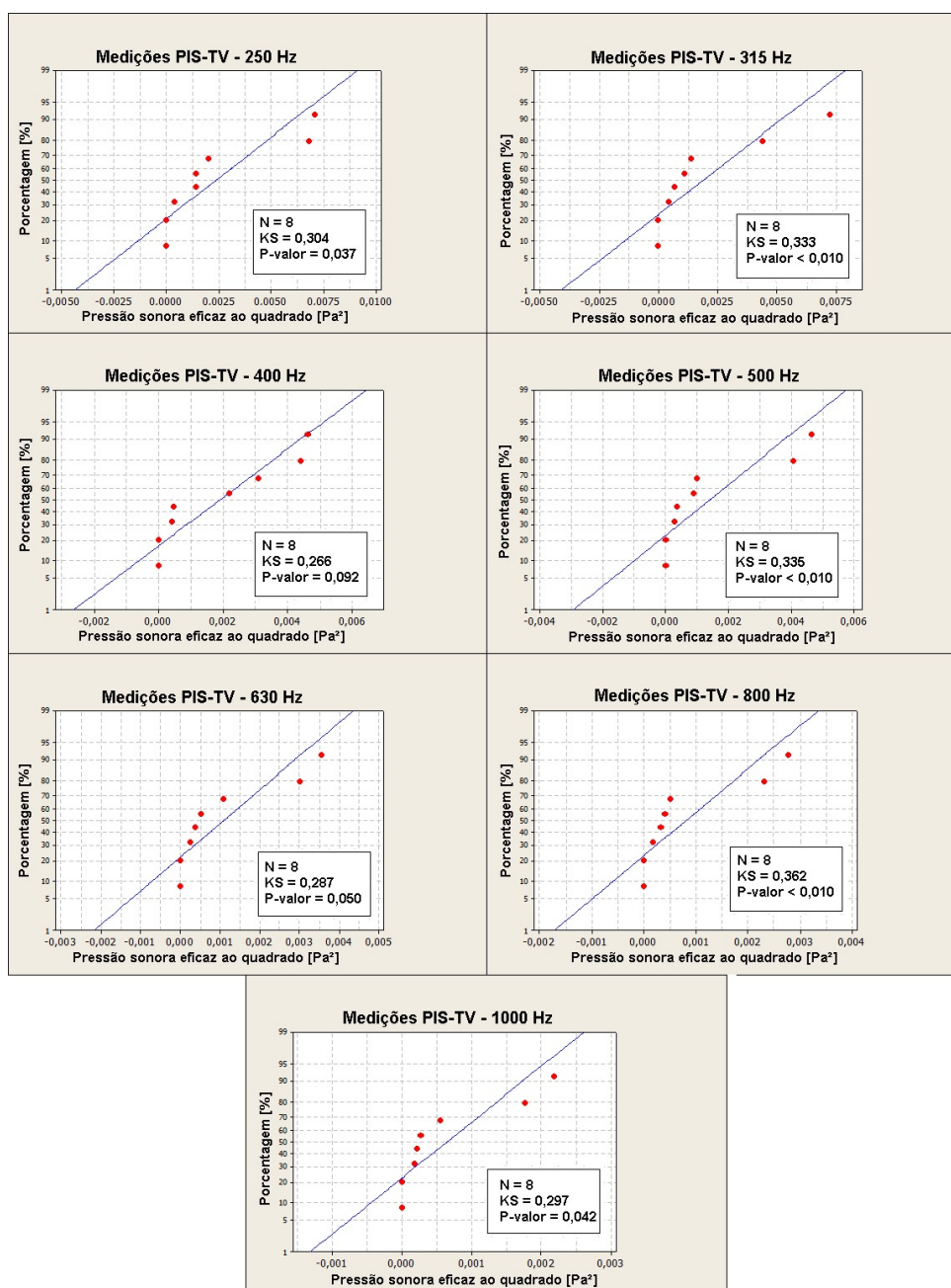


Figura D.31.: Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

Figura D.32.: Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

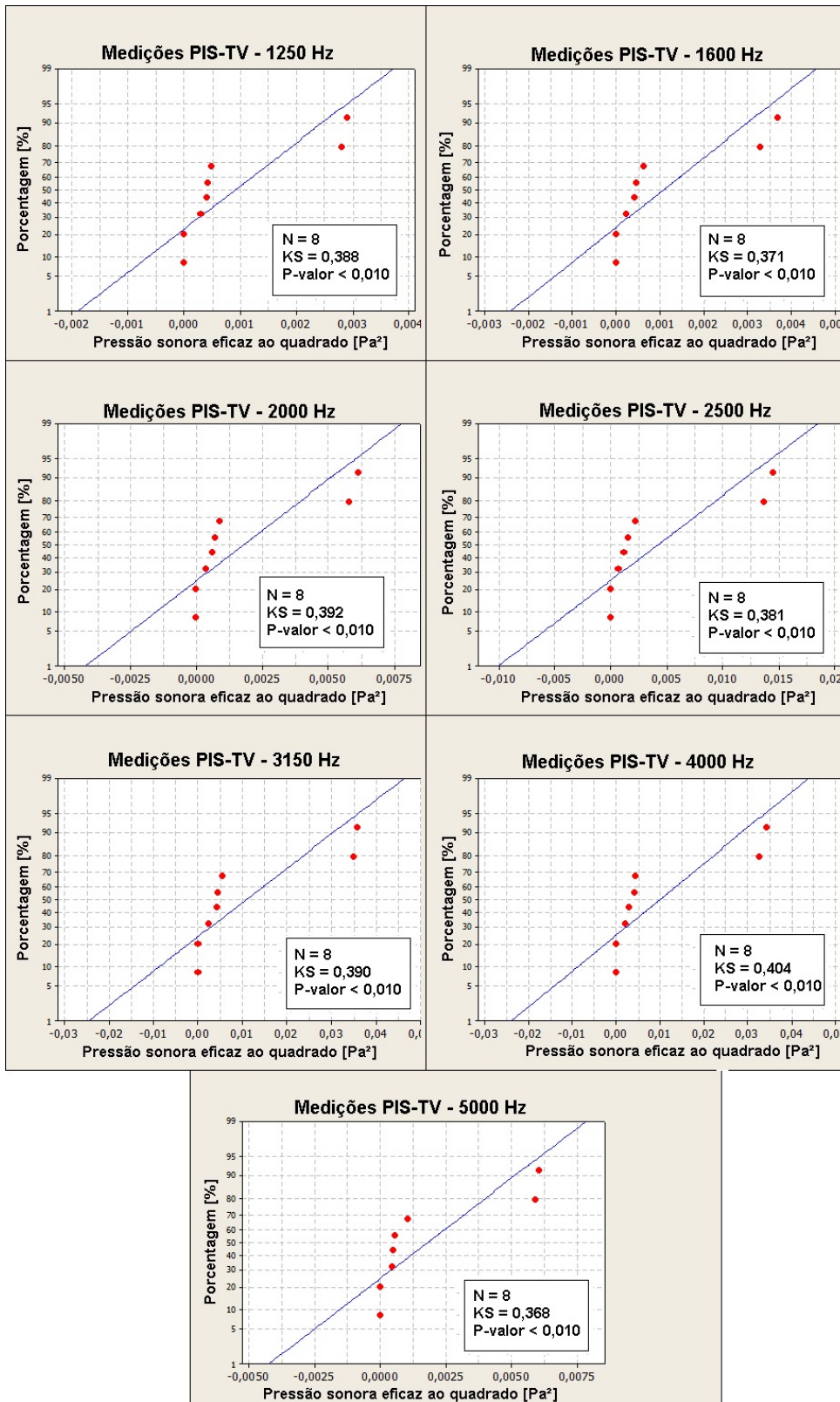


Figura D.33.: Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.3 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 R8-N-TV

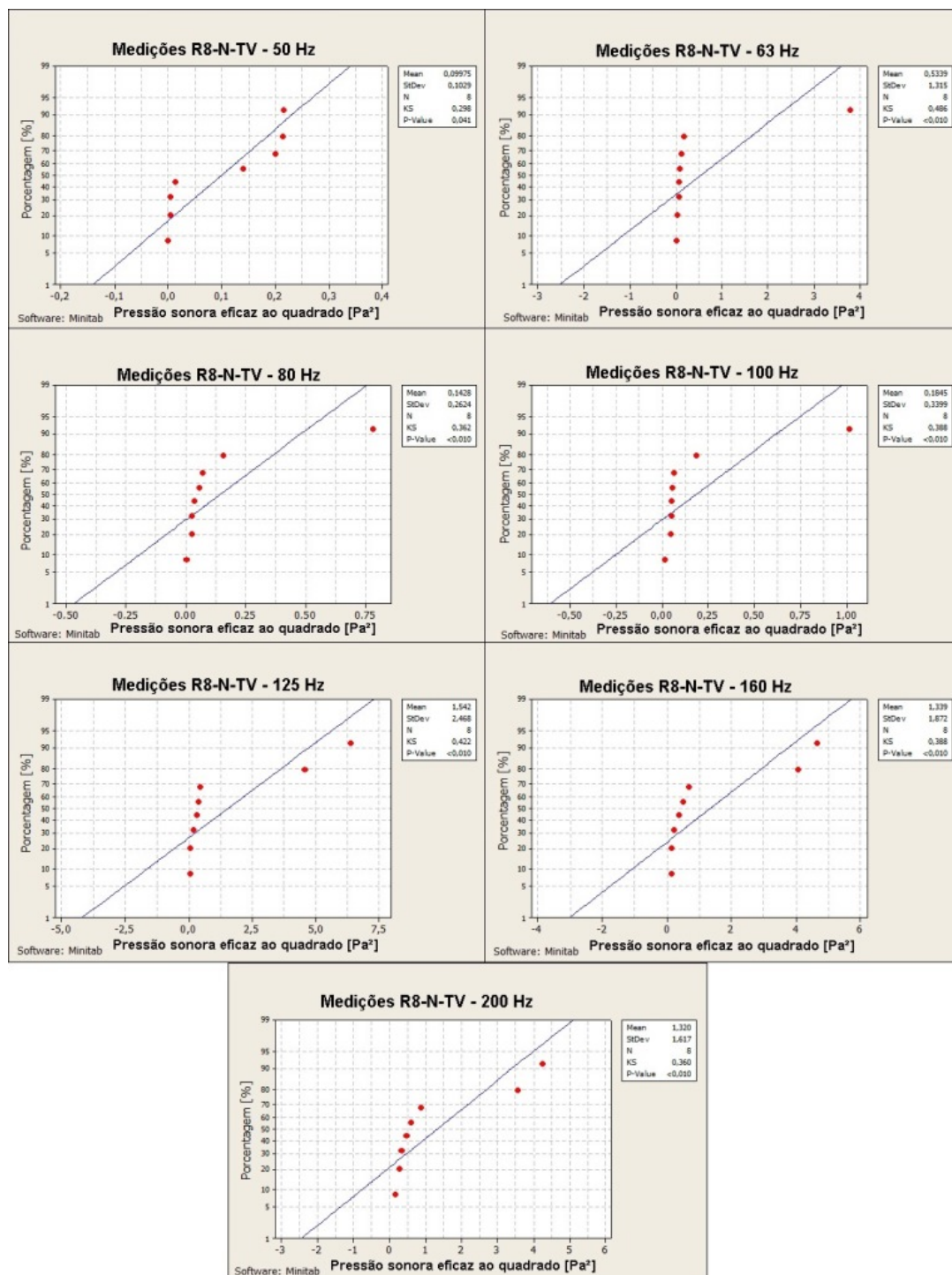


Figura D.34.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

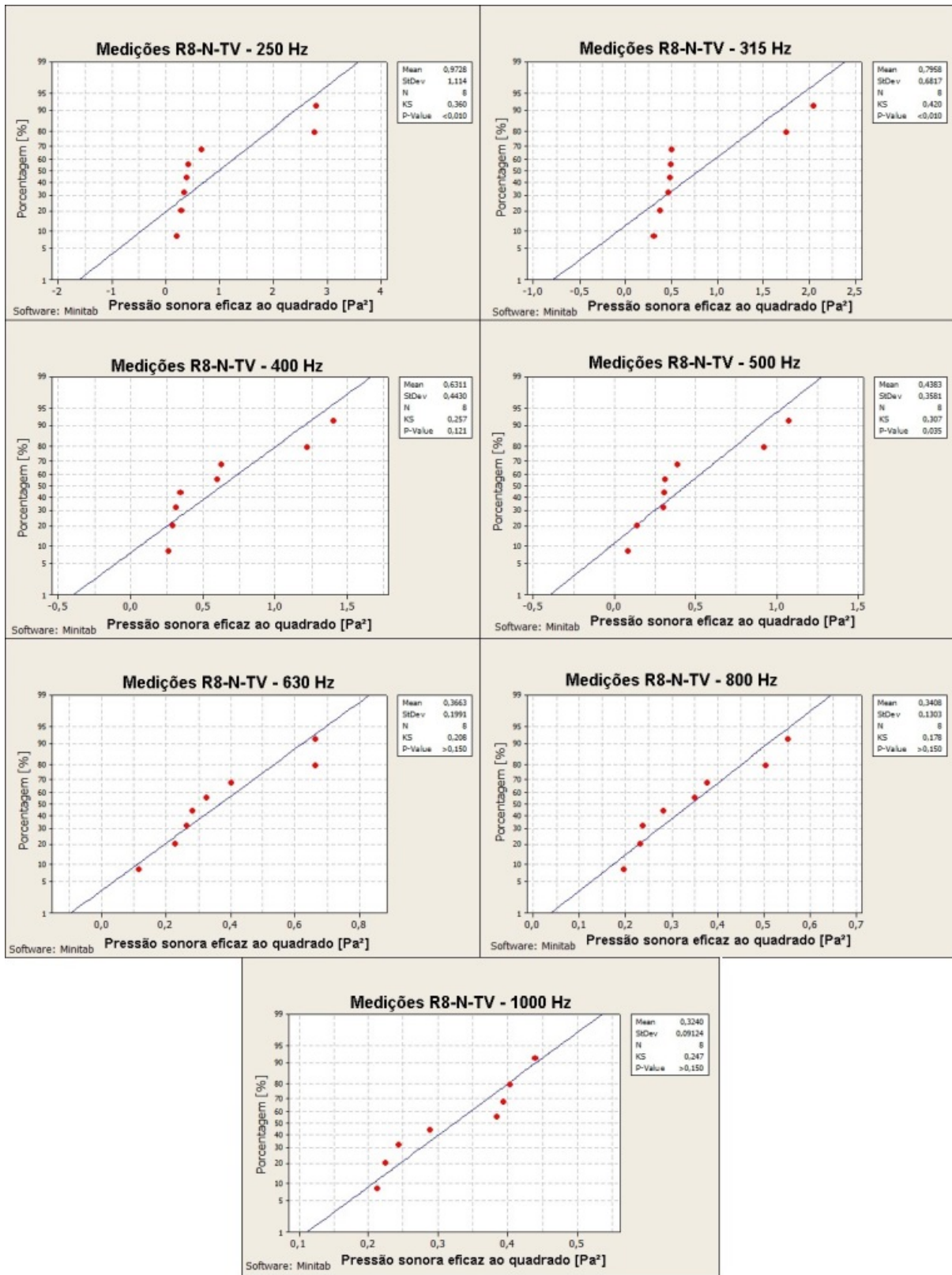


Figura D.35.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

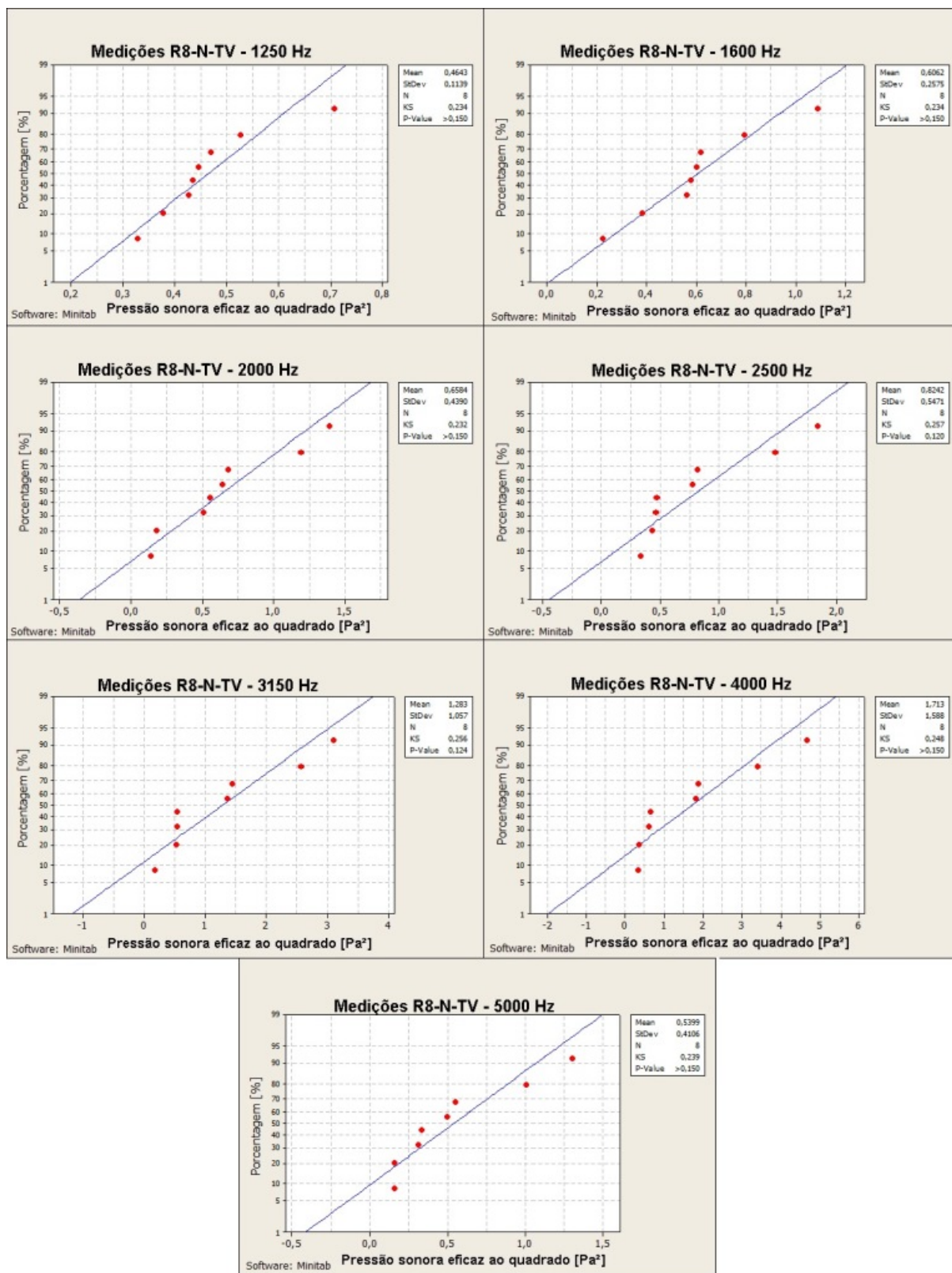


Figura D.36.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.4 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 R8-N-TV

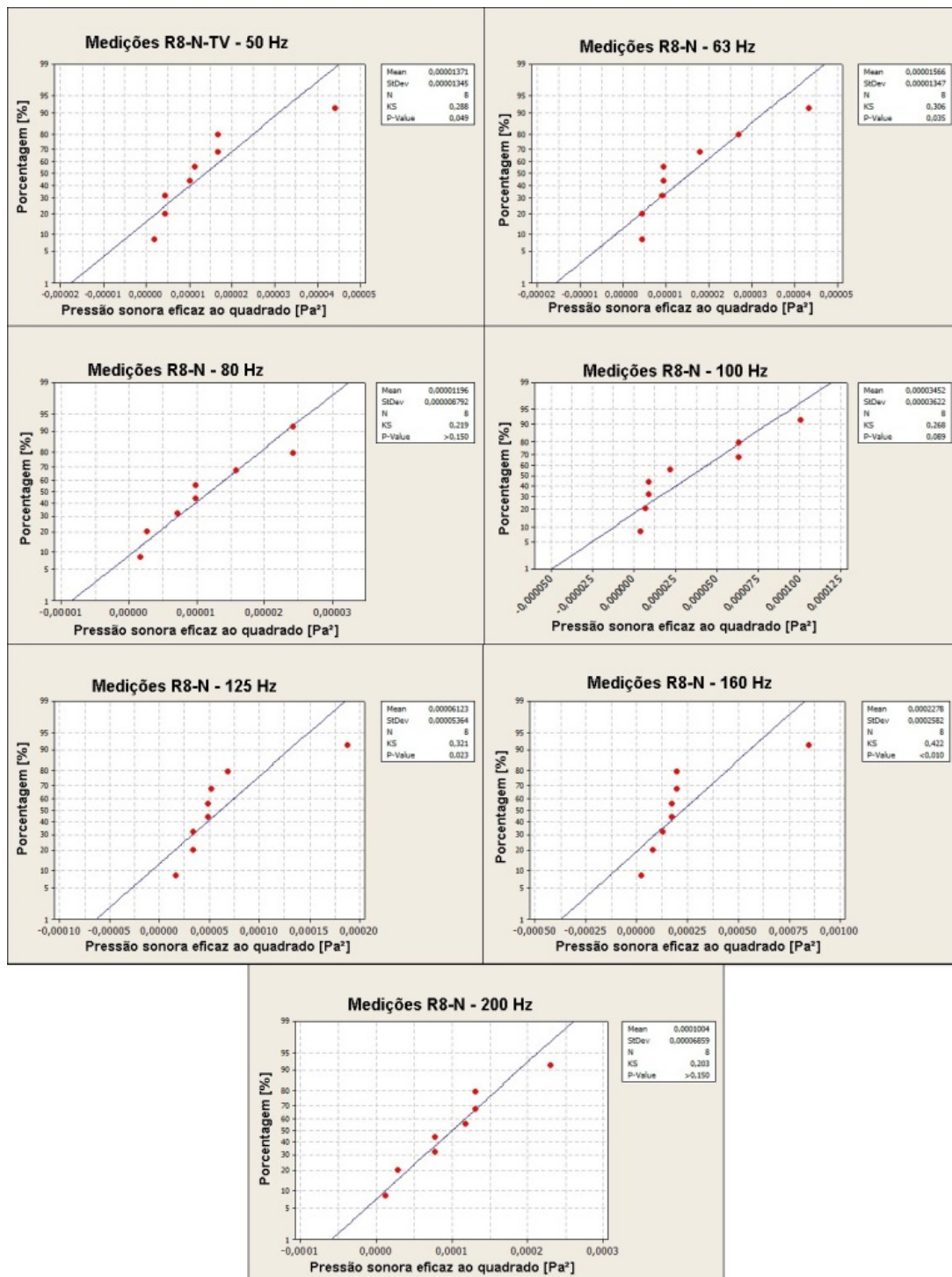


Figura D.37.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

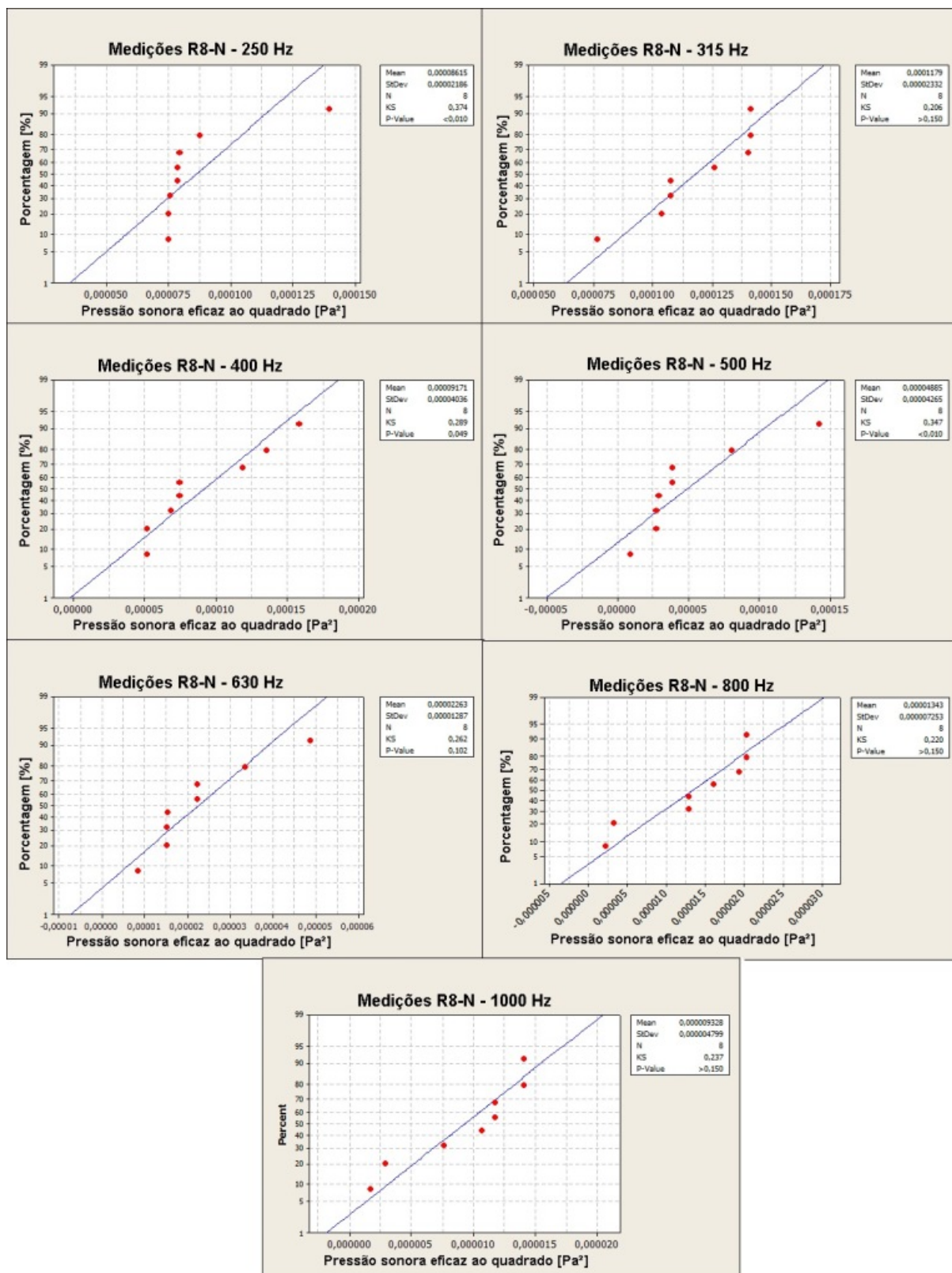


Figura D.38.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

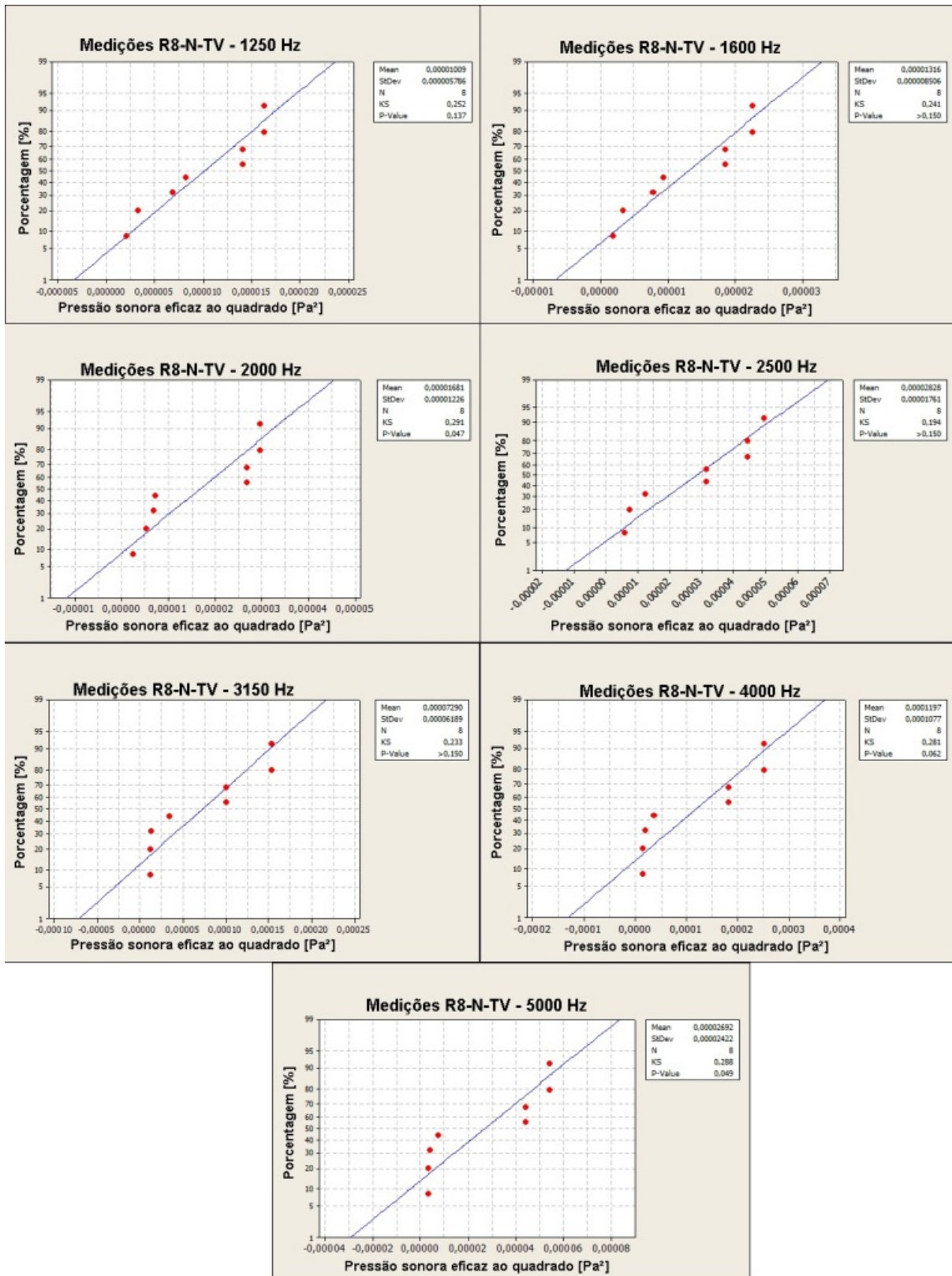


Figura D.39.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.5 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1

R8-N-BCE

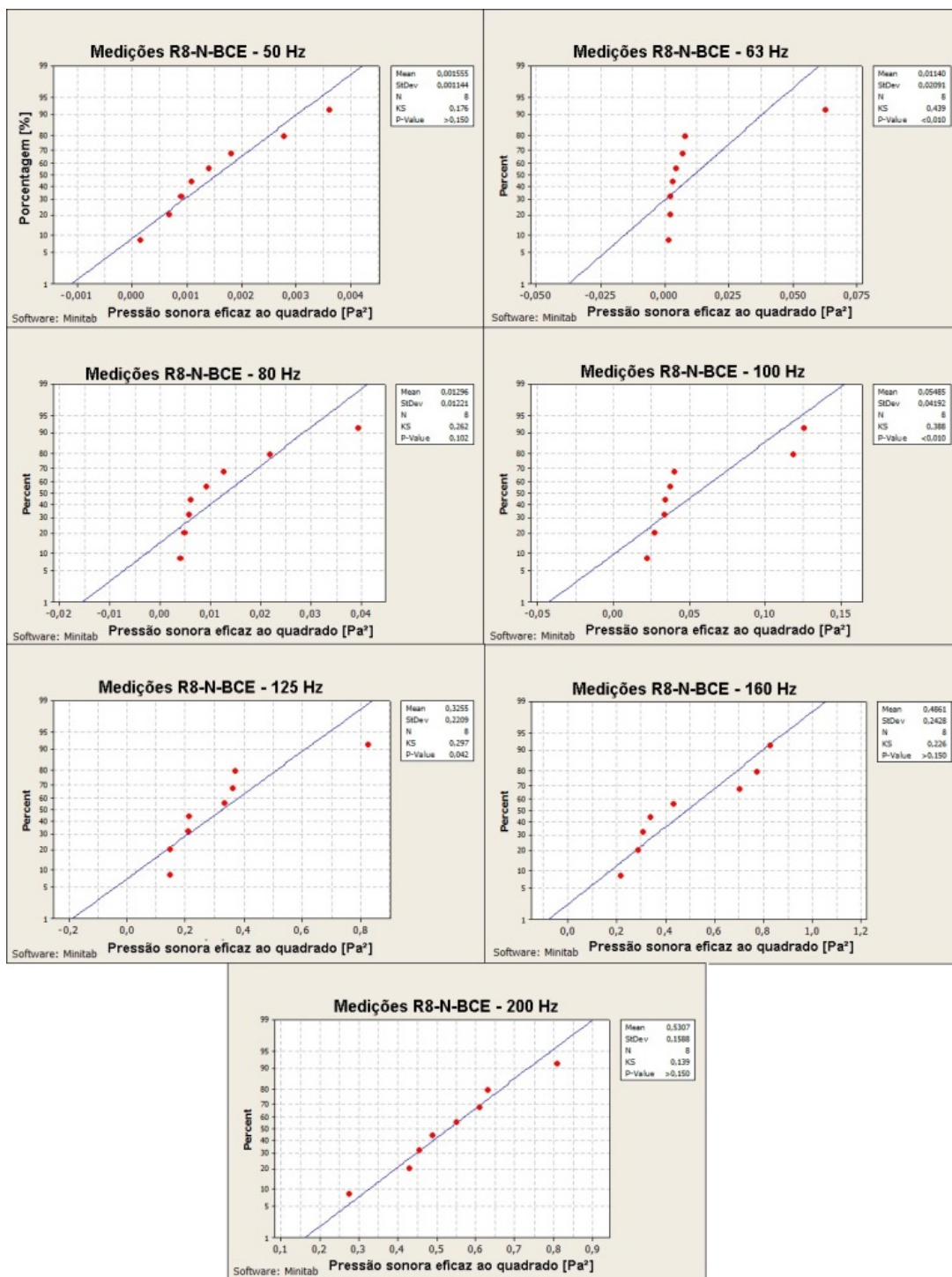


Figura D.40.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCE nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

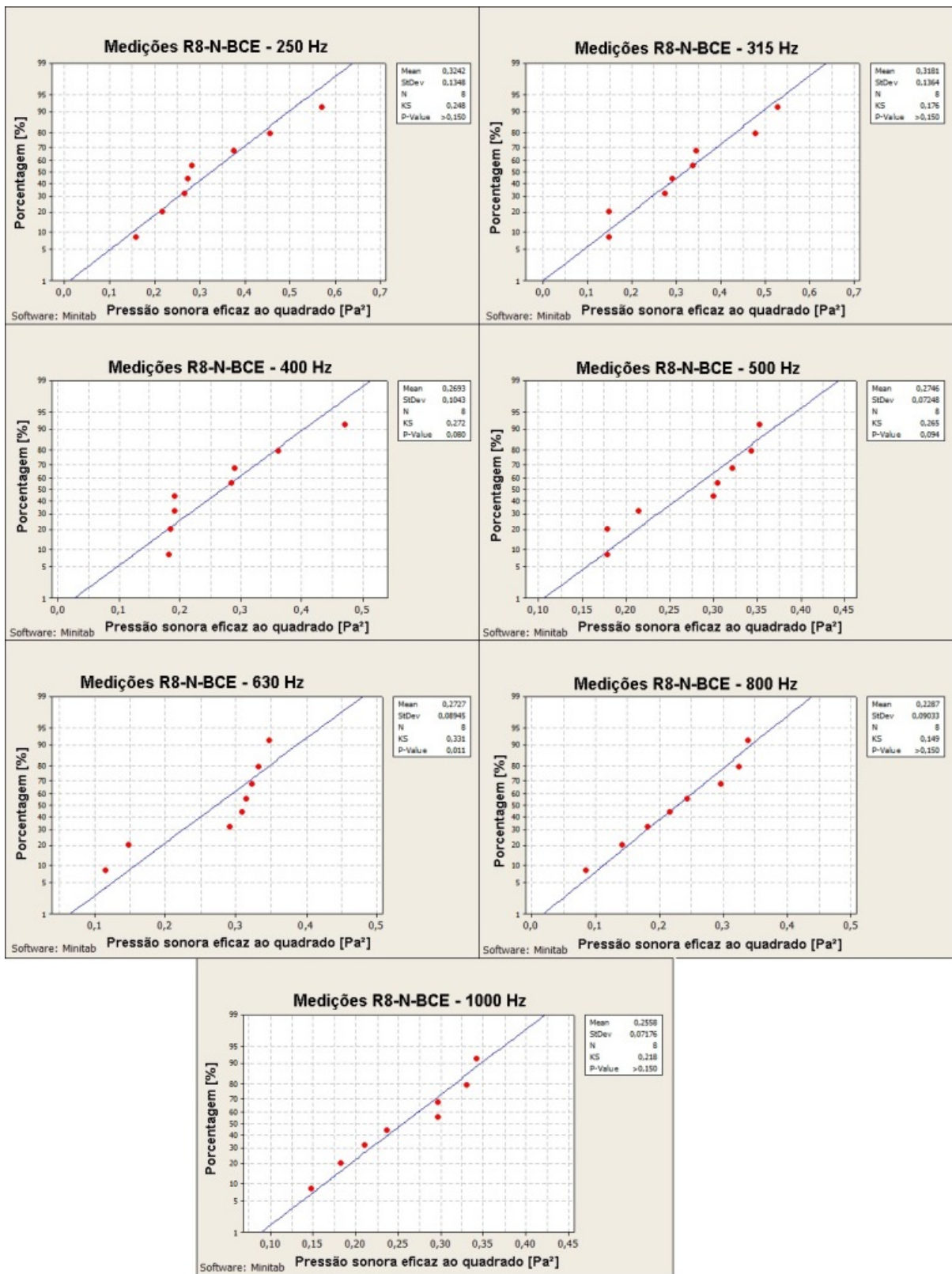


Figura D.41.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCE nas médias frequências.

Fonte: Autora.

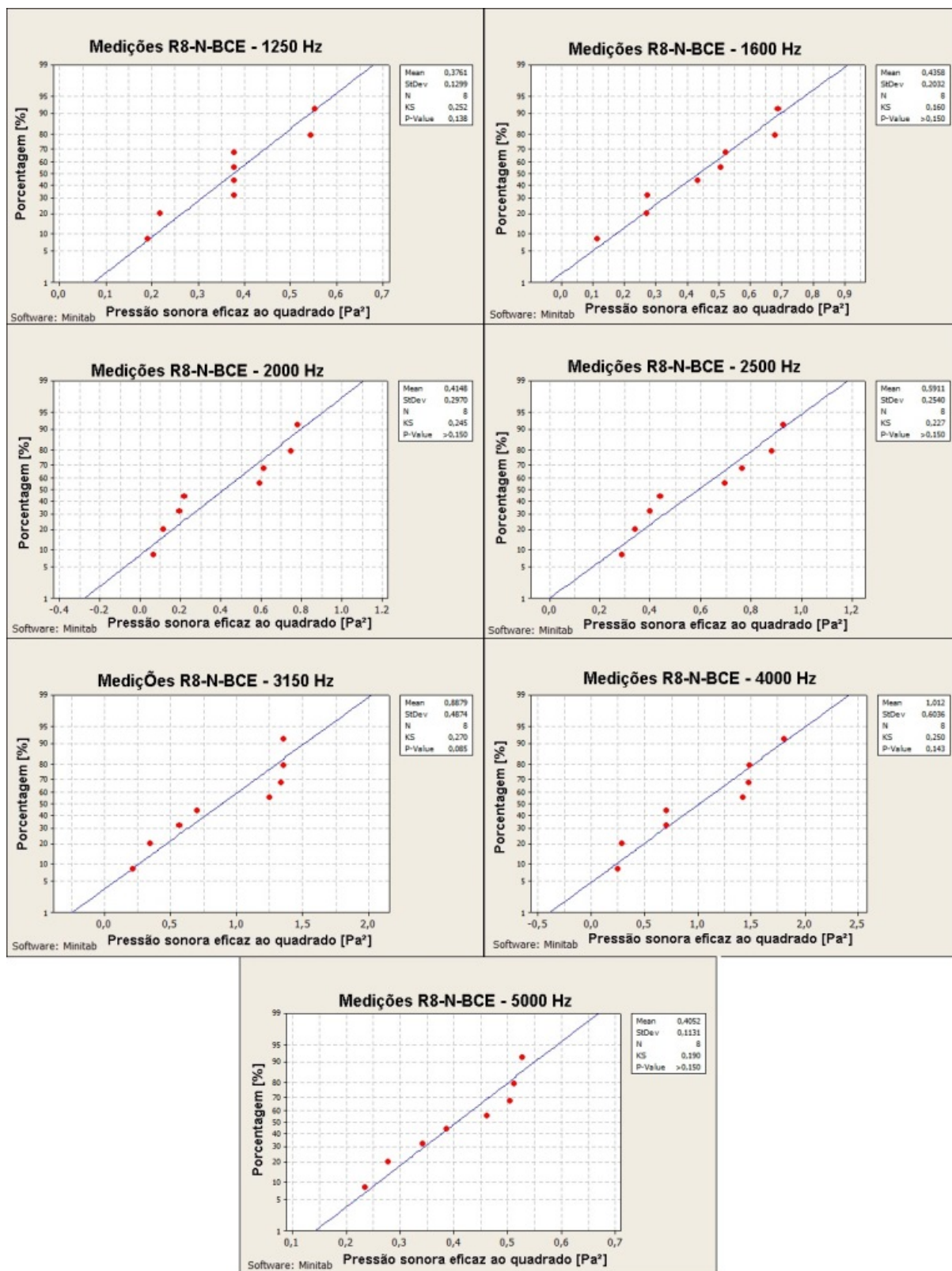


Figura D.42.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCE nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.6 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2

R8-N-BCE

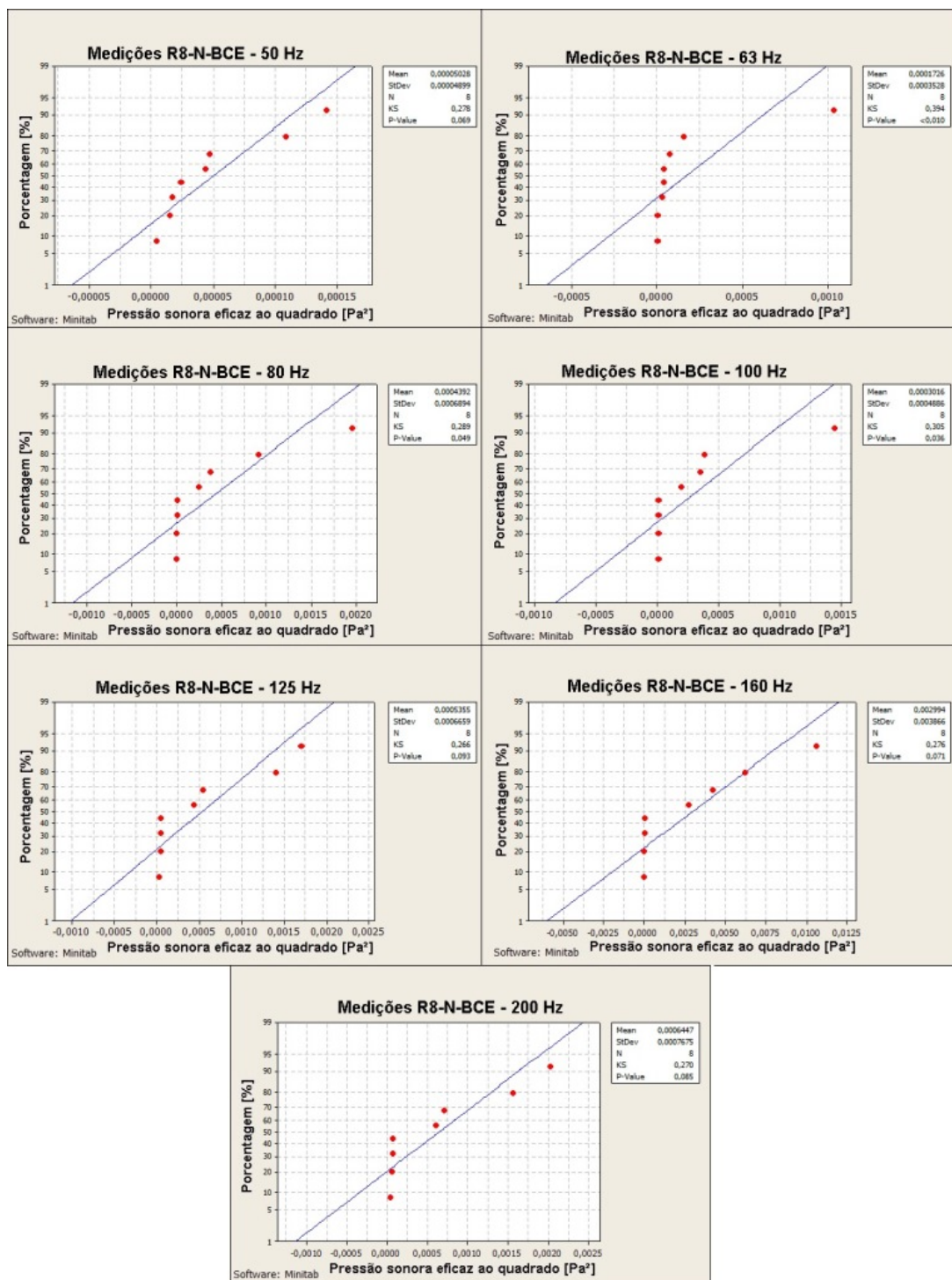


Figura D.43.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCE nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

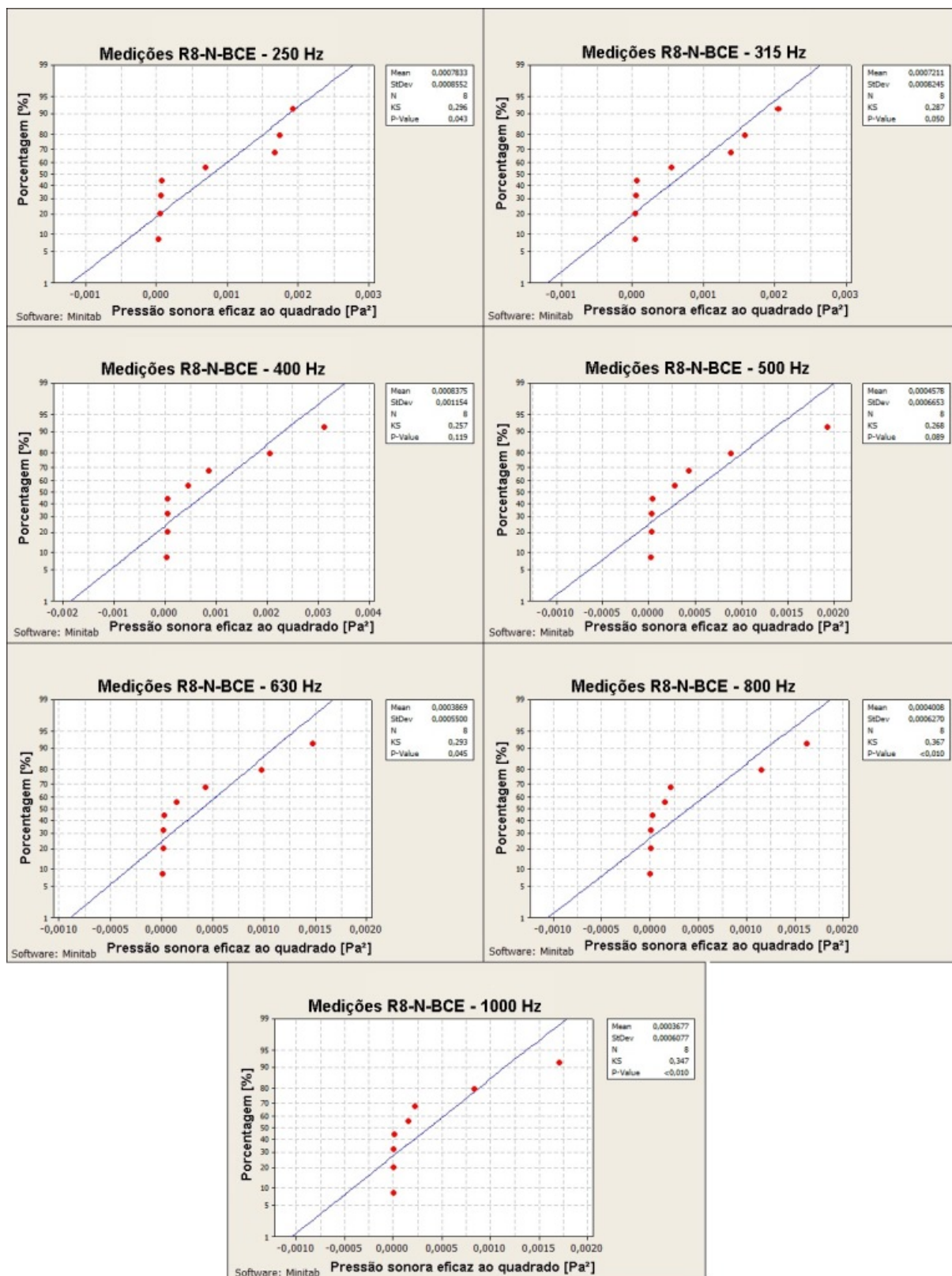


Figura D.44.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCE nas médias frequências.

Fonte: Autora.

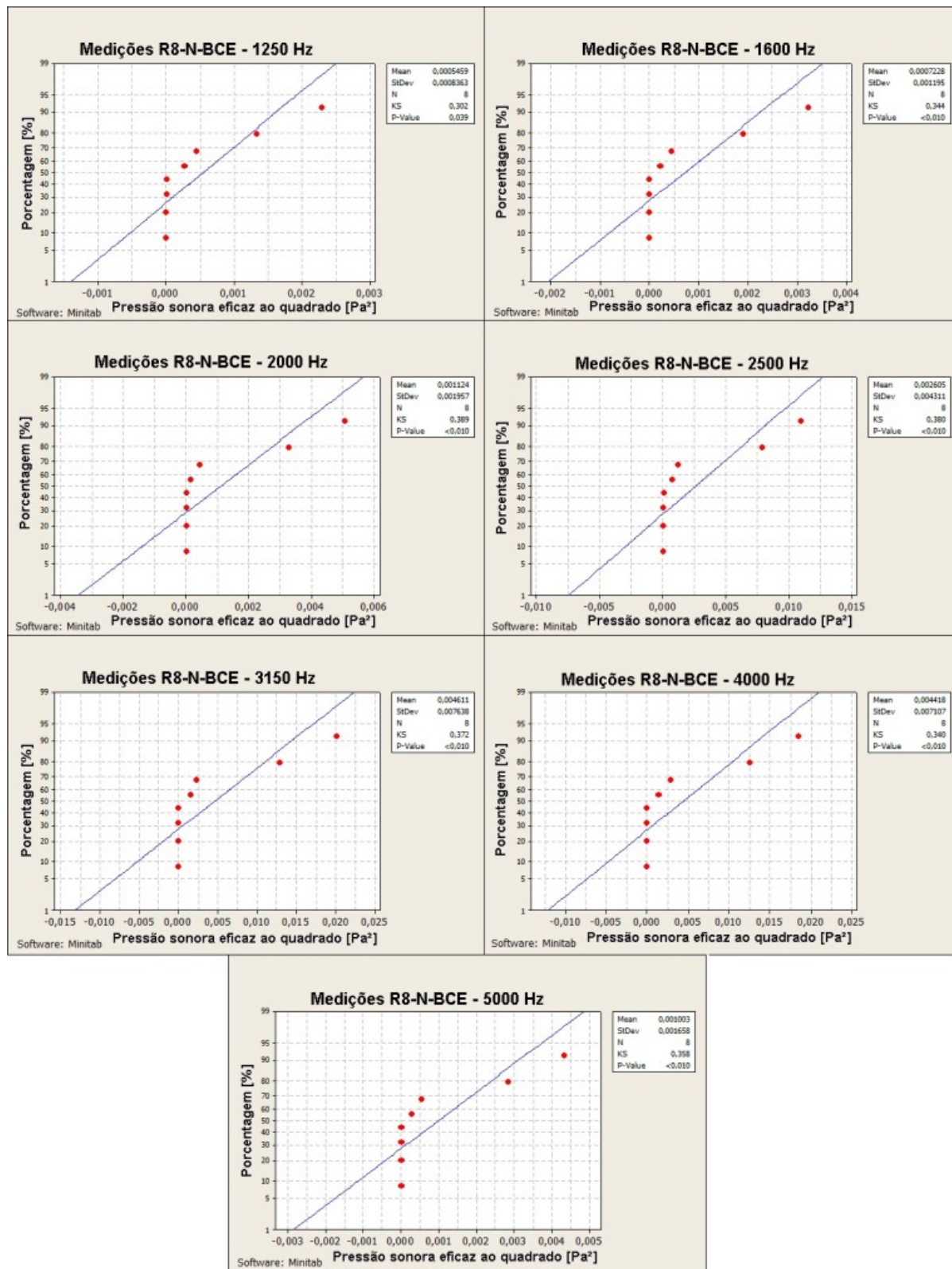


Figura D.45.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCE nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.7 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1
R8-N-BCO

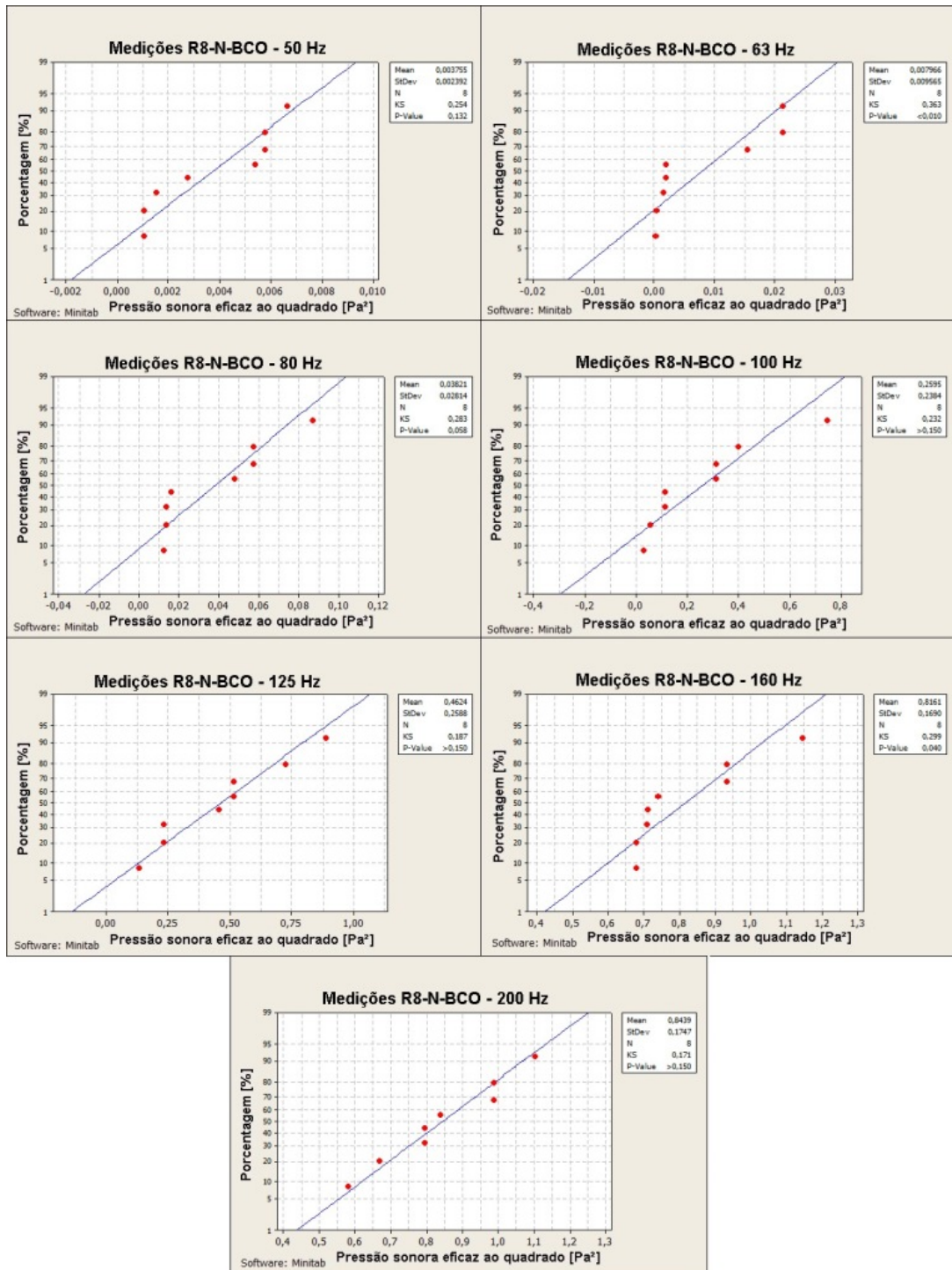


Figura D.46.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCO nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

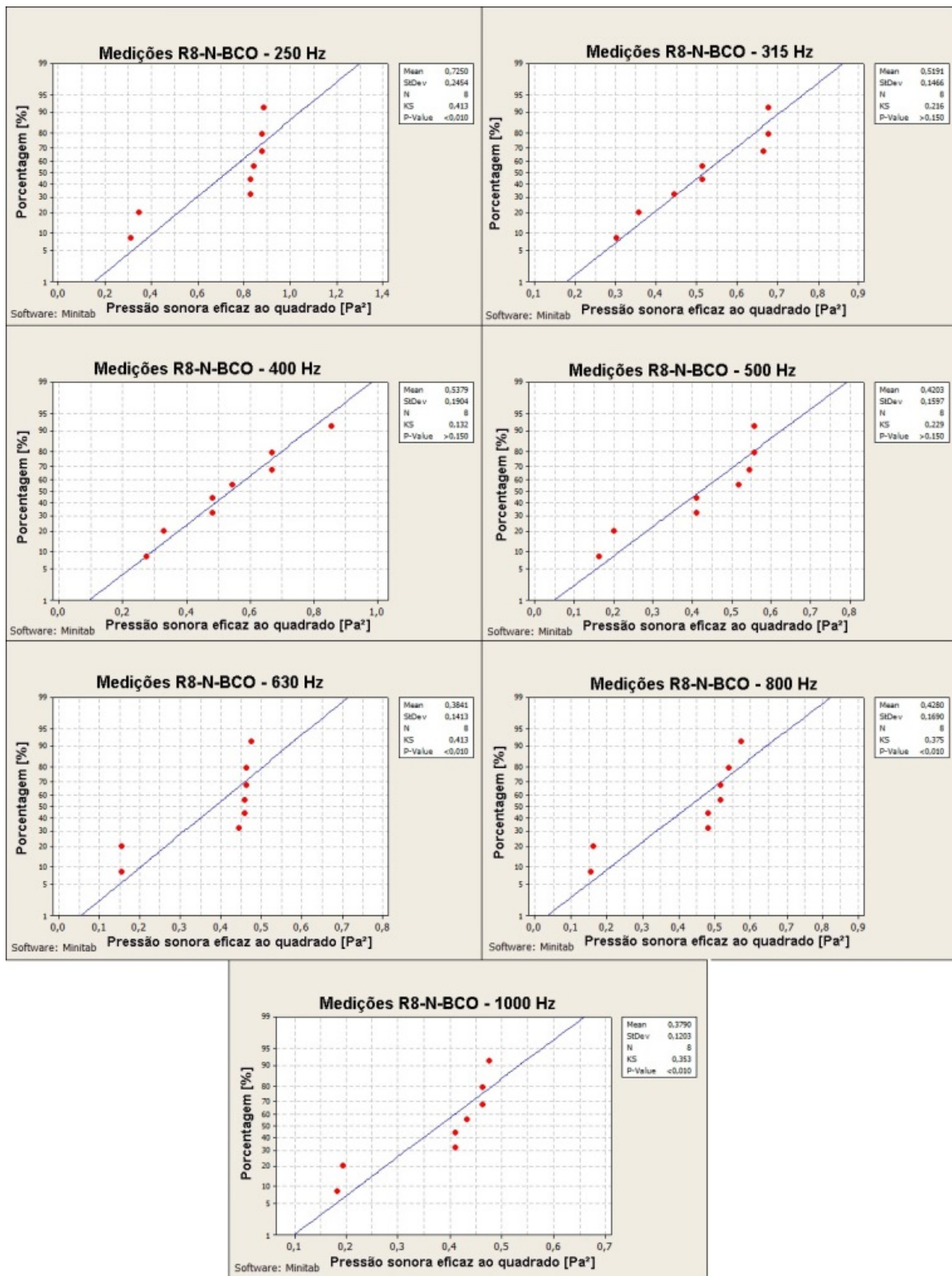


Figura D.47.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCO nas médias frequências.

Fonte: Autora.

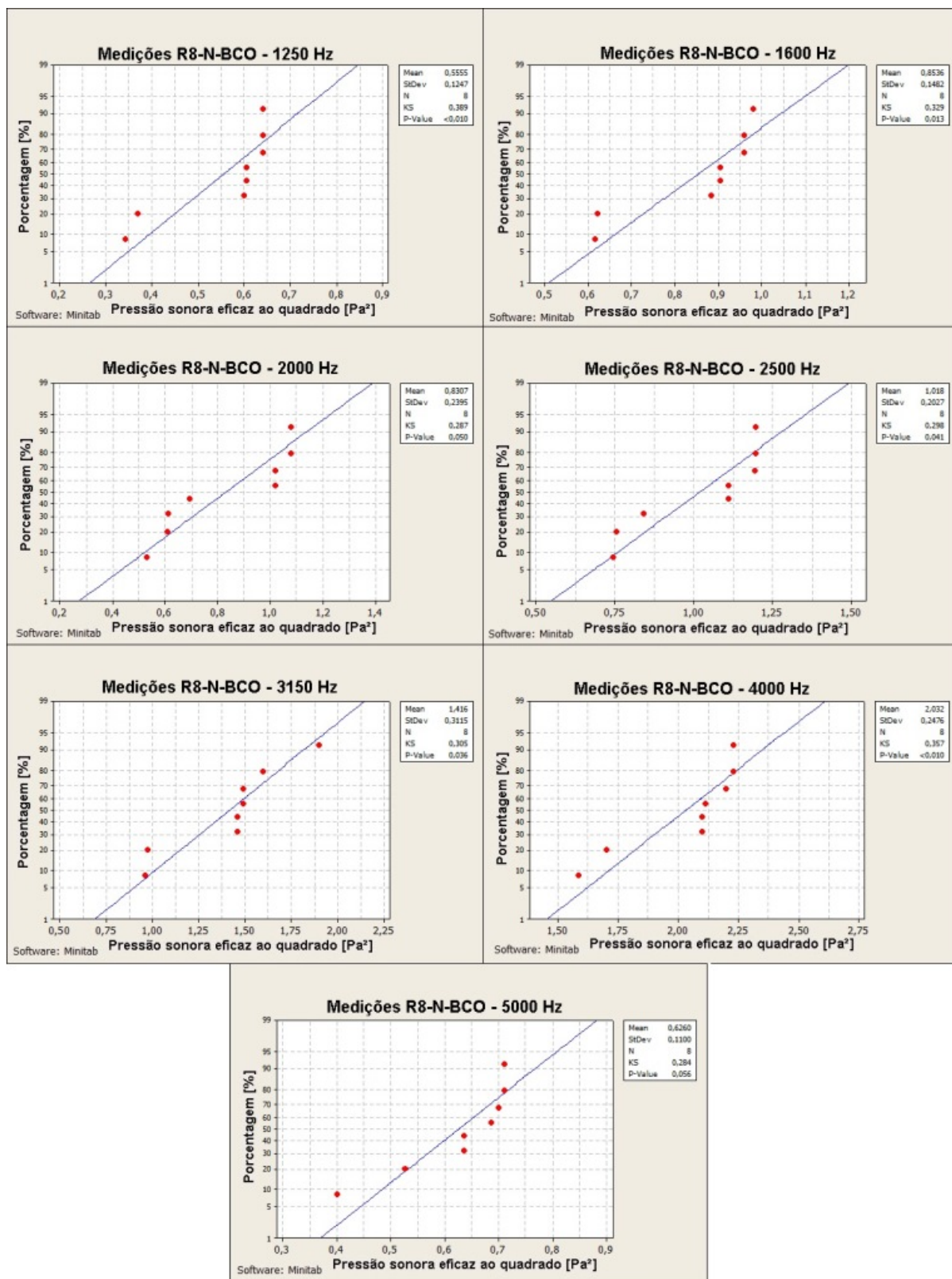


Figura D.48.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-N-BCO nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.8 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2

R8-N-BCO

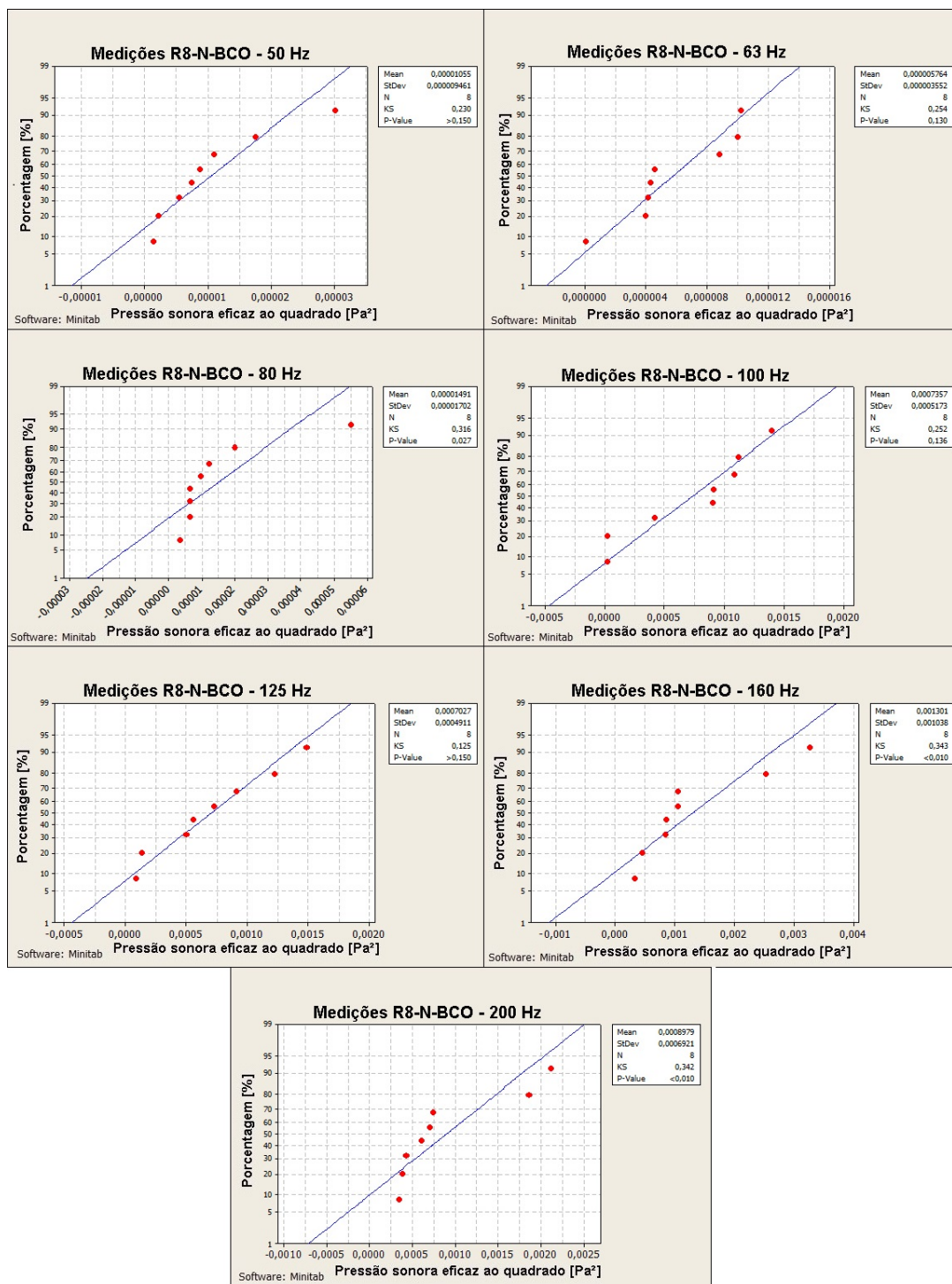


Figura D.49.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCO nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

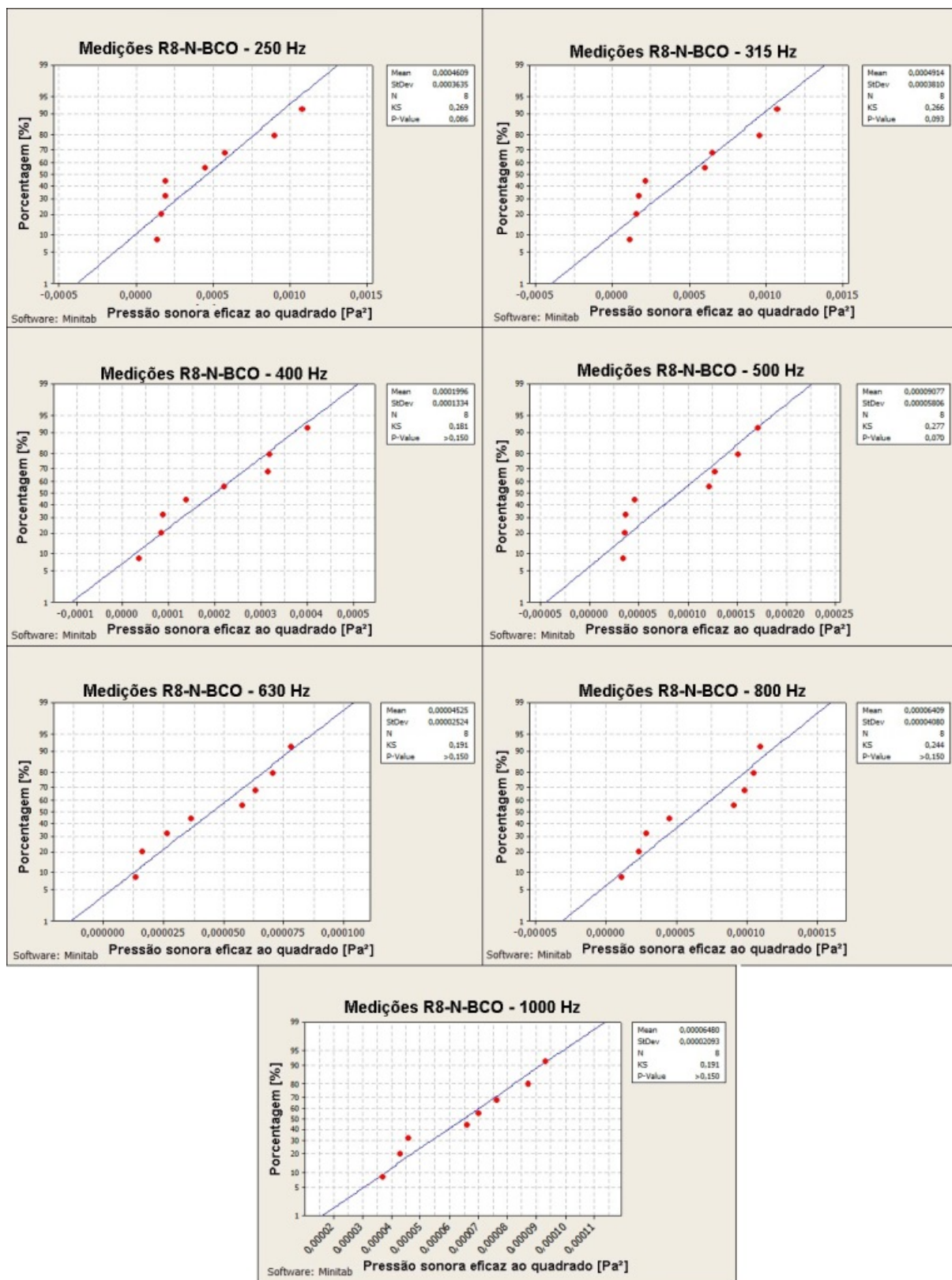


Figura D.50.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCO nas médias frequências.

Fonte: Autora.

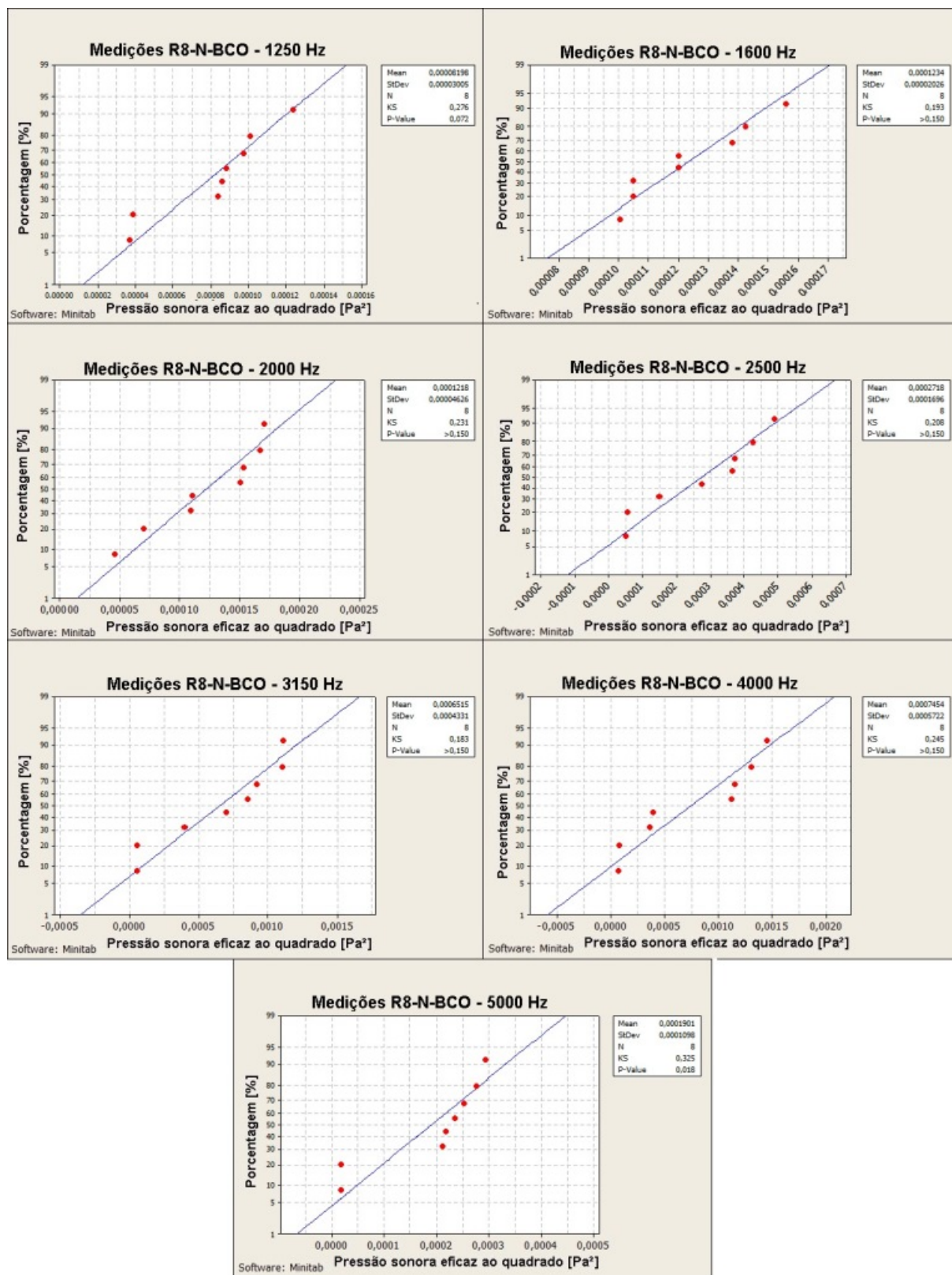


Figura D.51.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-BCO nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.9 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_1 R8-A-TV

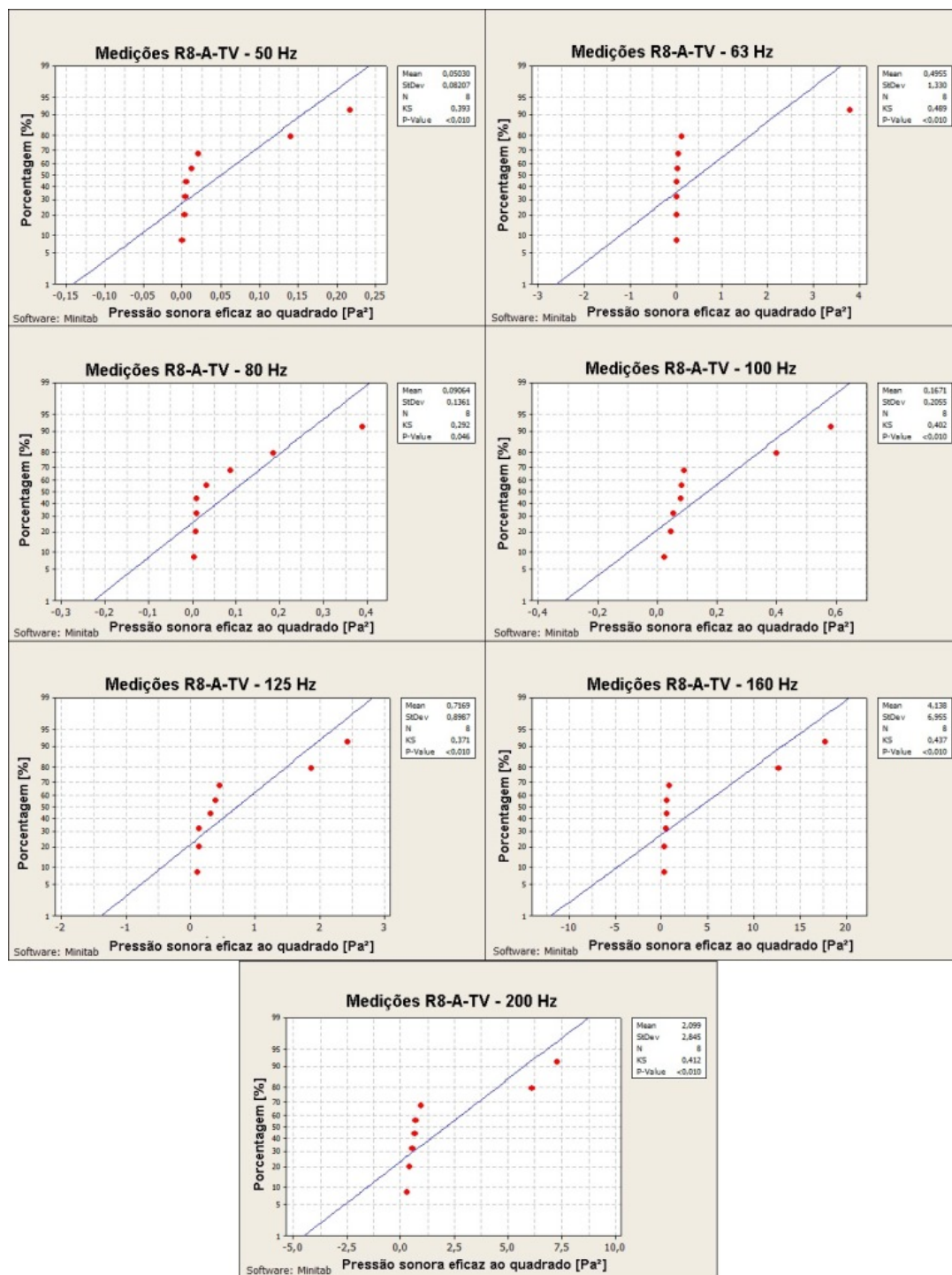


Figura D.52.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-A-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

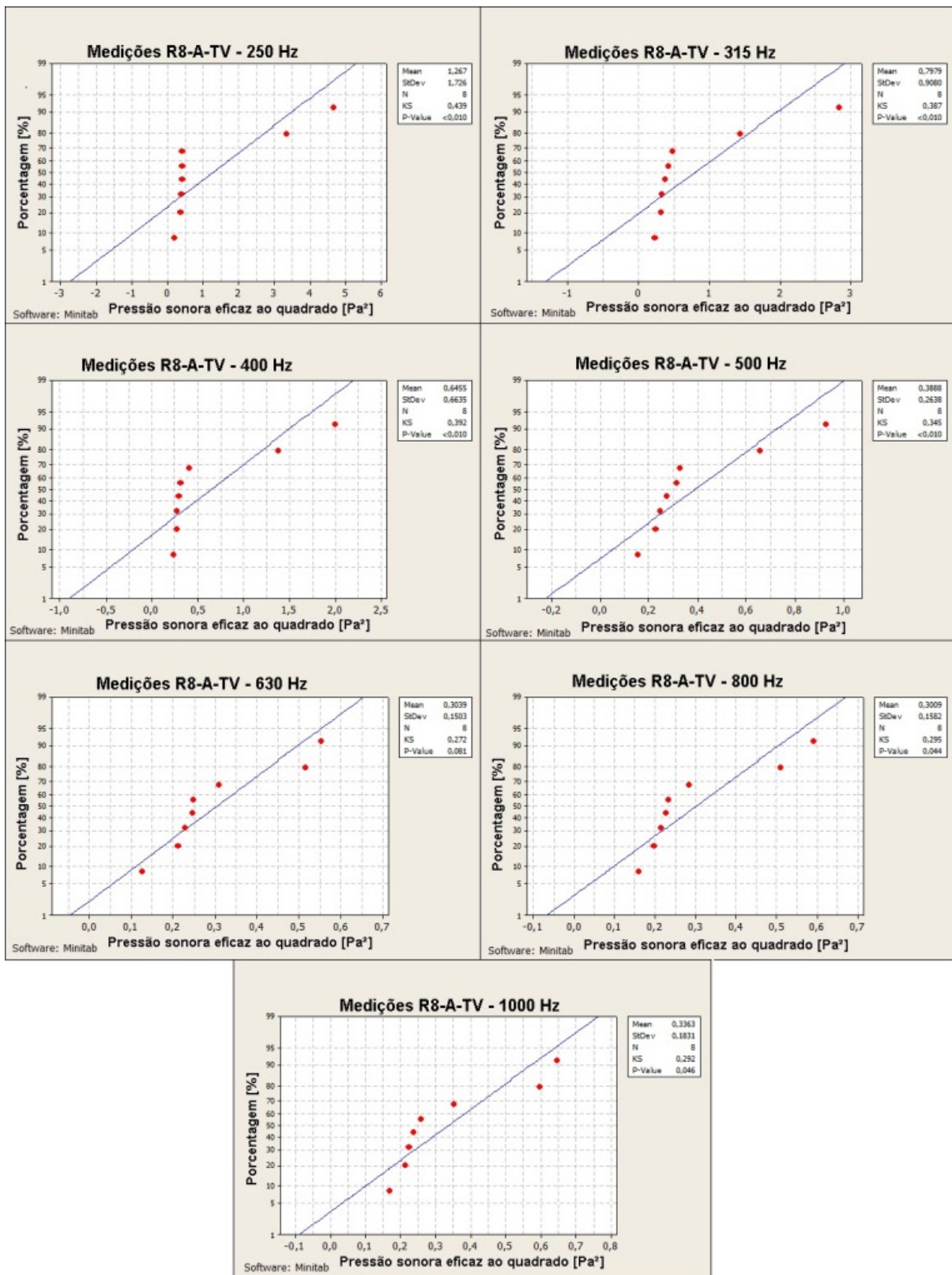


Figura D.53.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-A-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

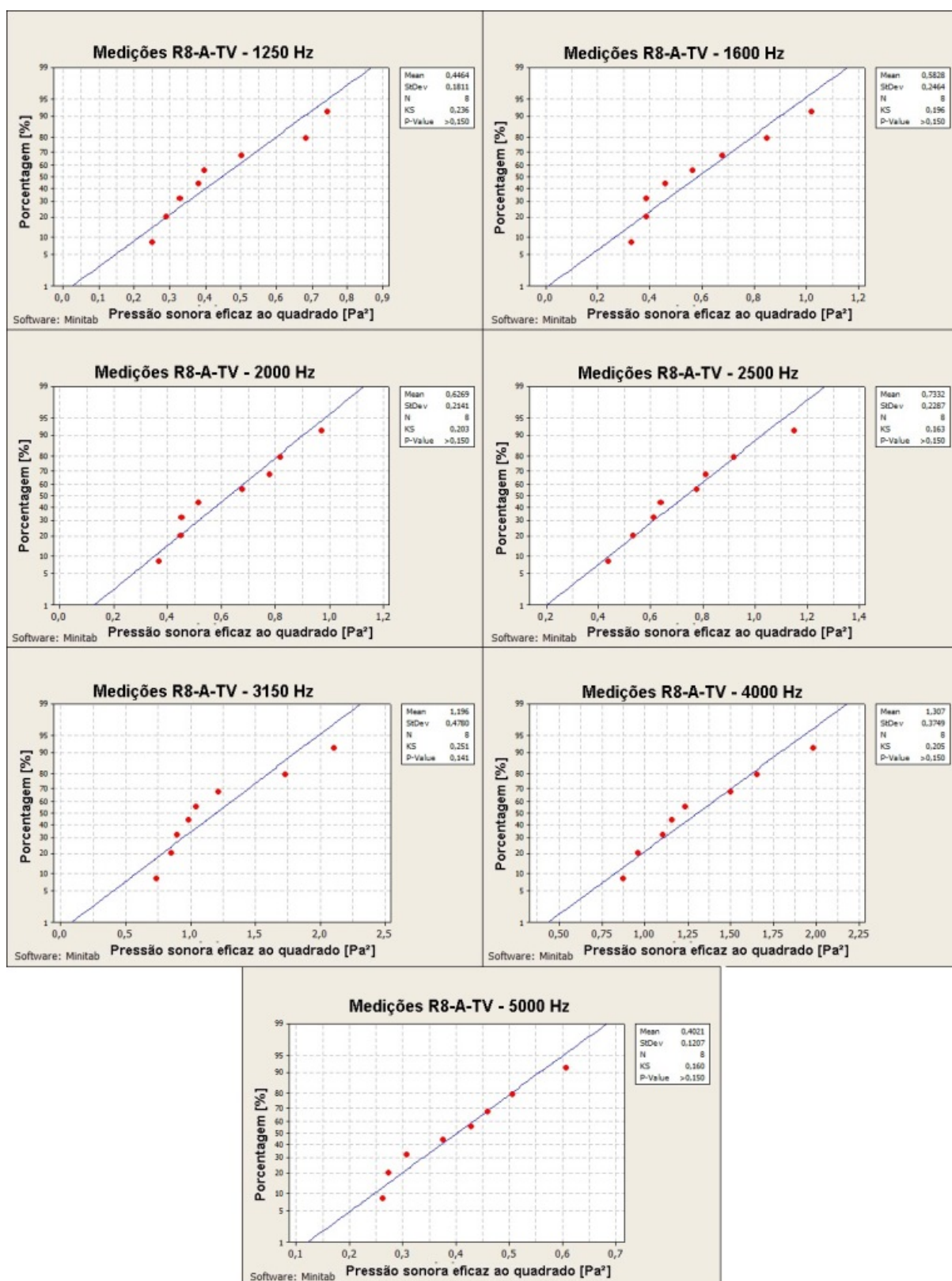


Figura D.54.: Teste de normalidade - Medições L_1 R8-A-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.3.10 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2
R8-A-TV

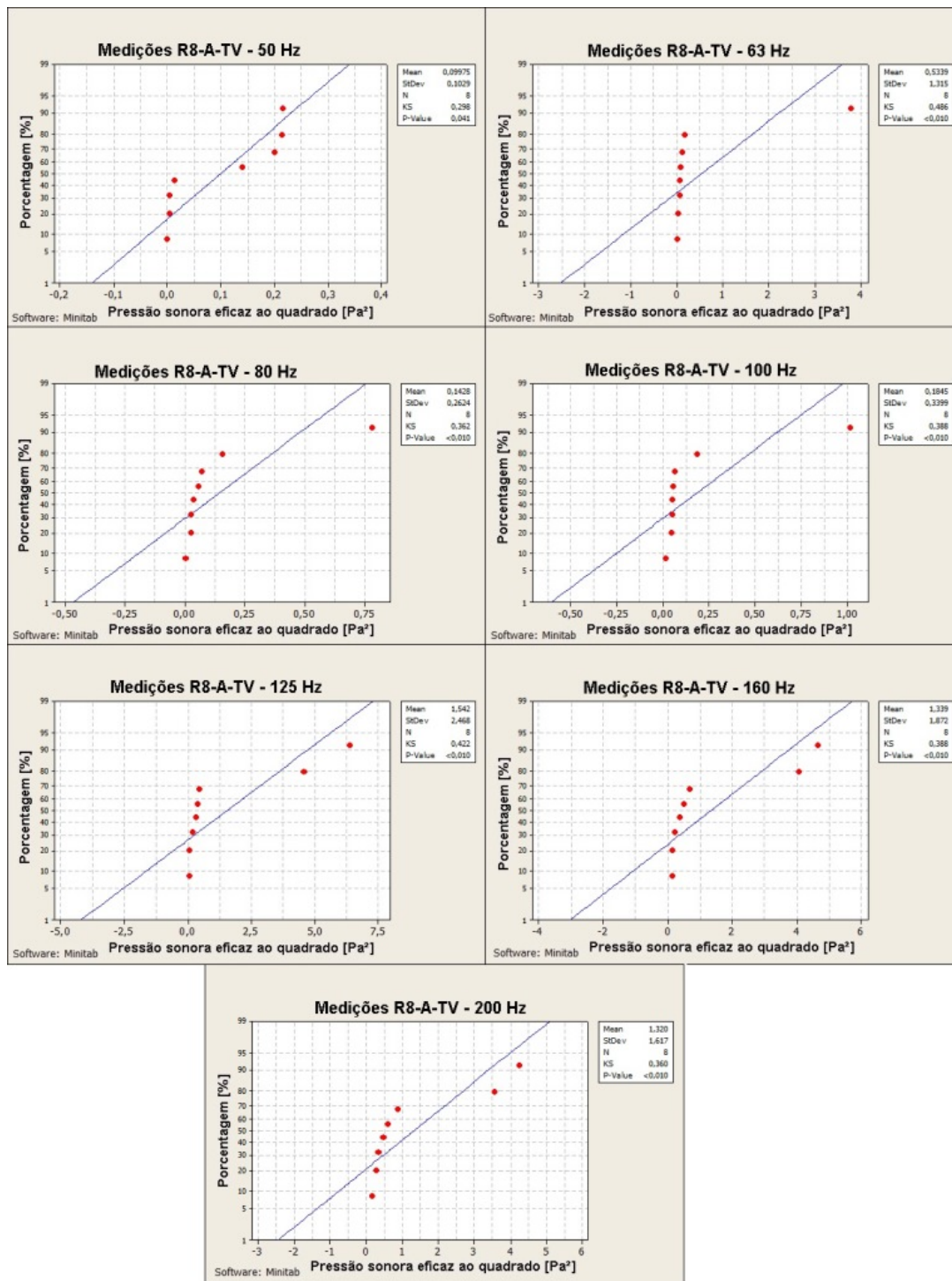


Figura D.55.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

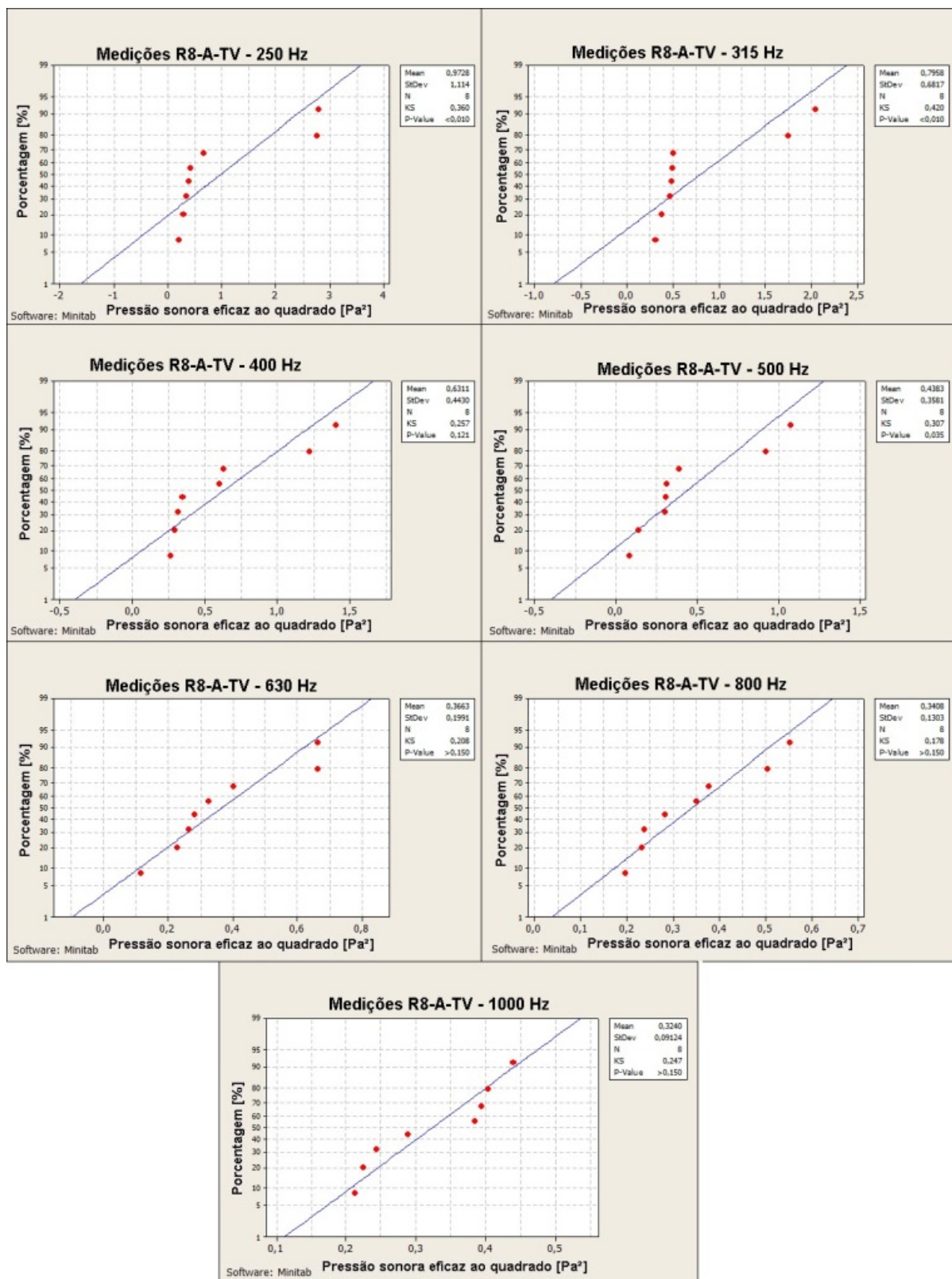


Figura D.56.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

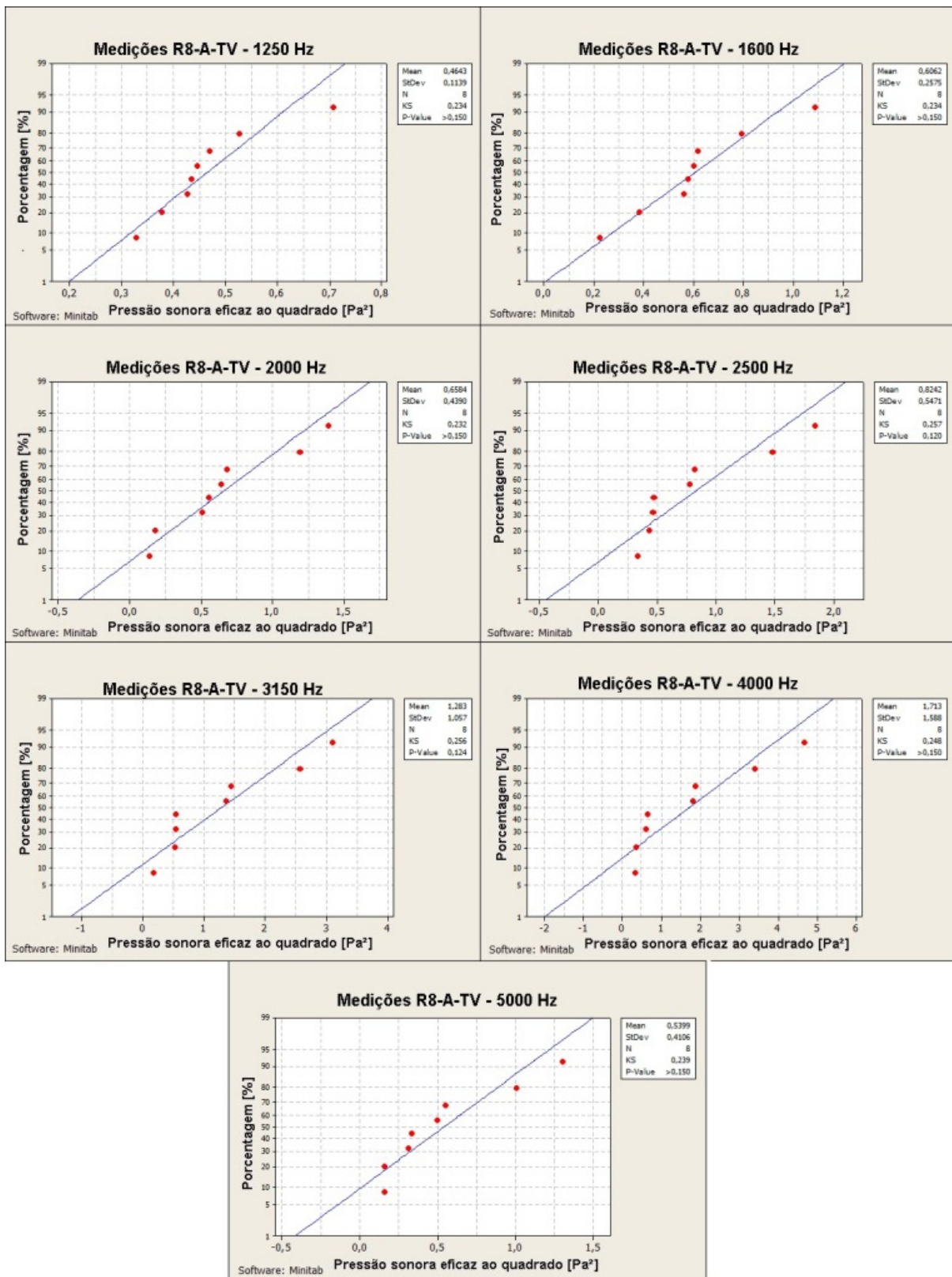


Figura D.57.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.4. Análise estatística das medições *in loco* ao ruído de impacto

D.4.1 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições L_2 PIS-PP

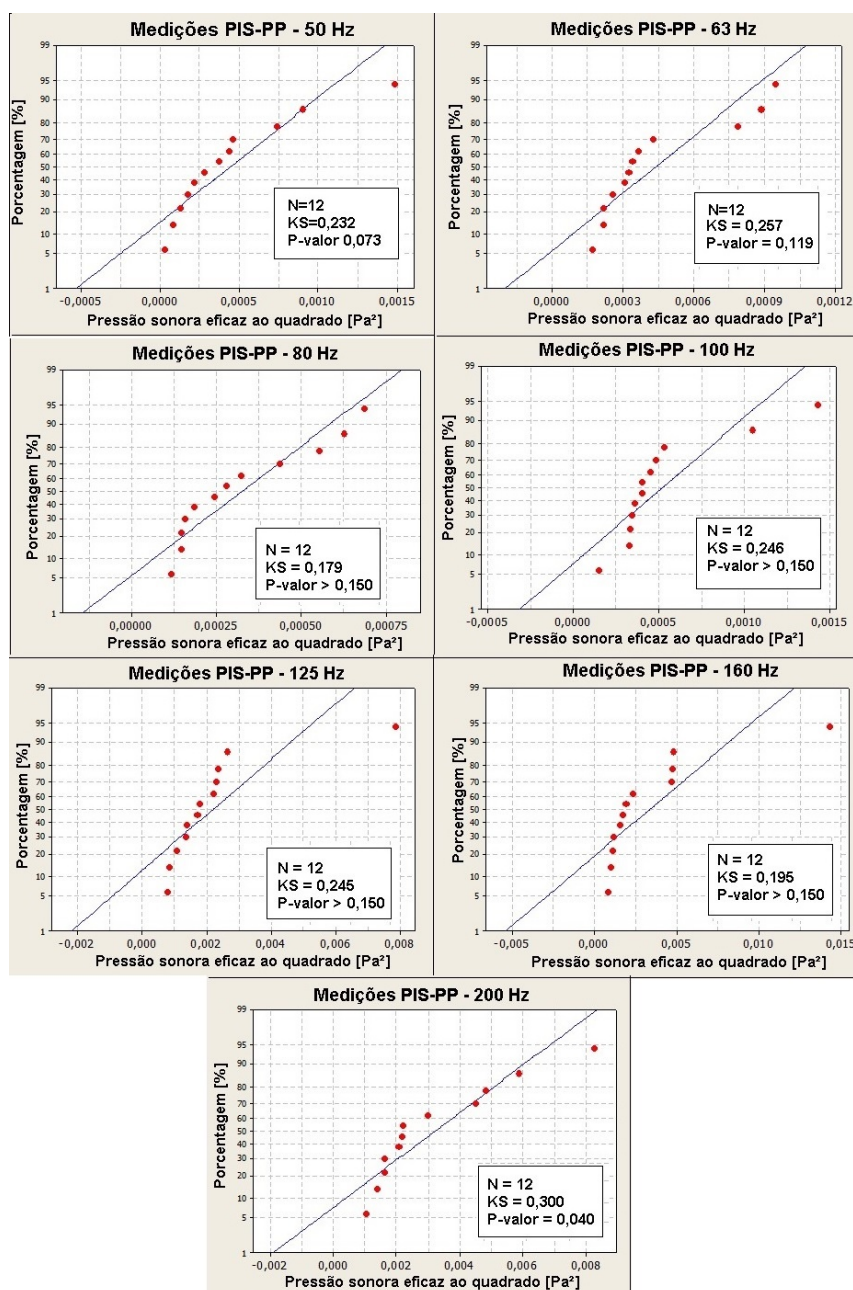
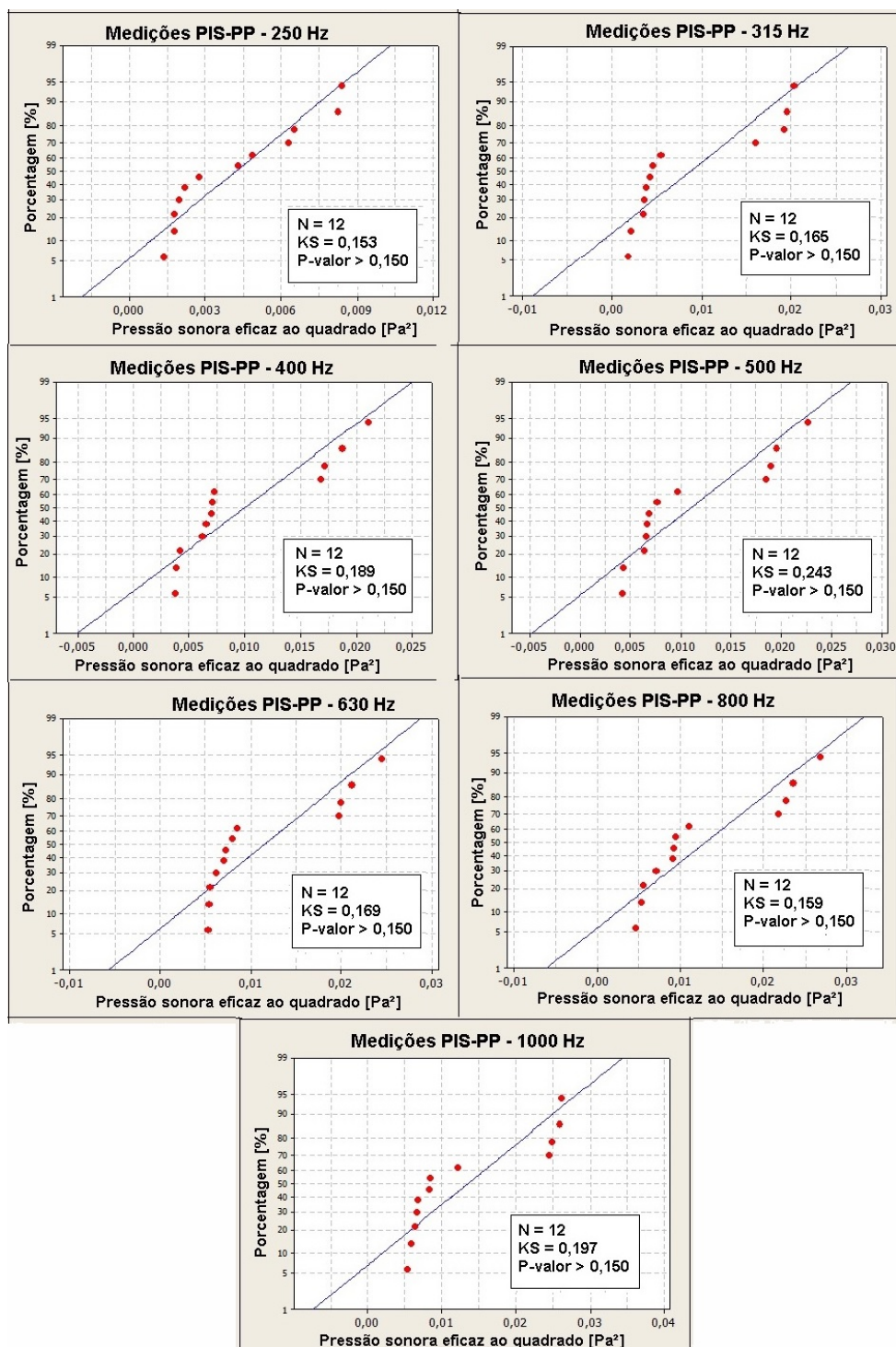


Figura D.58.: Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-PP nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

Figura D.59.: Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-PP nas médias frequências.

Fonte: Autora.

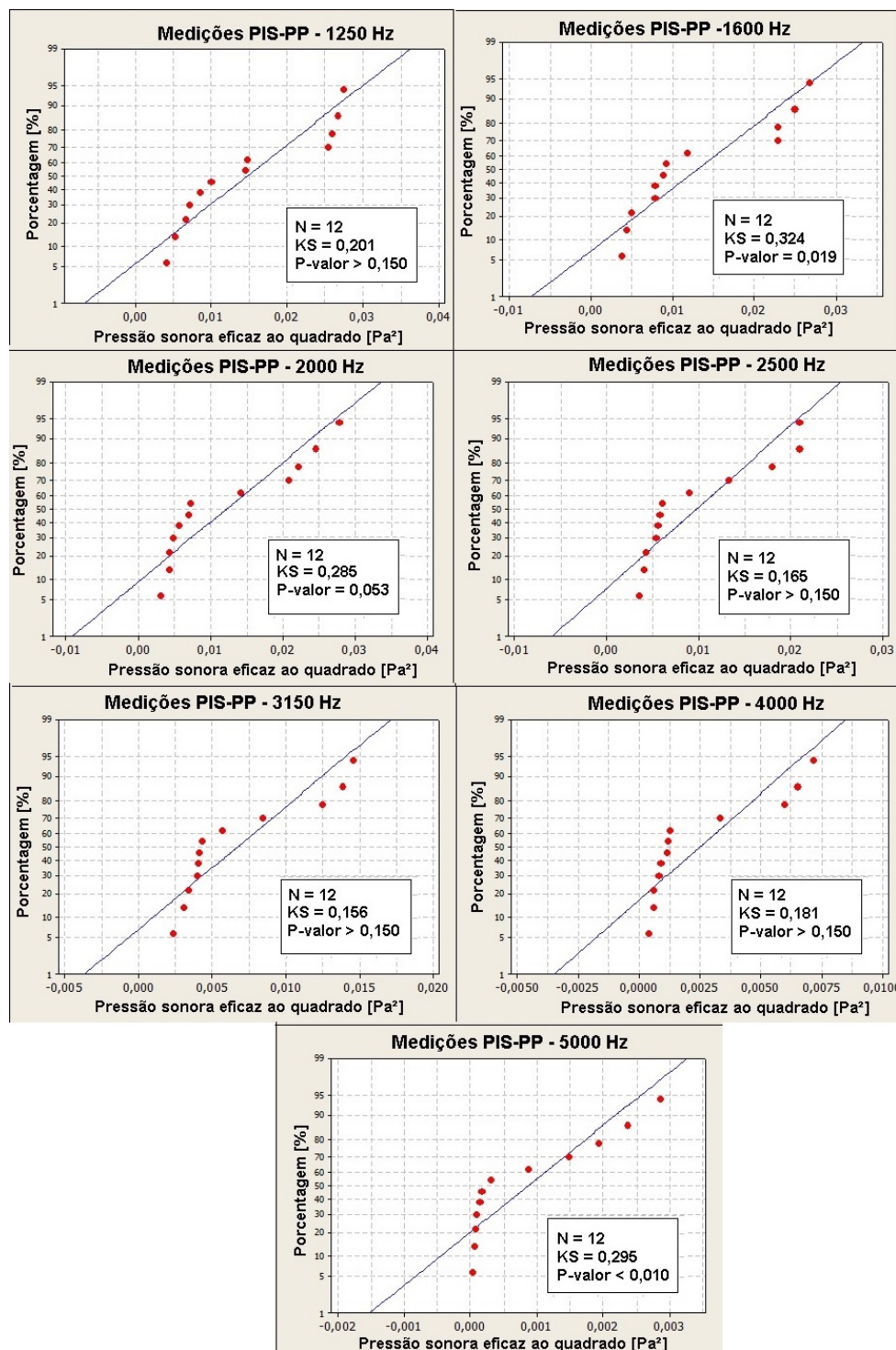


Figura D.60.: Teste de normalidade - Medições L_2 PIS-PP nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.4.2 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-N-PP

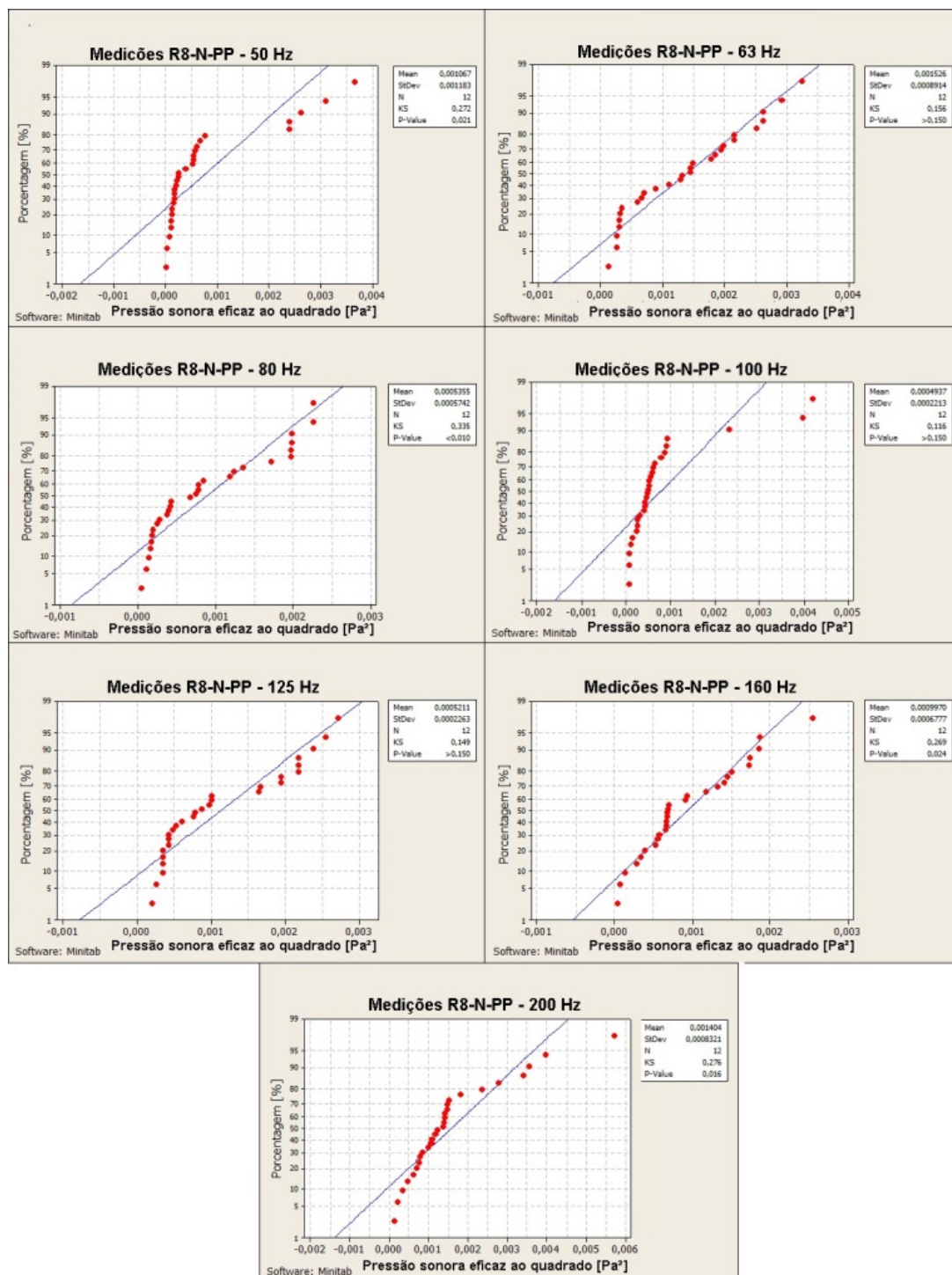


Figura D.61.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PP nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

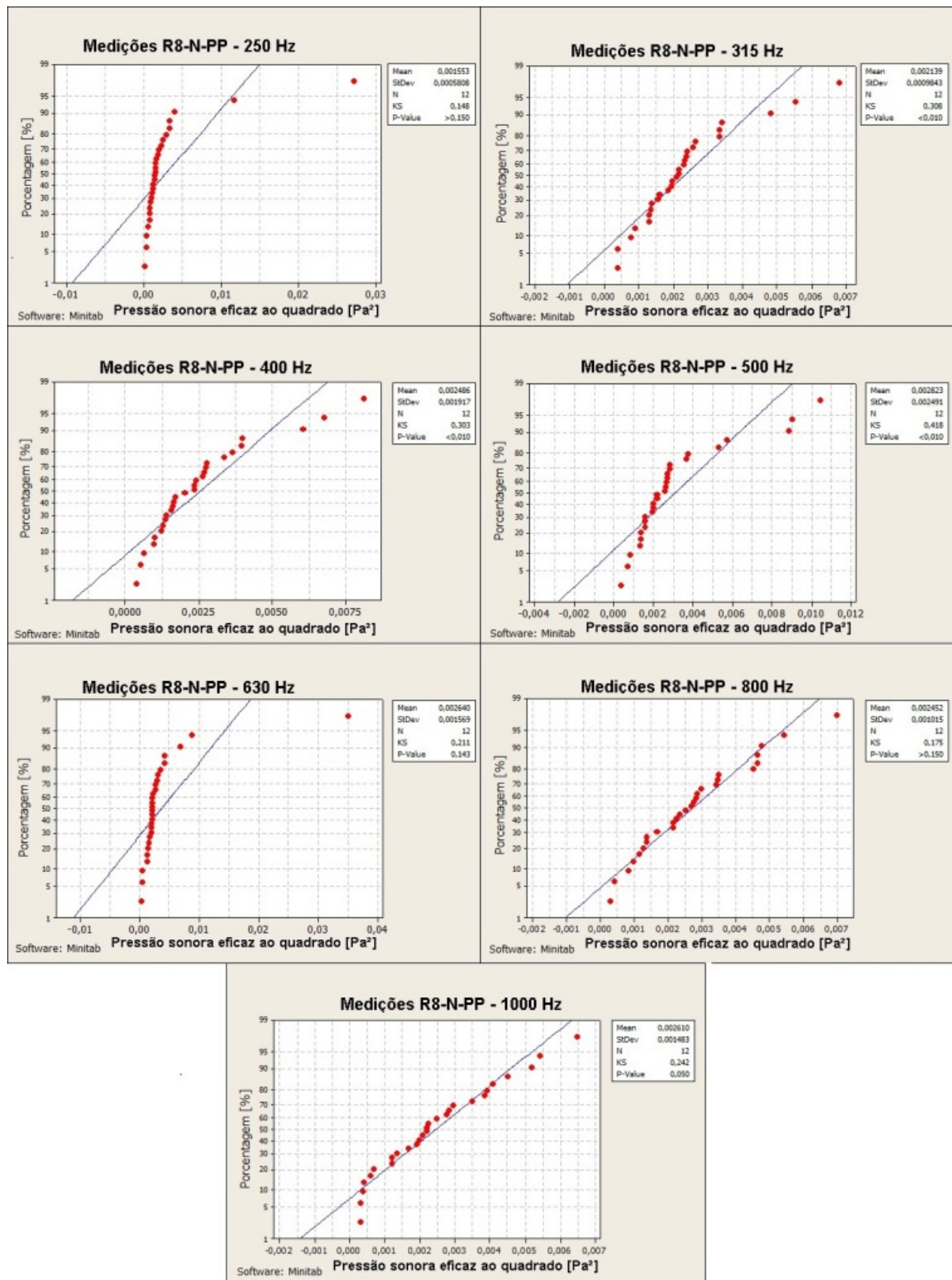


Figura D.62.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PP nas médias frequências.

Fonte: Autora.

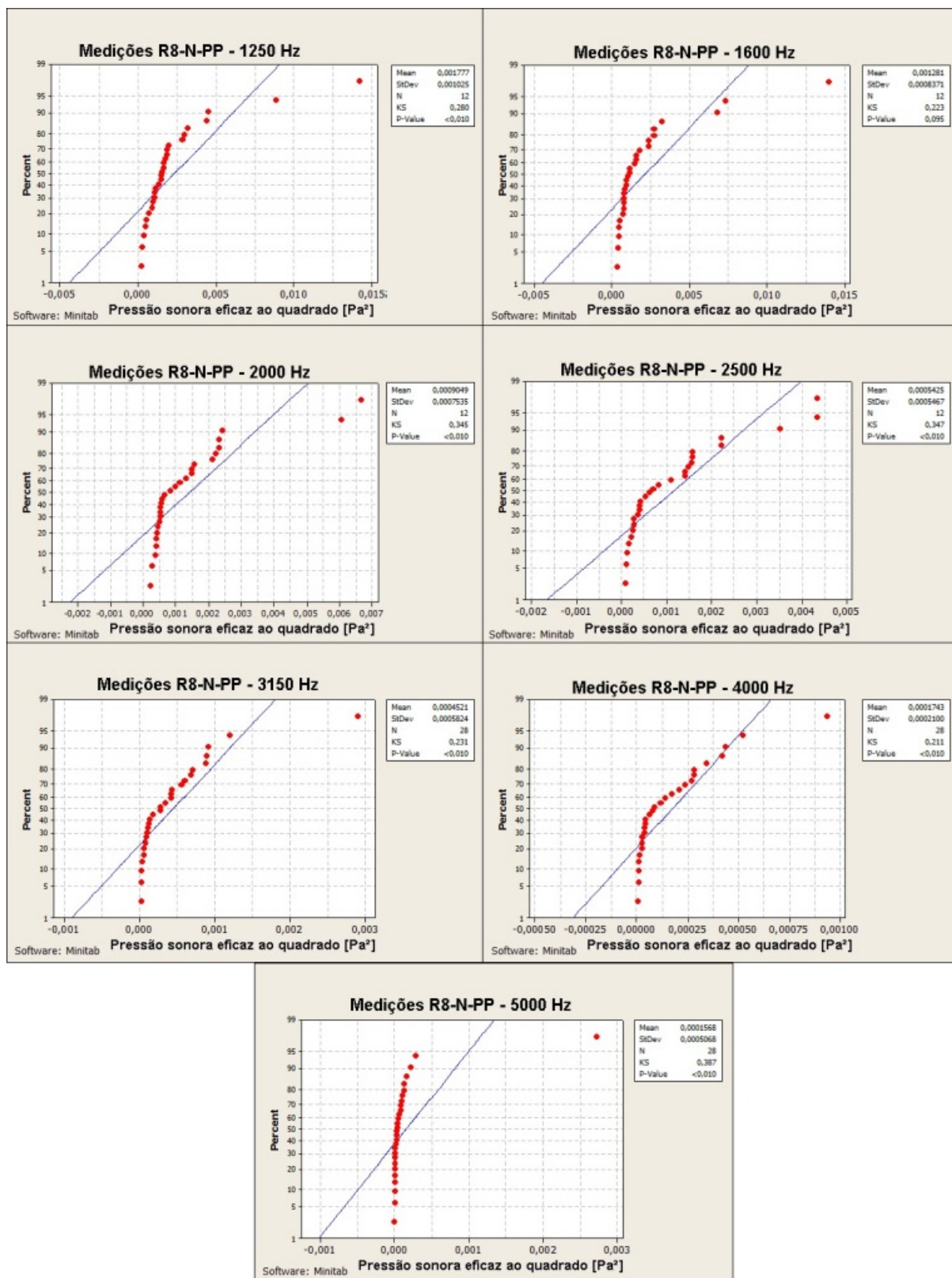


Figura D.63.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PP nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.4.3 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-N-PL

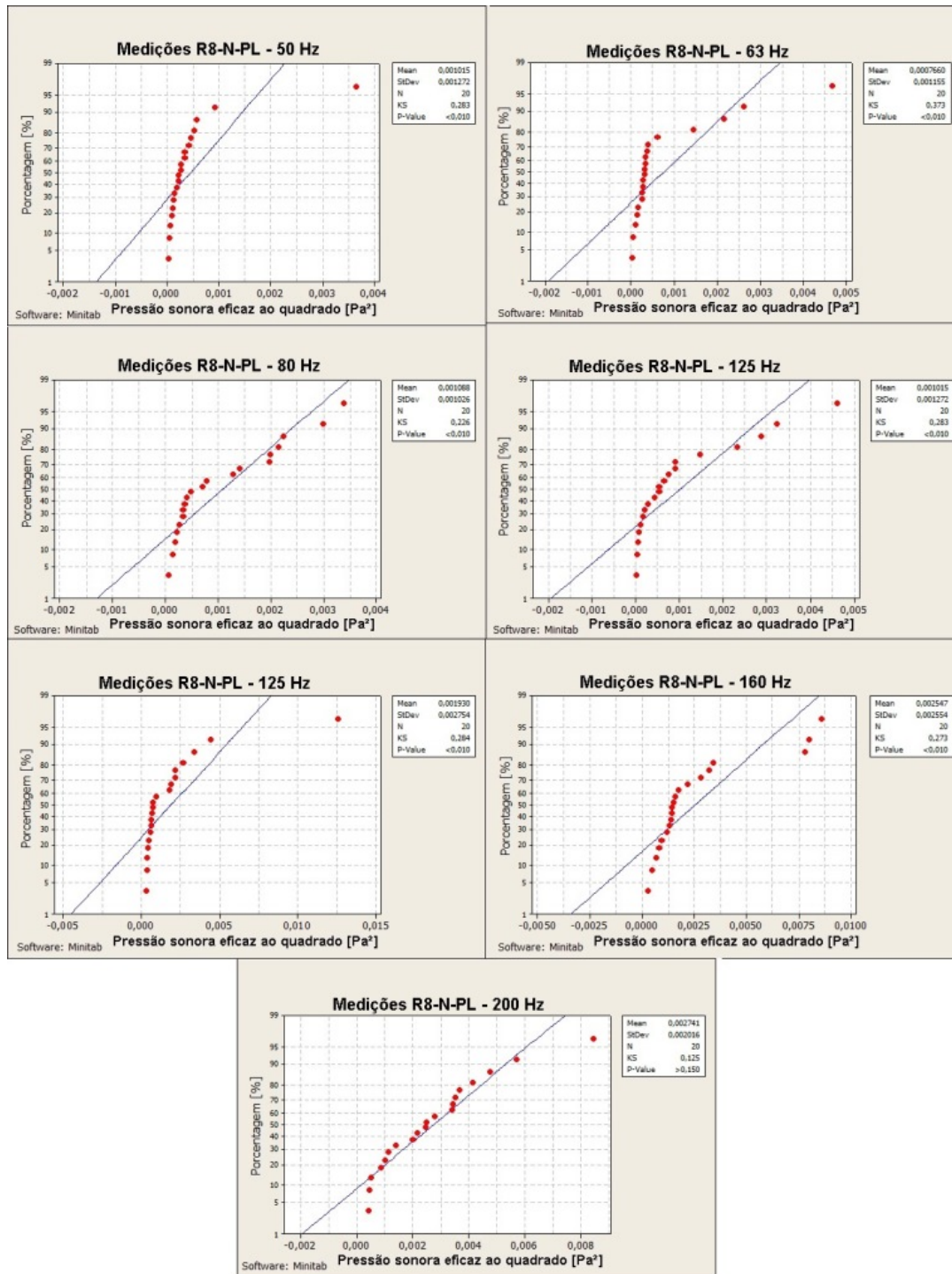


Figura D.64.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PL nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

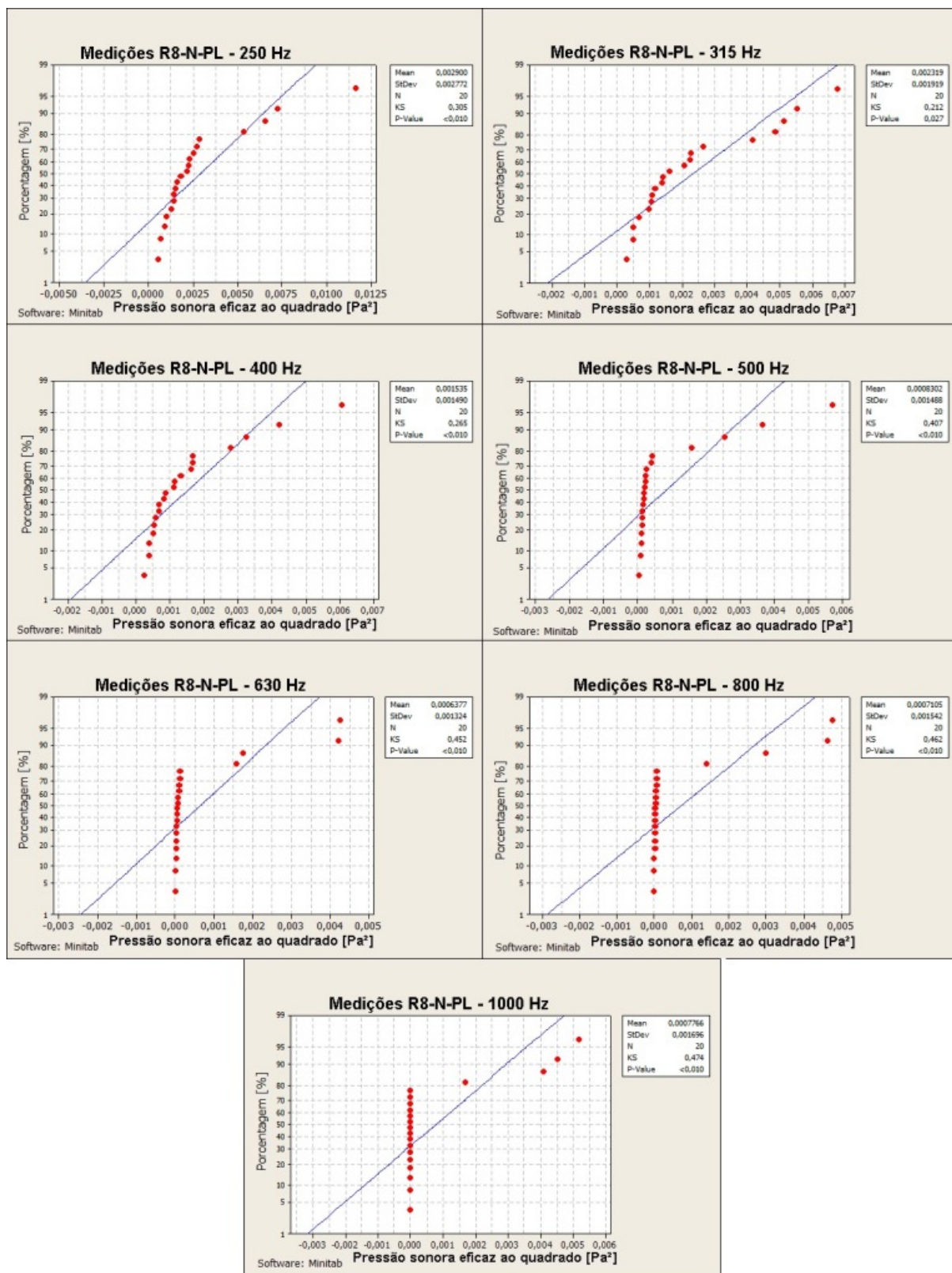


Figura D.65.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PL nas médias frequências.

Fonte: Autora.

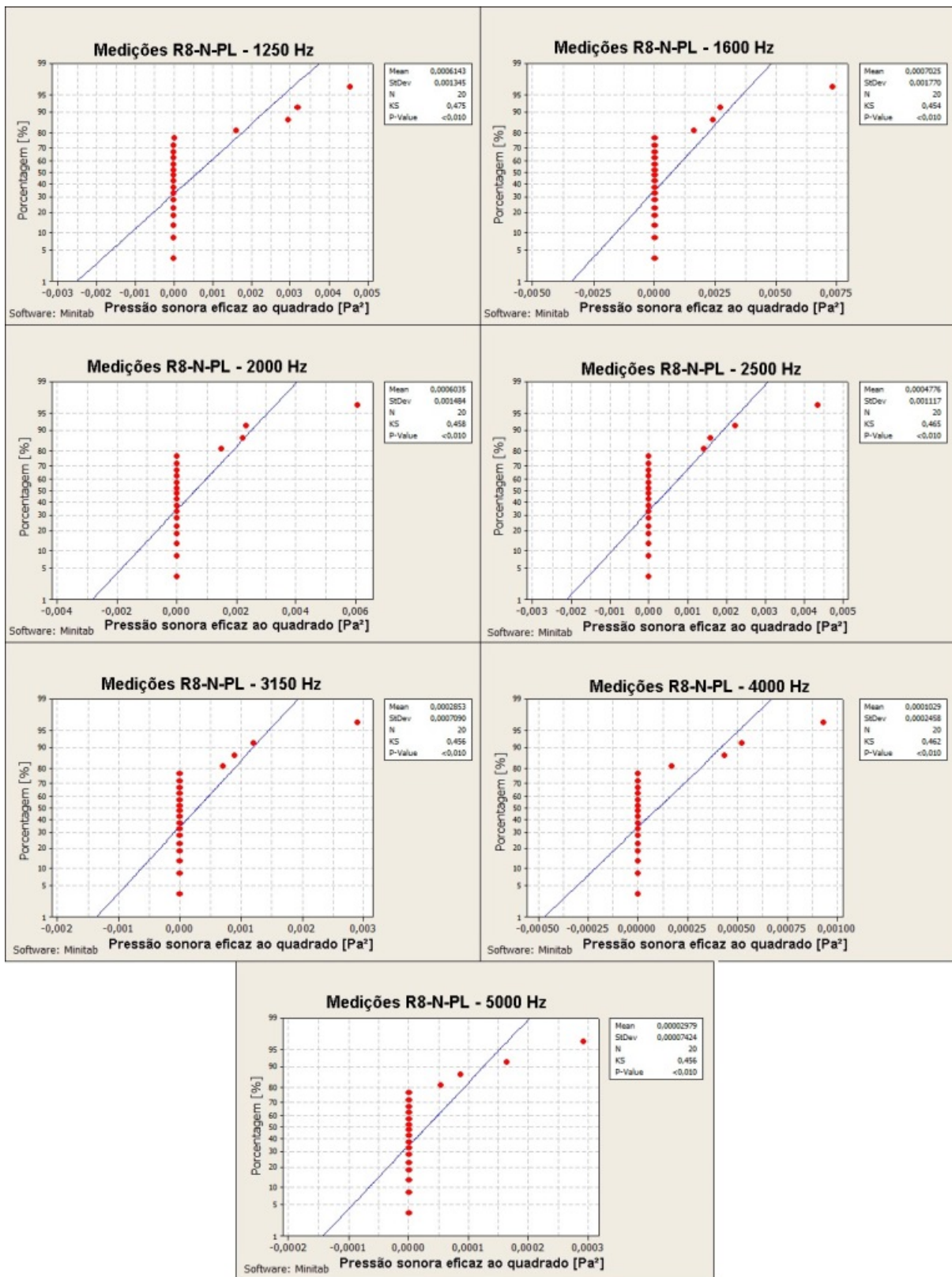
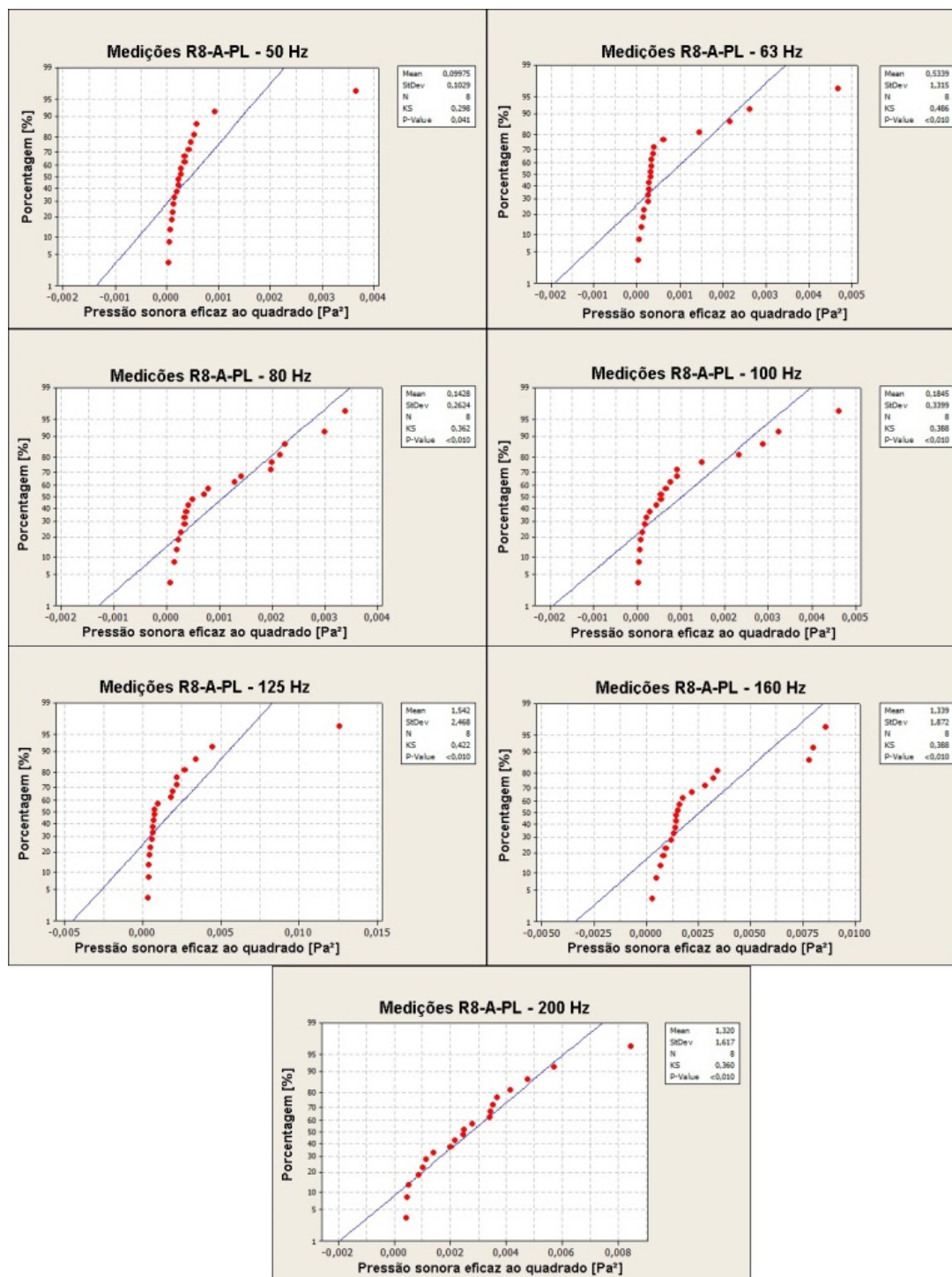


Figura D.66.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-N-PL nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.4.4 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-A-PL

Figura D.67.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-PL nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

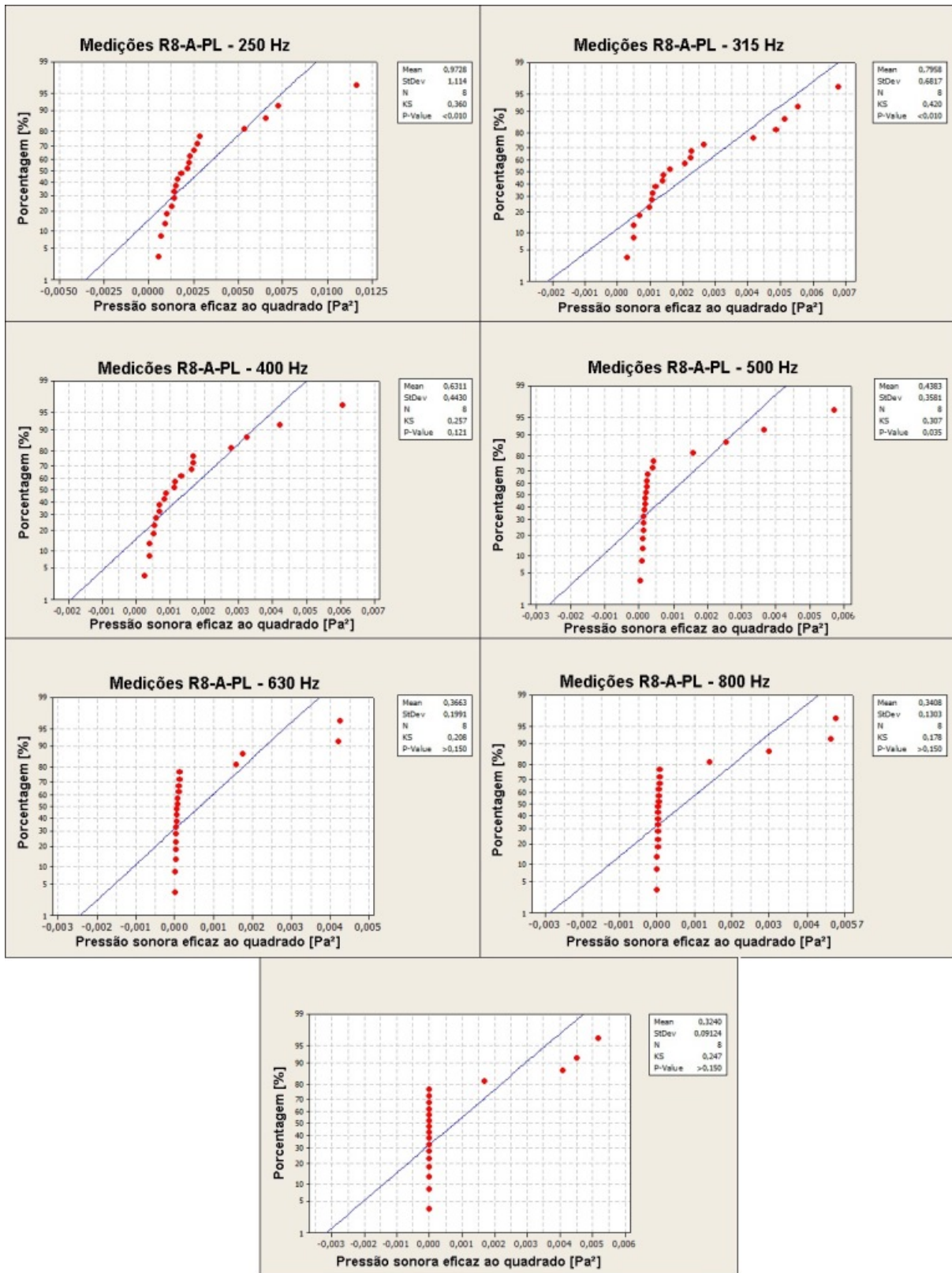


Figura D.68.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-PL nas médias frequências.

Fonte: Autora.

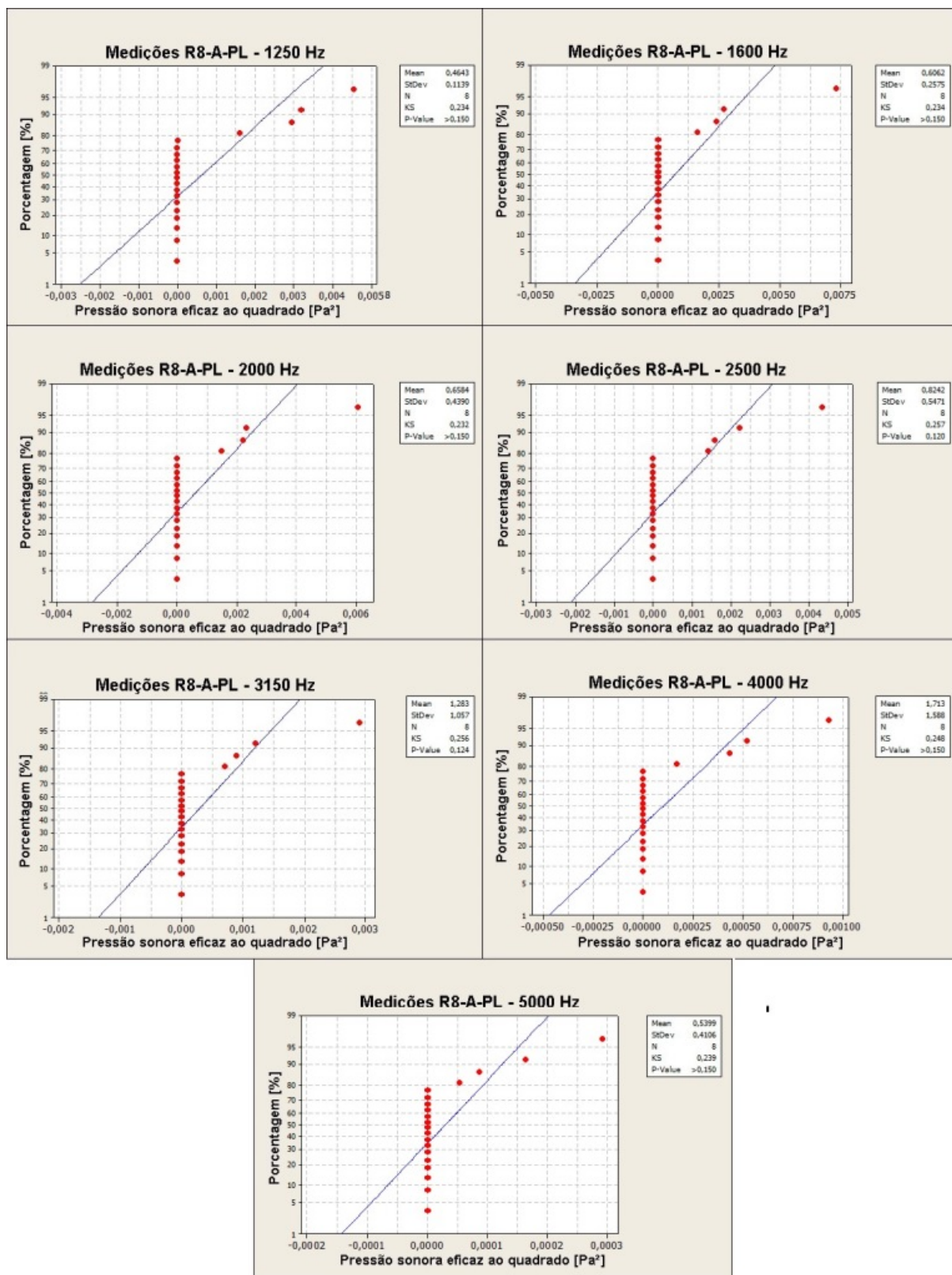


Figura D.69.: Teste de normalidade - Medições L_2 R8-A-PL nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5. Análise estatística das medições *in loco* do tempo de reverberação

D.5.1 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - PIS-TV

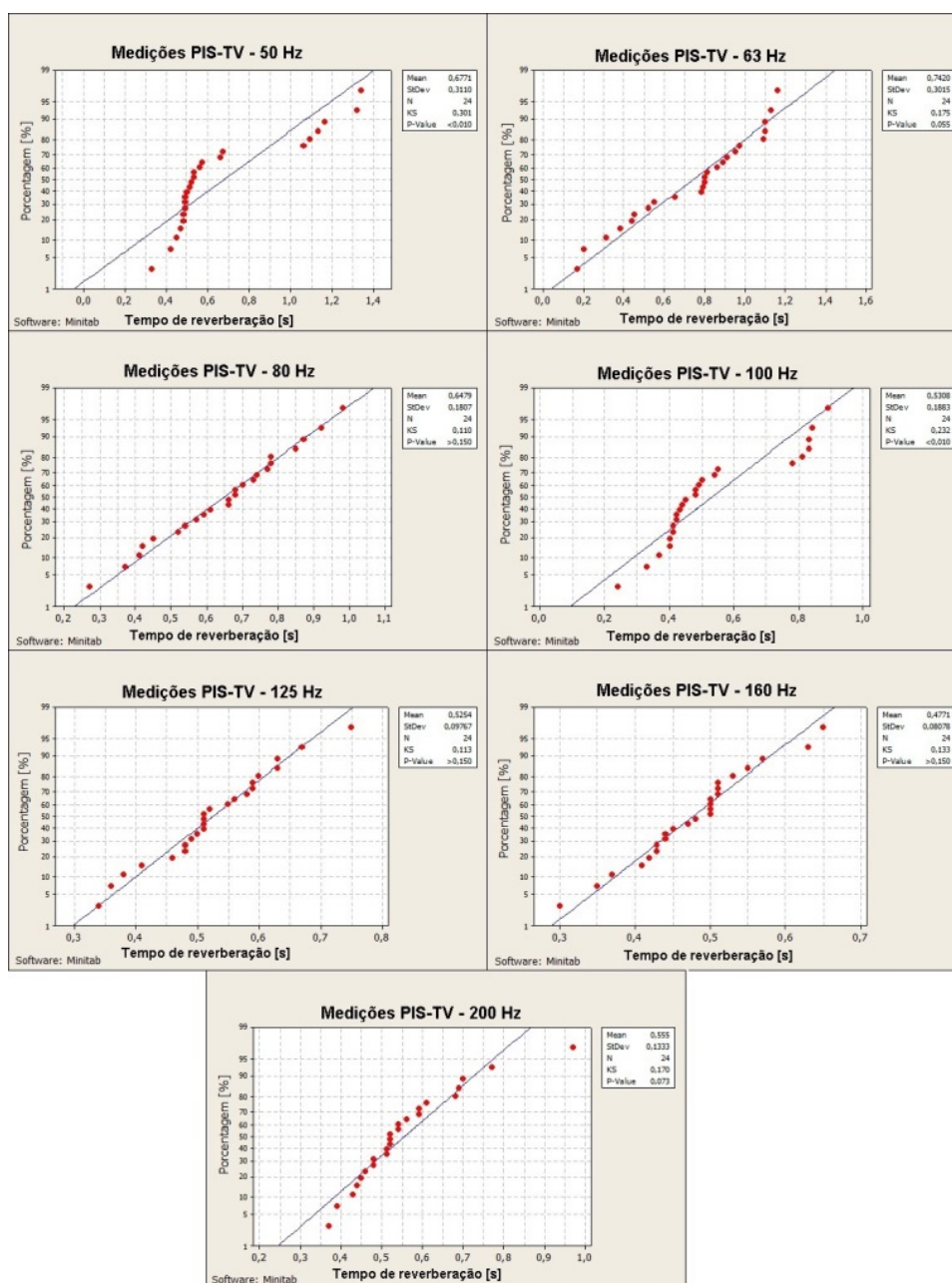


Figura D.70.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

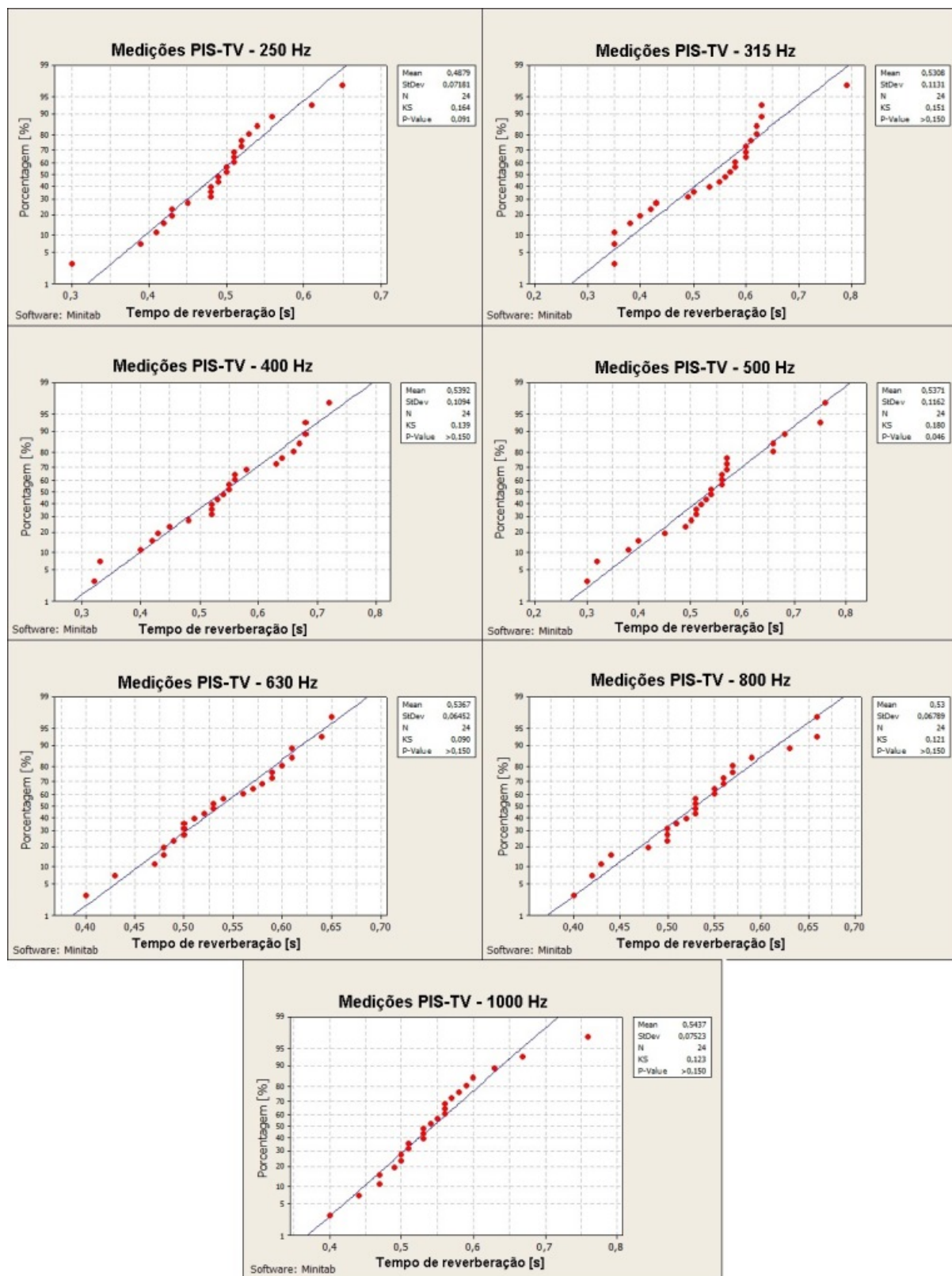


Figura D.71.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

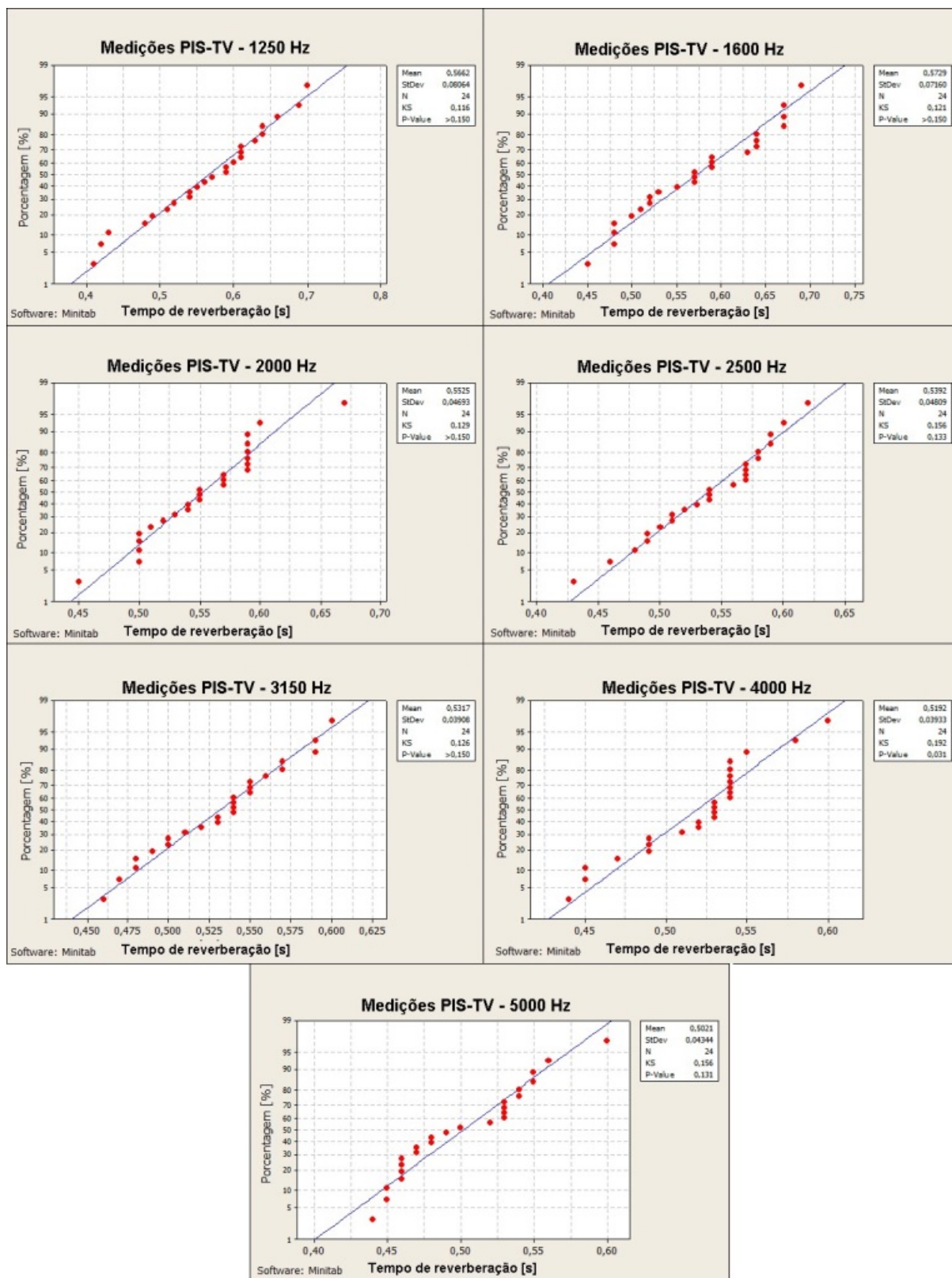


Figura D.72.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5.2 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - PIS-PP

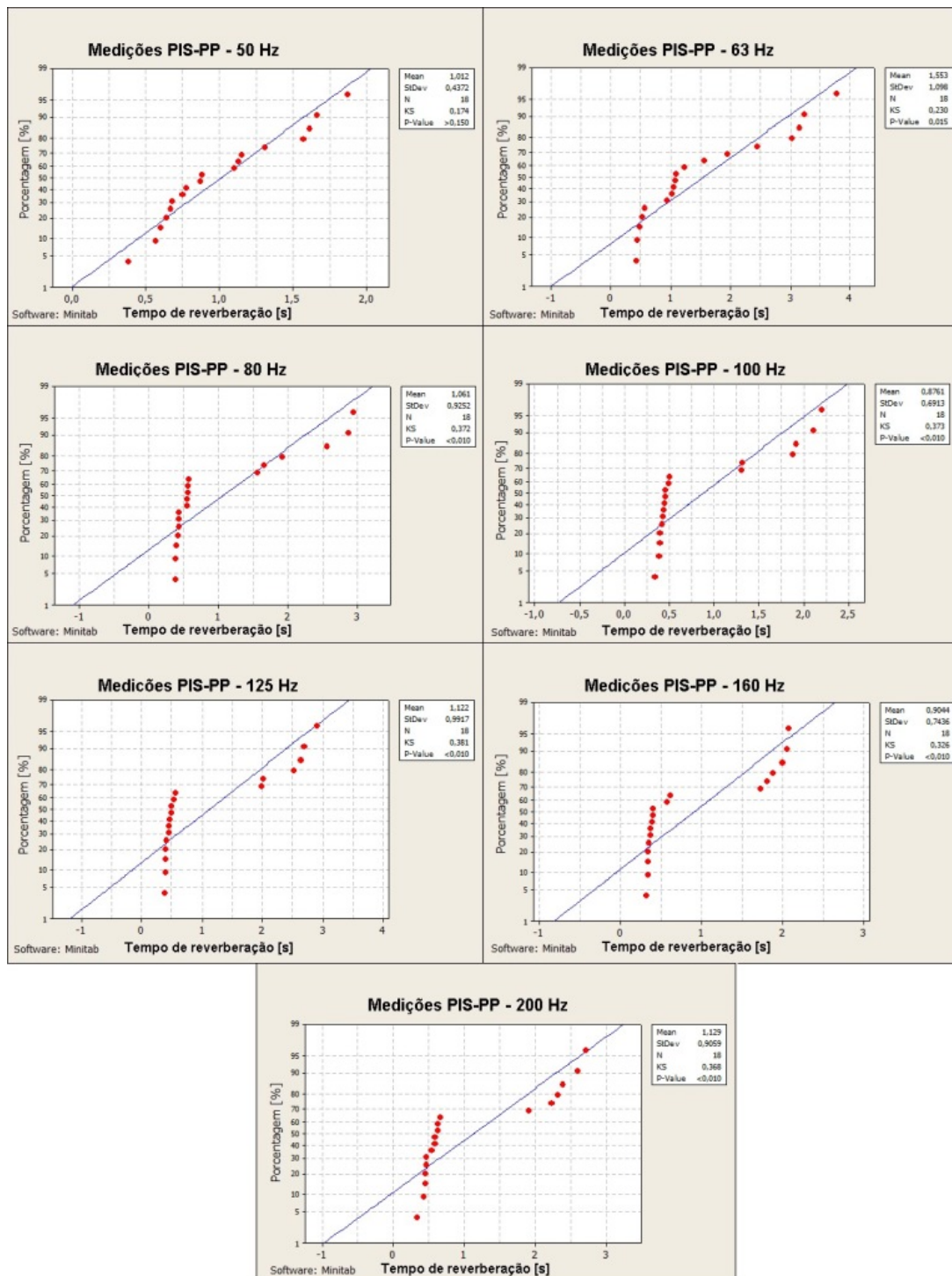


Figura D.73.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-PP nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

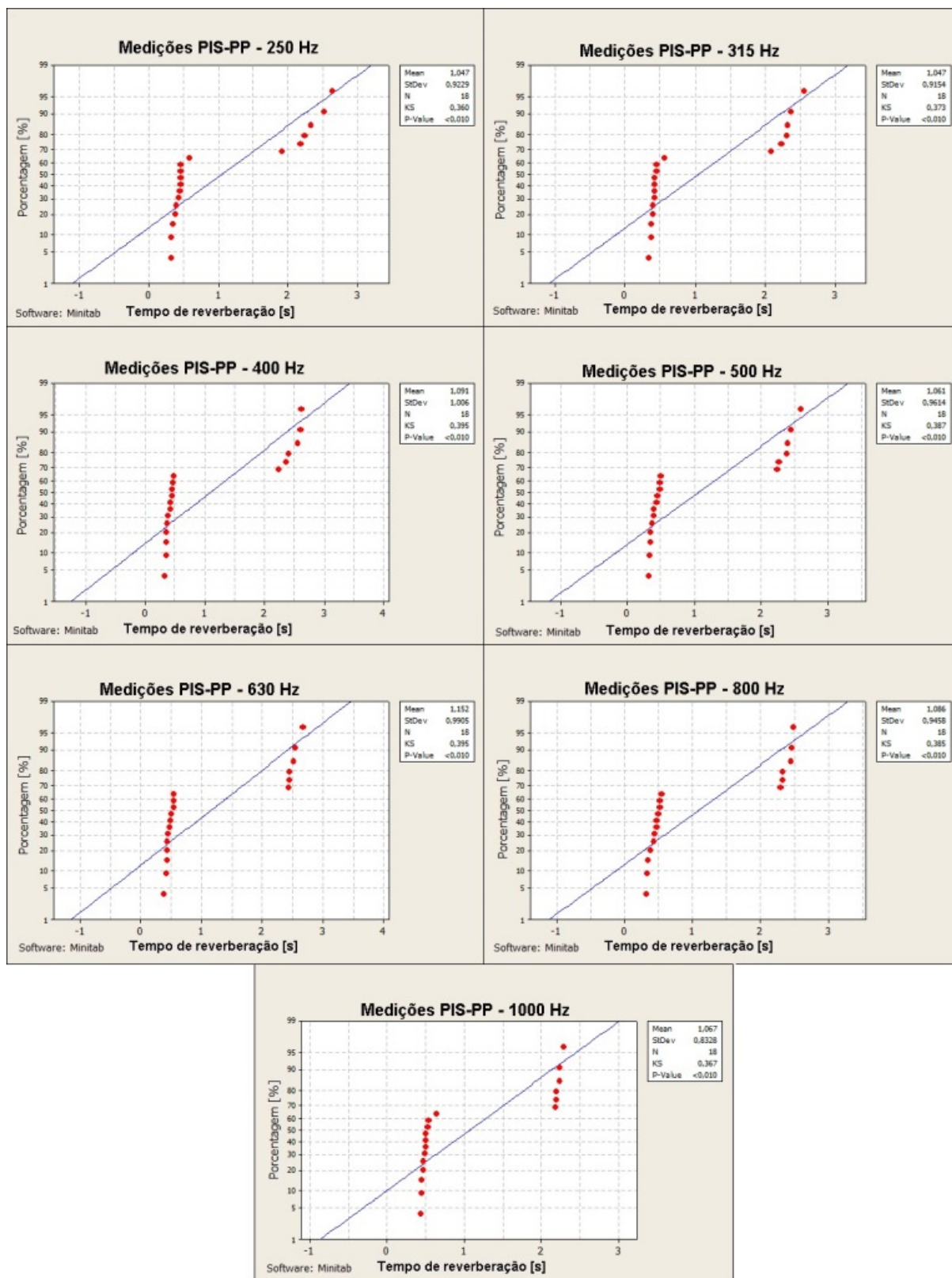


Figura D.74.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-PP nas médias frequências.

Fonte: Autora.

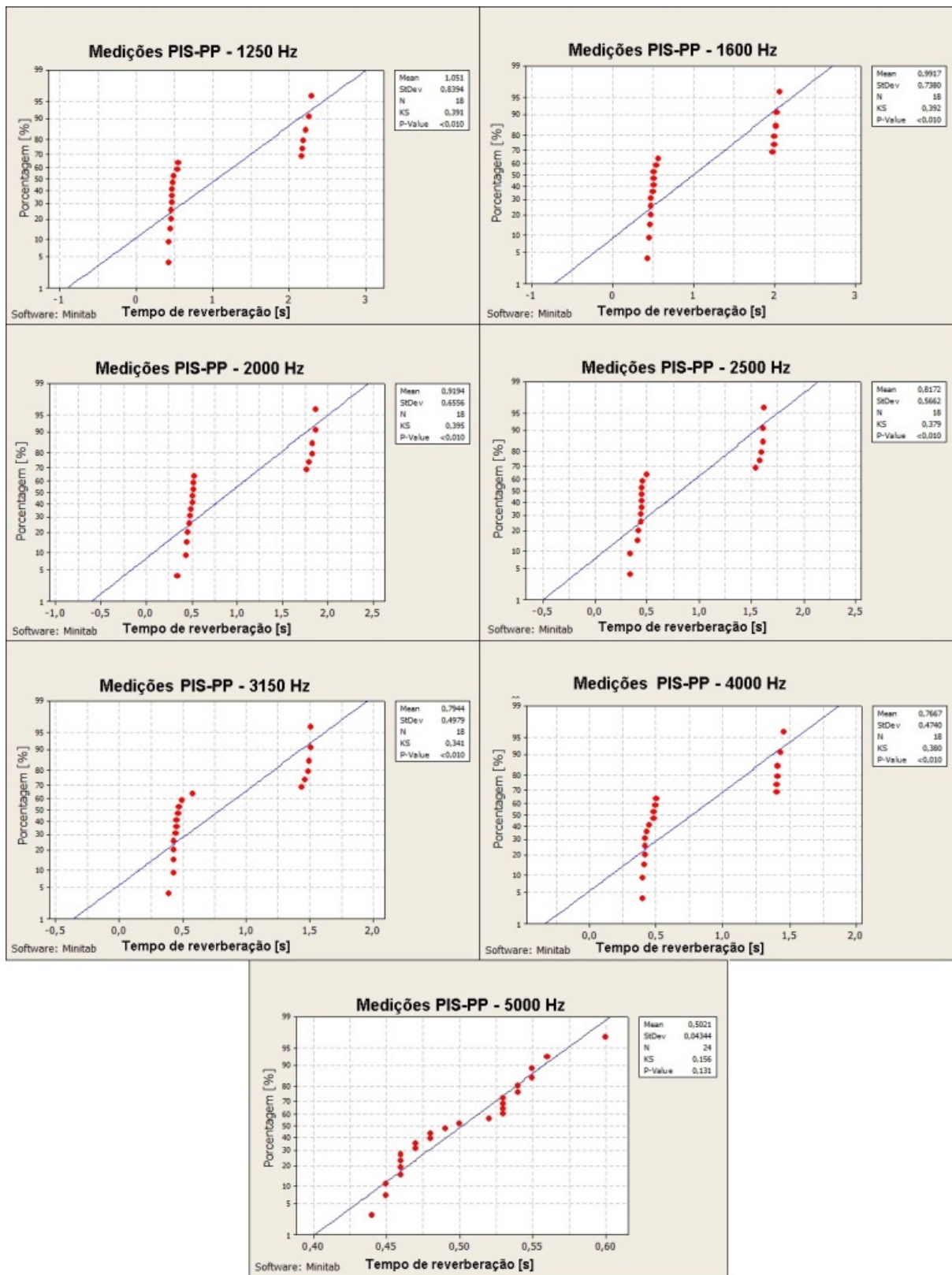


Figura D.75.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação PIS-PP nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5.3 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-N-TV

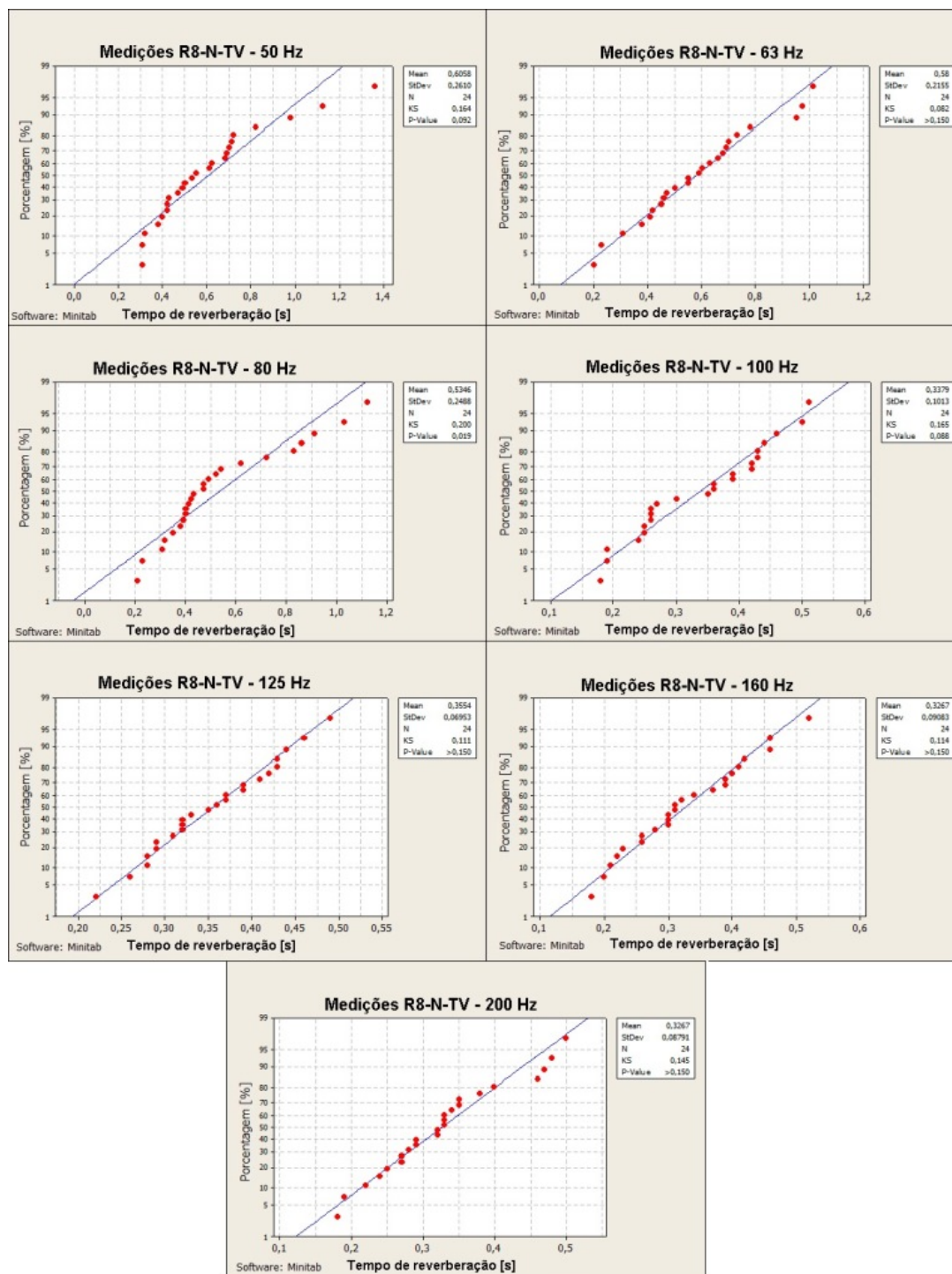


Figura D.76.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

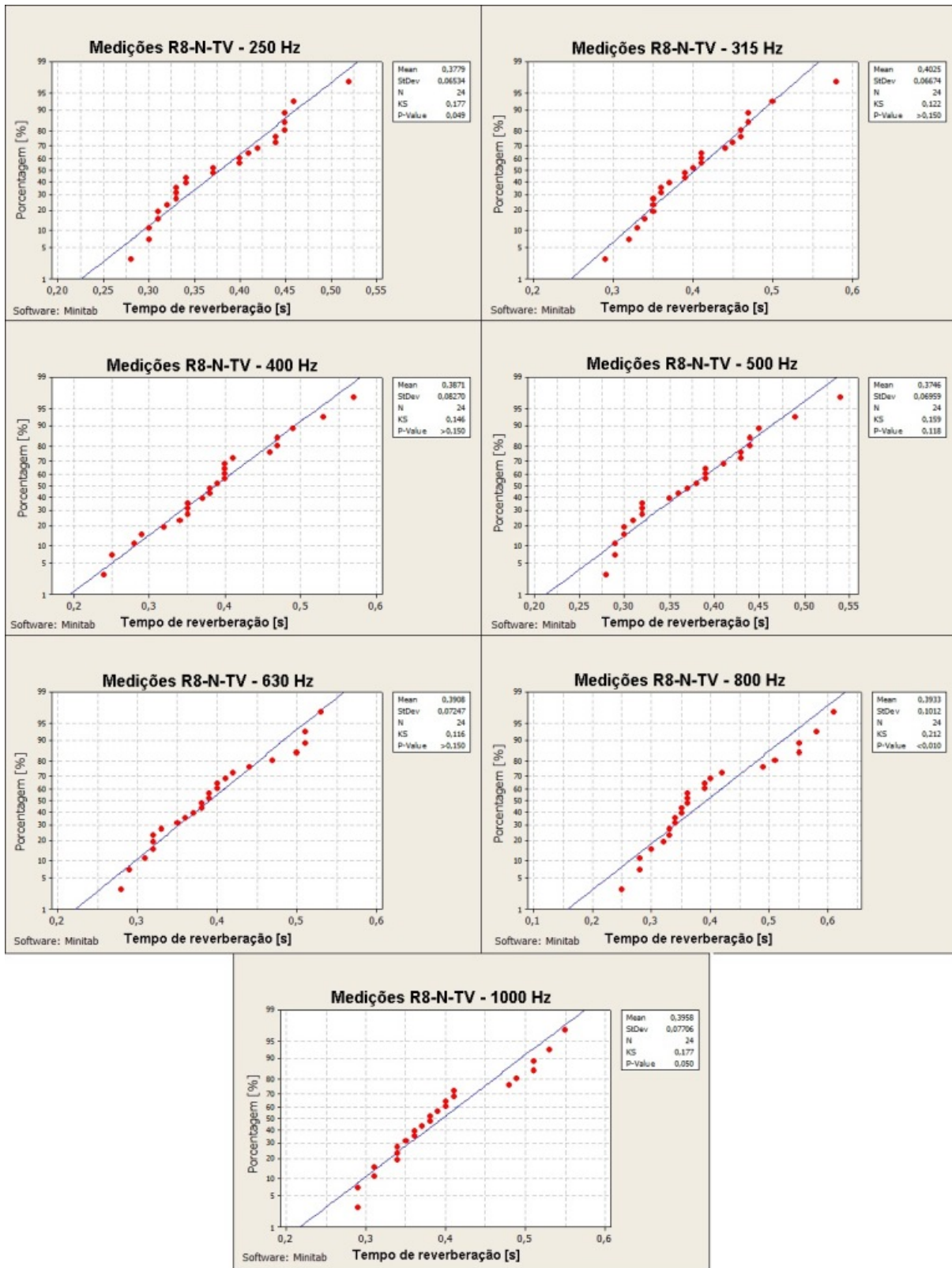


Figura D.77.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

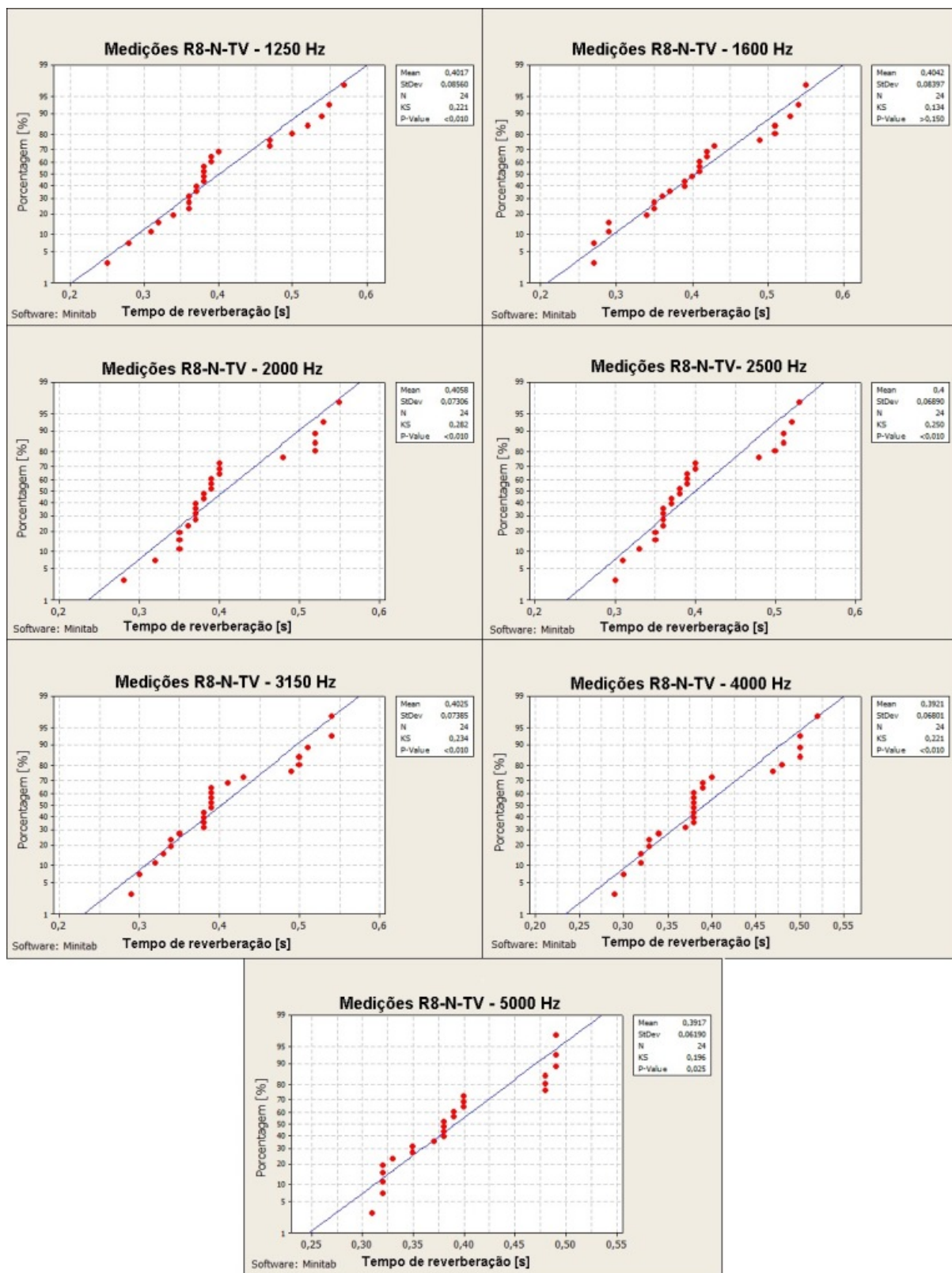


Figura D.78.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5.4 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-BCE

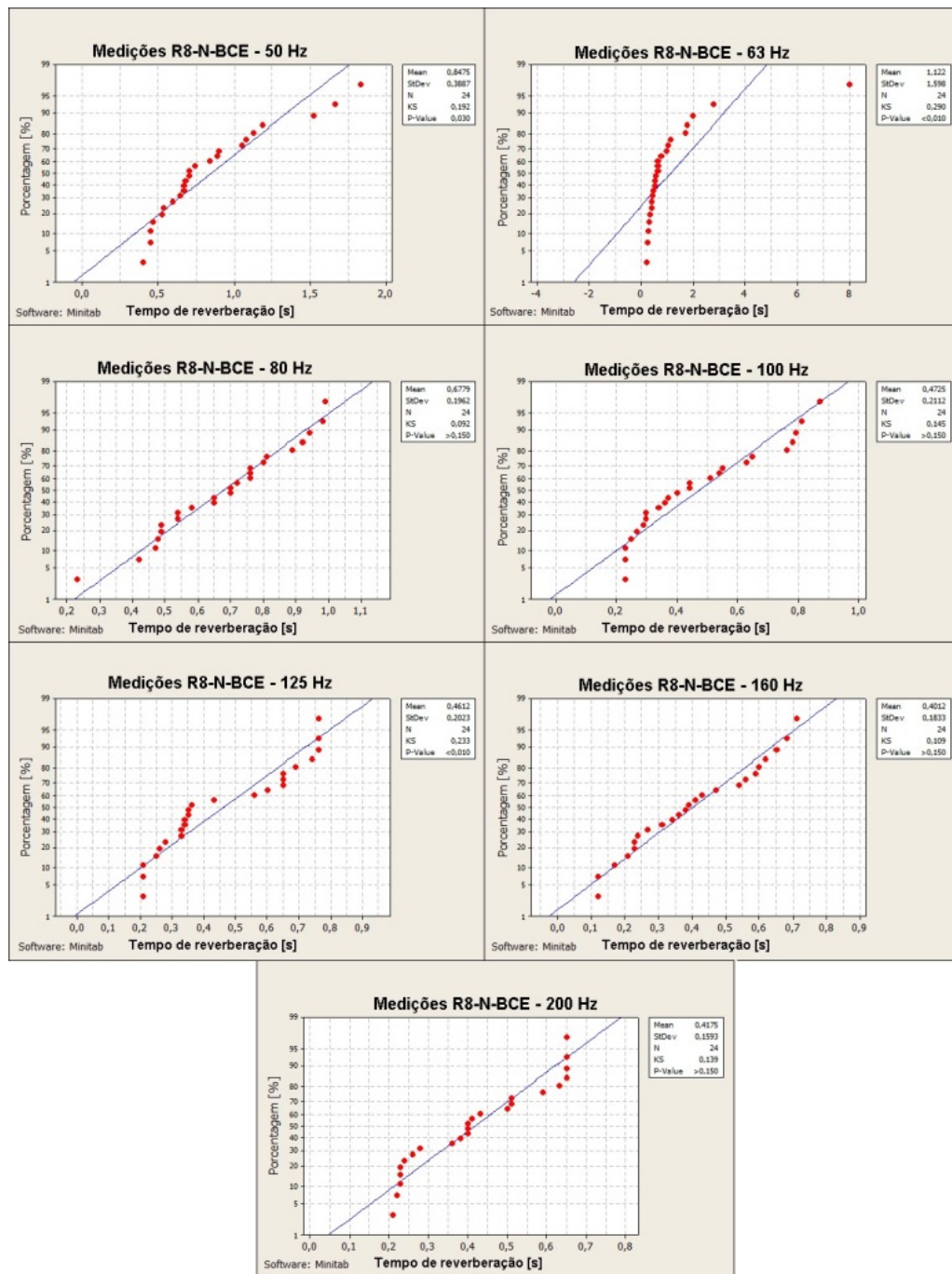


Figura D.79.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCE nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

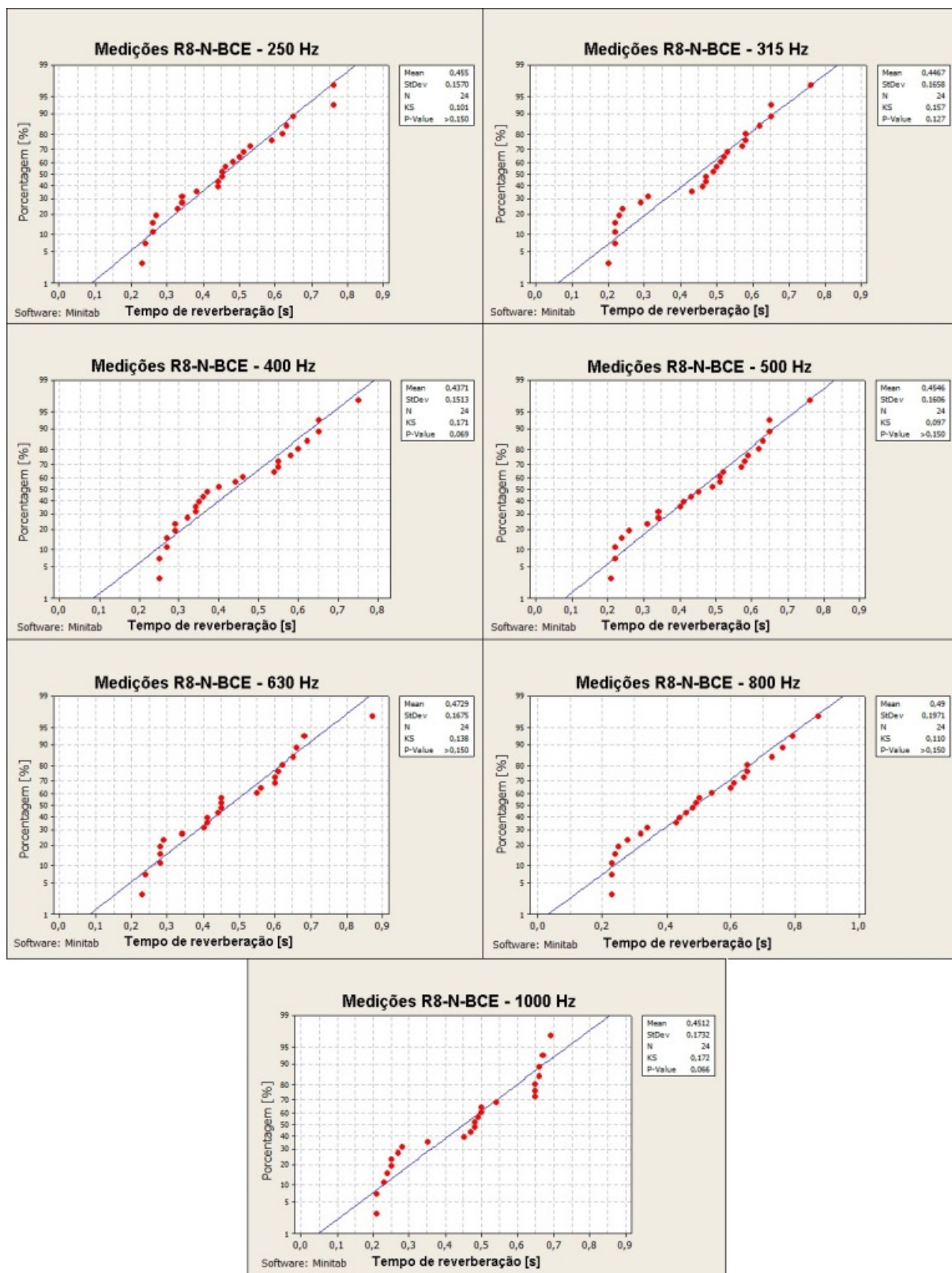


Figura D.80.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCE nas médias frequências.

Fonte: Autora.

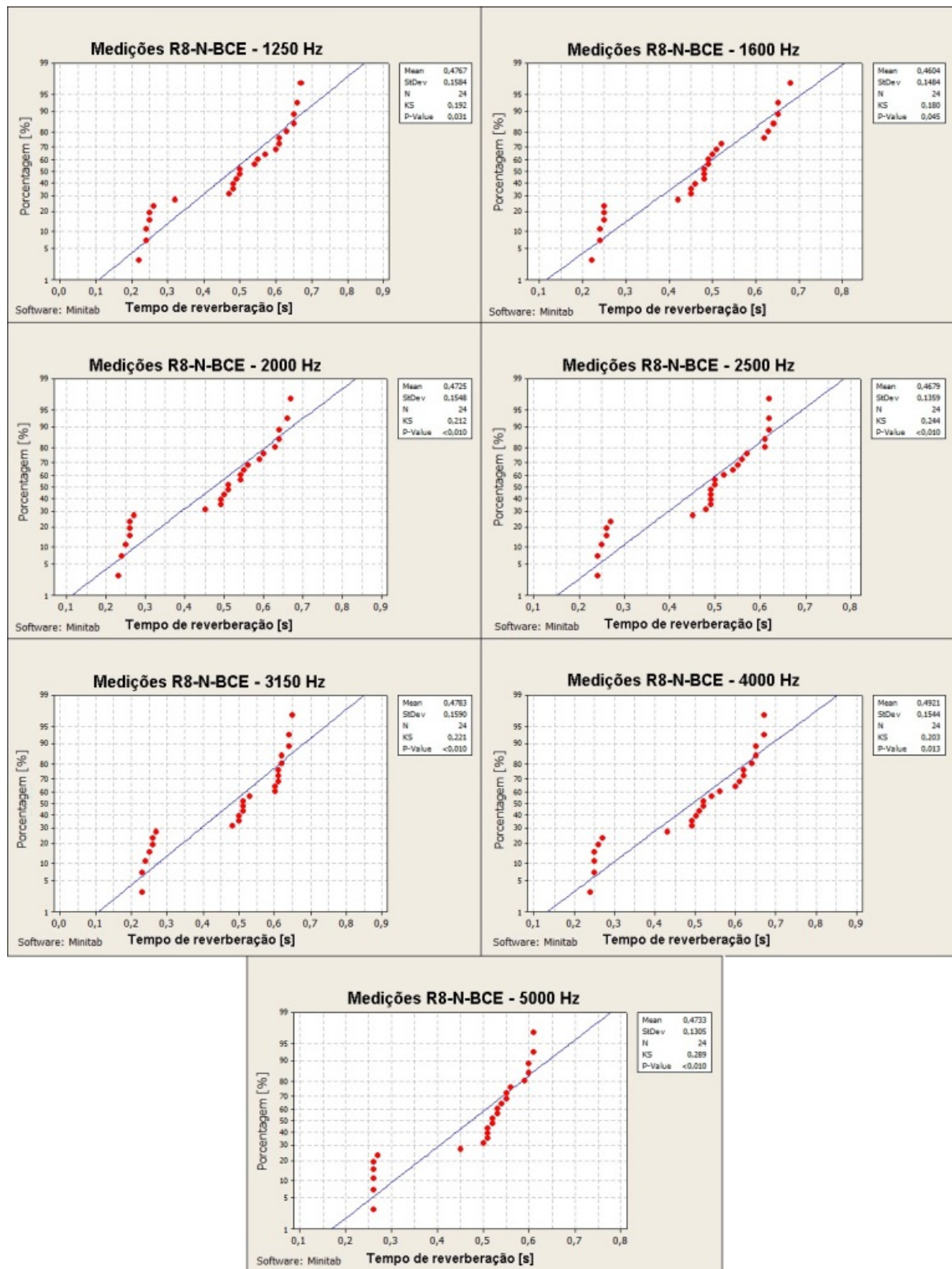


Figura D.81.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCE nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5.5 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-BCO

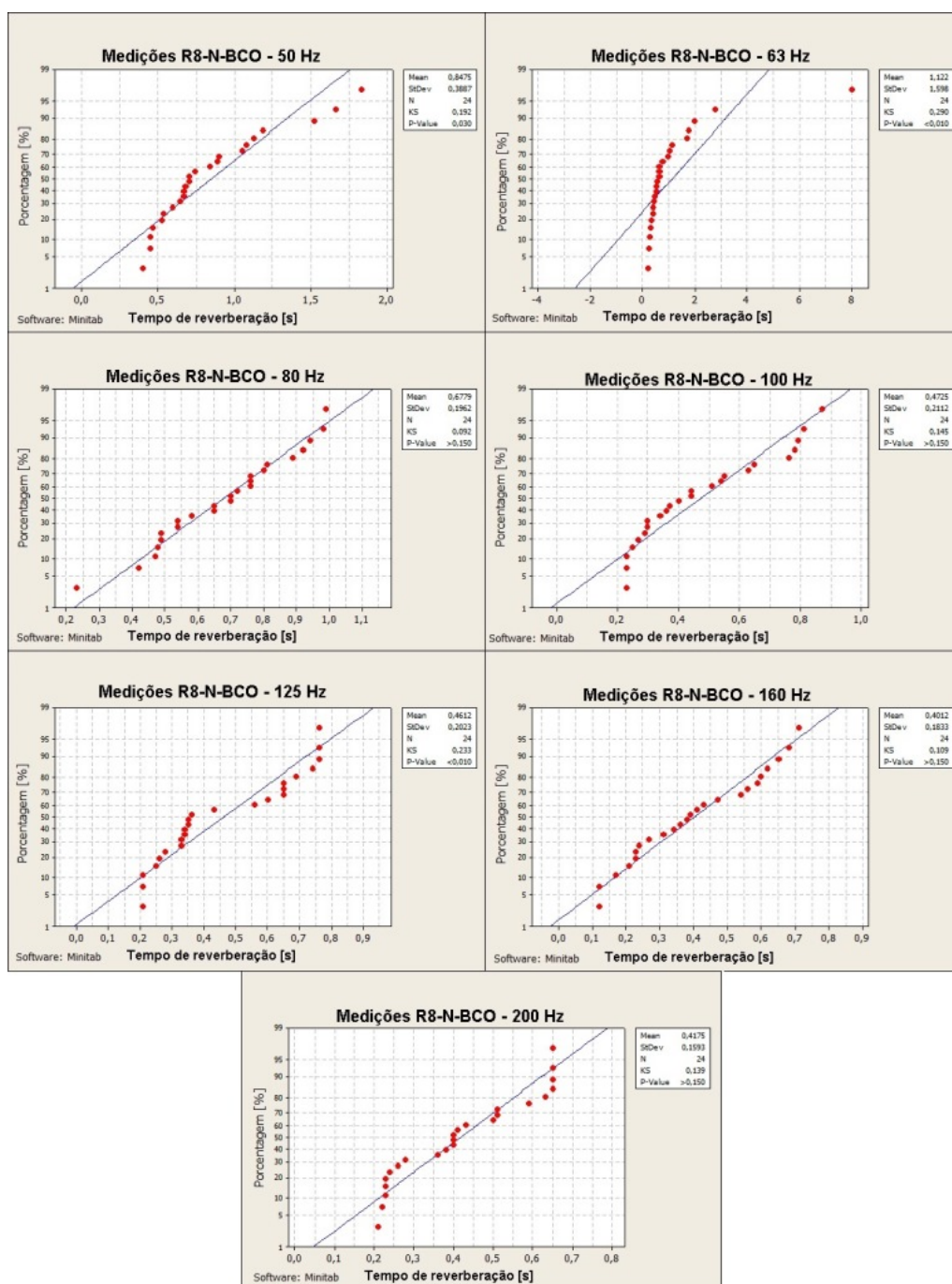


Figura D.82.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCO nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

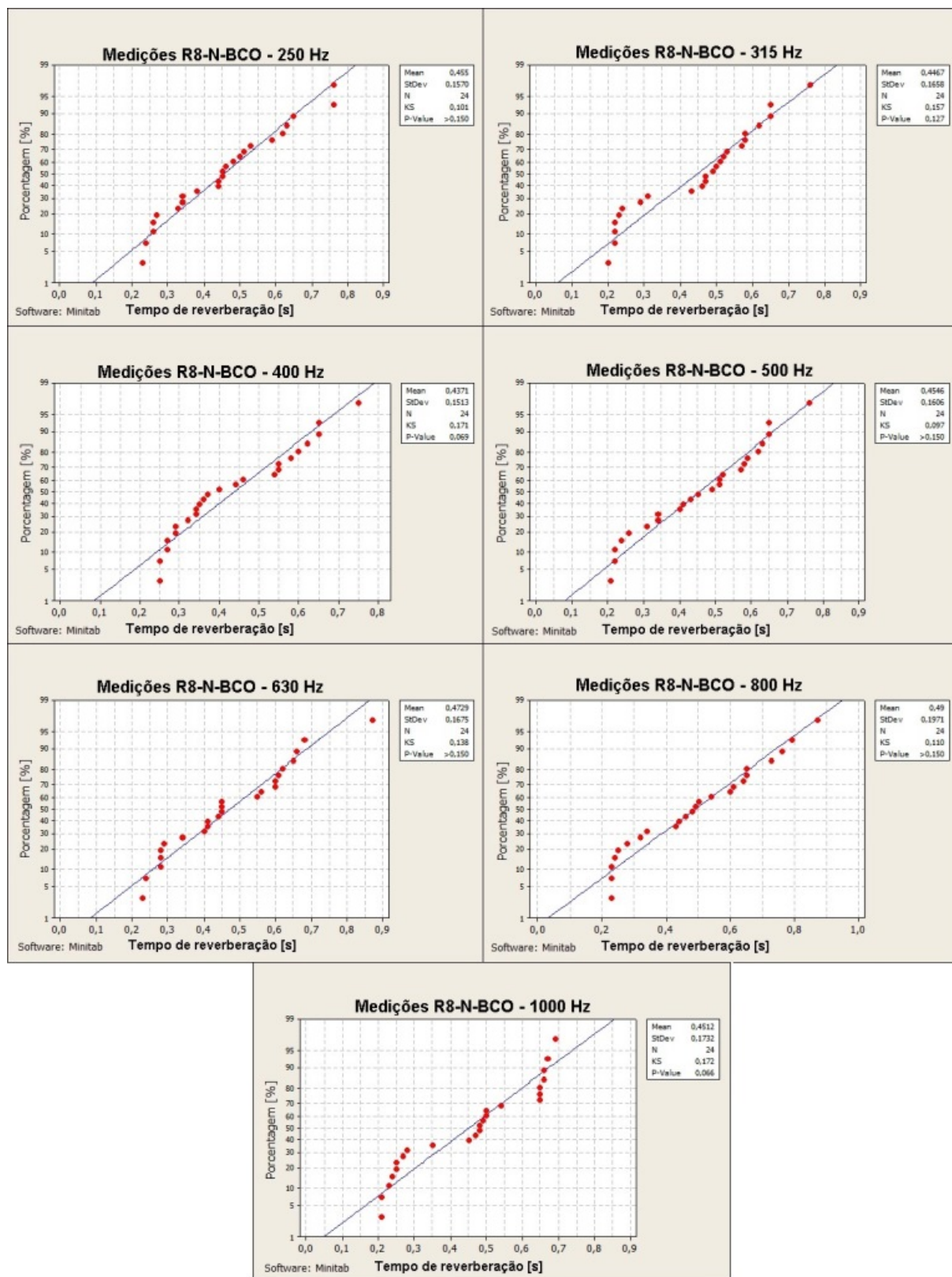


Figura D.83.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCO nas médias frequências.

Fonte: Autora.

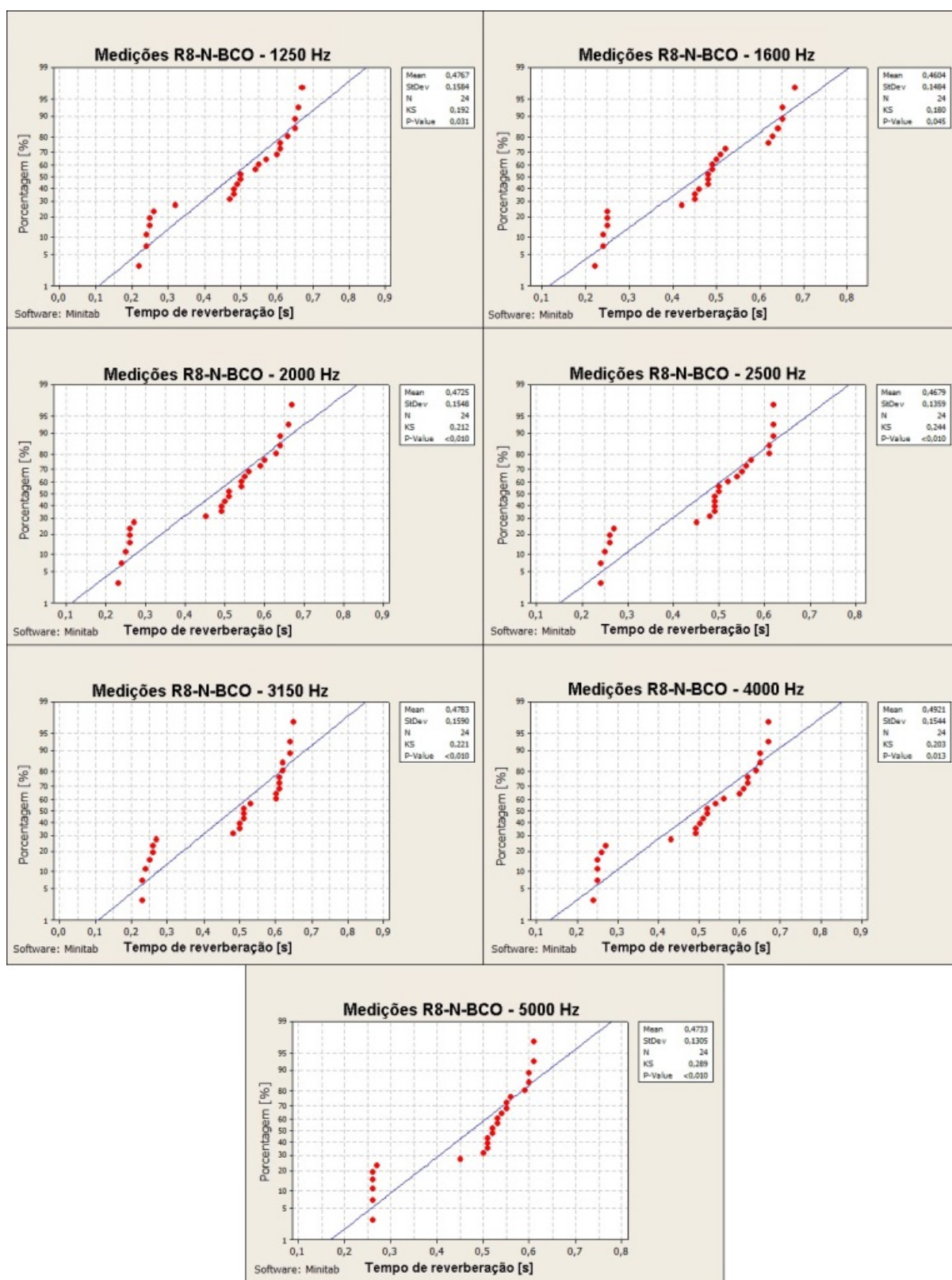


Figura D.84.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-BCO nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5.6 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-PP

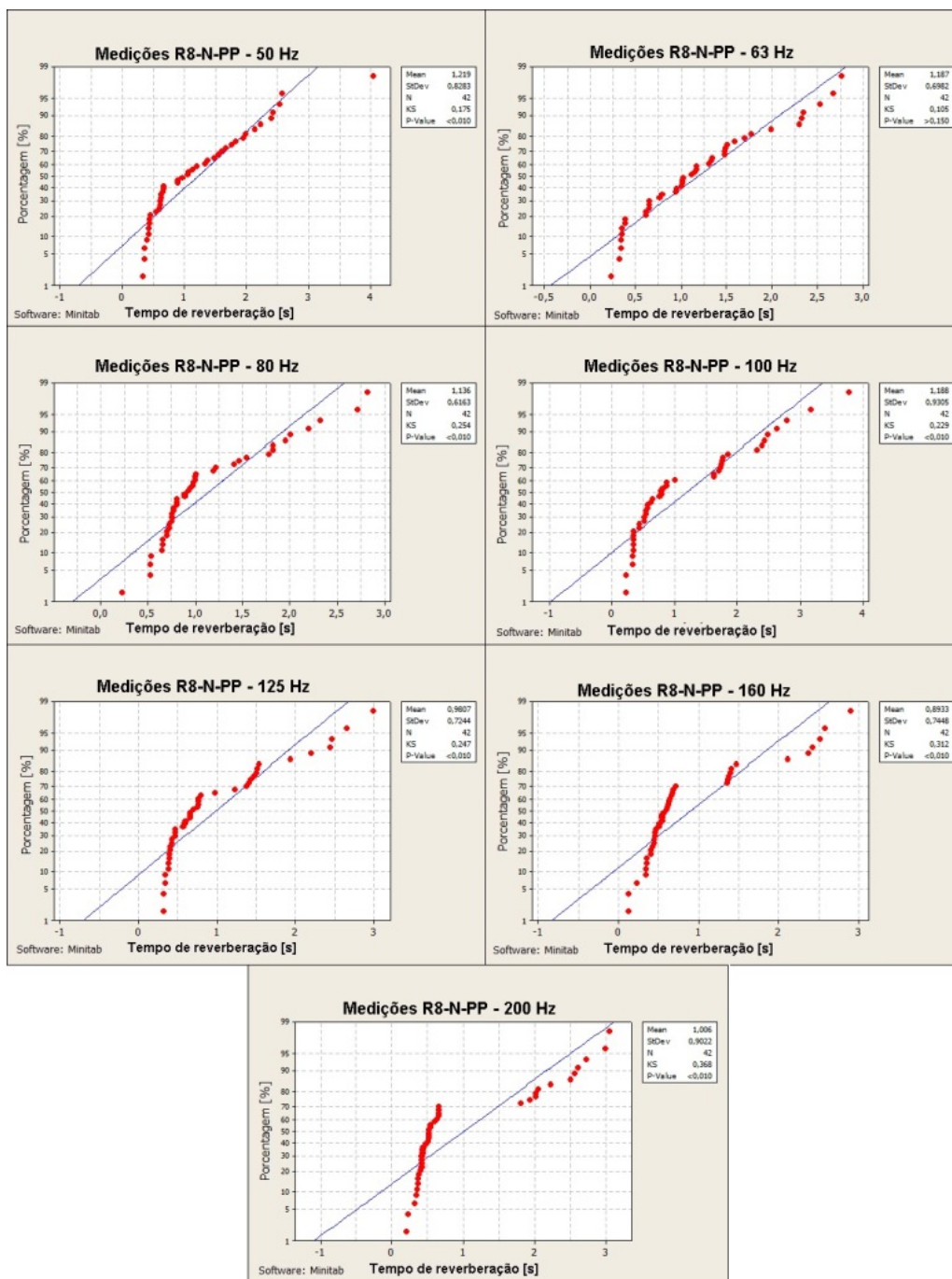


Figura D.85.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PP nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

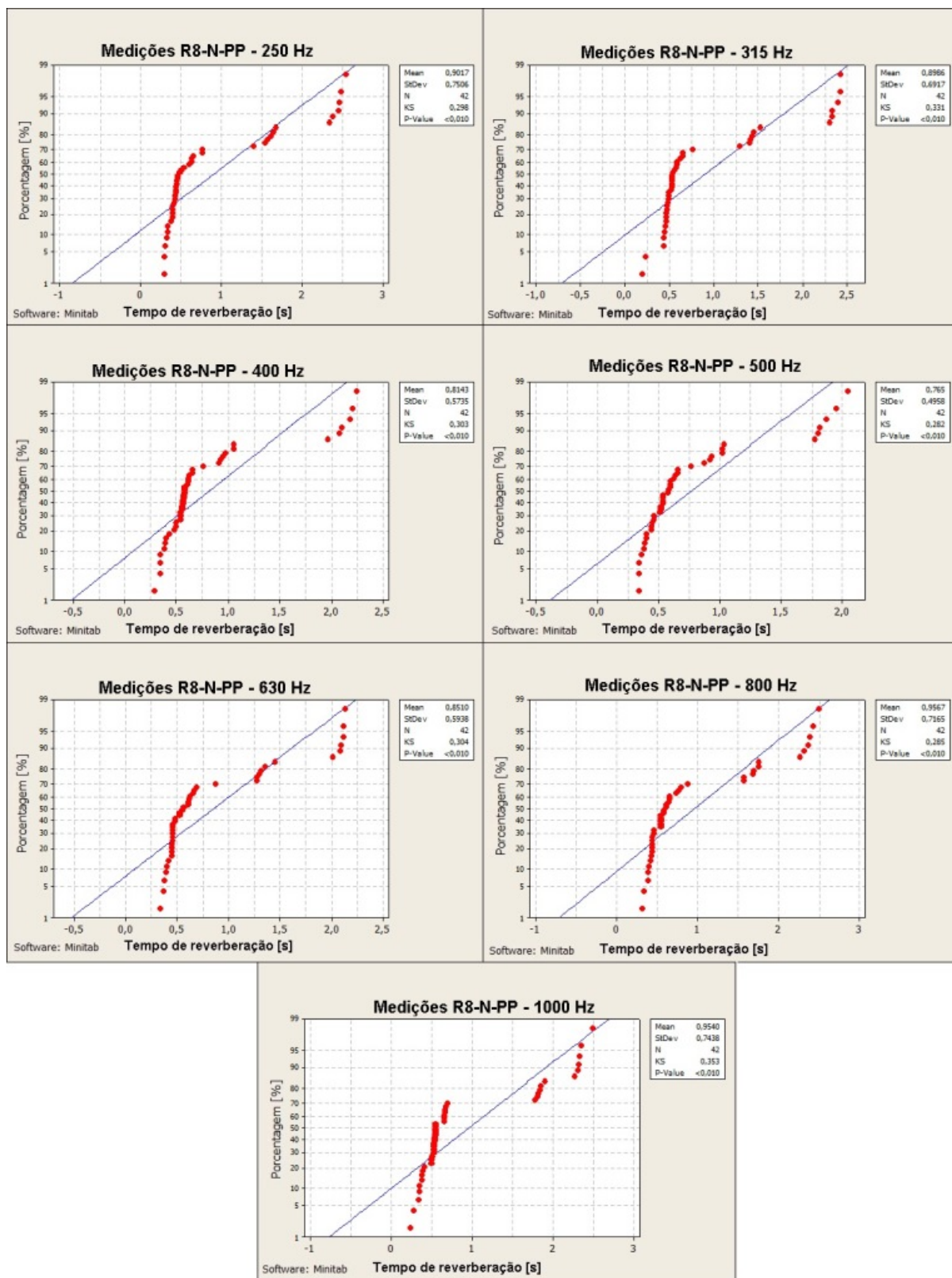


Figura D.86.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PP nas médias frequências.

Fonte: Autora.

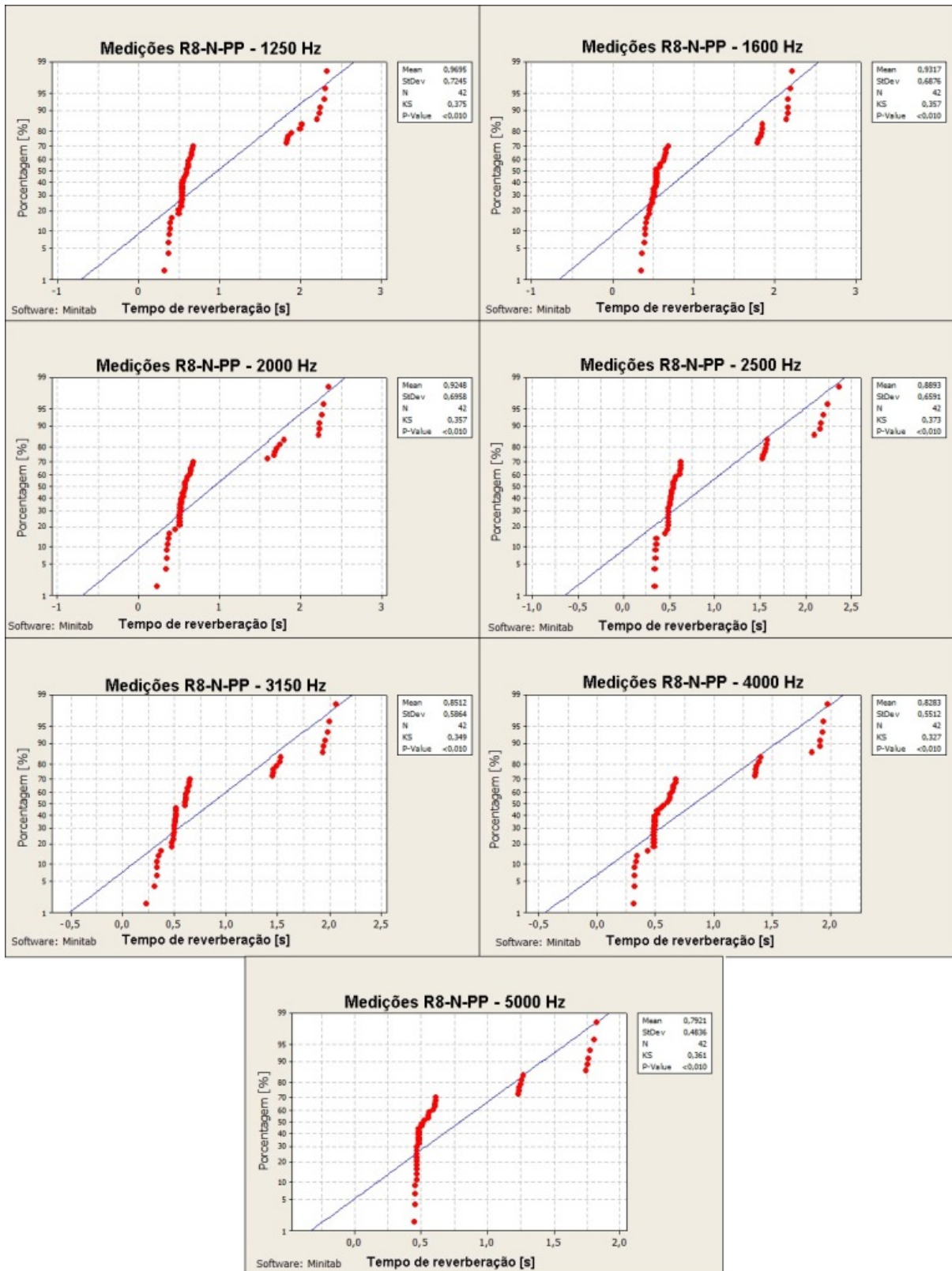


Figura D.87.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PP nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5.7 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições TR - R8-N-PL

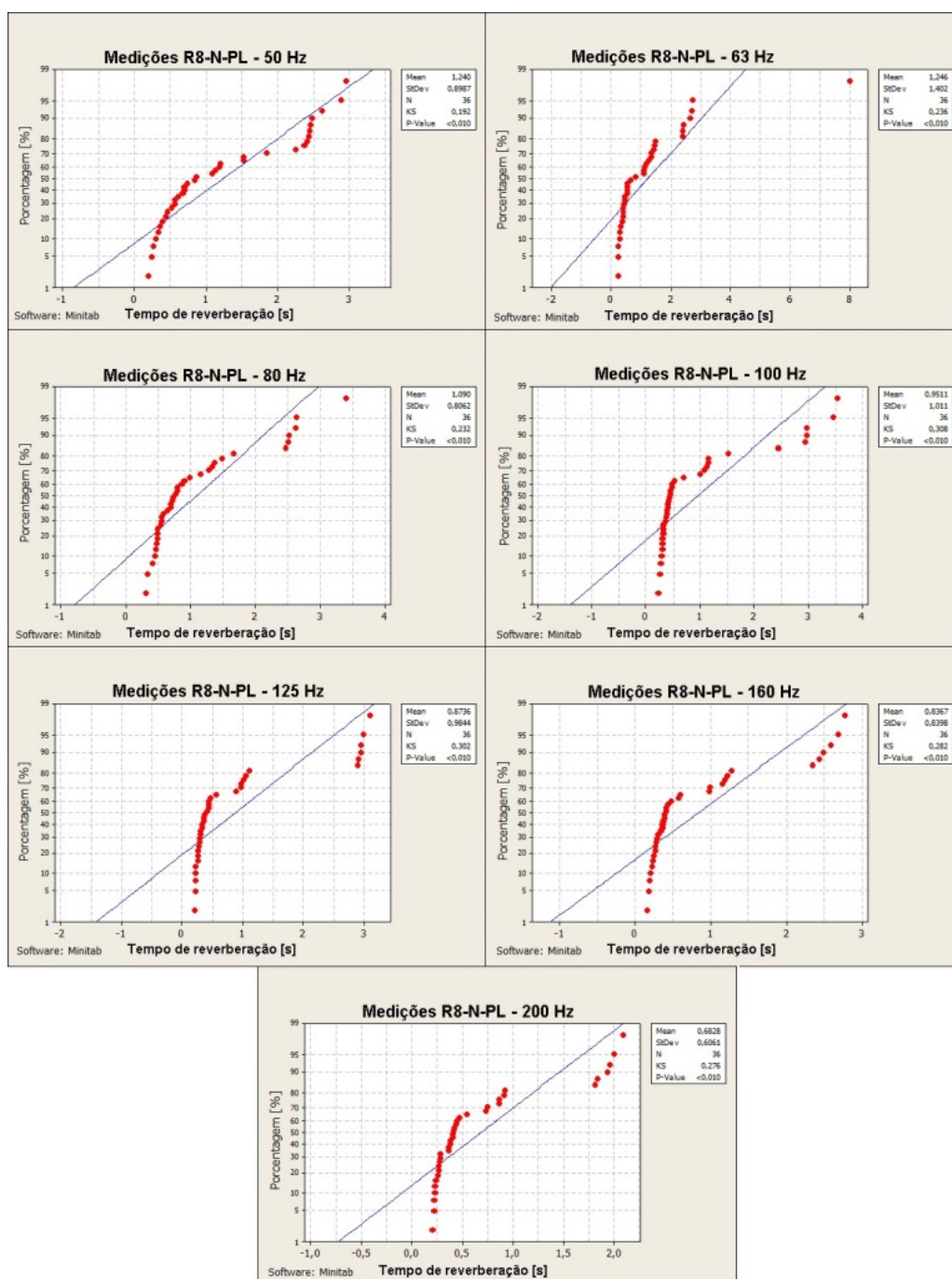


Figura D.88.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PL nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

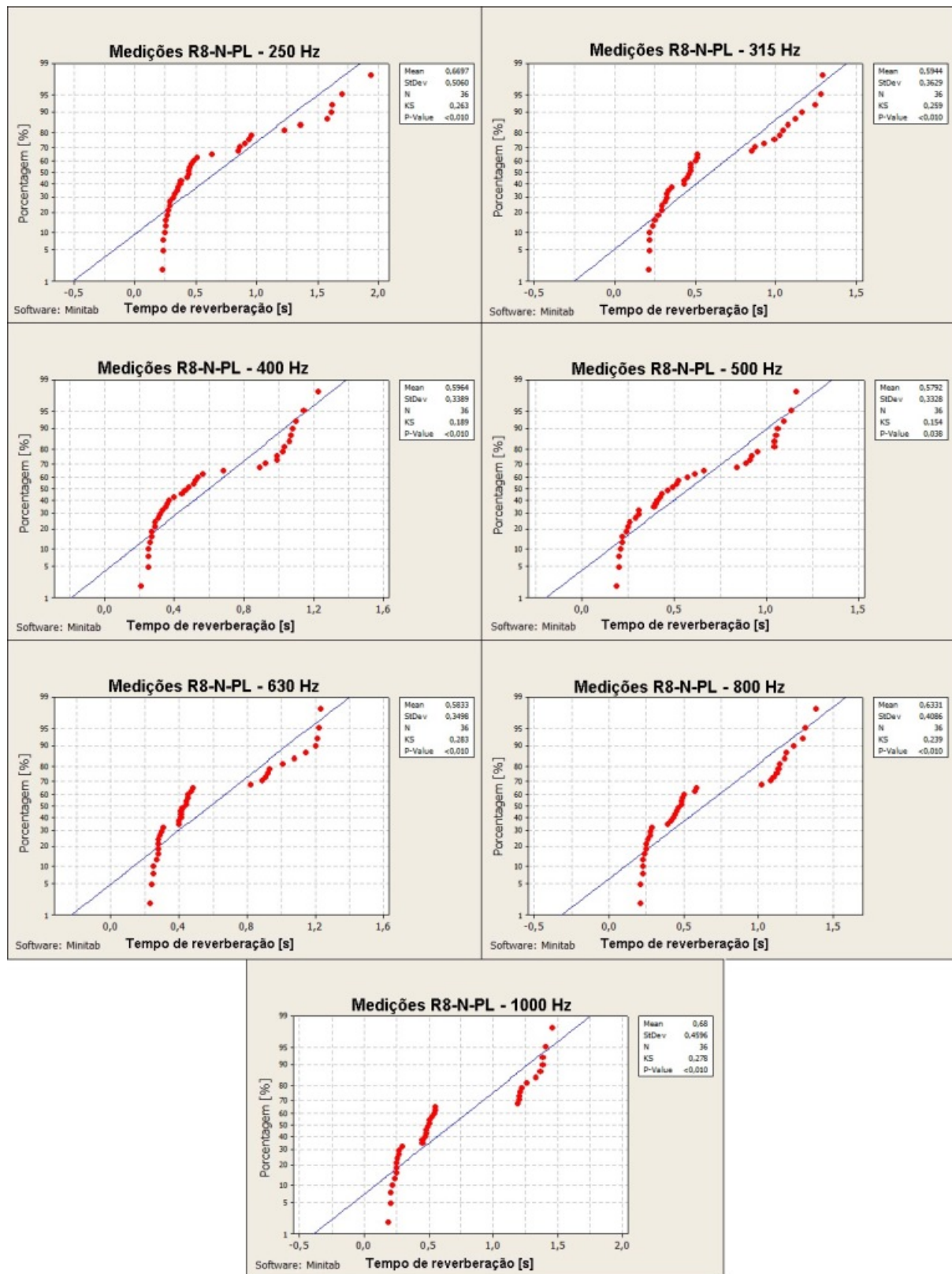


Figura D.89.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PL nas médias frequências.

Fonte: Autora.

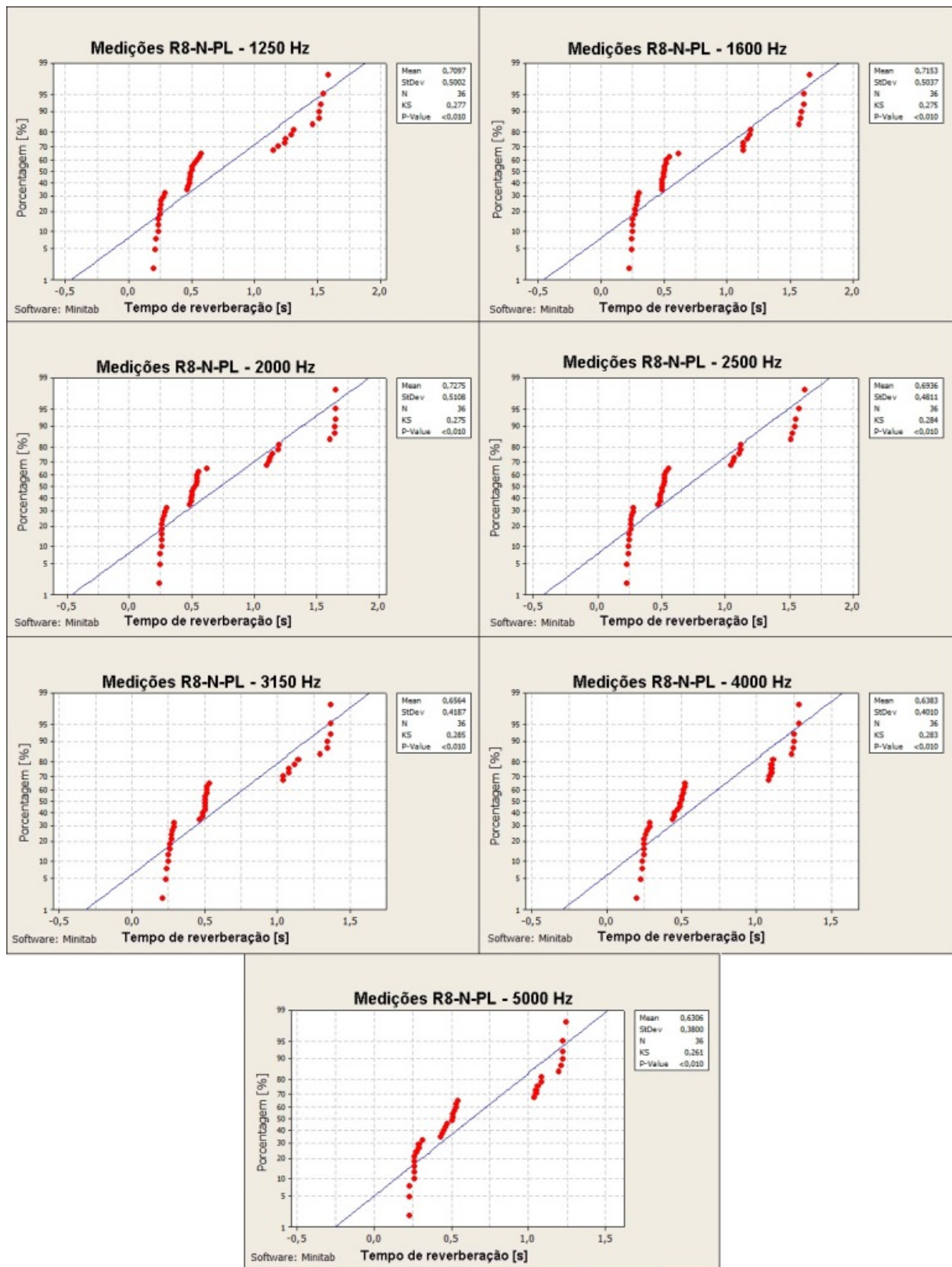


Figura D.90.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-N-PL nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.5.8 Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov - Medições R8-A

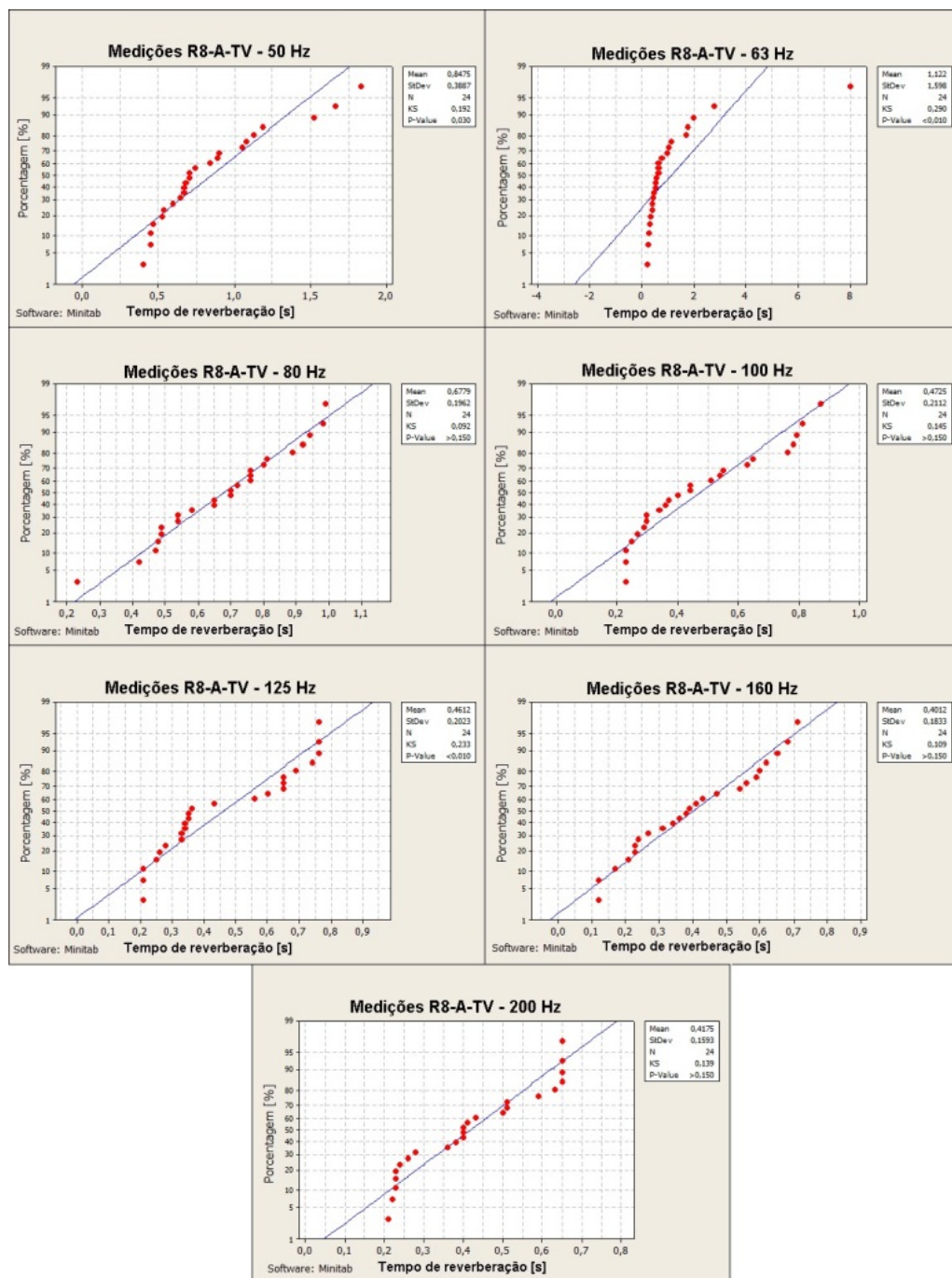


Figura D.91.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-A-TV nas baixas frequências.

Fonte: Autora.

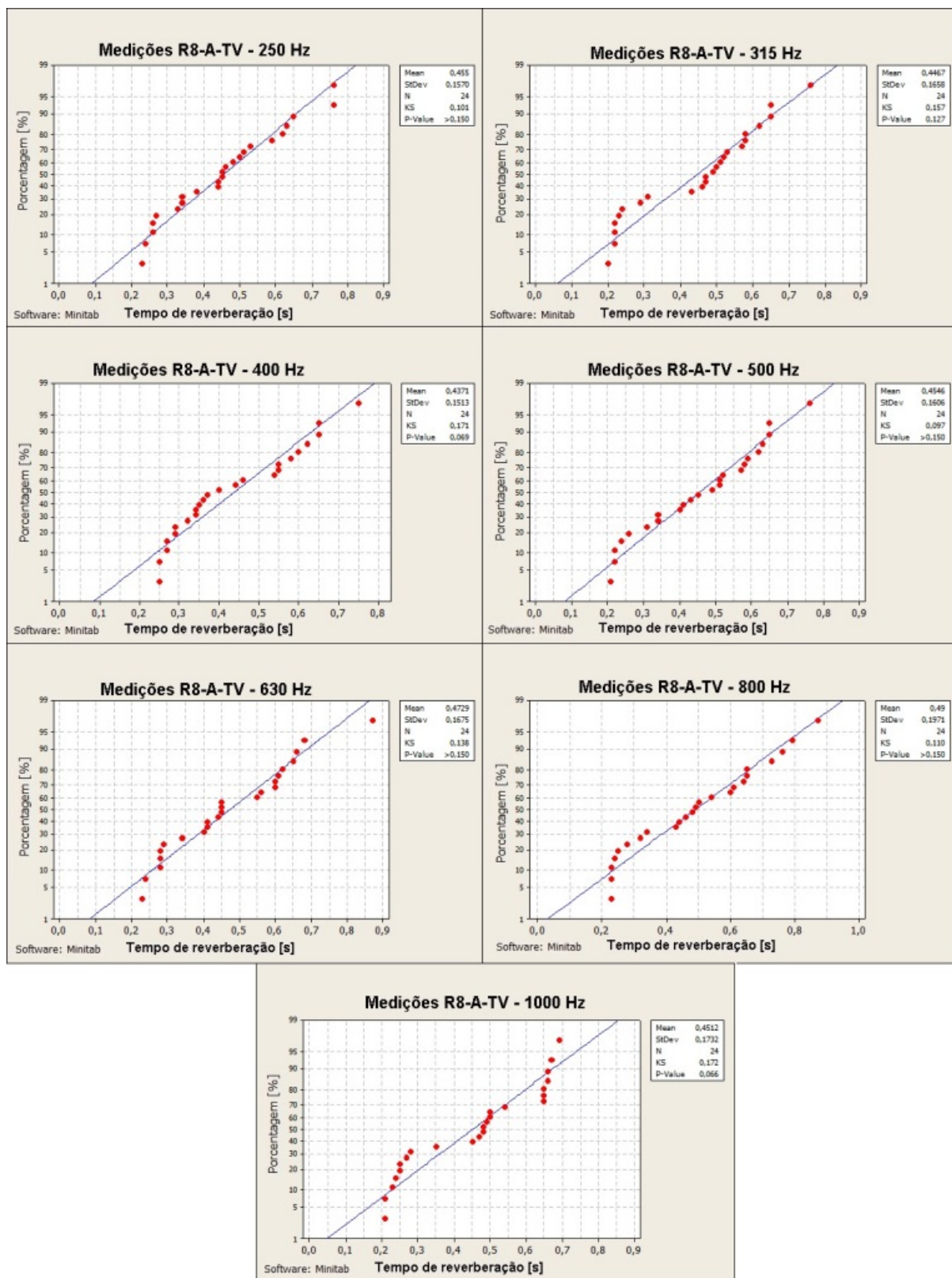


Figura D.92.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-A-TV nas médias frequências.

Fonte: Autora.

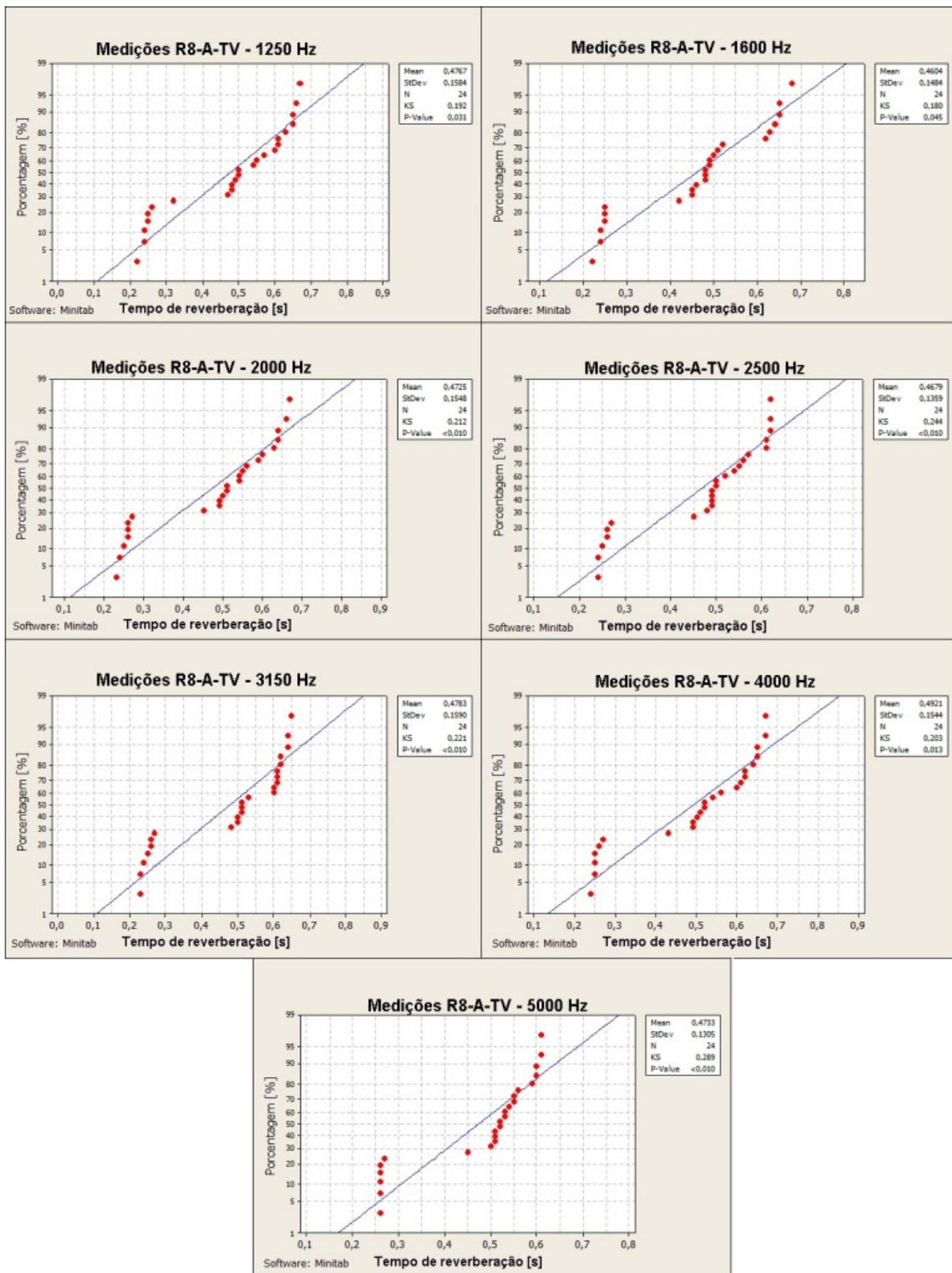


Figura D.93.: Teste de normalidade - Medições do tempo de reverberação R8-A-TV nas altas frequências.

Fonte: Autora.

D.6. Resultados medições ao ruído aéreo

D.6.0.1 Medições de $D_{n,T}$

Tabela D.1.: Valores medidos de $D_{n,T}$ em paredes de tijolo vazado no padrão PIS.

PIS-TV - $D_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [Hz]				
Freq. [Hz]	01-PIS-TV [dB]	02-PIS-TV [dB]	03-PIS-TV [dB]	04-PIS-TV [dB]
50	9,6	14,5	7,3	12,7
63	17,6	23,7	18,2	10,0
80	19,8	19,7	16,9	20,8
100	15,7	18,1	12,8	19,5
125	18,1	16,5	21,3	29,1
160	25,9	25,7	18,1	25,5
200	29,9	26,6	20,6	25,5
250	26,8	25,4	22,3	25,7
315	29,6	27,0	22,9	25,6
400	25,0	28,2	23,3	27,7
500	29,2	29,0	23,0	26,7
630	28,5	29,2	23,7	28,4
800	30,7	30,8	24,9	28,5
1000	32,5	31,1	26,0	29,9
1250	32,1	33,3	26,8	28,9
1600	33,5	34,4	27,3	28,7
2000	31,4	32,4	25,8	29,9
2500	29,0	27,1	22,7	27,3
3150	26,7	27,0	20,8	24,4
4000	29,0	29,4	21,8	24,3
5000	32,6	31,5	23,8	25,4

Tabela D.2.: Valores medidos de $D_{n,T}$ em paredes de tijolo vazado no padrão R8-N.

R8-N-TV - $D_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [Hz]				
Freq. [Hz]	05-R8-N-TV [dB]	06-R8-N-TV [dB]	07-R8-N-TV [dB]	08-R8-N-TV [dB]
50	45,5	25,7	37,9	30,9
63	44,0	33,3	47,2	36,3
80	45,7	31,4	35,8	38,9
100	39,4	27,4	28,3	38,9
125	50,0	28,9	37,5	33,2
160	41,1	29,0	32,7	30,2
200	43,0	33,2	39,3	35,9
250	44,0	34,7	33,1	36,3
315	40,4	34,7	32,8	36,8
400	42,1	34,4	33,3	36,3
500	43,1	37,5	36,5	34,4
630	44,2	39,7	40,6	39,5
800	43,4	39,6	47,8	43,5
1000	43,5	41,1	48,5	46,6
1250	43,7	42,5	50,1	49,4
1600	43,7	42,1	49,4	50,6
2000	41,7	42,1	44,9	52,8
2500	39,8	41,6	39,6	54,0
3150	35,2	38,5	40,7	53,3
4000	33,5	37,3	39,6	54,1
5000	34,2	38,3	46,2	55,2

Tabela D.3.: Valores medidos de $D_{n,T}$ em paredes de bloco de concreto vazado no padrão R8-N.

R8-N-BCO - $D_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [Hz]				
Freq. [Hz]	13-R8-N-BCO [dB]	14-R8-N-BCO [dB]	15-R8-N-BCO [dB]	16-R8-N-BCO [dB]
50	29,2	33,7	34,3	33,2
63	25,8	39,1	35,3	36,1
80	32,9	43,6	40,5	43,3
100	40,1	30,4	23,9	32,8
125	36,3	34,1	32,3	31,3
160	35,9	33,0	30,2	32,1
200	38,2	34,3	29,1	33,1
250	37,8	36,1	34,7	34,0
315	37,4	32,3	32,5	33,2
400	38,8	35,9	35,6	38,3
500	39,7	38,5	37,2	39,7
630	42,8	41,2	39,1	43,2
800	39,8	40,4	41,6	42,4
1000	39,7	41,9	37,5	42,3
1250	40,7	43,0	39,2	42,8
1600	41,2	44,2	36,7	43,7
2000	42,6	43,4	39,9	40,5
2500	46,5	39,5	34,5	38,1
3150	46,7	35,9	31,7	36,8
4000	47,3	36,4	34,4	36,7
5000	49,7	38,1	31,4	37,1

D.6.0.2 Medições da temperatura e umidade

Tabela D.4.: Valores de temperatura e umidade nas medições *in loco*, ao ruído aéreo.

Freq. [Hz]	Temp. interna [°C]	Temp. externa [°C]	Umidade [%]
01-PIS-TV	24,6	24,7	48
02-PIS-TV	26,7	26,1	49
03-PIS-TV	29,7	30,6	52
04-PIS-TV	29,5	29,7	50
05-R8-N-TV	29,8	29,9	58
06-R8-N-TV	30,7	30,7	59
07-R8-N-TV	27,9	28,7	47
08-R8-N-TV	29,2	29,9	47
09-R8-N-BCE	28,9	28,9	48
10-R8-N-BCE	29,3	30,2	49
11-R8-N-BCE	30,4	30,2	44
12-R8-N-BCE	30,2	29,5	45
13-R8-N-BCO	29,9	28,6	52
14-R8-N-BCO	28,7	27,9	50
15-R8-N-BCO	30,1	31,2	59
16-R8-N-BCO	23,7	23,7	62
17-R8-A-TV	30,2	31,3	65
18-R8-A-TV	28,7	29,6	53
19-R8-A-TV	29,9	29,7	52
20-R8-A-TV	29,6	29,8	56

D.7. Resultados medições ao ruído de impacto

D.7.0.3 Medições de $L'_{n,T}$

Tabela D.5.: Valores medidos de $L'_{n,T}$ em paredes de tijolo vazado, no padrão PIS.

PIS-PC - $L'_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [Hz]			
Freq. [Hz]	01-PIS-PC [dB]	02-PIS-PC [dB]	03-PIS-PC [dB]
50	44,40	56,59	54,54
63	66,12	48,45	53,25
80	57,64	63,75	73,83
100	64,62	59,10	63,24
125	67,53	61,61	65,48
160	64,14	64,91	65,34
200	66,34	63,87	65,13
250	67,20	68,44	72,24
315	70,84	71,40	71,96
400	73,49	68,48	71,87
500	78,02	70,88	74,50
630	74,71	72,17	74,59
800	77,12	70,50	72,22
1000	76,99	71,57	73,27
1250	82,12	73,35	74,59
1600	83,35	76,13	77,09
2000	83,47	77,62	77,01
2500	82,75	79,30	79,42
3150	81,24	79,05	78,91
4000	75,96	78,07	75,23
5000	72,03	77,42	70,41

Tabela D.6.: Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [Hz]				
Freq. [Hz]	05-R8-N-PC [dB]	06-R8-N-PC [dB]	06-R8-N-PL [dB]	08-R8-N-PC [dB]
50	60,43	58,35	47,62	55,75
63	58,74	63,34	65,56	58,63
80	66,07	76,30	57,72	68,29
100	58,08	65,21	66,85	62,25
125	57,86	61,72	64,58	60,18
160	60,13	63,54	63,21	63,63
200	64,48	64,88	67,66	66,14
250	68,91	69,91	64,94	69,10
315	68,45	68,14	65,96	69,62
400	65,68	65,46	62,94	68,06
500	69,21	67,56	59,94	70,70
630	70,46	68,96	55,05	71,94
800	67,19	66,72	49,44	68,78
1000	68,57	66,02	44,77	69,70
1250	67,79	66,31	41,49	69,71
1600	68,03	67,29	38,52	71,55
2000	67,13	65,85	29,69	72,00
2500	65,23	65,41	24,29	72,62
3150	60,97	62,53	22,03	70,99
4000	57,24	59,34	19,26	69,04
5000	53,87	56,41	24,57	68,27

Tabela D.7.: Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [Hz]				
Freq. [Hz]	09-R8-N-PL [dB]	10-R8-N-PC [dB]	11-R8-N-PC [dB]	12-R8-N-PC [dB]
50	47,84	56,49	49,68	55,13
63	64,55	62,06	56,38	54,57
80	56,33	73,95	70,37	77,83
100	67,64	59,45	60,35	71,29
125	67,90	67,68	64,48	63,83
160	61,92	63,66	63,09	55,73
200	64,21	68,94	63,14	59,14
250	63,90	65,29	67,07	75,92
315	66,80	67,46	67,87	70,85
400	65,75	64,15	65,81	69,22
500	63,04	68,03	67,18	72,53
630	54,50	70,72	67,79	76,07
800	51,47	68,27	64,85	69,85
1000	46,33	63,36	65,18	69,87
1250	44,98	65,74	65,85	72,96
1600	44,16	69,46	67,64	76,45
2000	40,14	73,02	67,31	72,60
2500	38,95	78,45	67,45	72,95
3150	34,23	68,59	64,53	69,64
4000	31,88	67,18	62,22	68,46
5000	27,24	69,15	60,00	77,40

Tabela D.8.: Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [Hz]					
Freq. [Hz]	13-R8-N-PL	14-R8-N-PL	14-R8-N-PC	15-R8-N-PL	16-R8-N-PC
50	41,97	55,06	56,66	41,21	59,13
63	66,99	62,61	55,51	61,41	55,37
80	61,37	50,78	72,79	60,58	70,92
100	69,20	59,04	57,32	56,34	63,02
125	70,78	64,69	57,41	69,61	60,49
160	65,87	60,06	56,23	67,72	62,78
200	68,06	66,15	60,85	68,49	62,67
250	67,19	63,11	65,99	67,82	66,38
315	69,17	65,94	62,99	67,07	66,89
400	66,58	60,68	61,28	65,91	63,37
500	61,64	61,02	64,28	64,90	63,50
630	51,99	56,23	64,30	55,84	64,64
800	49,45	52,62	62,14	48,64	60,58
1000	43,29	50,80	63,17	45,64	58,06
1250	38,81	48,99	63,84	42,55	58,29
1600	33,17	47,42	67,40	37,54	58,80
2000	26,47	42,41	67,74	31,20	57,66
2500	20,31	40,89	69,14	26,62	58,68
3150	17,24	43,29	68,47	23,18	57,53
4000	17,47	46,63	66,23	23,99	53,71
5000	15,72	44,27	64,87	21,80	48,93

Tabela D.9.: Valores medidos de $L'_{n,T}$, no padrão R8-A.

R8-A - $L'_{n,T}$ [dB] por banda de frequência [dB]		
Freq. [Hz]	18-R8-A-PL [dB]	20-R8-A-PC [dB]
50	49,21	50,42
63	62,03	60,16
80	54,99	69,32
100	66,12	63,50
125	65,89	61,56
160	60,45	61,00
200	64,06	56,20
250	63,67	58,83
315	65,81	56,04
400	64,12	46,86
500	62,39	43,22
630	54,40	42,05
800	51,33	38,04
1000	45,90	34,87
1250	42,16	33,06
1600	39,03	31,40
2000	36,91	28,86
2500	36,26	29,34
3150	30,95	28,04
4000	28,68	31,40
5000	24,83	31,01

D.7.0.4 Medições da temperatura e umidade

Tabela D.10.: Valores de temperatura e umidade nas medições *in loco* ao ruído de impacto.

Temperatura e umidade relativa do ar			
Código medição	Temp. interna [°C]	Temp. externa [°C]	Umidade [%]
01-PIS-PC	24,7	24,4	49
02-PIS-PC	25,7	25,6	50
03-PIS-PC	26,9	27,2	70
05-R8-N-PC	28,3	28,6	56
06-R8-N-PC	29,8	29,9	58
06-R8-N-PL	28,7	28,8	57
08-R8-N-PC	30,2	30,1	46
09-R8-N-PL	29,5	28,8	47
10-R8-N-PC	29,1	31,3	50
11-R8-N-PC	30,1	29,8	43
12-R8-N-PC	29,9	29,3	45
13-R8-N-PL	28,9	28,9	53
14-R8-N-PC	28,7	28,9	50
14-R8-N-PL	29,9	29,9	50
15-R8-N-PL	30,6	30,2	60
16-R8-N-PC	22,9	22,6	63
18-R8-A-PL	25,2	26,3	52
19-R8-A-PC	31,9	32,7	45
20-R8-A-PC	29,6	29,8	56

E Simulações

E.1. SONarchitect ISO

O *software* de simulação acústica SONarchitect ISO, muito utilizado na Europa, possui sua base de cálculos no conjunto de normas europeias EN 12354:2000 [6]. Utiliza a parte 1, da referida norma, para o cálculo dos valores do isolamento ao ruído aéreo; a parte 2, para os de impacto; a parte 3, para os valores de isolamento sonoro nas fachadas, e a parte 6, para o cálculo dos tempos de reverberação, nos ambientes emissores.

Para isso, é necessário desenhar a planta baixa da edificação dentro do programa ou importar de arquivos em formato DXF. Como o programa identifica cada cômodo como um ambiente diferente, é possível especificar o uso de cada ambiente, conforme Figura E.1.

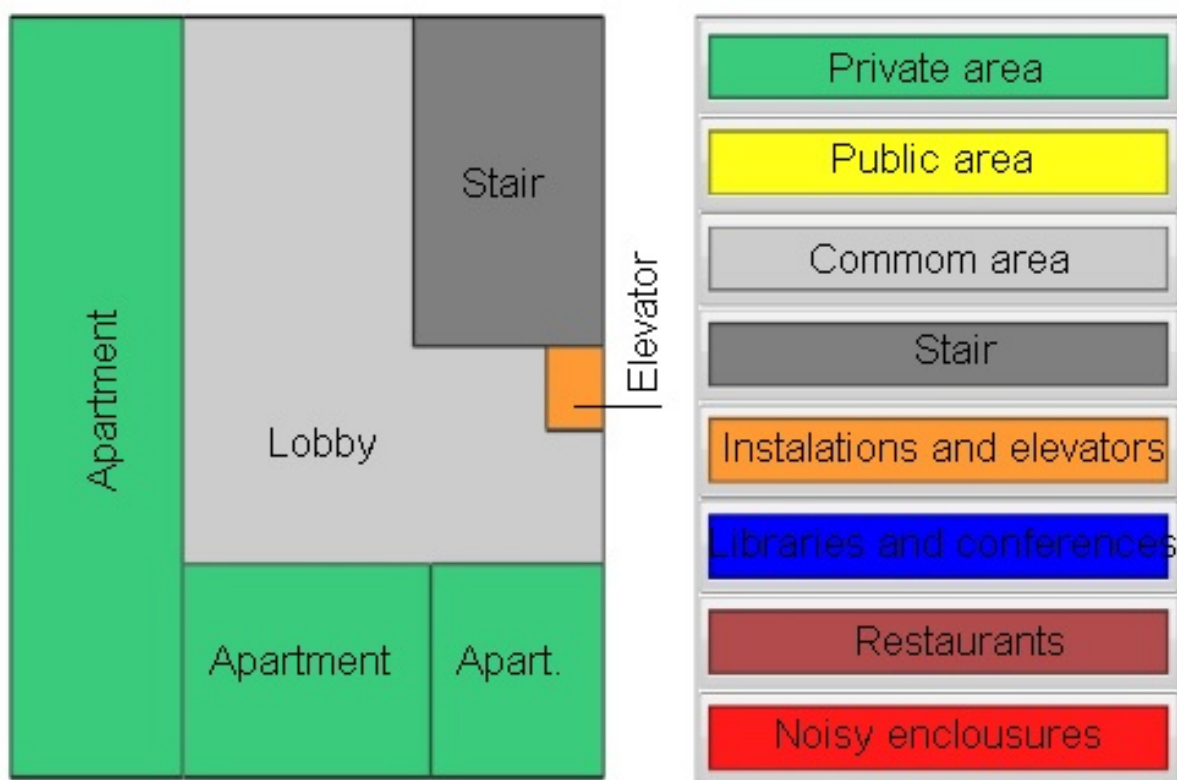


Figura E.1.: Planta baixa esquemática com a especificação de cada cômodo.

Fonte: [32]

O programa permite também a escolha dos parâmetros acústicos a serem simulados em cada ambiente e a configuração dos limites aceitáveis, conforme Figura E.2.

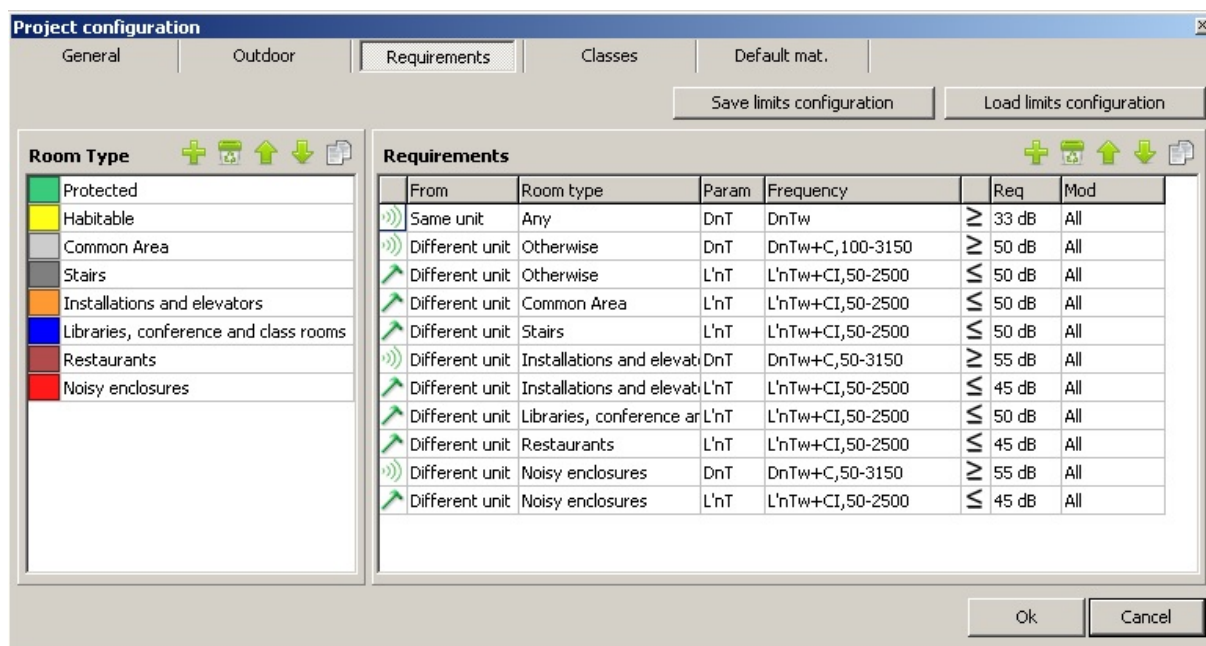


Figura E.2.: Configuração dos parâmetros acústicos a serem simulados e seus limites aceitáveis.

Fonte: [32]

As conexões entre as paredes podem ser inseridas também no programa, conforme Figura E.3, onde a seta sólida representa junção elástica, e a seta vazada representa junção rígida.

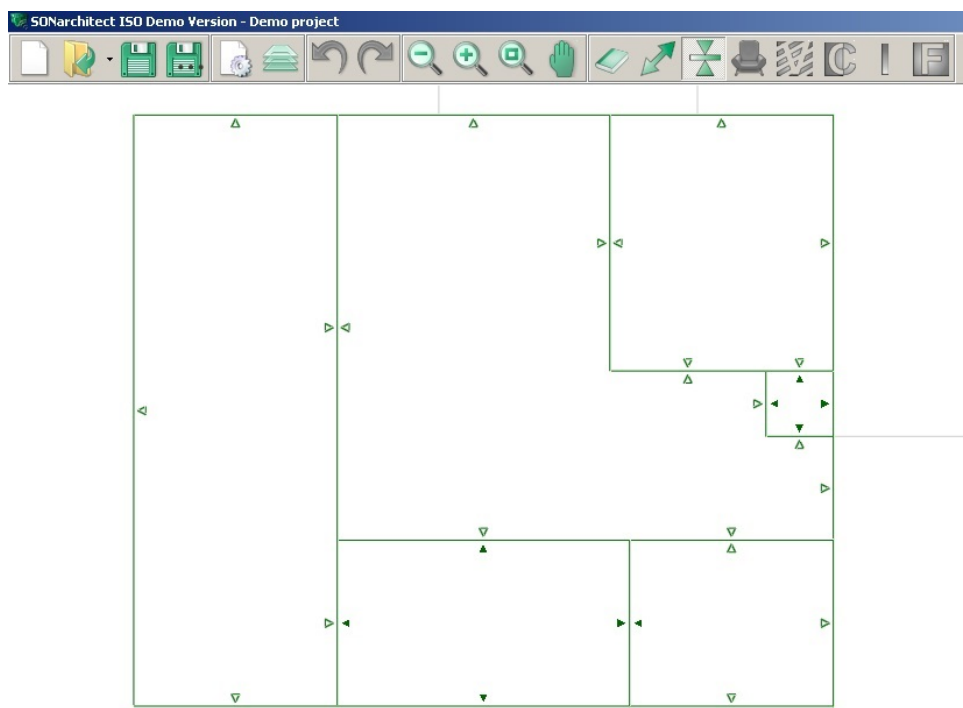


Figura E.3.: Configuração dos parâmetros acústicos a serem simulados e seus limites aceitáveis.

Fonte: [32]

Para a especificação dos elementos e materiais construtivos, o *software* possui um banco de dados dos mais utilizados na Europa (Figura E.4). Ao mesmo tempo que permite o acréscimo de novos materiais pelo usuário, através da inserção de parâmetros acústicos obtidos nas medições em laboratório, como: L_n para sistema de pisos e R para vedações verticais, ambos por banda de frequência¹ (Figura E.5).

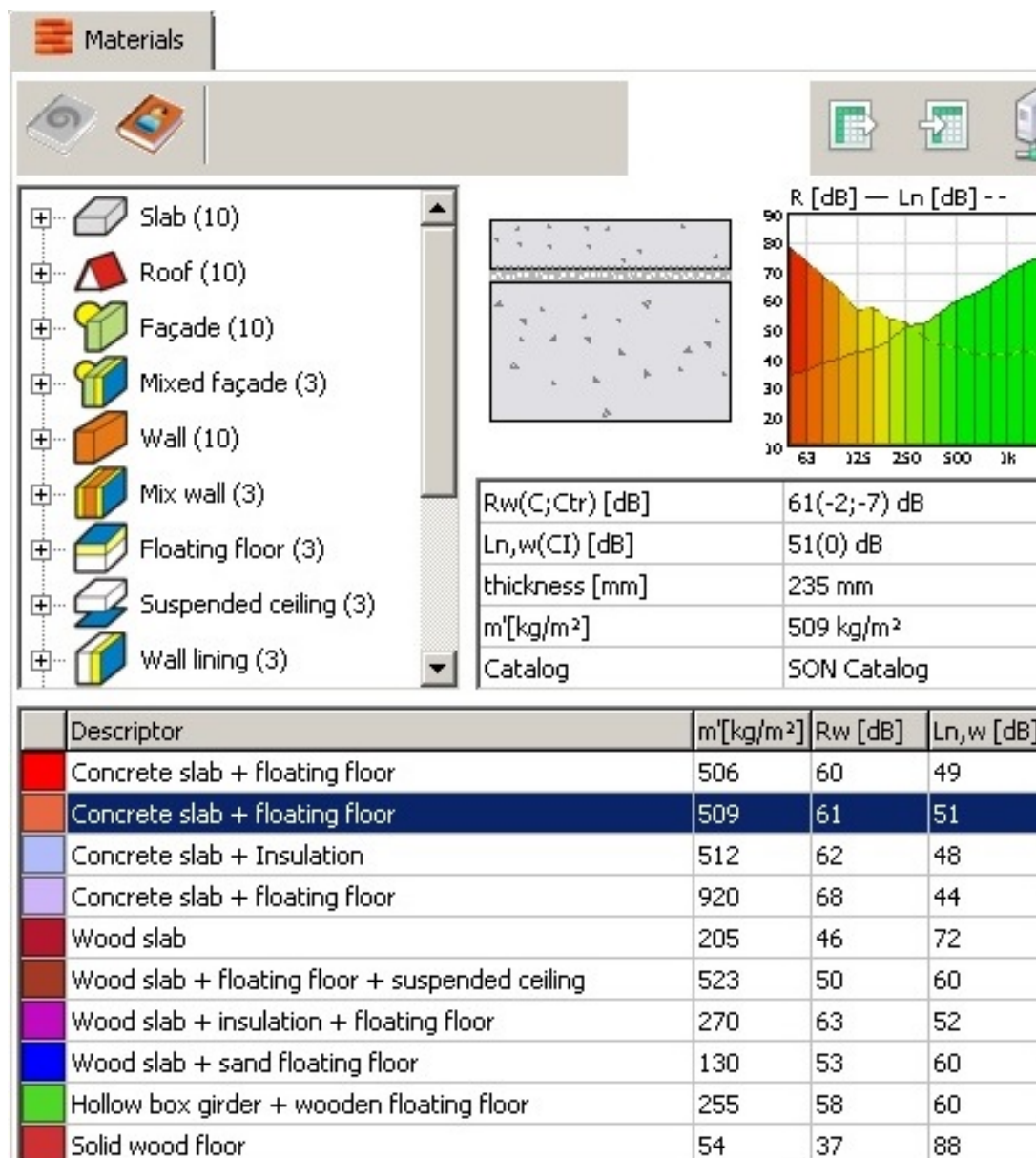


Figura E.4.: Banco de dados do SONArchitect com os principais elementos construtivos utilizados na Europa.

Fonte: [32]

¹É possível escolher a faixa de frequência e a banda dos dados que serão inseridos.

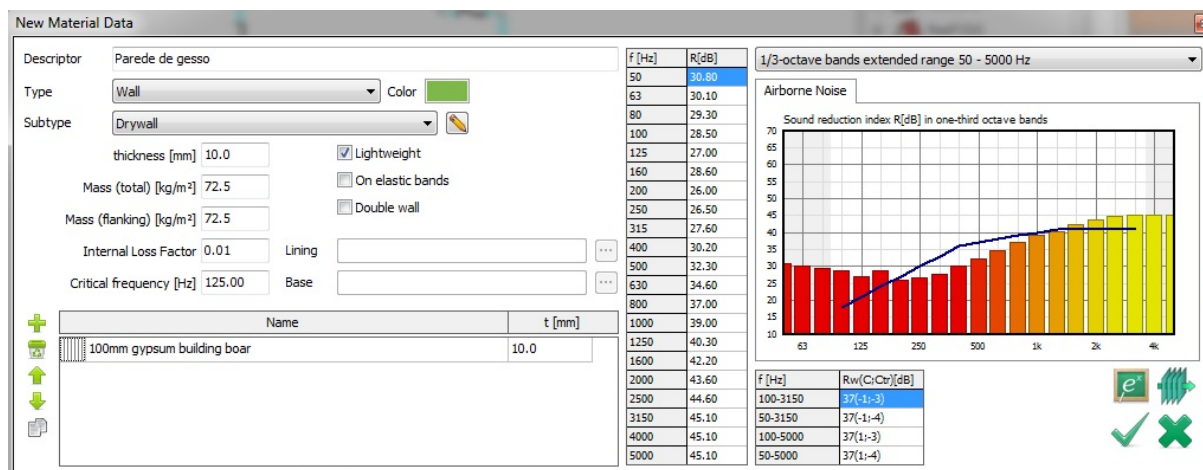


Figura E.5.: Adicionando novos elementos construtivos, no SONarchitect.

Fonte: [32]

Além dos parâmetros acústicos normalizados, é necessário inserir os valores de outras características dos materiais, como: massa superficial dos elementos, fator de amortecimento e frequência crítica. Para obter essas propriedades, o próprio programa possui uma planilha de cálculo, sendo necessário apenas informar o tipo e espessura do material, além do método de cálculo² (Figura E.6).

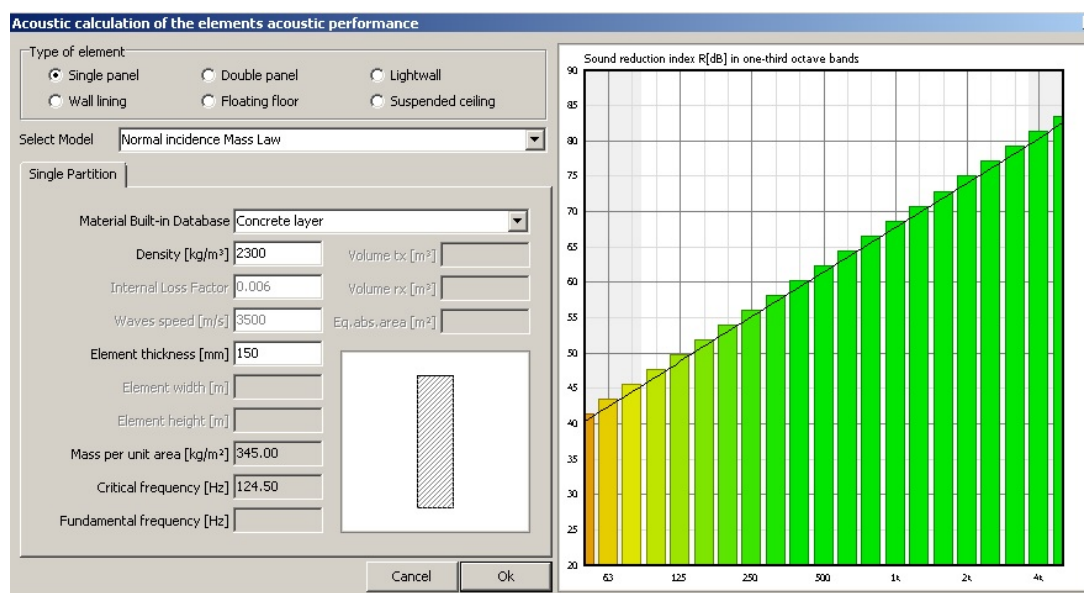


Figura E.6.: Planilha de cálculo do SONarchitect para obtenção do fator de amortecimento e da frequência crítica do novo elemento.

Fonte: [32]

²Os métodos de cálculo disponibilizados pelo SONarchitect são: Lei da Massa, Cremer (1940), Josse Lamure (1949), Crocker Price (1969), Brekke (1981), EN-ISO 12354-1,2:2000, Ljunggren - Trick plates.

Após todas as etapas de desenho, especificação/adição de materiais e elementos construtivos e definição de parâmetros é possível obter os valores simulados. O programa fornece um relatório com os valores³ por bandas de frequência e ponderados, sendo possível exportá-los em arquivos excel. A Figura E.7 mostra um exemplo de relatório, para o isolamento sonoro, de um sistema de pisos e a Figura E.8, para o isolamento sonoro ao ruído aéreo.

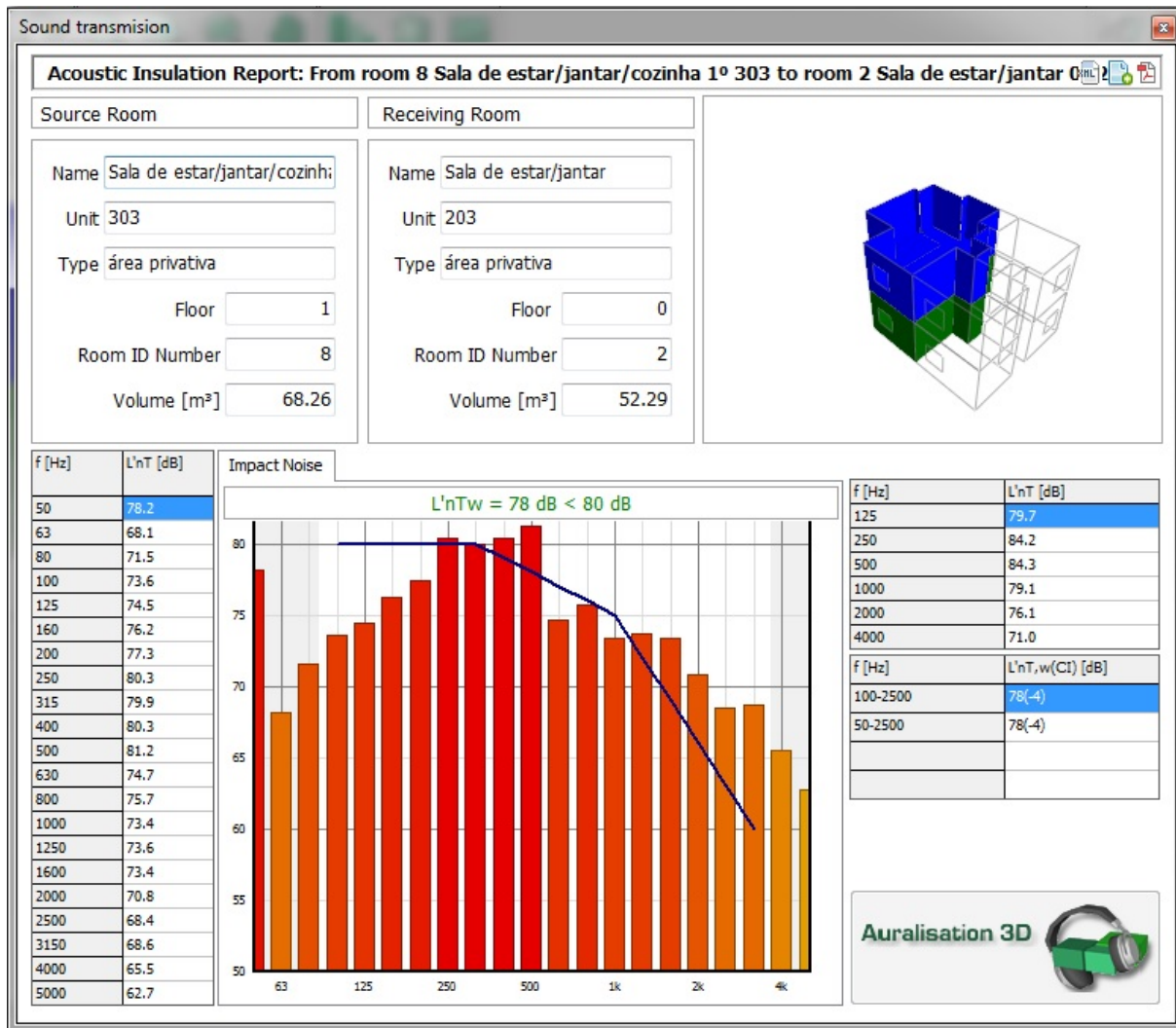


Figura E.7.: Exemplo dos resultados da simulação dos valores de $L_{n,T}$ e $L_{n,T,w}$, fornecidos pelo SONArchitect.

Fonte: [32]

³Valores fornecidos de acordo com os parâmetros escolhidos pelo usuário do programa, como: D_n , $D_{n,T}$ para ruído aéreo; e L_n , $L'_{n,T}$ para ruído de impacto.

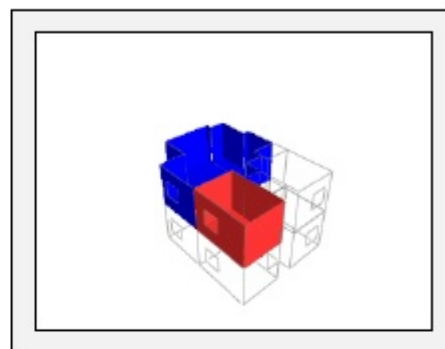


Sound insulation according to EN-ISO 12354

Airborne sound insulation calculation record according ISO 12354-1,3
 SONarchitect ISO Educational Version v2.3.6

Project	Casa Renata- aéreo	Ref.	
Organisation	Universidade Federal de Santa Maria	Date	30/06/2014
Author	EAC	Record	1 of 1
		Sheet	1 of 1

Source Room					
Name	Sala de estar/jantar/cozinha				
Unit	303				
Type	área privativa				
Floor	1	ID number	8	Volume	68.28 m ³



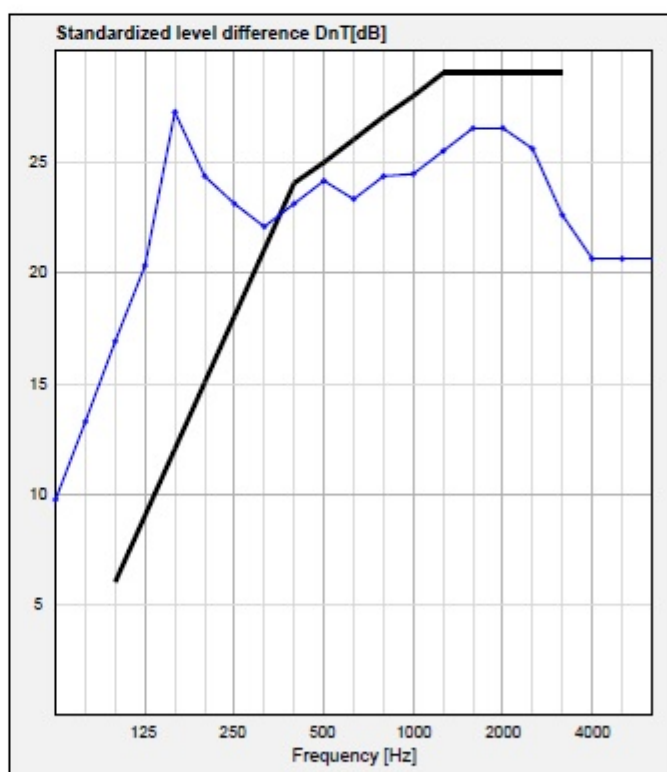
Receiving Room					
Name	Dorm. 02				
Unit	303				
Type	área privativa				
Floor	1	ID number	7	Volume	23.07 m ³

Airborne sound insulation - Standardized level difference DnT[dB]

f [Hz]	D _{nT} [dB]
octave bands	
125	23.4
250	22.8
500	23.9
1000	25.5
2000	24.3
4000	20.6

f [Hz]	D _{nT} [dB]
one-third octave bands	
50	9.8
63	13.3
80	16.9
100	20.3
125	27.2
160	24.3
200	23.1
250	22.1
315	23.2
400	24.2
500	23.3
630	24.3
800	24.4
1000	25.5
1250	26.5
1600	26.5
2000	25.6
2500	22.6
3150	20.6
4000	20.6
5000	20.6

Single-number quantity	
ISO 717-1:1996	
Frequency [Hz]	D _{nT,w} (C;Ctr)
Range	
100 - 3150 Hz	25(-1;-1)
50 - 3150 Hz	25(-1;-1)
100 - 5000 Hz	25(-2;-1)
50 - 5000 Hz	25(-2;-2)



Fulfilment of requirement

Parameter	Calculation	Requirement	Statement
D _{nT,w}	25 dB	< 45 dB	DOES NOT MEET THE REQUIREMENT

Figura E.8.: Exemplo dos resultados da simulação dos valores de $D_{n,T}$ e $D_{n,T,w}$, fornecidos pelo SONarchitect.

A simulação do TR é realizada na sala receptora, com os valores por banda de frequência⁴, e pelo valor único do TR, conforme mostra a Figura E.9.

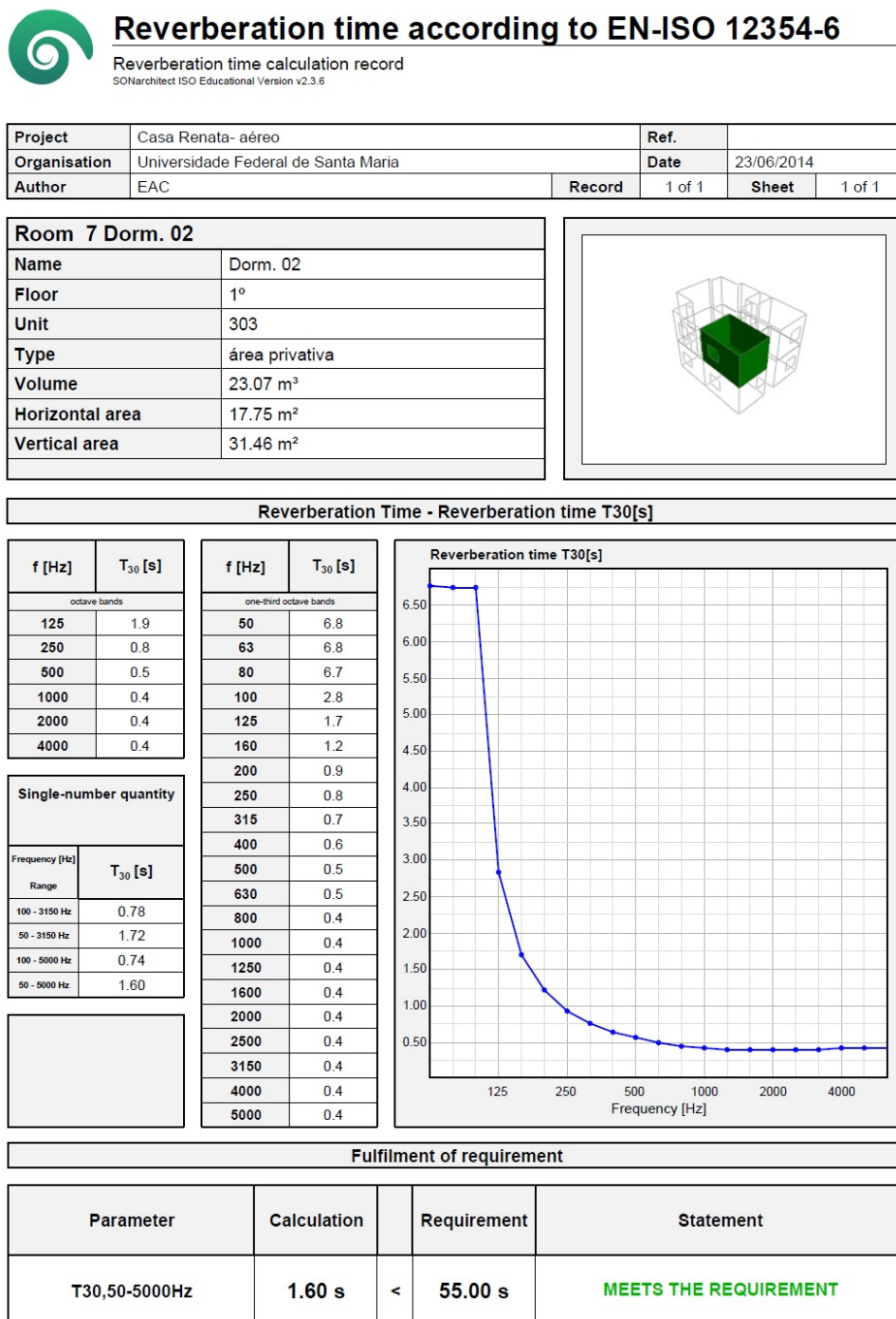


Figura E.9.: Exemplo dos resultados da simulação do tempo de reverberação na sala receptora, fornecidos pelo SON Architect.

Fonte: [32]

⁴Bandas de terça de oitava de 50 Hz até 5000 Hz.

E.2. Dados dos elementos e sistemas construtivos

Tabela E.1.: Tijolo vazado - valores de R por banda de frequência.

Tijolo vazado (TV) - R [dB]	
Freq. [Hz]	R [dB]
100	30,00
125	34,00
160	32,00
200	32,00
250	35,50
315	35,00
400	35,50
500	38,50
630	41,00
800	42,50
1000	45,00
1250	47,50
1600	49,00
2000	53,00
2500	54,50
3150	56,00
4000	59,00
5000	61,00

Fonte: [21]

Tabela E.2.: Bloco cerâmico - valores de R por banda de frequência.

Blocos cerâmico (BCE) - R [dB]	
Freq. [Hz]	R [dB]
100	28,72
125	37,65
160	35,97
200	37,46
250	33,8
315	36,08
400	35,41
500	37,79
630	40,51
800	42,91
1000	45,34
1250	47,05
1600	48,84
2000	51,26
2500	53,54
3150	54
4000	57,69

Fonte: [33]

Tabela E.3.: Bloco de concreto - valores de R por banda de frequência.

Bloco de concreto (BCO) - R [dB]		
Freq. [Hz]	BCO ¹ - R [dB]	BCO ² - R [dB]
100	36,80	22,90
125	39,50	27,40
160	37,10	29,30
200	37,10	36,00
250	40,00	33,00
315	41,50	32,70
400	40,60	35,40
500	42,90	37,10
630	45,10	39,30
800	47,60	41,70
1000	49,80	42,40
1250	51,20	46,30
1600	55,50	47,90
2000	56,80	45,50
2500	57,00	47,00
3150	58,30	47,40

Fonte: Laudo UFSM.

¹ parede com reboco.² parede sem reboco.

Tabela E.4.: Sistemas de piso - valores de L_n , por banda de frequência.

Piso cerâmico (PC), piso laminado (PL), piso cerâmico c/ MR ¹ (PC ₂)- L_n [dB]			
Freq. [Hz]	PC	PL	PC ₂
100	66,14	76,13	68,00
125	67,44	73,24	65,40
160	74,74	71,61	70,80
200	75,83	74,99	73,10
250	74,22	78,14	77,50
315	73,18	74,86	74,40
400	76,17	74,01	73,70
500	71,90	72,20	68,60
630	74,13	63,31	72,10
800	75,26	61,26	71,50
1000	72,06	57,04	67,20
1250	71,17	53,84	67,30
1600	70,49	52,33	63,00
2000	68,13	48,04	59,70
2500	64,75	45,40	52,50
3150	61,30	40,51	48,60
Autora.			Laudo UFSM.
¹ material resiliente.			

Tabela E.5.: Janelas - valores de R , por banda de frequência.

Janela de correr de madeira (JCM),
 janela de correr (JCA),
 janela de correr de ferro (JCF),
 janela maxi-ar de alumínio (JMA) - R [dB]

Freq. [Hz]	JCM	JCA	JCF	JMA
100	17,5	14,8	19,8	18,2
125	17,5	18,6	17,7	19,7
160	17,4	18,0	17,4	20,2
200	19,5	18,2	18,0	22,6
250	22,3	17,2	18,2	24,3
315	21,3	19,0	19,5	25,1
400	21,0	19,2	21,8	25,2
500	21,8	19,4	22,1	26,2
630	21,2	20,0	22,4	26,9
800	22,3	19,3	22,8	26,9
1000	22,5	18,6	21,7	27,8
1250	22,7	15,3	21,9	27,7
1600	19,9	14,4	22,2	27,9
2000	19,1	16,9	19,7	29,1
2500	17,8	19,3	18,8	31,0
3150	15,9	21,2	21,0	33,0

Fonte: [33]

¹ Todos com vidro comum 4 mm.

Tabela E.6.: Janelas - valores de R , por banda de frequência.

Porta de madeira ¹ semi-oca (PMSO) - R [dB]	
Freq. [Hz]	PMSO
100	14,0
125	21,0
160	19,0
200	17,0
250	16,0
315	17,0
400	18,0
500	17,0
630	18,0
800	18,0
1000	19,0
1250	20,0
1600	20,0
2000	19,0
2500	16,0
3150	14,0
4000	16,0
5000	17,0

Fonte: [34]

¹ Madeira de pinus.

E.3. Resultados simulados de PT, ao ruído aéreo

Tabela E.7.: Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão PIS.

PIS-TV - $D_{n,T}$ [dB]				
Freq. [Hz]	01-PIS-TV [dB]	02-PIS-TV [dB]	03-PIS-TV [dB]	04-PIS-TV [dB]
50	11	9,5	10,5	11,1
63	14,4	12,8	14	14,4
80	17,9	16,2	17,6	17,8
100	21	19,2	20,8	20,8
125	27	25,1	27,2	26,6
160	25,1	23,2	25,3	24,6
200	23,7	22	23,7	23,5
250	23,6	22	23,2	23,6
315	24,4	22,8	24,1	24,4
400	25,3	23,7	25	25,3
500	24,8	23,3	24,3	24,9
630	25,9	24,4	25,3	26,1
800	26	24,5	25,4	26,2
1000	27	25,6	26,4	27,3
1250	28,1	26,6	27,4	28,3
1600	28,1	26,6	27,5	28,3
2000	27,1	25,7	26,5	27,4
2500	24,2	22,7	23,5	24,4
3150	22,2	20,7	21,5	22,4
4000	22,2	20,7	21,5	22,4
5000	22,2	20,7	21,5	22,4

Tabela E.8.: Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N-TV - $D_{n,T}$ [dB]				
Freq. [Hz]	05-R8-N-TV [dB]	06-R8-N-TV [dB]	07-R8-N-TV [dB]	08-R8-N-TV [dB]
50	20	25,4	24,1	28,9
63	21,9	27,3	26,1	31
80	23,9	29,3	28,1	33,1
100	25,7	31,2	29,9	35,1
125	29,7	35,2	33,9	41,4
160	27,8	33,2	32	33,3
200	27,8	33,2	32	36
250	31,3	36,7	35,5	34,9
315	30,8	36,2	35	36,2
400	31,3	36,8	35,6	37,4
500	34,3	39,7	38,5	38,5
630	36,8	42,2	41	39,3
800	38,3	43,7	42,5	41,2
1000	40,7	46,2	45	43,4
1250	43,2	48,7	47,5	45,5
1600	44,7	50,2	49	46,8
2000	48,6	54,1	52,9	47,5
2500	50	55,6	54,4	52,4
3150	51,5	57,1	55,9	55,8
4000	51,6	57,1	55,9	55,8
5000	51,6	57,1	55,9	55,8

Tabela E.9.: Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N-BCE - $D_{n,T}$ [dB]				
Freq.[Hz]	09-R8-N-BCE[dB]	10-R8-N-BCE[dB]	11-R8-N-BCE[dB]	12-R8-N-BCE[dB]
50	9,6	12,5	7,2	11,8
63	13,2	17,8	11,6	17,1
80	16,8	23,2	16	22,4
100	20,2	28,2	19,9	27,4
125	27	36,8	27,3	36
160	25	35,4	25,5	34,5
200	23,4	36,9	24	36
250	22,2	33,3	22,6	32,5
315	23,1	35,6	23,8	34,8
400	24,2	35	24,6	34,2
500	23,5	37,3	24	36,5
630	24,5	40	25,1	39,2
800	24,5	42,4	25,3	41,6
1000	25,5	44,8	26,3	44
1250	26,6	46,5	27,3	45,7
1600	26,6	48,3	27,4	47,4
2000	25,6	50,7	26,4	49,8
2500	22,6	53	23,4	52
3150	20,6	53,5	21,4	52,5
4000	20,6	53,5	21,4	52,5
5000	20,6	53,5	21,4	52,5

Tabela E.10.: Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N-BCO ¹ - $D_{n,T}$ [dB]				
Freq. [Hz]	13-R8-N-BCO [dB]	14-R8-N-BCO [dB]	15-R8-N-BCO [dB]	16-R8-N-BCO [dB]
50	32,6	29,6	31,8	31,9
63	33,8	30,7	32,9	33,3
80	34,9	31,8	34	34,5
100	35,9	32,9	35	35,7
125	38,6	35,5	37,7	38,4
160	36,4	33,4	35,5	36,3
200	36,4	33,4	35,7	36,3
250	39,4	36,3	38,6	39,2
315	40,9	37,8	40,1	40,7
400	40,1	37	39,4	39,9
500	42,4	39,2	41,7	42,2
630	44,6	41,4	43,8	44,4
800	47,1	43,8	46,3	46,9
1000	49,3	46	48,4	49
1250	50,7	47,4	49,8	50,4
1600	55	51,5	53,9	54,6
2000	56,3	52,8	55,1	55,9
2500	56,5	53	55,3	56,2
3150	57,8	54,3	56,5	57,4
4000	57,8	54,3	56,5	57,4
5000	57,8	54,3	56,5	57,5

¹ parede de bloco de concreto com reboco.

Tabela E.11.: Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N-BCO ¹ - $D_{n,T}$ [dB]				
Freq. [Hz]	13-R8-N-BCO [dB]	14-R8-N-BCO [dB]	15-R8-N-BCO [dB]	16-R8-N-BCO [dB]
50	10,2	7,4	9,6	14,8
63	14,3	11,4	13,6	18,8
80	18,4	15,6	17,8	23
100	22,4	19,5	21,7	26,9
125	26,8	23,9	26,1	31,4
160	28,7	25,8	28	33,3
200	35,4	32,4	34,6	39,9
250	32,5	29,5	31,8	37
315	32,2	29,2	31,5	36,7
400	34,9	31,9	34,3	39,4
500	36,6	33,6	36	41,1
630	38,8	35,8	38,1	43,3
800	41,2	38,2	40,5	45,7
1000	41,9	38,9	41,2	46,4
1250	45,8	42,7	45,1	50,3
1600	47,4	44,3	46,6	51,9
2000	45	42	44,3	49,5
2500	46,5	43,5	45,7	51
3150	46,9	43,9	46,1	51,4
4000	46,9	43,9	46,1	51,4
5000	46,9	43,9	46,1	51,4

¹ parede de bloco de concreto sem reboco.

Tabela E.12.: Valores simulados de $D_{n,T}$, no padrão R8-A.

R8-A-TV - $D_{n,T}$ [dB]				
Freq. [Hz]	17-R8-A-TV[dB]	18-R8-A-TV[dB]	19-R8-A-TV[dB]	20-R8-A-TV[dB]
50	22,5	22	20,1	22
63	24,5	23,9	22,1	24
80	26,5	25,9	24,1	26
100	28,3	27,8	26	27,9
125	32,3	31,8	29,9	31,8
160	30,4	29,8	28,1	29,9
200	30,4	29,8	28,1	30
250	33,9	33,3	31,6	33,5
315	33,5	32,8	31,1	33
400	34	33,3	31,6	33,5
500	37	36,3	34,6	36,5
630	39,4	38,8	37,1	39
800	40,9	40,3	38,6	40,5
1000	43,4	42,8	41,1	43
1250	45,9	45,3	43,6	45,4
1600	47,4	46,8	45	46,9
2000	51,3	50,8	49	50,9
2500	52,8	52,3	50,5	52,4
3150	54,3	53,8	51,9	53,8
4000	54,3	53,8	52	53,9
5000	54,4	53,8	52	53,9

E.4. Resultados simulados de PT, ao ruído de impacto

Tabela E.13.: Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão PIS.

PIS - $L'_{n,T}$ [dB]			
Freq. [Hz]	01-PIS-PC[dB]	02-PIS-PC[dB]	03-PIS-PC[dB]
50	60,2	62,6	60,9
63	63,1	65,5	63,7
80	66	68,4	66,7
100	68,8	71,2	69,5
125	69,6	71,8	70,3
160	77,7	80,2	78,4
200	79,2	81,8	79,9
250	77,1	79,5	77,8
315	76,6	79,1	77,3
400	79,8	82,4	80,5
500	75,1	77,6	75,8
630	77	79,5	77,7
800	78,1	80,5	78,8
1000	74,6	76,9	75,3
1250	73,4	75,7	74,1
1600	72,7	74,9	73,3
2000	69,8	71,9	70,4
2500	66,4	68,4	67
3150	62,9	64,9	63,5
4000	62,9	64,9	63,5
5000	62,9	64,9	63,5

Tabela E.14.: Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB]					
Freq. [Hz]	05-R8-N-PC	06-R8-N-PL	06-R8-N-PL**	06-R8-N-PC	08-R8-N-PC
50	61,2	90,7	90,7	58,3	59,6
63	64,1	87,9	87,9	61,2	62,4
80	67,1	85,1	85,1	64,1	65,4
100	69,9	82,5	80,2	66,9	68,1
125	70,7	78,9	70,5	67,7	68,6
160	78,7	77,6	65	75,9	78
200	80,2	76,2	61,5	77,4	78,8
250	78,1	74,9	62,6	75,2	78
315	77,6	74,9	60,9	74,7	77
400	80,8	70,5	52,8	78	80
500	76,1	65,2	45,1	73,3	75,9
630	78,1	61,4	42	75,2	78,2
800	79,1	56,9	38,2	76,2	79,2
1000	75,7	49,8	35,4	72,7	75,7
1250	74,5	42,4	32,8	71,5	74,5
1600	73,8	36,8	30,3	70,7	73,8
2000	71	31,8	31,5	67,8	71,5
2500	67,6	28,9	28,9	64,4	67,2
3150	64,1	25,7	25,7	60,9	63,2
4000	64,1	25,6	25,6	60,9	63,2
5000	64,1	25,5	25,5	60,9	63,2

** Simulação com a opção FF.

Tabela E.15.: Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB]					
Freq. [Hz]	09-R8-N-PL	09-R8-N-PL**	10-R8-N-PC	11-R8-N-PC	12-R8-N-PC
50	89,5	89,5	64	62,8	64
63	86,7	86,7	65,6	64,4	65,6
80	83,9	83,9	67,4	66,1	67,4
100	79	79	69,3	67,9	69,2
125	68,6	68,6	69	67,6	69
160	65,5	65,5	76,9	75,5	76,9
200	61	61	78,1	76,7	78
250	63,8	63,8	77,7	76,4	77,7
315	61,4	61,4	76,5	75,1	76,4
400	53,2	53,2	80	78,7	80
500	46,1	46,1	75,5	74,2	75,4
630	43,3	43,3	77,3	76	77,3
800	39,3	39,3	78,1	76,8	78,1
1000	36,5	36,5	74,7	73,3	74,6
1250	33,9	33,9	73,6	72,2	73,6
1600	31,4	31,4	72,8	71,4	72,8
2000	32,8	32,8	70,2	68,8	70,1
2500	29,9	29,9	66,6	65,2	66,6
3150	26,5	26,5	63,3	61,9	63,2
4000	26,4	26,4	63,3	61,9	63,2
5000	26,3	26,3	63,3	61,9	63,2

** Simulação com a opção FF.

Tabela E.16.: Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB]					
Freq. [Hz]	13-R8-N-PL	13-R8-N-PL**	14-R8-N-PL	14-R8-N-PL**	14-R8-N-PC
50	78,4	78,4	97	97	59,3
63	76,9	76,9	93	93	61,2
80	75,6	75,6	88,9	88,9	63,2
100	72,1	72,1	85,2	82,9	65,2
125	64,8	64,8	81	72,6	65,5
160	59,9	59,9	77,4	64,8	72,3
200	56,5	56,5	75	60,3	73,1
250	59,1	59,1	74,8	62,5	71,7
315	57	57	74,7	60,7	71,1
400	47,9	47,9	70	52,3	73,9
500	40,7	40,7	65,2	45,1	69,6
630	37,9	37,9	61,5	42,1	71,7
800	34,3	34,3	56,8	38,1	72,4
1000	31,6	31,6	49,7	35,3	68,9
1250	29,2	29,2	42,5	32,9	68,1
1600	26,7	26,7	36,9	30,4	67,3
2000	28,1	28,1	32,6	32,3	65,9
2500	25,7	25,7	29,8	29,8	62,6
3150	22,6	22,6	26,3	26,3	58,6
4000	22,5	22,5	26,1	26,1	58,6
5000	22,4	22,4	26	26	58,6

** Simulação com a opção FF.

Tabela E.17.: Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-N.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB]			
Freq. [Hz]	15-R8-N-PL	15-R8-N-PL**	16-R8-N-PC
50	102,3	102,3	71,6
63	97,6	97,6	67,3
80	92,9	92,9	63
100	86,3	88,6	59,1
125	75,6	84	56
160	66,7	79,3	50,2
200	61,9	76,6	49,3
250	64,5	76,8	65
315	62,5	76,5	49,8
400	54,5	72,2	48,1
500	46,7	66,8	37,7
630	43,4	62,8	52,1
800	39,1	57,8	42,1
1000	36,3	50,7	41,8
1250	33,4	43	39,8
1600	30,8	37,3	34,8
2000	32,6	32,9	28,2
2500	30,2	30,2	22,5
3150	27,1	27,1	18,8
4000	26,7	26,7	18,7
5000	26,5	26,5	18,7

** Simulação com a opção FF.

Tabela E.18.: Valores simulados de $L'_{n,T}$, no padrão R8-A.

R8-N - $L'_{n,T}$ [dB]			
Freq. [Hz]	18-R8-A-PL	18-R8-A-PL**	20-R8-A-PL**
50	90,8	90,8	57
63	88,9	88,9	60,4
80	87	87	64,1
100	85,3	85,3	67,9
125	82,5	82,5	71
160	82,1	82,1	78,7
200	81,5	81,5	79,5
250	80,7	80,7	78,2
315	81,4	81,4	78,9
400	77,8	77,8	82
500	72,8	72,8	77,1
630	69,3	69,3	79,1
800	65,1	65,1	80,3
1000	58,2	58,2	77,2
1250	50,9	50,9	75,6
1600	45,7	45,7	74,3
2000	40,2	40,2	71,4
2500	38	38	67,8
3150	34,7	34,7	63,8
4000	34,7	34,7	63,6
5000	34,7	34,7	63,3

** Simulação com a opção FF.

