

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA DOS AMBIENTES DE
RESTAURAÇÃO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE
BRAGANÇA – CAMPUS DE SANTA APOLÓNIA**

Fernanda Horst Andrade

Relatório Final da Dissertação apresentado à
**Escola Superior de Tecnologia e de Gestão
Instituto Politécnico de Bragança**

Para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia da Construção

Bragança, 2020



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão



AVALIAÇÃO ACÚSTICA DOS AMBIENTES DE RESTAURAÇÃO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA – CAMPUS DE SANTA APOLÓNIA

Fernanda Horst Andrade

Relatório Final da Dissertação apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia da Construção

No âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Trabalho realizado sob orientação de
Manuel Teixeira Braz César
Rodrigo Scoczynski Ribeiro

Bragança, 2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida, pela saúde, por trilhar meu caminho e sempre me guiar. Aos meus pais, Osmael e Marise, a minha amiga e irmã Gabriela, a Maitê minha sobrinha amada, por todo amor, carinho, confiança, incentivo, conselhos, por todos esforços para que eu conseguisse realizar mais este sonho, sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu orientador professor Dr Manuel Bráz, por todas as orientações e incentivos no decorrer do desenvolvimento do trabalho. Ao meu coorientador professor Dr Rodrigo Ribeiro, por todas as orientações, por toda paciência, incentivo e pela amizade.

Aos responsáveis pelo espaço da Cantina, pela disponibilidade e atenção durante a realização dos ensaios. Ao Instituto Politécnico de Bragança e Universidade Tecnológica Federal do Paraná, aos meus professores de ambas instituições por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço a todos os meus amigos e familiares, que mesmo de longe nunca deixaram faltar uma mensagem de incentivo. As minhas amigas, Aline, Isabela e Raquel, por toda companhia, conselhos e incentivos durante a graduação e depois dela, vocês são demais. Aos meus amigos e companheiros de casa Ana, Gabriel e Bento por todas as risadas, filmes, jantinhas e por serem a minha família em Portugal.

A todos agradeço e dedico este trabalho.

RESUMO

O presente trabalho possui o intuito de analisar o tempo de reverberação dos ambientes internos dos espaços de restauração do Instituto Politécnico de Bragança – Campus de Santa Apolónia. A partir de medições *in situ* foram avaliados os ambientes de restauração comparando aos parâmetros estabelecidos pela Legislação vigente. A análise dos parâmetros acústicos serviu de base para a proposição de soluções construtivas que visam a melhora dos ambientes, para que os níveis de desempenho e conforto acústico sejam atingidos conforme os níveis recomendados. As avaliações do desempenho das soluções foram elaboradas utilizando o software I-SIMPA, de código aberto. As análises das simulações dos ambientes com as soluções acústicas permitiram concluir que os forros em materiais absorventes não apresentaram valores suficientes para satisfazer a Legislação quanto ao tempo de reverberação. A inserção de painéis verticais *Broadband Compact Absorber* (BCA), por sua vez, resultou em valores simulados condizentes com o exigido, e os parâmetros de definição de fala D_{50} e índice de decaimento inicial (EDT) também apresentaram valores satisfatórios com o BCA.

Palavras-chave: Acústica. Condicionamento acústico. Tempo de reverberação.

ABSTRACT

In this work, the reverberation time were analyzed for the internal environments of the Polytechnic Institute of Bragaça's restaurant. By using in situ measurements, the were evaluated and compared to the parameters established by current legislation. The analysis of the acoustic parameters served as a basis for proposing constructive solutions aimed at improving the environments, so that the levels of acoustic performance and comfort can achieved the recommended levels. The evaluation of the solutions performance was elaborated using the I-SIMPA software that has open source. The analysis of the simulations of the environments with the acoustic solutions allowed to conclude that the ceilings in absorbent materials did not present sufficient values to satisfy the standard parameters for reverberation time, on the other hand, the vertical panels Broadband Compact Absorber (BCA) presented values consistent with the required. The parameters of speech definition D_{50} and index of initial decay also presented satisfactory values with the BCA.

Keywords: Acoustics. Acoustic conditioning. Reverberation time.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	10
1.1.1	OBJETIVO PRINCIPAL	10
1.1.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	10
1.2	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	FUNDAMENTOS EM ACÚSTICA.....	12
2.1.1	SOM E RUÍDO	12
2.1.2	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (L_p).....	15
2.1.3	NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE E PONDERADO EM A (L_{Aeq})	15
2.1.4	AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO.....	16
2.1.5	REFLEXÃO E ABSORÇÃO SONORA	17
2.1.6	TEMPO DE REVERBERAÇÃO	20
2.2	INTELIGIBILIDADE DE FALA	21
2.2.1	EFEITO LOMBARD	22
2.2.2	EFEITO <i>COCKTAIL PARTY</i>	22
2.2.3	PARÂMETROS ACÚSTICOS DA INTELIGIBILIDADE DA FALA.....	22
2.3	REAÇÃO DOS SERES HUMANOS AO SOM.....	24
3	LEGISLAÇÃO E NORMA.....	26
3.1	DECRETO LEI Nº 96/2008.....	26
3.2	ISO 3382-2: ACÚSTICA – MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE ACÚSTICA DE SALAS – TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM SALAS COMUNS	27
4	METODOLOGIA	29
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE.....	29
4.1.1	CANTINA GERAL.....	29
4.1.2	CANTINA ALTERNATIVA	32
4.2	TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	35
4.3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	40
5	DISCUSSÕES E RESULTADOS.....	47
5.1	TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	47
5.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	49
5.2.1	CANTINA GERAL.....	49
5.2.2	CANTINA ALTERNATIVA	65
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
6.1	CONCLUSÃO	82
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
7	REFERÊNCIAS	84
	ANEXO A.....	87
	ANEXO B	99
	ANEXO C	103

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Níveis de pressão sonora, em dB, correspondentes às curvas NC por banda de frequências de 1/1 de oitava.	17
Quadro 2. Grandezas acústicas agrupadas de acordo com aspectos dos ouvintes.....	24
Quadro 3. Efeitos negativos causados pelo ruído.	25
Quadro 4. Valores sugeridos para o coeficientes de espalhamento	43
Quadro 5. Resultados ensaios tempo de reverberação T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral	47
Quadro 6. Resultados ensaios tempo de reverberação T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa	48
Quadro 7. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral	50
Quadro 8. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Geral	51
Quadro 9. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com forro 1	55
Quadro 10. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com forro 2	56
Quadro 11. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com forro 3	57
Quadro 12. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com BCA.....	58
Quadro 13. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Geral com forro 1.....	60
Quadro 14. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Geral com forro 2.....	61
Quadro 15. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Geral com forro 3.....	62
Quadro 16. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Geral com BCA	63
Quadro 17. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa.....	66
Quadro 18. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa	67
Quadro 19. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa com forro 1.....	72
Quadro 20. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa com forro 2.....	73
Quadro 21. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa com forro 3.....	74
Quadro 22. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa com BCA.....	75
Quadro 23. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa com forro 1.....	77
Quadro 24. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa com forro 2.....	78
Quadro 25. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa com forro 3.....	78
Quadro 26. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa com forro BCA	79
Quadro 27. Coeficientes de absorção e espalhamento mesas.....	88
Quadro 28. Coeficientes de absorção e espalhamento forro central Cantina Central.....	89
Quadro 29. Coeficientes de absorção e espalhamento paredes, pilares, pisos e forro (Cantina Geral)	90
Quadro 30. Coeficientes de absorção e espalhamento balcões, pia e porta de acesso ao espaço de lavanderia	91
Quadro 31. Coeficientes de absorção e espalhamento janelas, portas de vidro e parede de vidro	92
Quadro 32. Coeficientes de absorção e espalhamento portas em madeira	93
Quadro 33. Coeficientes de absorção e espalhamento forro alternativo.....	94
Quadro 34. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica forro 1	95
Quadro 35. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica forro 2.....	96
Quadro 36. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica forro 3.....	97
Quadro 37. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica BCA.....	98
Quadro 38. Espectro sonoro fonte 1	100
Quadro 39. Espectro sonoro fonte 2	101
Quadro 40. Espectro sonoro fonte 3	102
Quadro 41. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 500 Hz Cantina Geral.....	104
Quadro 42. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 1000 Hz Cantina Geral	104
Quadro 43. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 2000 Hz Cantina Geral	105
Quadro 44. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 500 Hz Cantina Geral	105
Quadro 45. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 1000 Hz Cantina Geral	106
Quadro 46. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 2000 Hz Cantina Geral	106
Quadro 47. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 500 Hz Cantina Alternativa	107
Quadro 48. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 1000 Hz Cantina Alternativa	107
Quadro 49. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 2000 Hz Cantina Alternativa	108
Quadro 50. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 500 Hz Cantina Alternativa	108
Quadro 51. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 1000 Hz Cantina Alternativa	109
Quadro 52. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 2000 Hz Cantina Alternativa	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas isofônicas de Fletcher e Munson.....	13
Figura 2. Curvas de ponderação	14
Figura 3. Curvas noise criteria.....	16
Figura 4. Ilustração coeficiente de espalhamento.....	18
Figura 5. Coeficiente de absorção de diferentes materiais.	19
Figura 6. Cantina Geral	30
Figura 7. Detalhe interno Cantina Geral.....	31
Figura 8. Cobertura.....	31
Figura 9. Detalhes internos Cantina Geral.....	32
Figura 10. Cantina Alternativa	33
Figura 11. Detalhe interno Cantina Alternativa.....	34
Figura 12. Detalhes Cantina Alternativa	34
Figura 13. Aparelhos	36
Figura 14. Configurações sonômetro para tempo de reverberação.....	36
Figura 15. Distribuição dos pontos de fonte e sonômetro Cantina Geral para tempo de reverberação	38
Figura 16. Distribuição dos pontos de fonte e sonômetro Cantina Alternativa para tempo de reverberação	39
Figura 17. Modelo inicial Cantina Geral	40
Figura 18. Modelo inicial Cantina Alternativa	41
Figura 19. Modelos com soluções acústicas.....	41
Figura 20. Procedimento de obtenção do coeficiente de espalhamento	43
Figura 21. Modelo Cantina Geral inserido no software I-SIMPA.....	44
Figura 22. Modelo Cantina Alternativa inserido no software I-SIMPA.....	44
Figura 23. Malha gerada Cantina Geral.....	45
Figura 24. Malha gerada Cantina Alternativa.....	45
Figura 25. Distribuição T_{30} , para 2000Hz na Cantina Geral sem condicionamento acústico	50
Figura 26. Distribuição EDT (s), para 1000Hz na Cantina Geral sem condicionamento acústico	52
Figura 27. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Geral sem condicionamento acústico	52
Figura 28. Validação dos resultados simulados T_{20} (s) Cantina Geral	53
Figura 29. Validação dos resultados simulados T_{30} (s) Cantina Geral	54
Figura 30. Validação dos resultados simulados EDT (s) Cantina Geral.....	54
Figura 31. Resultados simulações T_{20} (s) Cantina Geral.....	59
Figura 32. Resultados simulações T_{30} (s) Cantina Geral.....	59
Figura 33. Resultados D_{50} (%) Cantina Geral.....	63
Figura 34. Resultados EDT (s) Cantina Geral.....	64
Figura 35. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Geral com solução acústica BCA	65
Figura 36. Resultado EDT (s), para 1000Hz na Cantina Geral com solução acústica BCA.....	65
Figura 37. Distribuição T_{30} (s), para 2000Hz na Cantina Alternativa sem condicionamento acústico.....	67
Figura 38. Distribuição EDT (s), para 1000Hz na Cantina Alternativa sem condicionamento acústico	68
Figura 39. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Alternativa sem condicionamento acústico	69
Figura 40. Validação dos resultados simulados T_{20} (s) Cantina Alternativa	70
Figura 41. Validação dos resultados simulados T_{30} (s) Cantina Alternativa.....	70
Figura 42. Validação dos resultados simulados EDT (s) Cantina Alternativa.....	71
Figura 43. Resultados T_{20} (s) Cantina Alternativa.....	76
Figura 44. Resultados T_{30} (s) Cantina Alternativa.....	76
Figura 45. Resultados D_{50} (%) Cantina Alternativa	80
Figura 46. Resultados EDT (s) Cantina Alternativa.....	80
Figura 47. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Alternativa com solução acústica BCA	81
Figura 48. Resultado EDT (s), para 1000Hz na Cantina Alternativa com solução acústica BCA.....	81

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida influencia cada vez mais os processos construtivos, em busca de um maior conforto. Além de características térmicas e visuais, a minimização dos efeitos negativos do ruído é levada em conta, principalmente em grandes centros (RIBEIRO, 2017).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define como saúde uma condição de completo bem-estar físico, mental e social, não simplesmente uma ausência de doenças e enfermidades (World Health Organization et al., 1946). Segundo Bistafa (2011), os ruídos em níveis suficientemente elevados causam diversos danos às pessoas, entre eles os efeitos fisiológicos, responsáveis pela perda de audição e aumento da pressão arterial, e os efeitos psicológicos, que podem causar perturbação do sono, *stress*, tensão, queda de desempenho intelectual e interferência na comunicação oral.

Ambientes com grandes volumes, como por exemplo museus, aeroportos e muitos restaurantes, são ambientes excessivamente reverberantes, tornando-se barulhentos e dificultam a comunicação entre os presentes. Em recintos assim, os usuários desaceleram a fala, elevam a intensidade da voz, fazem esforço para se entenderem (COX e D'ANTONIO, 2017).

Em ambientes como restaurantes, o ruído de pessoas falando acaba se tornando um incômodo. Devido ao barulho e à dificuldade de comunicação, os usuários podem se retirar com a sensação de exaustão (RINDEL, 2019). É comum nestes ambientes sucederem diversos efeitos devido ao ruído, entre eles pode-se citar o Efeito Lombard e o *cocktail-party effect* (RYCHTARIKOVA, 2011).

Alguns países possuem legislações específicas que tratam sobre os limites de ruído em determinados setores do zoneamento urbano. Em Portugal, para ambientes internos de edificações, o Decreto Lei nº 96/2008 tem como objetivo melhorar a qualidade do ambiente acústico, estabelecendo parâmetros de índice de isolamento sonoro, o nível de pressão sonora ponderado em A (L_{Aeq}) para equipamentos constantemente ligados, e parâmetros para o tempo de reverberação dos ambientes. A ISO 3382-2 estabelece os parâmetros para as avaliações dos tempos de reverberação dos ambientes comuns.

Buscando uma qualidade acústica em ambientes de restauração, este trabalho tem o objetivo de avaliar acusticamente dois ambientes de restauração do Campus do Instituto Politécnico de Bragança, analisando o tempo de reverberação, a fim de apontar as deficiências e propor soluções de intervenção acústica para obter um ambiente confortável.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e serão apresentados nos próximos itens.

1.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal do trabalho é analisar soluções de condicionamentos acústicos para dois ambientes de restauração em um Campus Universitário no município de Bragança, Portugal.

1.1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- Identificar o tempo de reverberação dos ambientes de restauração;
- Validar simulações computacionais dos ambientes de restauração com as medições realizadas em campo.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, da seguinte forma:

- Primeiro capítulo consiste na introdução e delimitação do tema, os objetivos e a justificativa da pesquisa;
- O segundo capítulo é composto no referencial teórico do trabalho, com conceitos e definições, bem como procedimentos para a obtenção dos dados;
- O terceiro capítulo apresenta a legislação e norma vigentes que embasam o estudo;
- O quarto capítulo descreve a metodologia da pesquisa, dividido em duas etapas, de medições *in situ* e simulações acústicas;

- O quinto capítulo apresenta os resultados nas análises referentes aos ensaios realizados de tempo de reverberação. Como também os resultados das simulações acústicas com diferentes soluções acústicas para os ambientes;
- O capítulo seis é composto pelas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FUNDAMENTOS EM ACÚSTICA

2.1.1 SOM E RUÍDO

O som se caracteriza pelos movimentos de onda no ar, ou outro meio elástico, capazes de sensibilizar o aparelho auditivo (EVEREST, 2001). E o ruído é usualmente associado a sons que causam incômodos, são indesejáveis ou não inteligíveis, definido também como um som sem harmonia, em geral de conotação negativa (BISTAFA, 2011).

Righi (2013, p. 36) define som como “resultado de uma perturbação física ou de uma vibração provocada por uma variação de pressão em relação à pressão atmosférica”. A pressão ambiente, ao nível do mar, é de 101.350 Pa e o sistema auditivo humano detecta a menor variação sonora na ordem de 2×10^{-5} Pa, chamado de limiar da audição. Valores de pressão entre 20 e 200 Pa, são capazes de provocar dor, assim, chamados de limiar da dor (BISTAFA, 2011).

Para expressar os valores das pressões sonoras na faixa de audibilidade humana de forma linear seria necessária uma escala muito ampla, assim foi criada a escala Bel, que relaciona níveis de quaisquer potências em relação a um nível básico de referência (EVEREST, 2001).

O som e o ruído possuem determinadas características, entre elas pode-se citar a intensidade e a frequência.

Intensidade

Segundo Souza (2011) intensidade é a quantidade de energia vibratória a partir da fonte emissora. Podendo ser expressa em termos de energia (W/m^2). O nível de intensidade do som é definida pela equação 1:

$$L_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde

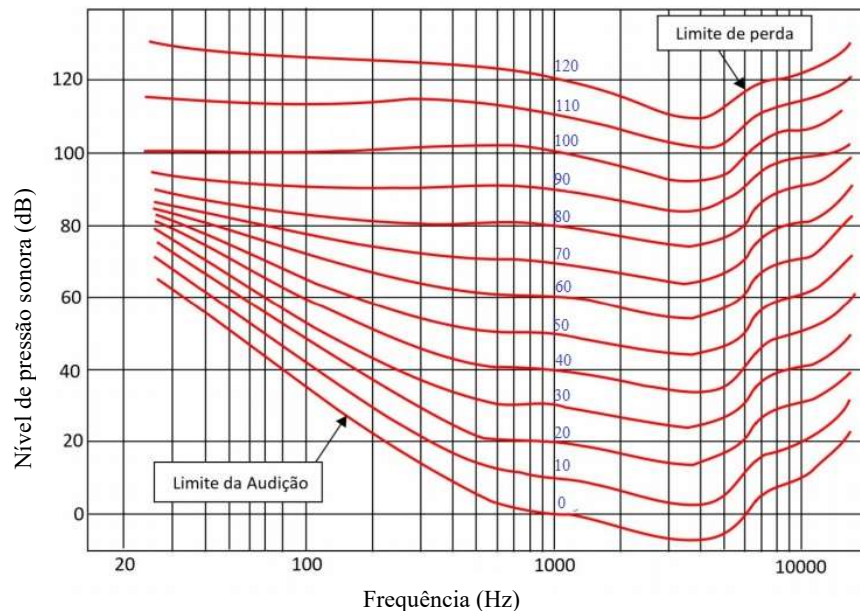
I_0 é a intensidade de referência ($1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$).

A unidade de medida do Nível de Intensidade Sonora (NIS) é o Bel. Fisicamente a intensidade sonora é medida através de uma escala baseada em múltiplos de 10. O limiar da audição, nesta escala, corresponde a 0 dB, intensidade na qual nenhum som é perceptível. Um som 10 vezes mais intenso que o 0 dB é registrado como 10 dB, um som 100 vezes mais intenso equivale a 20 dB, e assim sucessivamente. O nível de ruído próximo ao limiar da dor equivale a 130 dB (CMIEL et al., 2004).

Frequência

Frequência é o número de vibrações completas em um segundo, sendo a sua unidade de medida o Hertz (Hz). As frequências captadas pelo ouvido humano estão entre 20 e 20.000 Hz (HOPKINS, 2007). As curvas isofônicas de Fletcher e Munson, medida em fons, apresentadas na Figura 1, demonstram a diferença da sensibilidade auditiva variando conforme a frequência do som (SOUZA, 2011).

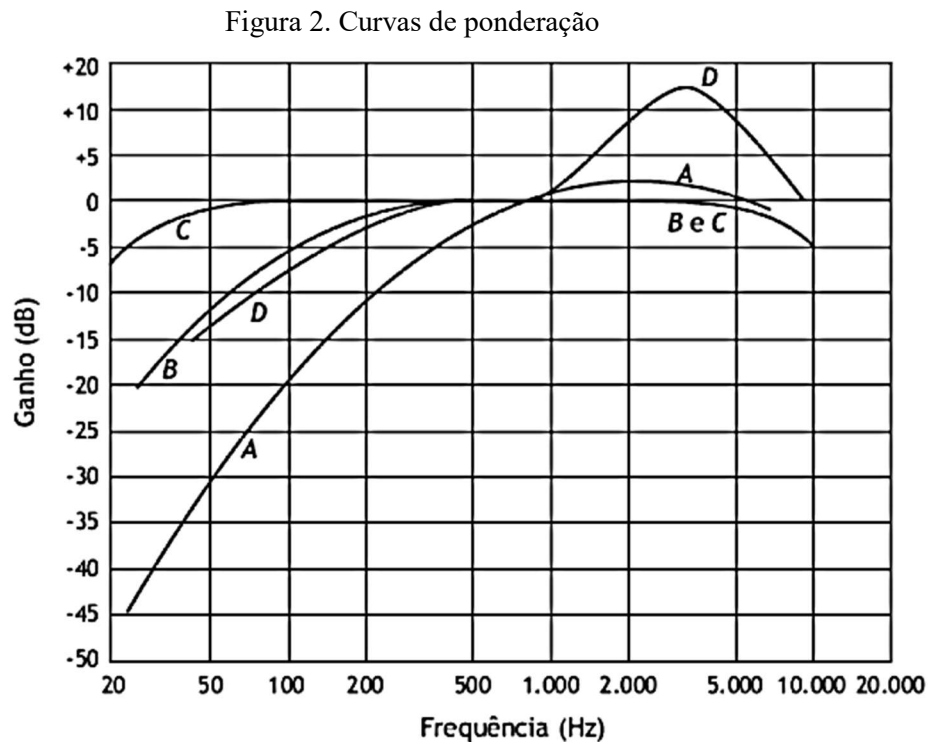
Figura 1. Curvas isofônicas de Fletcher e Munson.



Fonte: adaptado de MOCCELIN, 2015.

Observa-se que para a faixa de frequência próxima aos 1.000 Hz, o som emitido e o som percebido têm grande correlação, enquanto na faixa de 4.000 Hz a sensibilidade auditiva é maior. Por exemplo, um som de 50 dB a 1.000 Hz, em fons, equivale a 42 dB a 4.000 Hz.

Segundo Beranek (2019), o ouvido humano não é igualmente sensível ao som em frequências muito baixas e muito altas. Um som de mesma intensidade e diferentes frequências, causará sensações auditivas diferentes. A fim de corrigir os níveis sonoros captados para se assemelharem ao percebido pelo ouvido humano, foram criadas as curvas de ponderação, representadas abaixo na Figura 2.



Fonte: adaptado de BISTAFA, 2011.

Em frequências predominantes, a curva A, baseada na curva de 40 fons (CYSNE, 2016), é a mais utilizada, por ser a mais próxima às respostas do ouvido humano. A curva de ponderação B é baseada na curva de 70 fons, raramente utilizada, aproxima a resposta do sistema auditivo para sons com níveis sonoros medianos. Respostas a níveis sonoros elevados, são representados pela curva de ponderação C. Por fim, a curva de ponderação D, foi desenvolvida para avaliação de ruídos de sobrevoos de aeronaves (BISTAFA, 2011).

2.1.2 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (L_p)

Segundo Pulkki e Karjalainen (2015), o ouvido humano não responde linearmente, mas de forma logarítmica a uma excitação. O nível de pressão sonora, expresso em dB, submúltiplo do Bel, é calculado conforme Equação 2:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{P_e^2}{P_0^2} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde

P_e é a pressão efetiva medida da onda sonora, Pa;

P_0 é a pressão de referência (2×10^{-5} Pa).

2.1.3 NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE E PONDERADO EM A (L_{Aeq})

Segundo Vér e Beranek (2006) o nível de pressão sonora contínuo, equivalente a um intervalo de tempo especificado, integrado durante uma faixa de tempo pré-determinado, é o nível sonoro médio, podendo ser corrigido pela ponderação de frequência, baseado na energia do ruído, de acordo com a Equação 3.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\left[\left(\frac{1}{T} \right) \int_{t_2}^{t_1} P_A^2(t) dt \right]}{P_0^2} \right\} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde

L_{eq} é o nível de pressão sonora, em dB;

$P_A(t)$ é a pressão sonora instantânea, em Pa com ponderação em A;

T é o intervalo de tempo, em segundos;

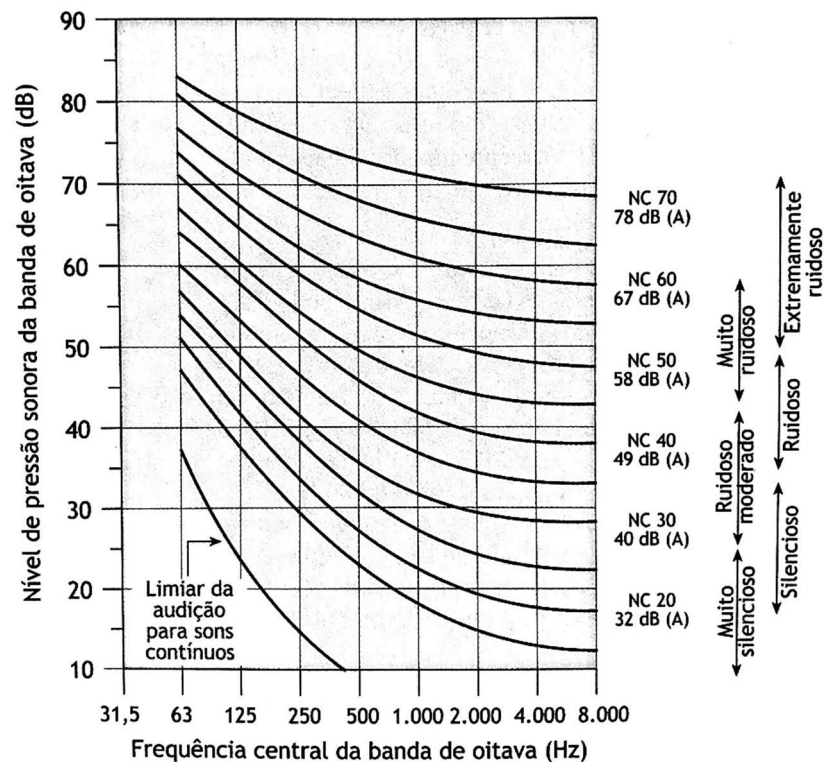
t_1 e t_2 tempo inicial e tempo final respectivamente, em segundos;

P_0 é a pressão de referência normalizada, 20 μ Pa.

2.1.4 AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO

Além do nível de ruído equivalente em um ambiente outra forma de avaliação consiste na utilização das curvas NC (*Noise criteria*), representado na Figura 3. Beranek (1957) desenvolveu este método afim de estabelecer condições satisfatórias para a inteligibilidade da fala, e valores de ruído conforme o ambiente.

Figura 3. Curvas noise criteria



Fonte: BISTAFA, 2011.

Cada curva representa o limite de ruído para uma atividade, tendo em vista o conforto acústico em função da comunicação humana. Os níveis de pressão sonora, em dB, correspondem às curvas NC por bandas de frequência de 1/1 de oitava. Os valores interpolados das curvas são apresentados no Quadro 1 que segue:

Quadro 1. Níveis de pressão sonora, em dB, correspondentes às curvas NC por banda de frequências de 1/1 de oitava.

CURVAS NC	Frequências centrais das bandas de oitava									
	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
70	90	90	84	79	75	72	71	7	68	68
65	90	88	80	75	71	68	65	64	63	62
60	90	85	77	71	66	63	60	59	58	57
55	89	82	74	67	62	58	56	54	53	52
50	87	79	71	64	58	54	51	49	48	47
45	85	76	67	60	54	49	46	44	43	42

Fonte: adaptado ABNT 10152, 2017.

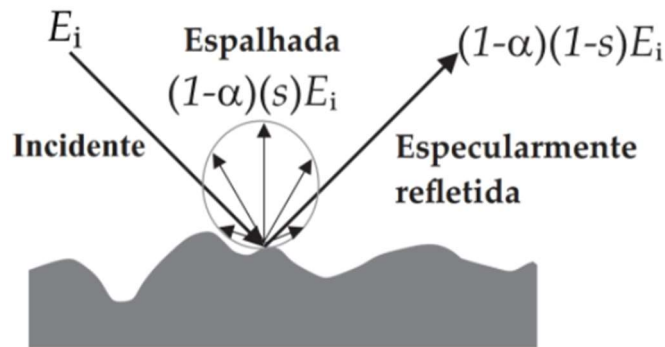
Outro parâmetro importante que deve ser avaliado na obtenção dos dados acústicos é o ruído de fundo. Durante as medições, o leitor mostra o nível total de pressão sonora, vindo de diversas fontes de ruído, sendo este um ambiente barulhento. Quando apenas um ruído específico é emitido de uma determinada fonte, deve ser excluído o ruído residual ou ruído de fundo, este definido como o ruído ambiente restante (MAEKAWA et al., 2011).

2.1.5 REFLEXÃO E ABSORÇÃO SONORA

O fenômeno da reflexão sonora ocorre quando a energia sonora é interrompida por uma superfície e se reflete total ou parcialmente (PULKKI e KARJALAINEN, 2015). A reflexão sonora é um instrumento utilizado para reforçar e distribuir com homogeneidade o som. Este recurso é muito utilizado em auditórios, pois, ao se afastar da fonte o som perde intensidade (SOUZA, 2011).

Outra variável existente quanto à reflexão sonora é o coeficiente de espalhamento, este segundo Brandão (2016), é a razão entre a energia sonora que se espalha de forma difusa e a energia total refletida pela superfície, conforme ilustra a figura 4.

Figura 4. Ilustração coeficiente de espalhamento.



Fonte: Brandão, 2016.

A perda de intensidade também ocorre em função da absorção sonora dos materiais (PULKKI e KARJALAINEN, 2015). Segundo Hopkins (2007), o coeficiente de absorção sonora α_i é determinado pela razão entre a intensidade sonora absorvida pela superfície e a intensidade incidente nesta. O coeficiente de absorção varia entre 0 e 1, onde 0 (zero) significa toda energia incidente é refletida ou transmitida (ausência de absorção) e 1 (um) significa absorção total da energia incidente sobre a superfície.

Segundo o pioneiro trabalho de Sabine (1922) a capacidade de absorção é determinada pela sua geometria e dimensão no ambiente. Assim, a área de absorção sonora equivalente é representada pela Equação 4:

$$A = \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot S_i) \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde

A é a área de absorção sonora equivalente, em m^2 ;

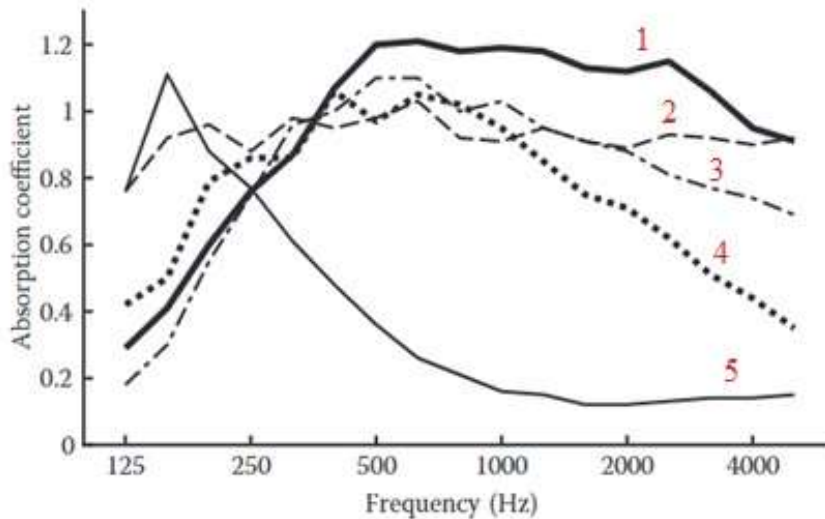
α_i é o coeficiente de absorção sonora;

S_i é a área de cada superfície do ambiente, em m^2 .

Atualmente existem diferentes tecnologias de absorção sonora, segundo Cox e D'Antonio (2017), existem duas grandes classes de absorvedores, os porosos e os dispositivos ressonantes, seus desempenhos são avaliados pelo coeficiente de absorção, como descrito anteriormente.

Cada uma destas classes atua melhor em frequências diferentes, a Figura 5 representa o desempenho de absorvedores porosos e ressonantes, os respectivos materiais são, 1 – fibra de vidro, 2 – multicamadas (camadas de fibras de vidro e folhas de alumínio), 3 – madeira microperfurada, 4 – ressonador de Helmholtz e 5 – ressonador de membrana.

Figura 5. Coeficiente de absorção de diferentes materiais.



Fonte: Adaptado de Cox e D'Antonio, 2017.

É possível observar pela Figura 5, que os materiais porosos são mais eficientes em altas frequências, bem como os ressonantes são melhores absorvedores em baixas frequências (Cox e D'Antonio, 2017).

Materiais porosos

Segundo Cox e D'Antonio (2017) estes materiais dissipam a energia acústica pela rede de poros interconectados, criando alguns efeitos térmicos. São elementos que não devem pintados, pois perdem suas características absorventes, a tinta tende a tampar os poros (Silva, 2013). Alguns exemplos de absorvedores porosos são tapetes, espumas acústicas, cortinas, algodão e lã mineral, como a fibra de vidro.

Cox e D'Antonio (2017) definem as principais propriedades para caracterizar um material poroso, entre elas pode-se citar a resistividade ao fluxo (σ), a porosidade (ϕ) e a tortuosidade (α_∞).

A resistividade ao fluxo é uma medida de quão facilmente o ar pode entrar em um material poroso e a resistência que o ar encontra na estrutura. Enquanto a porosidade, é a quantidade fracionária de ar dentro do material absorvente para a propagação das ondas sonoras. Por fim, a tortuosidade é definida pelo quão tortuoso é o caminho de propagação do som, a orientação dos poros em relação ao campo sonoro incidente afeta o som (COX e D'ANTONIO, 2017).

Ressonantes

As formas mais comuns de ressonantes são: ressonadores de Helmholtz, absorvedores de membranas ou painéis microperfurados. Os absorvedores de membrana e os de placas microperfuradas dissipam a energia sonora mecanicamente, pois envolvem uma massa (borracha, madeira compensada, tecidos) vibrando contra uma mola (ar fechado na cavidade) e as perdas ocorrem por amortecimento, através de um absorvente poroso (COX e D'ANTONIO, 2017).

O ressonador de Helmholtz consiste em uma cavidade com volume e um gargalo, como uma garrafa, o ar presente na cavidade é elástico, e a massa do ar no gargalo reage com essa elasticidade formando um sistema ressonante (EVEREST, 2001). Nas placas microperfuradas, além do efeito massa-amortecimento-massa, um sistema de ressonâncias baseadas no ressonador de Helmholtz é criado devido aos espaços entre as células das placas (BRANDÃO, 2016).

Materiais estruturados ou em camadas, formados por materiais porosos ou fibrosos são utilizados principalmente em ambientes onde há a necessidade para a ondas sonoras tonais, um exemplo deste material é o *Broadband Compact Absorber* (BCA), excelente absorvedor em baixas e medias frequências (FUCHS, ZHA, BABUKE, 2004).

2.1.6 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Em um ambiente fechado, há o fenômeno da reverberação. Após interrupção da emissão sonora, as reflexões ainda são percebidas como um prolongamento do som, apenas após um determinado tempo são extintas, este tempo sendo denominado tempo de reverberação (SOUZA, 2011). Segundo Pulkki e Karjalainen (2015) tempo de reverberação (TR) é o tempo necessário para o nível de pressão sonora cair 60 dB após a interrupção da emissão sonora.

O tempo de reverberação T , é expresso em segundos, depende do volume e da área de absorção equivalente do ambiente (SABINE, 1922). Pode ser calculado pela fórmula de Sabine:

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{A} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume do ambiente, em m^3 ;

A é a área de absorção sonora equivalente, em m^2 .

Nem sempre é possível fazer decair 60 dB, devido ao ruído de fundo, podendo então ser determinado o tempo de reverberação TR referente a T_{20} e T_{30} (EVEREST, 2011). Segundo ISO 3382-2 (p.8, tradução livre) “se T for obtido a partir do tempo no qual a curva de decaimento primeiro alcança 5 dB e depois 25 dB abaixo do instante inicial, ele é rotulado como T_{20} . De outra forma, se usados os valores de decaimento de 5 dB a 35 dB, ele é rotulado como T_{30} ”.

Relacionado ao tempo de reverberação, existe o tempo de decaimento inicial (*Early Decay Time* – EDT), definido como o tempo necessário para um decaimento de 10 dB multiplicado por 6 (MAEKAWA et al., 2011). Segundo a ISO 3382-1, o EDT está relacionado com a reverberação percebida, e o tempo de reverberação propriamente dito está relacionado às propriedades físicas do ambiente.

2.2 INTELIGIBILIDADE DE FALA

Segundo Long (2014), a inteligibilidade da fala é definida como a percepção e a compreensão de palavras e frases, sendo depende das características do ambiente e da fonte emissora. Reverberações excessivas no ambiente prejudicam a inteligibilidade da fala (EVEREST, 2001)

A inibição da inteligibilidade é proveniente da relação sinal/ ruído (*Signal to Noise Ratio* – SNR), que consiste na diferença entre o nível, em dB, da fonte sonora e o nível de ruído de fundo. Resultados negativos desta relação, indicam níveis de ruído de fundo superiores aos níveis das fontes sonoras (LONG, 2014).

2.2.1 EFEITO LOMBARD

Segundo Quedas et al. (2007), o Efeito Lombard é caracterizado pela elevação da intensidade na emissão do som, ou seja, o aumento do volume da voz, isso devido ao ruído de fundo existente no espaço ou deficiência auditiva.

Este aumento no volume da voz ajuda a melhorar a relação sinal/ ruído, nos casos em que o ruído de fundo vem de fontes sonoras estacionárias, como por exemplo um ventilador. Porém, em ambientes com a presença de várias pessoas, pode ocorrer um ciclo de *feedback* positivo, assim que o primeiro elevar o nível de voz, com a intenção de melhorar a relação sinal/ ruído, o ruído de fundo para os demais presentes irá aumentar, que conseqüentemente irão aumentar seu nível de voz para se comunicar, anulando a relação sinal/ ruído da primeira pessoa (RYCHTARIKOVA, 2011).

2.2.2 EFEITO COCKTAIL PARTY

Colin Cherry em 1953, definiu como *cocktail-party effect* a capacidade de o ser humano acompanhar e entender a fala em um ambiente com várias fontes, focando sua atenção na fonte sonora de seu interesse (ARONS, 2008). Segundo Long (2014), este efeito é reflexo do efeito Lombard, em resposta ao acúmulo de um campo sonoro.

2.2.3 PARÂMETROS ACÚSTICOS DA INTELIGIBILIDADE DA FALA

Existem alguns parâmetros objetivos relacionados a inteligibilidade da fala, entre eles pode-se citar a definição e a clareza

Definição e clareza

A definição (*Deutlichkeit*) está relacionada à inteligibilidade da fala, sendo a razão, em porcentagem, entre a energia sonora inicial que chega até os primeiros 50 milissegundos e a total (MAEKAWA et al., 2011), conforme apresenta a Equação 6.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde

“p” é a pressão sonora instantânea da resposta impulsiva medida no ponto de medição.

Segundo Maekawa et al. (2011), quanto maior o valor de D_{50} , maior é a distinção da fala. Em 1972, Reichardt desenvolveu o princípio da música, modificando a faixa de integração para 80 ms, chamado de clareza (*Klarheitsmass*), expresso em dB (MAEKAWA et al., 2011), este é determinado pela Equação 7:

$$C_{80} = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{80ms} p^2(t)dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t)dt} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde

p é a pressão sonora instantânea da resposta impulsiva medida no ponto de medição.

Diferença mínima perceptível (*Just Noticeable Difference*)

Segundo Long (2014), a diferença mínima perceptível (JND) é um dos experimentos psicoacústicos clássicos. Neste teste, o ouvinte deve comparar dois sons, e determine qual é mais alto em intensidade, ou em frequência. E a diferença mínima perceptível depende tanto da intensidade, quanto da frequência.

A ISO 3382-1 exibe um quadro com as grandezas acústicas agrupadas de acordo com os aspectos dos ouvintes, o Quadro 2, apresenta estes dados.

Quadro 2. Grandezas acústicas agrupadas de acordo com aspectos dos ouvintes

Aspecto subjetivo do ouvinte	Grandeza acústica	Número único médio em frequência (Hz)	Diferença mínima perceptível (JND)	Faixa típica
Reverberação percebida	Tempo de decaimento inicial (EDT) (s)	500 a 1000	Rel. 5%	1,0 s; 3,0s
Clareza sonora percebida	Clareza (C80) (dB)	500 a 1000	1 dB	-5 dB; +5 dB
	Definição (D ₅₀)	500 a 1000	0,05	0,3; 0,7

Fonte: Adpatado ISO 3382-1, 2017.

Observação, o número único médio em frequência denota a média aritmética para as bandas de oitava.

2.3 REAÇÃO DOS SERES HUMANOS AO SOM

Após a revolução industrial e o constante crescimento tecnológico, houve o aumento dos níveis sonoros, chamando a atenção de pesquisadores, técnicos e órgãos normalizadores (ZWIRTES, 2006). Sons e vozes influenciam o ser humano desde antes do nascimento, sons familiares e suaves tranquilizam, enquanto ruídos de diferentes intensidades assustam, causam medo (FERREIRA, 2006).

Ruídos constantes, ininterruptos, intensos e frequentes causam poluição sonora. O ouvido humano não se acostuma a ele, por exemplo, pode-se dormir sob barulho intenso, porém com interferências, resultando num sono pouco reparador de energias gastas (RIBAS, 2007).

Determinadas atividades necessitam de um certo nível de silêncio, quando o nível de ruído atrapalha a execução destas atividades surge o desconforto acústico. Surgindo então o desconforto físico e o psicológico (NETO, 2009).

Os efeitos do ruído sobre as pessoas podem ser classificados em: efeitos auditivos do ruído (zumbido, perda auditiva induzida por ruído, trauma acústico e mudança temporária de limiar) e efeitos não auditivos do ruído (incômodo, agravamento de doenças cardiovasculares, efeitos sociais e comportamentais, estresse, distúrbio do sono, dificuldades de compreensão da fala, entre outros) (RIBAS, 2007; FILHO, 2014).

Os efeitos que os ruídos causam na saúde humana dependem da intensidade e do tempo de exposição. O Quadro 3 apresenta alguns efeitos negativos causados pelo ruído:

Quadro 3. Efeitos negativos causados pelo ruído.

Nível de pressão sonora	Efeito negativo
100 dB(A)	Pode haver perda de audição
70 dB(A)	Nível inicial do desgaste do organismo, aumentando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções e outras patologias
A partir de 55 dB(A)	Pode haver a ocorrência de estresse leve acompanhado de desconforto
Até 50 dB(A)	O ruído pode perturbar, mas o organismo se adapta facilmente a ele

Fonte: FILHO, 2014.

Segundo Ferreira (2006) a localização do ambiente e a atividade desenvolvida variam os limites de valores para que as pessoas se sintam confortáveis. O conforto acústico depende de parâmetros como, frequência e nível do som, distância e posição relativas das fontes e a forma como os ruídos são transmitidos.

3 LEGISLAÇÃO E NORMA

3.1 DECRETO LEI Nº 96/2008

O Decreto Lei nº 96/2008 de 9 de junho, tem como objetivo “regular a vertente do conforto acústico, [...], e em consequência, contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações”.

Este Decreto aplica-se a edifícios habitacionais e mistos, comerciais, industriais ou de serviços, hospitalares, escolares, desportivos e de transporte de passageiros.

Os índices avaliados por este decreto são: $D_{n,T}$ – índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, provenientes do interior do edifício; $L'_{n,T}$ – nível sonoro de percussão padronizado, provenientes de uma solicitação normalizada no interior do edifício; $L_{Ar, nT}$ – nível de avaliação padronizado, e T – tempo de reverberação.

O decreto ainda determina os fatores de incerteza sobre os índices avaliados, para o tempo de reverberação, são diminuídos $I = 25\%$ do limite estipulado. A condição do tempo de reverberação, T, para espaços de restaurantes, é determinada conforme a Equação 8. Onde T, corresponde à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

$$T \leq 0,15 \cdot V^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume do ambiente, em m^3 .

3.2 ISO 3382-2: ACÚSTICA – MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE ACÚSTICA DE SALAS – TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM SALAS COMUNS

A ISO 3382-2 (2008) especifica três níveis de exatidão de medição: inspeção, engenharia e precisão. A principal diferença está no número de posições de medição e, por consequência, no tempo requerido para as medições.

A ISO 3382-2 (2008) define o método do ruído interrompido como um método para obter as curvas de decaimento a partir de uma gravação direta do decaimento do nível de pressão sonora, que ocorre após a excitação com ruído de banda larga ou ruído limitado em bandas de frequência.

Conforme recomendações da ISO 3382-2 (2008) as medições de tempo de reverberação devem ser realizadas sem qualquer pessoa na sala, podendo ser permitida até duas pessoas em uma sala em medição e considerá-la desocupada.

As posições da fonte podem ser escolhidas como as posições normais de acordo com o uso da sala. Convém que a distância entre qualquer posição de microfone e a superfície refletora mais próxima, incluindo o piso, seja preferencialmente de pelo menos um quarto de um comprimento de onda, isto é, normalmente cerca de 1 m. Convém que posições simétricas sejam evitadas ISO 3382-2 (2008).

Nenhuma posição de microfone deve estar muito próxima a qualquer posição de fonte, de maneira a evitar uma influência muito forte do som direto. A distância mínima, d_{min} , em metros, pode ser calculada a partir da Equação 9:

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{c \cdot T}} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde

V é o volume do ambiente, em m³;

c é a velocidade do som, em m/s;

\hat{T} é uma estimativa do tempo de reverberação esperado, em segundos.

Dois métodos para medir o tempo de reverberação são descritos pela ISO 3382-2 (2008): o método do ruído interrompido e o método da resposta impulsiva integrada. Ambos os métodos permitem pressupor o mesmo valor esperado.

Para o método de resposta ruído interrompido um alto falante deve ser usado como fonte sonora, capaz de produzir um nível de pressão sonora suficiente para garantir uma curva de decaimento.

A incerteza da medição para o T_{20} pode ser determinada pela equação 10, e a incerteza da medição para o T_{30} pela equação 11:

$$\sigma_{T_2} = 0,88 \cdot T_{20} \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot B \cdot T_{20}}} \quad (\text{Equação 10})$$

$$\sigma_{T_3} = 0,55 \cdot T_{30} \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,52}{n}\right)}{N \cdot B \cdot T_{30}}} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde

B é a largura da banda, em Hertz;

n é o número de decaimento medidos em cada posição;

N é o número de posições de medição independentes (combinações de posições fonte-receptor);

T_{20} é o tempo de reverberação, em segundos, baseado em uma faixa de avaliação de 20 dB;

T_{30} é o tempo de reverberação, em segundos, baseado em uma faixa de avaliação de 30 dB.

Onde $B=0,71f_c$, e f_c é a frequência de banda central, em Hertz.

4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para a obtenção dos dados. Essa pesquisa classifica-se como de natureza aplicada, pois procura produzir conhecimentos para aplicação dirigidos a solução de um problema. O método de abordagem desta pesquisa será o hipotético-dedutivo, onde foram formuladas hipóteses para expressar as dificuldades do problema, a partir disto deduzir as consequências. As hipóteses iniciais são de que a Cantina Geral e a Cantina Alternativa, não apresentam bons desempenhos acústicos, conforme as normas vigentes, e que as soluções construtivas podem ser melhoradas, baseando-se na revisão de literatura descrita no trabalho.

É uma pesquisa de abordagem quantitativa. O método científico para procedimento será o método observacional, juntamente com o método monográfico (estudo de caso). Foi observado o comportamento acústico da Cantina Geral e da Cantina Alternativa, ambas localizadas no Campus de Santa Apolónia do Instituto Politécnico de Bragança, no município de Bragança, Portugal.

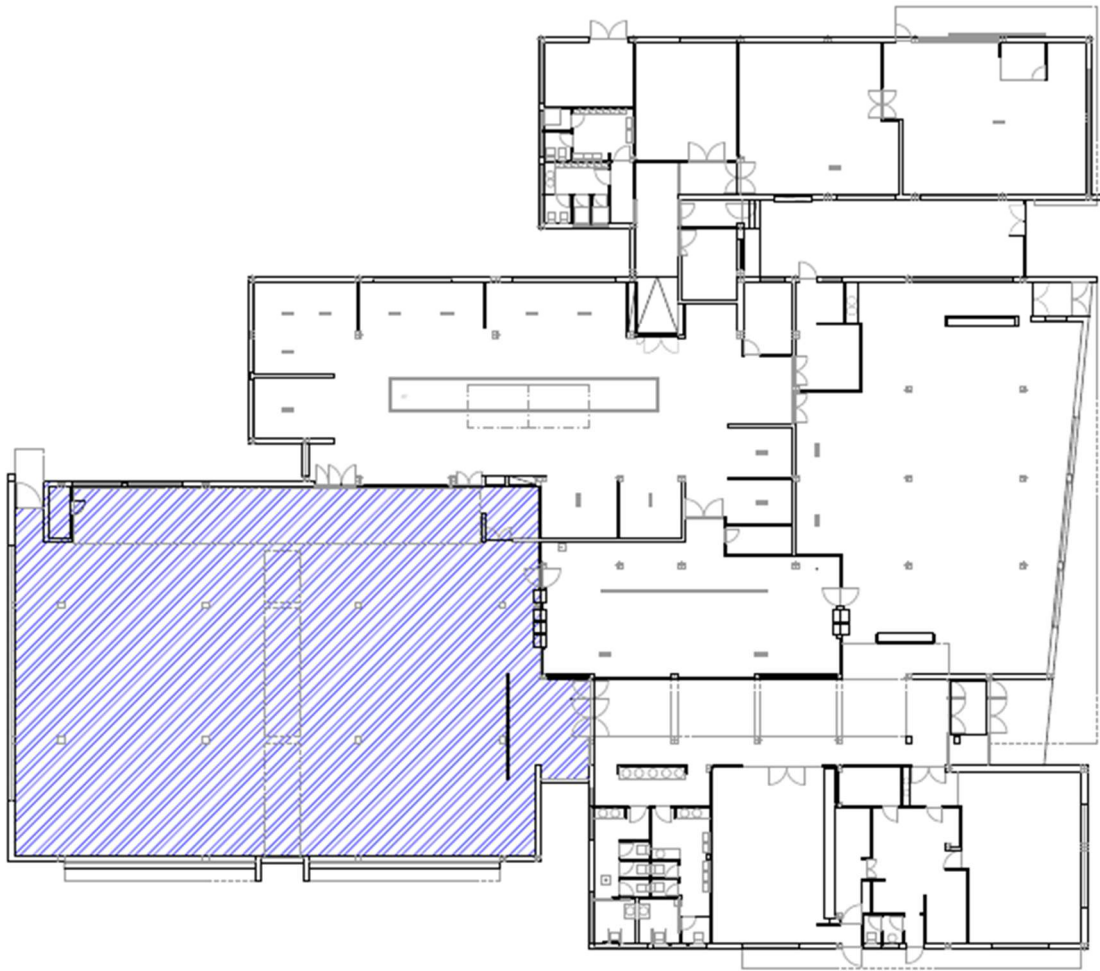
Os resultados foram obtidos por meio de medições *in situ* do tempo de reverberação (TR), as medições foram realizadas conforme as normas vigentes. Em seguida foi criado um modelo computacional no software I-SIMPA ((PICAUT; FORTIN, 2012) para a identificação de soluções para melhorar o campo acústico nos refeitórios em termos de reverberação e do parâmetro Definição (D_{50}). As soluções propostas utilizaram materiais absorvedores porosos cuja utilização fosse viável à locais caracterizados como ambientes de restauração.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

4.1.1 CANTINA GERAL

Localizada no Campus de Santa Apolónia do Instituto Politécnico de Bragança, a Cantina Geral, funciona na sala identificada na Figura 6. É um ambiente com área total de 531,87 m², pé direito de 3,50 m, e volume de 1861,55 m³.

Figura 6. Cantina Geral

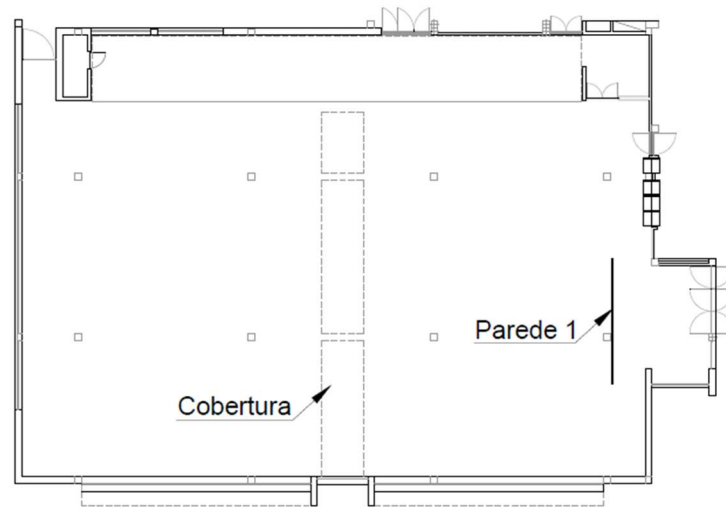


Fonte: Autora, 2020.

Do ponto de vista construtivo o ambiente é constituído por paredes em alvenaria convencional, lajes em betão armado, pilares em betão armado, com dimensões de 30cm x 30cm e vigas em betão armado. As fachadas direccionadas ao sul e ao oeste possuem envidraçados, e as demais possuem revestimento convencional em argamassa.

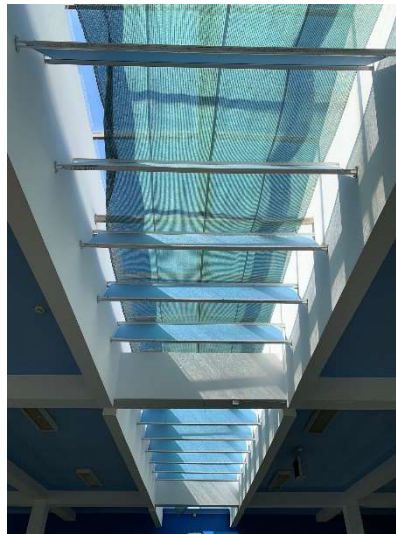
O revestimento do piso do refeitório é de cerâmica. As paredes internas da Cantina Geral possuem revestimento em argamassa, a parede identificada por “Parede 1”, na Figura 7, é uma parede interna à cantina, constituída por tijolos de vidro. A região central da cantina possui cobertura em acrílico, identificadas na Figura 7, ainda nesta região, também existem placas inclinadas de material compensado, como é apresentado na Figura 8.

Figura 7. Detalhe interno Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

Figura 8. Cobertura



Fonte: Autora, 2020.

As portas de acesso a cantina são em vidro, com caixilharia em metal. As portas da cozinha são em metal, com caixilharia em metal. O mobiliário é composto por mesas, com tampo em material compensado e pernas em metal, cadeiras com assento em plástico e pernas em metal e buffets em aço. A Figura 9, mostra alguns detalhes internos da Cantina Geral.

Figura 9. Detalhes internos Cantina Geral

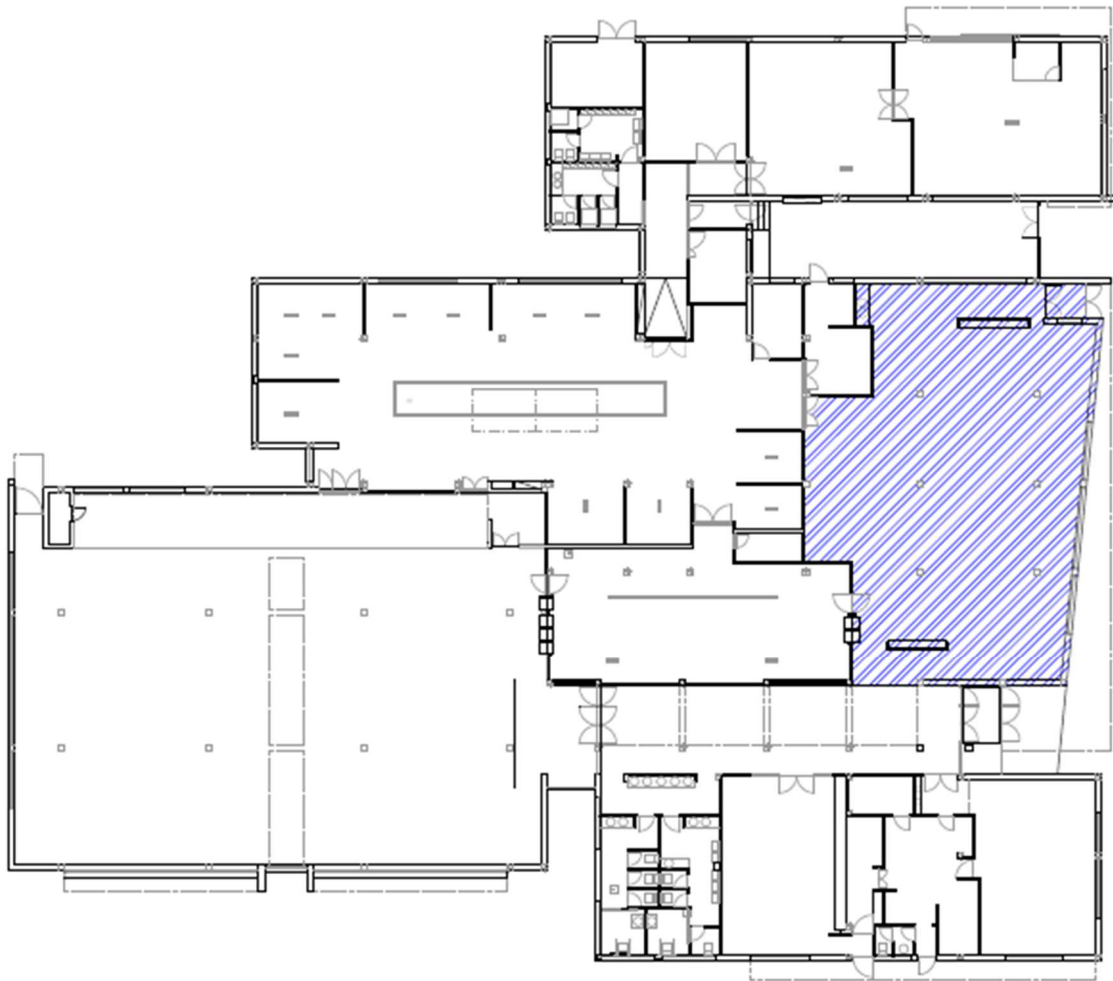


Fonte: Autora, 2020.

4.1.2 CANTINA ALTERNATIVA

Localizada no mesmo bloco que a Cantina Geral, a Cantina Alternativa, funciona na sala identificada, como mostra a Figura 10. É um ambiente com área total de 253,11 m², pé direito de 3,50 m, e volume de 885,86 m³.

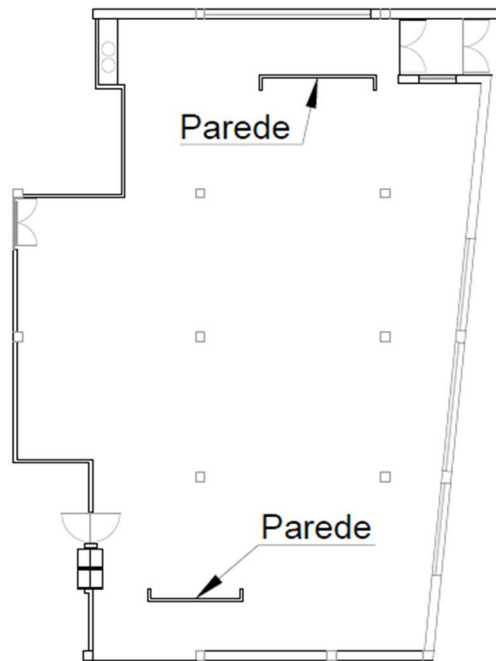
Figura 10. Cantina Alternativa



Fonte: Autora, 2020.

Assim como a Cantina Geral o ambiente é constituído por paredes em alvenaria convencional, lajes em betão armado, pilares em betão armado, com dimensões de 30cm x 30cm e vigas em betão armado. A fachada direcionada a oeste possui envidraçados, e as demais possuem revestimento convencional em argamassa. O revestimento do piso do refeitório é de cerâmica. Existe ainda duas paredes internas, como apresentadas na Figura 11.

Figura 11. Detalhe interno Cantina Alternativa



Fonte: Autora, 2020.

As portas de acesso a cantina são em vidro, com caixilharia em metal. As portas da cozinha são em madeira, com caixilharia em madeira. O mobiliário é composto por mesas, com tampo em material compensado e pernas em metal, cadeiras com assento em plástico e pernas em metal e buffets em aço. A Figura 12, mostra alguns detalhes internos da Cantina Alternativa.

Figura 12. Detalhes Cantina Alternativa





Fonte: Autora, 2020.

4.2 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

As medições de tempo de reverberação seguiram as recomendações da ISO 3382-2 (2008). As medições ocorreram no período entre 18h00 e 20h00. Os ensaios foram realizados com a Cantina Geral e a Cantina Alternativa mobiliadas e desocupadas, as portas e janelas destes ambientes permaneceram fechadas durante todo os ensaios. As medições foram realizadas com a utilização do método do ruído interrompido.

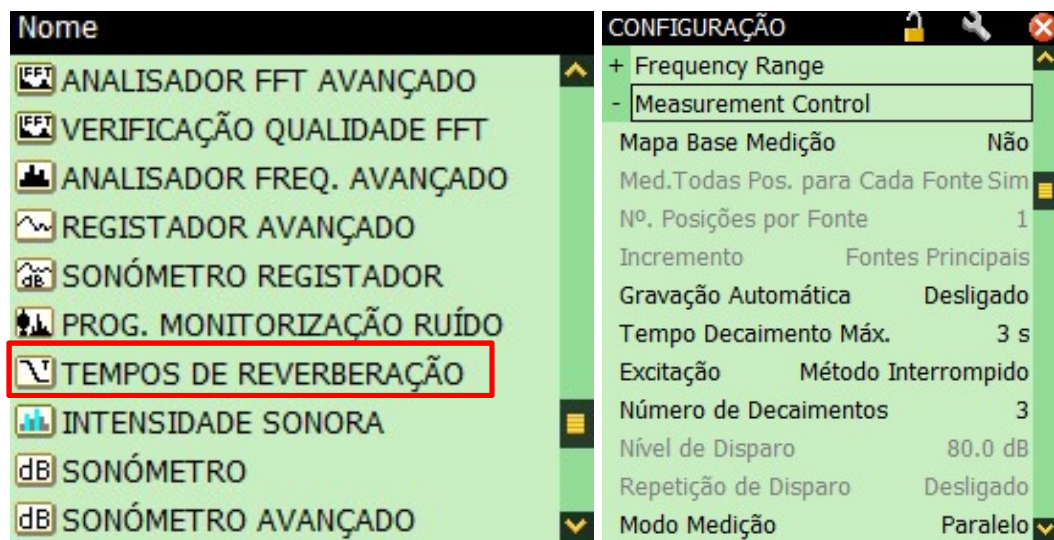
Para as medições foi utilizado um sonômetro digital 2250 – Brüel & Kjær, classe 1, junto ao microfone Brüel & Kjær modelo 4189, a fonte sonora do modelo 4296 - Brüel & Kjær, constituída por um agrupamento de 12 altifalantes, e um amplificador de potência LAB. GRUPPEN - LAB 300. A Figura 13 apresenta aparelhos prontos para realizar o ensaio.

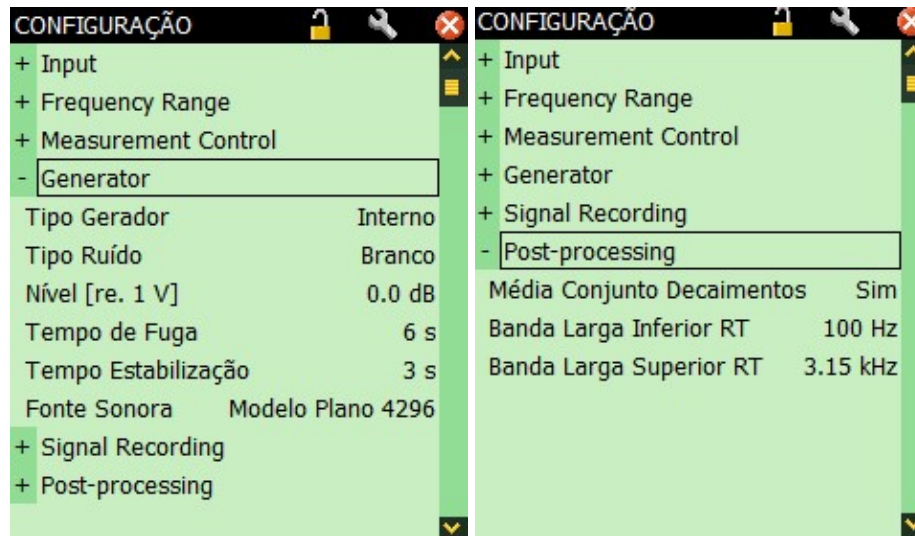
Figura 13. Aparelhos



O ruído emitido pela fonte era enviado pelo próprio sonômetro, sendo um ruído branco. As configurações do aparelho estão representadas na Figura 14.

Figura 14. Configurações sonômetro para tempo de reverberação





Fonte: Autora, 2020.

A distribuição dos pontos de ensaio está representada mostra a Figura 15 para a Cantina Geral, e a Figura 16 para a Cantina Alternativa, foram evitadas posições simétricas como recomenda a norma. A nomenclatura dos pontos foi adotada da seguinte forma, FCTR1 representa a posição 1 da fonte para o tempo de reverberação para a Cantina Geral, FCTR2 a segunda posição e FCTR3 a terceira e última posição de fonte para o tempo de reverberação para a Cantina Geral.

Figura 15. Distribuição dos pontos de fonte e sonômetro Cantina Geral para tempo de reverberação

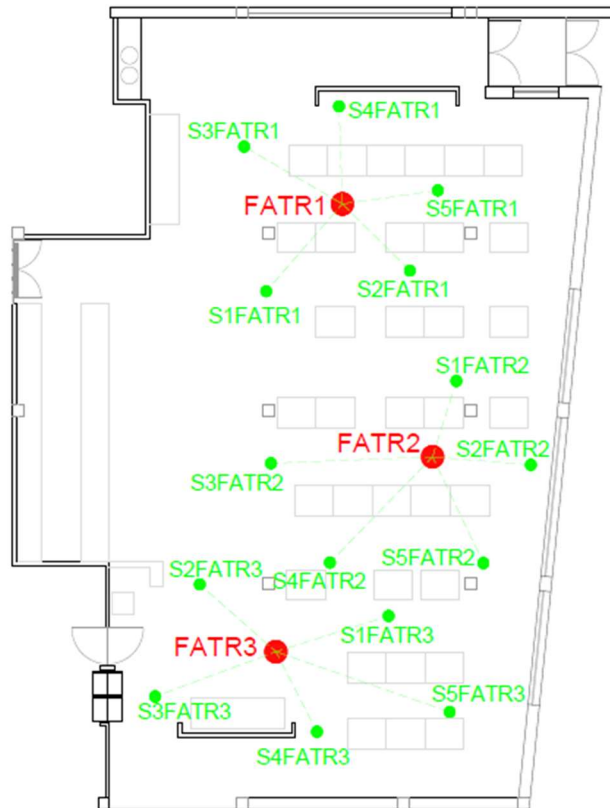


Fonte: Autora, 2020.

A nomenclatura adotada para as posições do sonômetro seguiu o padrão S para sonômetro e FCTR para a fonte para tempo de reverberação, como por exemplo, S1FCTR1 representa a posição 1 do sonômetro em relação a fonte 1 do tempo de reverberação da Cantina Geral (FCTR1), S2FCTR1 a segunda posição do sonômetro em relação a fonte 1 para o tempo de reverberação da cantina Geral (FCTR1), e assim por diante as demais.

Para a Cantina Alternativa a nomenclatura adotada foi FATR1 que representa a posição 1 da fonte para o tempo de reverberação, FATR2 a segunda posição de fonte, e FATR3 a terceira posição de fonte do tempo de reverberação. As nomenclaturas para as posições do sonômetro seguiram o mesmo padrão adotado para a Cantina Geral.

Figura 16. Distribuição dos pontos de fonte e sonômetro Cantina Alternativa para tempo de reverberação



Fonte: Autora, 2020.

Segundo Kleiner e Tichy (2014), o nível de pressão sonora diminui à medida que se afasta da fonte, no entanto, após uma certa distância permanece constante pois a densidade da energia do campo reverberante irá prevalecer nesta região. Logo, uma análise estatística estocástica foi realizada com os valores obtidos entre as diferentes posições de fonte sonora, pois assumiu-se uma distribuição espacial do tempo de reverberação quase uniforme.

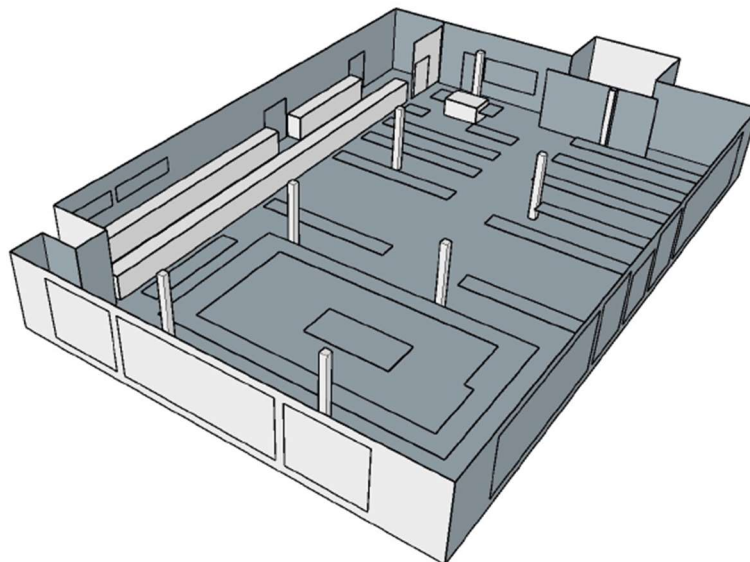
Após a verificação da normalidade amostral com o teste de Shapiro-Wilk, um teste de ANOVA foi realizado entre as medições das diferentes posições de fonte sonora, 5 medições para cada posição de fonte sonora, que por si foram definidas em 3 posições, resultando em 15 medições para Cantina Geral e 15 para Cantina Alternativa. Nas situações onde as medições de uma mesma posição de fonte não resultaram em uma distribuição normal, a análise de variância foi realizada por meio do teste de Kruskal-Wallis (estatística não-paramétrica). Foi utilizado o software R (R CORE TEAM, 2019) para a análise estatística do tempo de reverberação. As incertezas das medições foram calculadas conforme as equações 10 e 11, citada no 3.2.

4.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Esta etapa é definida pela simulação computacional da Cantina Geral e da Cantina Alternativa, onde os resultados simulados foram comparados aos medidos *in situ*. A modelagem tridimensional dos espaços procedeu-se pelo software SketchUp (versão trial). As superfícies dos ambientes foram modeladas de forma plana, pois segundo Vorlander (2007) as fontes sonoras e receptoras devem ser definidas como formas geométricas simplificadas, estas quando muito detalhadas, na perspectiva acústica, aumentam a possibilidade de erros.

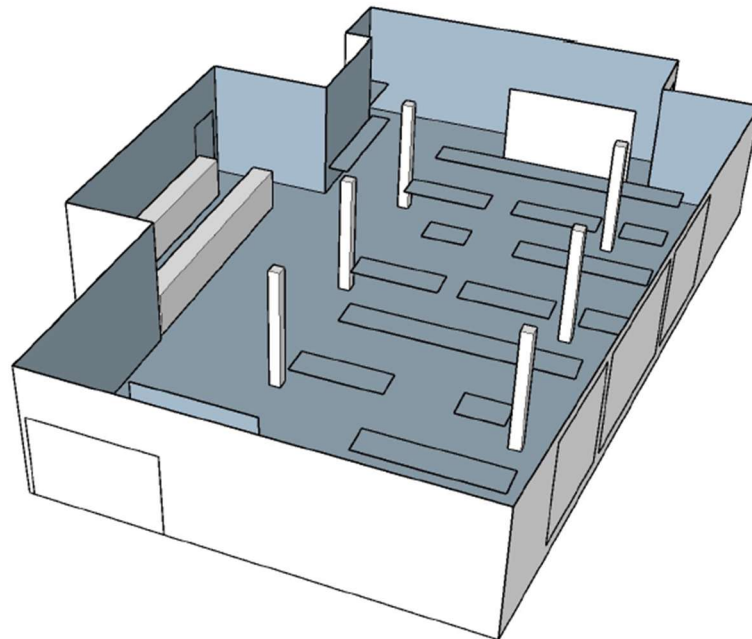
Foram criados dez modelos no total, os dois primeiros compostos pela Cantina Geral e a Cantina Alternativa sem condicionamento acústico, conforme a Figura 17 e a Figura 18, e as demais com soluções acústicas, representadas na Figura 19, com dimensões e características retirados de catálogos comerciais, tanto para a Cantina Geral, quanto para a Cantina Alternativa. As mesas e as paredes internas foram desenhadas como superfícies planas, os balcões foram modelados como elementos de caixa (*Box*), bem como os pilares.

Figura 17. Modelo inicial Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

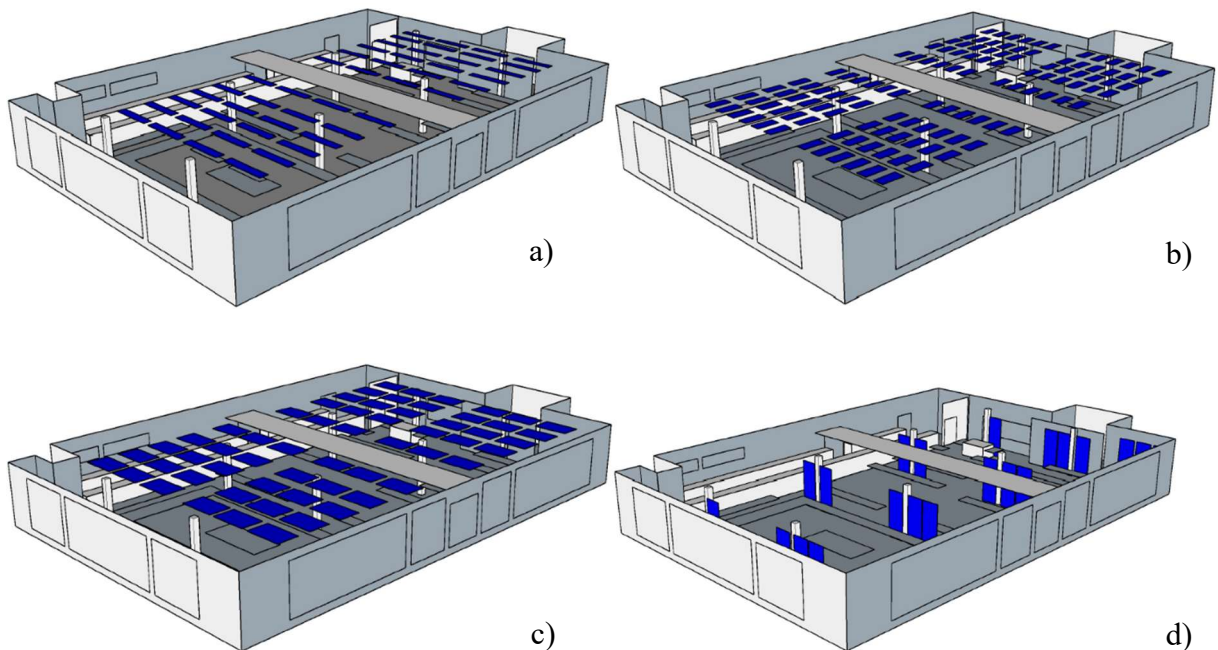
Figura 18. Modelo inicial Cantina Alternativa

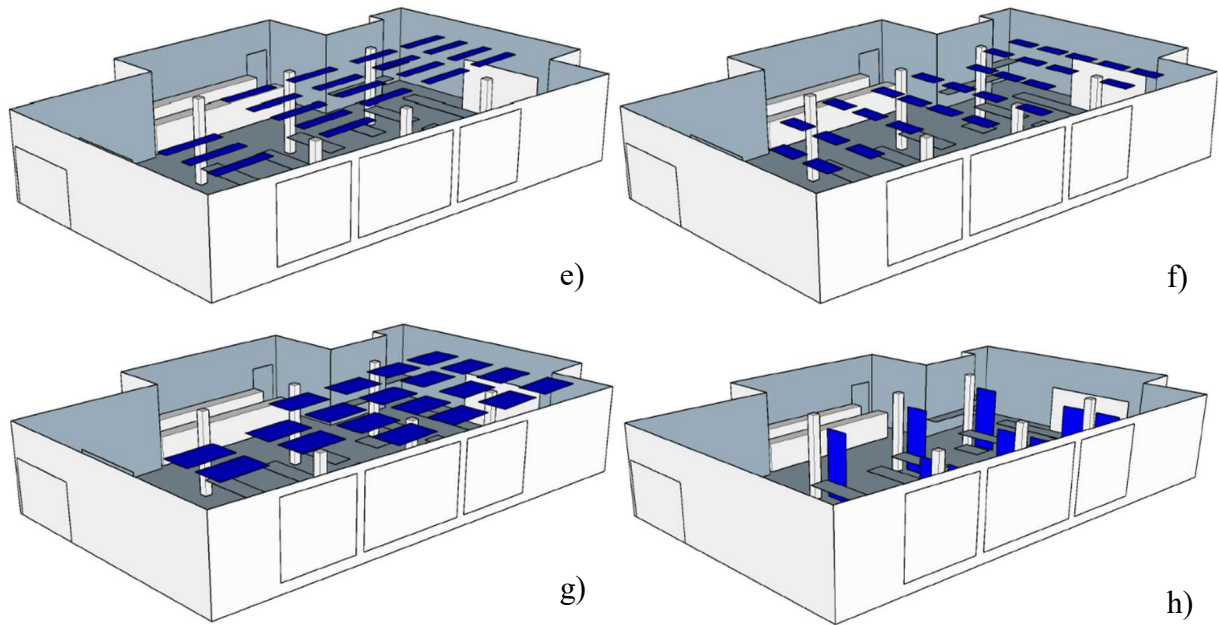


Fonte: Autora, 2020.

A Figura 19 a) e e) representam as modelagens com painéis de dimensões 45x240 cm, b) e f) possuem dimensões de 60x120 cm, c) e g) com dimensões 1202x198 cm, por fim os painéis BCA com dimensões 100x2700 cm representados em d) e h).

Figura 19. Modelos com soluções acústicas





Fonte: Autora, 2020.

As características das soluções foram retiradas dos catálogos comerciais disponíveis. A solução acústica denominada como forro 1, é composto por duas placas de gesso reforçado com perfurações em sua superfície e uma chapa pré-impregnada, dentro da estrutura existe uma lã mineral. A solução forro 2, é composta por um painel de lã de rocha, onde a face visível é um véu pintado e a face posterior uma membrana. O forro 3 é formado por placas de gesso perfuradas, a face oculta é revestida por um véu. Por fim, a última solução adota, o BCA, é composto por 5 camadas com chapa perfurada, onde a camada externa é composta por chapa de aço fina e placa oscilantes, e o material amortecedor é em fibras.

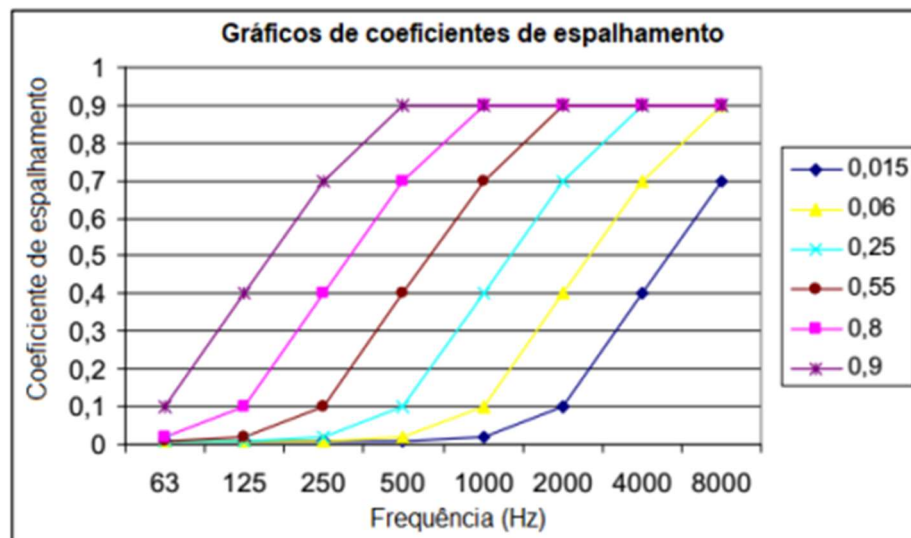
Os coeficientes de absorção sonora foram inseridos segundo a literatura, estes coeficientes encontram-se no anexo A, para o painel BCA foram adotados os coeficientes de absorção correspondentes a um painel diretamente fixado na alvenaria com dimensões menores. O coeficiente de espalhamento foi adotado conforme a metodologia utilizada pelo software ODEON, onde a partir do tipo da superfície é extrapolado o valor do coeficiente de espalhamento a uma frequência de 707Hz, como mostra a Figura 20, os coeficientes sugeridos para as diferentes superfícies encontram-se no Quadro 4.

Quadro 4. Valores sugeridos para o coeficientes de espalhamento

Material	Coefficiente de espalhamento à frequência de 707Hz
Área de audiência	0,6 – 0,7
Estruturas irregulares de edifícios (0,3 a 0,5m de profundidade)	0,4 – 0,5
Estantes de livros, com alguns livros	0,3
Alvenaria com juntas aparentes	0,1 – 0,2
Alvenaria com juntas feitas, porém, sem revestimento argamassado	0,05 – 0,1
Superfícies lisas em geral	0,02 – 0,05
Concreto aparente pintado	0,005 – 0,02

Fonte: ODEON, 2018.

Figura 20. Procedimento de obtenção do coeficiente de espalhamento

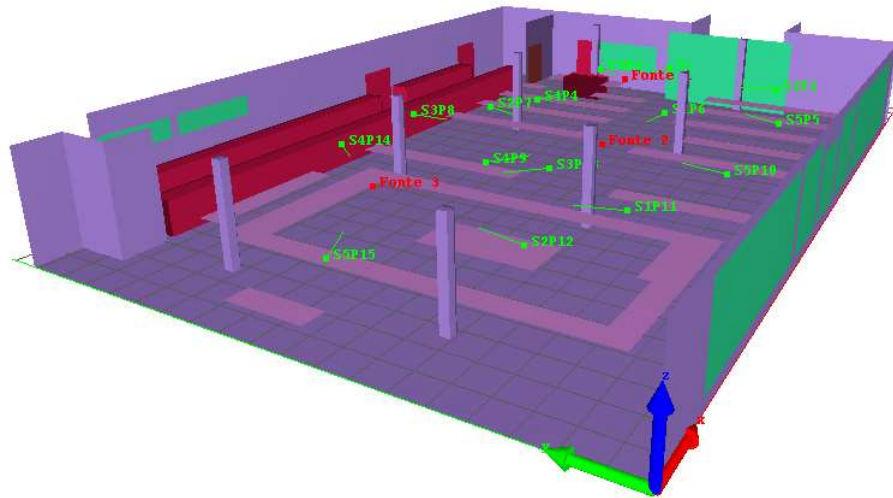


Fonte: Ribeiro, 2020.

Por exemplo, as mesas foram adotadas como superfícies de audiência, logo os coeficientes adotados estão entre as linhas de 0,55 e 0,8 mostradas na Figura 20. Para cada frequência foram retirados os valores correspondentes de coeficiente de espalhamento. Junto aos coeficientes de absorção, os coeficientes de espalhamento estão descritos no anexo A.

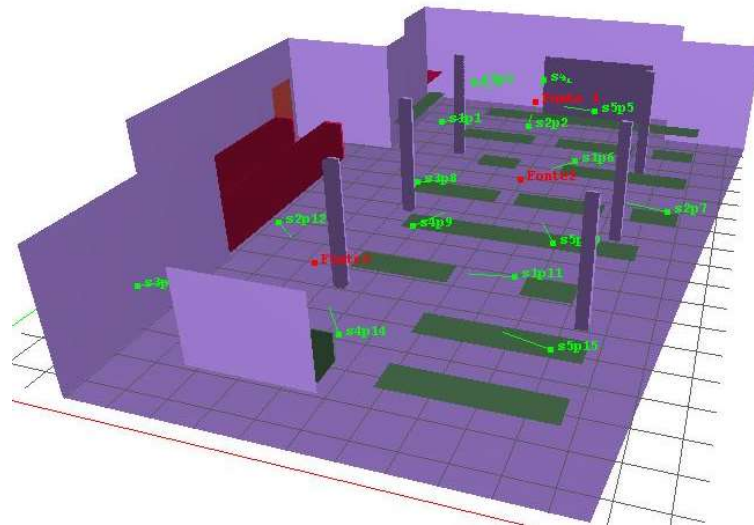
Os modelos tridimensionais elaborados foram inseridos no *software* I-SIMPA, apresentados nas Figura 21 e Figura 22.

Figura 21. Modelo Cantina Geral inserido no software I-SIMPA



Fonte: Autora, 2020.

Figura 22. Modelo Cantina Alternativa inserido no software I-SIMPA

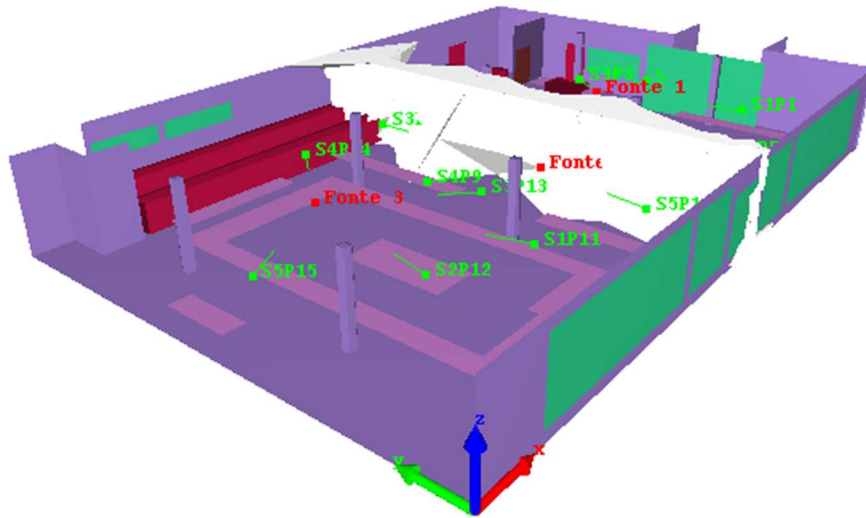


Fonte: Autora, 2020.

Foram mantidas as posições de fonte e microfones, citadas no item 4.2, a fonte posicionada a 1,80 m de altura e o sonômetro a 1,70 m em relação ao piso. Os receptores pontuais foram direcionados para a fonte, conforme as medições. Uma superfície receptora foi criada a altura de 1,70 m para a análise das distribuições espaciais de Definição (D_{50}), tempo de reverberação (T_{20} e T_{30}) e tempo de decaimento inicial (EDT).

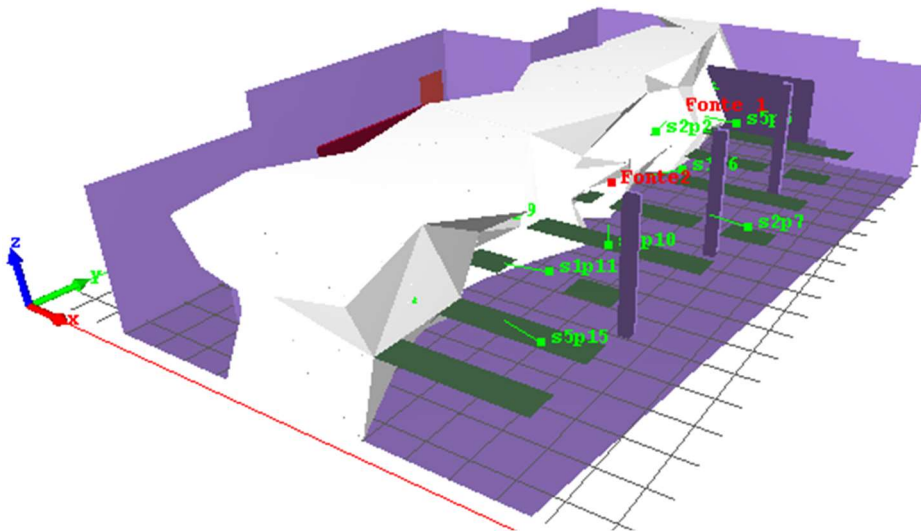
Após a inserção dos modelos no software I-SIMPA, foi gerada uma malha, conforme apresentado nas Figura 23 e Figura 24.

Figura 23. Malha gerada Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

Figura 24. Malha gerada Cantina Alternativa



Fonte: Autora, 2020.

O método de cálculo adotado foi o energético. Neste método a energia da partícula é ponderada conforme o coeficiente de absorção de cada material e do ambiente (temperatura de 25°C, umidade relativa em 50% e pressão atmosférica de 101325Pa). A quantidade de partículas por fonte sonora adotada foi de 150000, um raio de recepção de 10,0 cm para os microfones

Em cada posição de fonte, foi realizado um ensaio *in situ* para registrar qual era o nível de pressão sonora (dB) que a fonte estava emitindo, afim de criar no software de simulação fontes que emitissem o mesmo espectro sonoro do medido, para isso o sonômetro foi posicionado a

uma distância de 1m da fonte, durante 30 segundos e repetido esse procedimento em três pontos para cada posição de fonte. As fontes foram configuradas com nível de pressão sonora por frequência, valores estes disponíveis no anexo B, foi feito uma média logarítmica entre os três pontos de medições, para cada frequência, conforme a equação 11.

$$m\u00e9dia = 10\log \left[\frac{10^{\frac{n1}{10}} + 10^{\frac{n2}{10}} + \dots + 10^{\frac{ni}{10}}}{n} \right] \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 11})$$

Onde

n s\u00e3o os valores em dB.

Os par\u00e2metros selecionados para c\u00e1lculo foram tempo de reverbera\u00e7\u00e3o (T_{20} e T_{30}), Defini\u00e7\u00e3o (D_{50}) e tempo de decaimento inicial (EDT). Estes c\u00e1lculos foram feitos para os ambientes sem melhorias, e posteriormente simuladas os mesmos ambientes, mas com melhorias ac\u00faslicas (pain\u00e9is).

5 DISCUSSÕES E RESULTADOS

5.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Os resultados do tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , obtidos das medições para cada posição de sonômetro referente a fonte emissora, para as frequências 500, 1000 e 2000 Hz, bem como a incerteza da medição, estão apresentados no Quadro 5, referente a Cantina Geral e Quadro 6 da Cantina Alternativa.

Quadro 5. Resultados ensaios tempo de reverberação T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral

Fonte	Posição sonômetro	T_{20} (s)					
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	Desvio padrão	Incerteza
Fonte 1	S1FCTR1	2.94	2.80	2.74	2.83	0.10	0.042
	S2FCTR1	2.64	2.47	2.75	2.62	0.14	0.041
	S3FCTR1	2.84	2.65	2.69	2.73	0.10	0.042
	S4FCTR1	2.94	2.81	2.62	2.79	0.16	0.042
	S5FCTR1	2.95	2.54	2.63	2.71	0.22	0.041
Fonte 2	S1FCTR2	2.65	2.72	2.60	2.66	0.06	0.041
	S2FCTR2	3.15	2.71	2.70	2.85	0.26	0.042
	S3FCTR2	2.53	2.71	2.70	2.65	0.10	0.041
	S4FCTR2	3.05	2.77	2.71	2.84	0.18	0.042
	S5FCTR2	2.84	2.81	2.83	2.83	0.02	0.042
Fonte 3	S1FCTR3	2.85	2.69	2.66	2.73	0.10	0.042
	S2FCTR3	3.05	2.78	2.76	2.86	0.16	0.043
	S3FCTR3	2.71	2.83	2.59	2.71	0.12	0.041
	S4FCTR3	2.77	2.77	2.79	2.78	0.01	0.042
	S5FCTR3	3.17	2.59	2.70	2.82	0.31	0.042
Fonte	Posição sonômetro	T_{30} (s)					
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	Desvio padrão	Incerteza
Fonte 1	S1FCTR1	2.77	2.84	2.71	2.77	0.07	0.024
	S2FCTR1	2.74	2.55	2.70	2.66	0.10	0.024
	S3FCTR1	2.74	2.57	2.72	2.68	0.09	0.024
	S4FCTR1	2.83	2.74	2.75	2.77	0.05	0.024
	S5FCTR1	2.95	2.58	2.64	2.72	0.20	0.024
Fonte 2	S1FCTR2	2.73	2.64	2.64	2.67	0.05	0.024
	S2FCTR2	2.88	2.75	2.68	2.77	0.10	0.024
	S3FCTR2	2.76	2.65	2.76	2.72	0.06	0.024
	S4FCTR2	2.76	2.75	2.72	2.74	0.02	0.024
	S5FCTR2	2.72	2.71	2.76	2.73	0.03	0.024
Fonte 3	S1FCTR3	2.78	2.60	2.71	2.70	0.09	0.024
	S2FCTR3	2.75	2.64	2.82	2.74	0.09	0.024
	S3FCTR3	2.74	2.73	2.70	2.72	0.02	0.024
	S4FCTR3	2.90	2.71	2.73	2.78	0.10	0.024
	S5FCTR3	2.83	2.62	2.70	2.72	0.11	0.024

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 6. Resultados ensaios tempo de reverberação T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa

Fonte	Posição sonômetro	T_{20} (s)					
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	Desvio padrão	Incerteza
Fonte 1	S1FATR1	1.80	2.12	2.05	1.99	0.17	0.035
	S2FATR1	1.85	2.06	1.98	1.96	0.11	0.035
	S3FATR1	1.89	2.32	1.97	2.06	0.23	0.036
	S4FATR1	1.93	2.18	1.97	2.03	0.13	0.036
	S5FATR1	1.97	1.85	2.05	1.96	0.10	0.035
Fonte 2	S1FATR2	1.82	1.99	1.99	1.93	0.10	0.035
	S2FATR2	1.99	2.02	1.96	1.99	0.03	0.035
	S3FATR2	1.91	2.08	1.95	1.98	0.09	0.035
	S4FATR2	1.83	1.85	2.05	1.91	0.12	0.035
	S5FATR2	2.01	2.23	1.99	2.08	0.13	0.036
Fonte 3	S1FATR3	1.82	2.10	2.05	1.99	0.15	0.035
	S2FATR3	1.67	1.95	1.90	1.84	0.15	0.034
	S3FATR3	1.95	2.08	2.03	2.02	0.07	0.036
	S4FATR3	2.03	1.96	1.97	1.99	0.04	0.035
	S5FATR3	1.83	1.89	1.99	1.90	0.08	0.035
Fonte	Posição sonômetro	T_{30} (s)					
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	Desvio padrão	Incerteza
Fonte 1	S1FATR1	1.81	2.01	2.00	1.94	0.11	0.02
	S2FATR1	1.80	2.00	1.99	1.93	0.11	0.02
	S3FATR1	1.82	2.14	2.00	1.99	0.16	0.021
	S4FATR1	1.77	2.02	1.96	1.92	0.13	0.02
	S5FATR1	1.93	1.94	1.97	1.95	0.02	0.02
Fonte 2	S1FATR2	1.90	1.99	1.99	1.96	0.05	0.021
	S2FATR2	1.86	1.97	1.98	1.94	0.07	0.02
	S3FATR2	1.88	1.96	1.98	1.94	0.05	0.02
	S4FATR2	1.89	1.93	1.98	1.93	0.05	0.02
	S5FATR2	1.95	2.02	2.01	1.99	0.04	0.021
Fonte 3	S1FATR3	1.99	1.99	2.07	2.02	0.05	0.021
	S2FATR3	1.82	2.03	1.94	1.93	0.11	0.02
	S3FATR3	1.87	2.01	1.99	1.96	0.08	0.02
	S4FATR3	2.00	1.99	2.00	2.00	0.01	0.021
	S5FATR3	1.81	2.07	2.03	1.97	0.14	0.021

Fonte: Autora, 2020.

O Decreto Lei nº96/2008, descrito no item 3.1, determina por meio da equação 8, o valor médio entre as frequências 500Hz, 1000Hz e 2000Hz, do tempo de reverberação para os ambientes em função do volume do ambiente, para a Cantina Geral este valor seria aproximadamente de 1,85s e para a Cantina Alternativa 1,44s, é possível observar que os valores obtidos nas medições estão muito acima dos recomendados, confirmando a hipótese inicial, de que os ambientes não possuem um bom condicionamento acústico, sendo necessária interferência construtiva que melhore o condicionamento acústico do ambiente, afim de melhorar a

inteligibilidade de fala, evitando problemas como o Efeito Lombard e Efeito Cocktail Party, citados nos itens 2.2.1 e 2.2.2..

Como descrito no item 4.2 considerou-se uma distribuição espacial do tempo de reverberação quase uniforme, assim sendo realizada uma análise estatística dos valores medidos. Os resultados estatísticos estão apresentados no anexo C. Foram verificadas a normalidade amostral com o teste de Shapiro-Wilk, quando os resultados (p-valores) destes testes foram acima de 0,05 (5%), foi identificada a distribuição normal amostral, aplicando-se em sequência o teste ANOVA. Para os resultados com valores abaixo de 5% aplicou-se um teste de estatística não paramétrica (teste de Kruskal-Wallis).

Ao observar os resultados dos testes estáticos realizados, é possível verificar que não existem diferenças estatísticas entre os pontos medidos. Logo, é possível assumir que estes valores estão aptos a serem comparados com as simulações computacionais realizadas conforme o item 4.3, simulações estas sem condicionamento acústico e com as soluções acústicas propostas para melhorar o condicionamento.

5.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

São apresentadas neste item os resultados obtidos das simulações da Cantina Geral e da Cantina Alternativa sem condicionamento acústico, onde foram considerados apenas os materiais existentes no ambiente, bem como as simulações com as quatro possíveis melhorias adotadas, sendo três delas com forro em painéis absorventes disponíveis no mercado, e uma com BCA (*Broadband Compact Absorber*), também disponível no mercado.

5.2.1 CANTINA GERAL

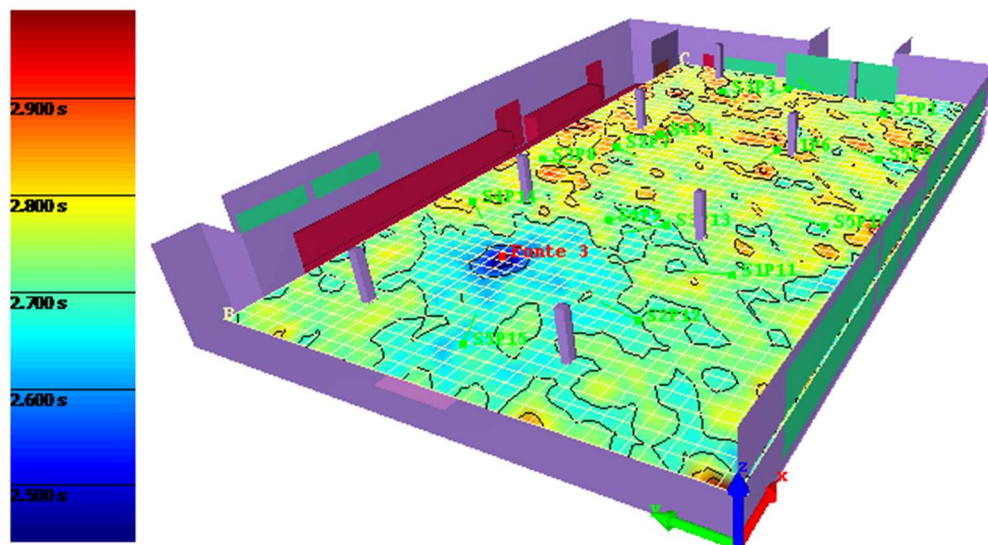
Os resultados do tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , da simulação da Cantina Geral sem condicionamento acústico estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral

Fonte	Posição sonômetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	2.77	2.87	2.58	2.74	2.89	2.89	2.68	2.82
	S2FCTR1	2.89	2.89	2.53	2.77	2.90	2.88	2.65	2.81
	S3FCTR1	2.76	2.87	2.53	2.72	2.83	2.96	2.64	2.81
	S4FCTR1	2.84	2.89	2.58	2.77	2.86	2.92	2.65	2.81
	S5FCTR1	2.70	2.22	2.05	2.32	2.89	2.90	2.64	2.81
Fonte 2	S1FCTR2	2.82	2.92	2.60	2.78	2.83	2.92	2.74	2.83
	S2FCTR2	2.76	2.91	2.60	2.76	2.83	2.89	2.75	2.82
	S3FCTR2	2.82	2.94	2.59	2.78	2.96	2.93	2.72	2.87
	S4FCTR2	2.82	2.96	2.57	2.78	2.90	2.94	2.73	2.86
	S5FCTR2	2.81	2.89	2.58	2.76	2.87	2.94	2.67	2.83
Fonte 3	S1FCTR3	2.88	2.90	2.65	2.81	2.91	2.92	2.77	2.87
	S2FCTR3	2.82	2.90	2.62	2.78	2.91	2.90	2.72	2.84
	S3FCTR3	2.85	2.84	2.61	2.77	2.85	2.92	2.74	2.84
	S4FCTR3	2.81	2.93	2.64	2.79	2.89	2.91	2.74	2.85
	S5FCTR3	2.85	2.98	2.59	2.81	2.84	2.97	2.67	2.83

Fonte: Autora, 2020.

A Figura 25 mostra a distribuição do tempo de reverberação T_{30} da Cantina Geral sem condicionamento acústico, estes resultados são referentes a frequência de 2000Hz e a fonte 3 como emissora do ruído para o cálculo.

Figura 25. Distribuição T_{30} , para 2000Hz na Cantina Geral sem condicionamento acústico

Fonte: Autora, 2020.

O Quadro 8 mostra os resultados da simulação da Definição, D_{50} , e do tempo de decaimento inicial (EDT) para a Cantina Geral, sem condicionamento acústico. Os valores de D_{50} não foram medidos, apenas simulados, e pelos resultados mostrados neste quadro é possível observar que os valores referentes a Definição são baixos, logo existe uma dificuldade na distinção da fala.

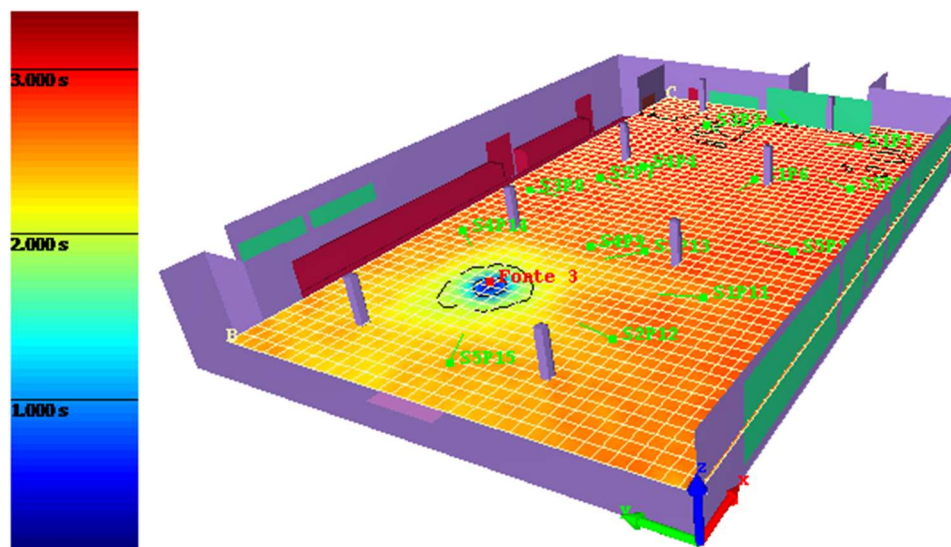
Quadro 8. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Geral

Fonte	Posição sonômetro	D_{50} (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	30.83	28.75	29.79	2.47	2.62	2.54
	S2FCTR1	50.76	47.13	48.94	2.31	2.56	2.43
	S3FCTR1	55.04	50.42	52.73	2.41	2.51	2.46
	S4FCTR1	27.73	27.62	27.67	2.53	2.72	2.62
	S5FCTR1	27.02	22.18	24.60	2.45	2.72	2.58
Fonte 2	S1FCTR2	32.01	25.70	28.85	2.58	2.77	2.67
	S2FCTR2	23.33	23.47	23.40	2.43	2.65	2.54
	S3FCTR2	19.51	22.08	20.79	2.67	2.78	2.72
	S4FCTR2	34.33	33.16	33.74	2.44	2.60	2.52
	S5FCTR2	37.50	36.71	37.10	2.43	2.63	2.53
Fonte 3	S1FCTR3	24.97	21.50	23.23	2.46	2.71	2.58
	S2FCTR3	28.66	26.56	27.61	2.49	2.61	2.55
	S3FCTR3	25.89	22.50	24.19	2.62	2.84	2.73
	S4FCTR3	36.01	32.20	34.10	2.52	2.73	2.62
	S5FCTR3	36.29	34.51	35.40	2.44	2.66	2.55

Fonte: Autora, 2020.

A representação gráfica dos resultados de tempo de decaimento inicial, EDT (s), para a Cantina Geral sem condicionamento acústico, para a frequência de 1000Hz, são representados na Figura 26, onde é possível observar que a fonte 3 é a emissora do ruído.

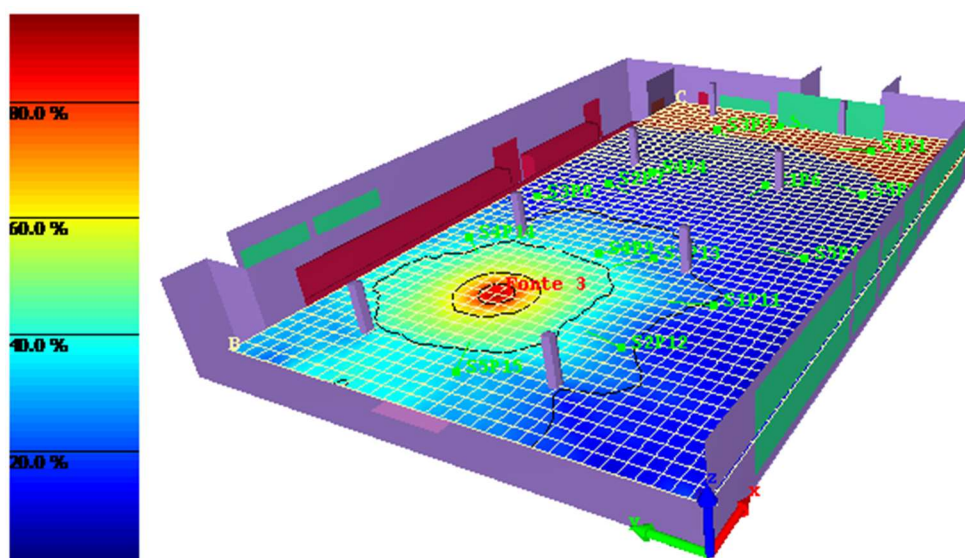
Figura 26. Distribuição EDT (s), para 1000Hz na Cantina Geral sem condicionamento acústico



Fonte: Autora, 2020.

Ainda na simulação da Cantina Geral sem condicionamento acústico, foi possível obter a representação gráfica da definição, D_{50} (%), a qual é representada pela Figura 27, onde é possível observar que as posições do sonômetro estão fora da área de maior percentagem de distinção da fala.

Figura 27. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Geral sem condicionamento acústico

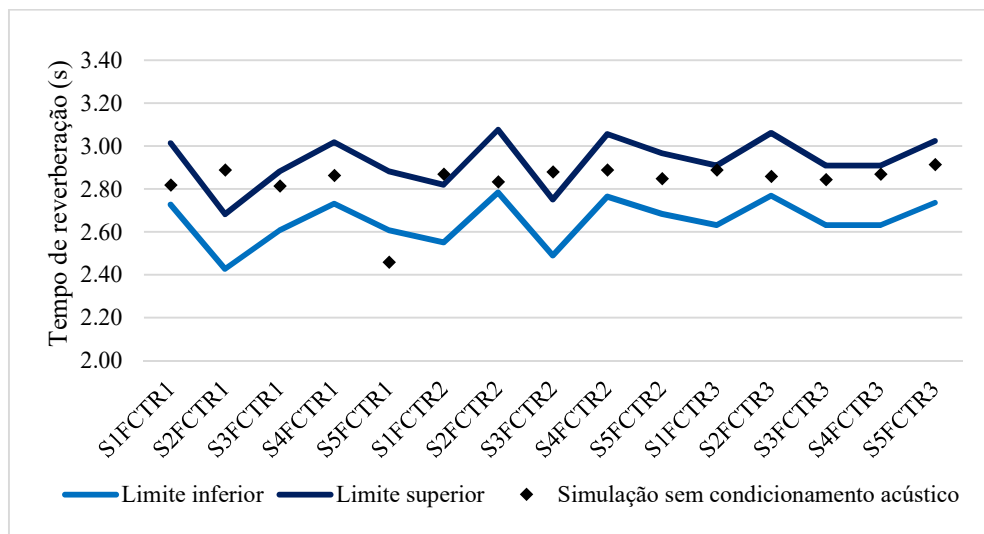


Fonte: Autora, 2020.

Afim de validar os resultados da simulação da Cantina Geral sem condicionamento acústico, comparou-se os valores medidos *in situ* de tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , e EDT com os valores simulados do ambiente sem condicionamento. Determinou-se um intervalo entre os valores medidos *in situ* a partir do JND (diferença mínima perceptível). Conforme recomendações da ISO 3382-1, o limite inferior corresponde a -5% do valor medido e o limite superior corresponde a +5% do valor medido. Para o tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , foram feitas médias aritméticas dos resultados simulados, entre as frequências 500Hz e 1000Hz. Para os resultados das simulações do tempo de decaimento inicial (EDT) foram feitas medias aritméticas entre as frequências 500Hz e 1000Hz, conforme recomenda a ISO 3382-1 (p.13) “O número único médio em frequência denota a média aritmética para as bandas de oitava”.

Os resultados de tempo de reverberação, T_{20} , simulados para a Cantina Geral, comparados aos limites superior e inferior conforme JND (diferença mínima perceptível), são apresentados na Figura 28, onde é possível observar que a maioria dos valores simulados ficou entre os limites.

Figura 28. Validação dos resultados simulados T_{20} (s) Cantina Geral

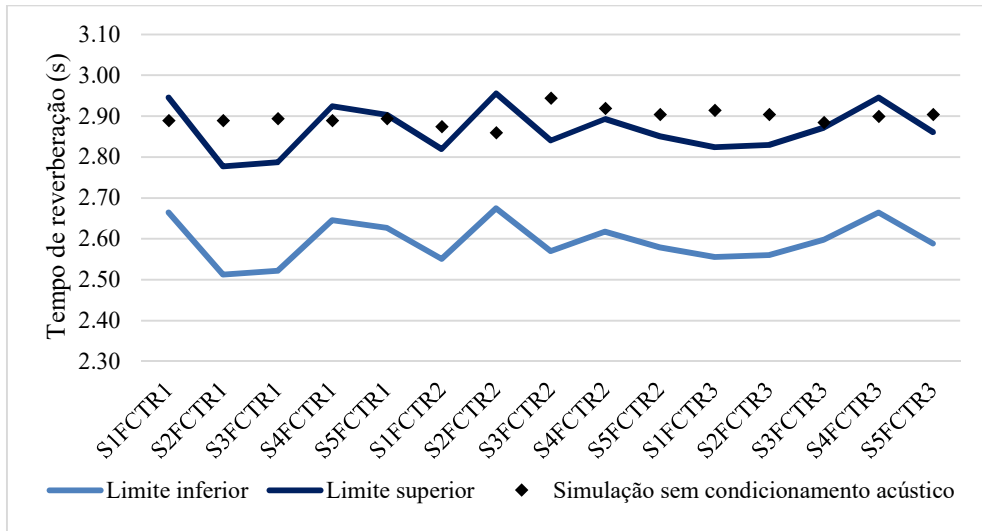


Fonte: Autora, 2020.

Os resultados simulados para o tempo de reverberação, T_{30} , são apresentados na Figura 29, é possível observar que os valores ficaram próximos ou acima do limite superior. Essa diferença pode ocorrer em função dos valores de coeficiente de absorção utilizados, dados estes retirados de livros que utilizam as medições da ISO 354, estas medições não são precisas o suficiente

para obter resultados de simulação com uma incerteza abaixo do JND do tempo de reverberação (VORLANDER, 2013).

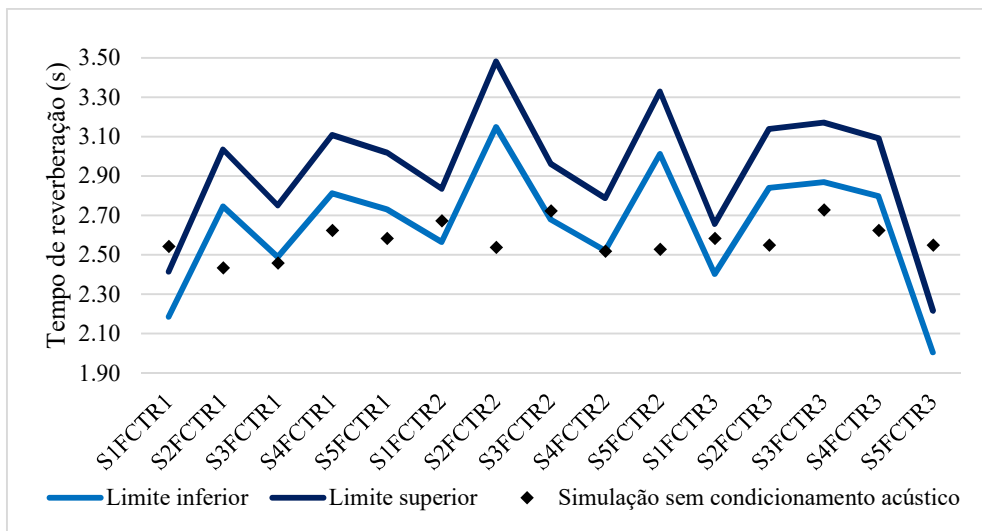
Figura 29. Validação dos resultados simulados T_{30} (s) Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

A Figura 30 apresenta os resultados das simulações do EDT (s) da Cantina Geral sem condicionamento acústico, pode-se observar que os valores obtidos ficaram abaixo do limite inferior, calculado pelo JND (diferença mínima perceptível), também podendo ser justificado em função dos coeficientes de absorção adotados para as superfícies.

Figura 30. Validação dos resultados simulados EDT (s) Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

Foram simuladas quatro possíveis soluções para a Cantina Geral, como citado no item 4.3. A seguir estão apresentados os resultados das simulações destas soluções. O Quadro 9 apresenta os valores para os tempos de reverberação, T_{20} e T_{30} , foram feitas as médias entre as frequências 500Hz, 1000Hz e 2000Hz, conforme citado anteriormente, o valor requerido pelo Decreto Lei nº96/2008 para a Cantina Geral é de 1,85s, assim, o forro 1 não é uma boa solução, mesmo tendo valores finais abaixo dos medidos.

Quadro 9. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com forro 1

Fonte	Posição sonómetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	2.52	2.49	2.16	2.39	2.66	2.57	2.28	2.50
	S2FCTR1	2.42	2.56	2.09	2.36	2.58	2.74	2.18	2.50
	S3FCTR1	2.48	2.55	2.10	2.38	2.59	2.60	2.19	2.46
	S4FCTR1	2.58	2.51	2.18	2.42	2.63	2.56	2.20	2.46
	S5FCTR1	2.58	2.52	2.18	2.43	2.73	2.67	2.35	2.58
Fonte 2	S1FCTR2	2.46	2.43	2.16	2.35	2.55	2.56	2.37	2.49
	S2FCTR2	2.47	2.47	2.17	2.37	2.60	2.55	2.32	2.49
	S3FCTR2	2.56	2.57	2.24	2.46	2.80	2.75	2.36	2.64
	S4FCTR2	2.45	2.51	2.18	2.38	2.59	2.57	2.26	2.47
	S5FCTR2	2.38	2.46	2.14	2.33	2.58	2.59	2.17	2.45
Fonte 3	S1FCTR3	2.46	2.56	2.14	2.39	2.67	2.62	2.44	2.58
	S2FCTR3	2.55	2.52	2.18	2.42	2.78	2.56	2.41	2.58
	S3FCTR3	2.46	2.45	2.18	2.36	2.67	2.51	2.46	2.55
	S4FCTR3	2.47	2.53	2.22	2.41	2.66	2.61	2.41	2.56
	S5FCTR3	2.61	2.56	2.14	2.44	2.73	2.57	2.32	2.54

Fonte: Autora, 2020.

O Quadro 10 apresenta os valores simulados para o tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , com a solução adotada denominada forro 2, foram realizadas médias aritméticas entre as frequências afim de ter um resultado global para comparação com o requerido pelo Decreto Lei nº96/2008. Para o tempo de reverberação T_{20} , é possível observar que os resultados finais ficaram muito próximos do requerido, 1,85s, em contrapartida os valores para T_{30} ficaram acima do recomendado.

Quadro 10. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com forro 2

Fonte	Posição sonómetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	2.37	2.04	1.39	1.93	2.65	2.23	1.39	2.09
	S2FCTR1	2.32	1.98	1.35	1.88	2.61	2.39	1.50	2.17
	S3FCTR1	2.15	1.95	1.33	1.81	2.55	2.10	1.40	2.02
	S4FCTR1	2.39	1.91	1.35	1.88	2.68	2.14	1.44	2.09
	S5FCTR1	2.24	1.97	1.32	1.84	2.47	2.29	1.47	2.08
Fonte 2	S1FCTR2	2.39	1.96	1.36	1.90	2.55	2.49	1.83	2.29
	S2FCTR2	2.31	2.23	1.35	1.96	2.88	2.56	1.70	2.38
	S3FCTR2	2.21	1.98	1.38	1.86	2.49	2.35	1.58	2.14
	S4FCTR2	2.32	2.07	1.33	1.91	2.42	2.28	1.46	2.05
	S5FCTR2	2.38	1.96	1.31	1.88	2.86	2.07	1.42	2.12
Fonte 3	S1FCTR3	2.39	1.93	1.33	1.88	2.85	2.34	2.42	2.54
	S2FCTR3	2.39	1.94	1.35	1.89	2.45	2.01	1.92	2.13
	S3FCTR3	2.39	2.04	1.39	1.94	2.66	1.97	1.38	2.00
	S4FCTR3	2.44	1.95	1.58	1.99	2.94	2.16	1.74	2.28
	S5FCTR3	2.25	1.89	1.31	1.82	2.63	2.26	1.40	2.10

Fonte: Autora, 2020.

Os resultados das simulações para T_{20} e T_{30} para a Cantina Geral com a melhoria denominada de forro 3 estão apresentados no Quadro 11, os valores médios estão abaixo dos valores medidos, porém não satisfazem o recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008, assim não é considerada uma solução relevante para o estudo.

Quadro 11. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com forro 3

Fonte	Posição sonómetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	2.26	2.08	1.61	1.98	2.58	2.18	1.68	2.15
	S2FCTR1	2.14	2.31	1.55	2.00	2.64	2.40	1.61	2.22
	S3FCTR1	2.39	2.02	1.56	1.99	2.69	2.37	1.64	2.23
	S4FCTR1	2.55	2.24	1.59	2.13	2.70	2.33	1.74	2.26
	S5FCTR1	2.35	2.11	1.54	2.00	2.55	2.37	1.63	2.18
Fonte 2	S1FCTR2	2.39	2.06	1.61	2.02	2.76	2.18	1.81	2.25
	S2FCTR2	2.26	2.23	1.65	2.05	2.62	2.29	1.73	2.21
	S3FCTR2	2.24	2.21	1.61	2.02	2.71	2.25	1.83	2.26
	S4FCTR2	2.25	2.01	1.58	1.95	2.43	2.25	1.66	2.11
	S5FCTR2	2.27	2.23	1.61	2.04	2.53	2.34	1.71	2.19
Fonte 3	S1FCTR3	2.66	2.10	1.69	2.15	2.74	2.20	1.84	2.26
	S2FCTR3	2.33	2.20	1.62	2.05	2.63	2.15	1.80	2.19
	S3FCTR3	2.37	2.05	1.62	2.01	2.58	2.29	1.86	2.24
	S4FCTR3	2.48	2.27	1.60	2.12	2.59	2.49	1.77	2.28
	S5FCTR3	2.34	2.05	1.58	1.99	2.67	2.38	1.74	2.26

Fonte: Autora, 2020.

A última simulação foi realizada com painéis BCA (*Broadband Compact Absorber*), os resultados desta solução estão apresentados no Quadro 12, onde é possível observar que os resultados médios de cada ponto de medição para T_{20} e T_{30} são satisfatórios, pois ficam abaixo dos valores medidos e atendem o recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008.

Quadro 12. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Geral com BCA

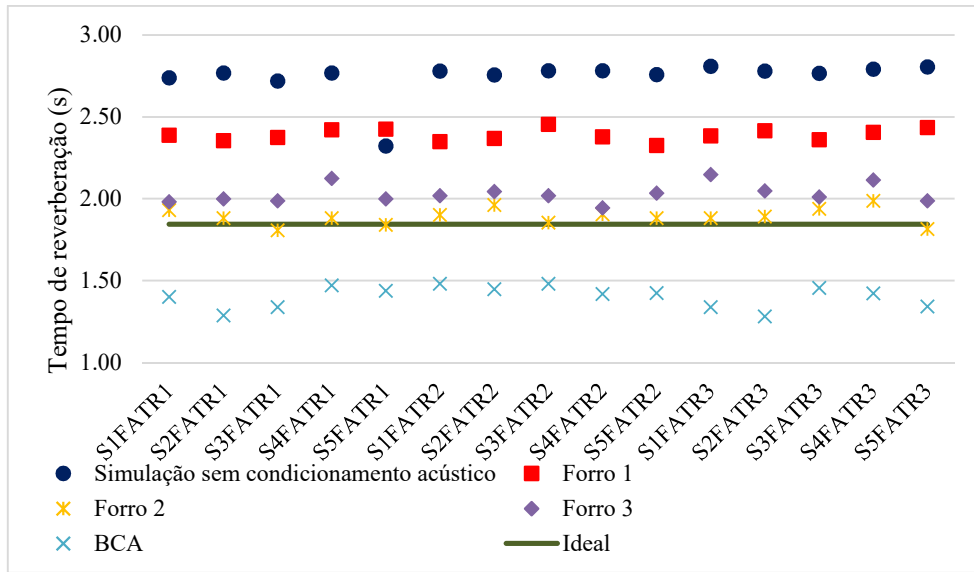
Fonte	Posição sonómetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	1.46	1.40	1.35	1.40	1.46	1.28	1.49	1.41
	S2FCTR1	1.33	1.27	1.27	1.29	1.52	1.33	1.34	1.40
	S3FCTR1	1.43	1.42	1.17	1.34	1.70	1.56	1.35	1.54
	S4FCTR1	1.41	1.76	1.25	1.47	1.57	1.82	1.56	1.65
	S5FCTR1	1.45	1.47	1.40	1.44	3.99	1.61	1.47	2.36
Fonte 2	S1FCTR2	1.62	1.50	1.33	1.48	1.49	1.87	1.84	1.73
	S2FCTR2	1.46	1.54	1.35	1.45	1.80	1.57	1.56	1.64
	S3FCTR2	1.53	1.50	1.42	1.48	1.83	1.71	1.64	1.73
	S4FCTR2	1.40	1.47	1.39	1.42	1.47	1.63	1.42	1.51
	S5FCTR2	1.53	1.41	1.34	1.43	1.67	1.62	1.43	1.57
Fonte 3	S1FCTR3	1.40	1.43	1.19	1.34	1.42	1.36	1.41	1.40
	S2FCTR3	1.29	1.40	1.16	1.28	1.49	1.74	1.57	1.60
	S3FCTR3	1.45	1.50	1.42	1.46	1.66	1.35	1.60	1.54
	S4FCTR3	1.45	1.44	1.38	1.42	1.66	1.41	1.83	1.63
	S5FCTR3	1.40	1.36	1.27	1.34	1.41	1.58	1.53	1.51

Fonte: Autora, 2020.

Para melhor visualização de todos os resultados de simulação de tempo de reverberação, a Figura 31 apresenta todos os resultados para o T_{20} , do ambiente sem condicionamento acústico, das soluções adotadas e do tempo de reverberação recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008.

É possível observar que a solução acústica forro 2 e forro 3 ficaram próximas ao recomendado, para o tempo de reverberação T_{20} , conforme Decreto Lei nº96/2008, entretanto a solução acústica com painéis em BCA (*Broadband Compact Absorber*) apresentou entre todos, os melhores resultados para o tempo de reverberação.

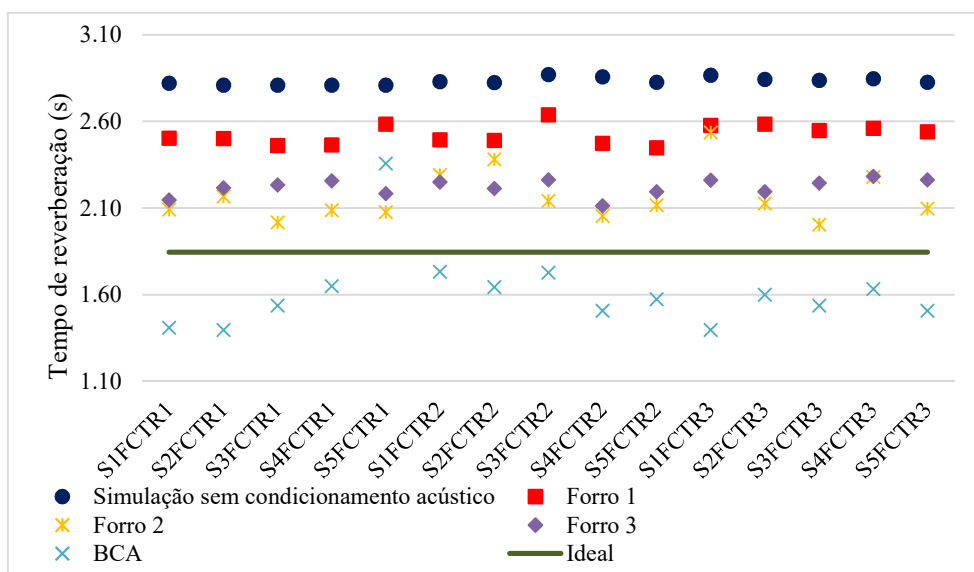
Figura 31. Resultados simulações T_{20} (s) Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

Afim de facilitar a interpretação dos resultados simulados para a Cantina Geral relacionados ao tempo de reverberação T_{30} , gerou-se um gráfico comparativo entre os resultados, como mostra a Figura 32. É possível verificar que os resultados simulados para as três soluções com forro não foram satisfatórios, pois ficaram com valores acima do recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008, porém a solução em BCA apresenta valores abaixo do recomendado, logo sendo uma boa solução acústica para o ambiente.

Figura 32. Resultados simulações T_{30} (s) Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

Os resultados das simulações com a solução acústica forro 1 para a Definição, D_{50} (%), e tempo de decaimento inicial, EDT (s), são apresentados no Quadro 13, observando a coluna dos valores médios da Definição (D_{50}), conclui-se que esta solução não melhora a distinção de fala do ambiente, pois a maioria dos resultados ficaram abaixo de 50%. Em contrapartida os valores de tempo de decaimento inicial (EDT) quando comparados aos valores simulados sem condicionamento acústico apresentam uma significativa melhora.

Quadro 13. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Geral com forro 1

Fonte	Posição sonómetro	D_{50} (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	40.78	35.44	38.11	2.03	2.18	2.10
	S2FCTR1	57.13	54.20	55.66	1.96	1.99	1.97
	S3FCTR1	60.93	58.25	59.59	1.94	1.96	1.95
	S4FCTR1	36.17	34.59	35.38	2.17	2.37	2.27
	S5FCTR1	29.96	27.27	28.61	2.06	2.27	2.16
Fonte 2	S1FCTR2	36.96	32.48	34.72	2.16	2.32	2.24
	S2FCTR2	27.79	26.96	27.37	2.08	2.27	2.17
	S3FCTR2	25.43	23.22	24.32	2.17	2.22	2.19
	S4FCTR2	39.02	38.97	38.99	1.89	2.08	1.98
	S5FCTR2	42.49	43.33	42.91	2.01	2.18	2.09
Fonte 3	S1FCTR3	27.77	25.57	26.67	2.11	2.21	2.16
	S2FCTR3	34.07	30.86	32.46	2.11	2.18	2.14
	S3FCTR3	29.19	24.77	26.98	2.14	2.31	2.22
	S4FCTR3	39.72	38.02	38.87	2.16	2.31	2.23
	S5FCTR3	40.97	41.92	41.44	2.02	2.13	2.07

Fonte: Autora, 2020.

O Quadro 14 mostra os resultados de Definição (D_{50}) e tempo de decaimento inicial (EDT) das simulações com a solução acústica forro 2, para algumas posições de sonómetro o resultado de D_{50} não foram satisfatórios, ficando abaixo dos 50% recomendados. Os resultados para EDT quando comparados aos valores medidos apresentam significativas melhoras.

Quadro 14. Resultados simulação D₅₀ e EDT Cantina Geral com forro 2

Fonte	Posição sonômetro	D ₅₀ (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	50.08	48.43	49.25	1.50	1.37	1.43
	S2FCTR1	67.94	70.56	69.25	1.42	1.32	1.37
	S3FCTR1	72.36	71.70	72.03	1.32	1.20	1.26
	S4FCTR1	45.34	47.40	46.37	1.63	1.53	1.58
	S5FCTR1	43.69	45.87	44.78	1.60	1.46	1.53
Fonte 2	S1FCTR2	49.68	49.93	49.80	1.40	1.38	1.39
	S2FCTR2	34.90	39.14	37.02	1.49	1.32	1.40
	S3FCTR2	31.67	34.04	32.85	1.46	1.42	1.44
	S4FCTR2	52.19	54.59	53.39	1.41	1.21	1.31
	S5FCTR2	53.64	56.71	55.17	1.43	1.25	1.34
Fonte 3	S1FCTR3	37.35	34.44	35.89	1.51	1.51	1.51
	S2FCTR3	47.62	48.51	48.06	1.50	1.45	1.47
	S3FCTR3	40.34	40.44	40.39	1.51	1.59	1.55
	S4FCTR3	48.89	51.07	49.98	1.61	1.51	1.56
	S5FCTR3	50.78	54.42	52.6	1.39	1.40	1.39

Fonte: Autora, 2020.

Os resultados das simulações da Cantina Geral com a solução acústica forro 3, são apresentadas no Quadro 15, deste é possível observar que os valores de Definição foram bem diferentes entre as posições de sonômetro, e grande parte deles abaixo dos 50% considerados satisfatórios. Os valores de EDT se mostraram abaixo do medido, porém com valores acima dos resultados das simulações com o forro 2, mostrado anteriormente no Quadro 14.

Quadro 15. Resultados simulação D₅₀ e EDT Cantina Geral com forro 3

Fonte	Posição sonômetro	D ₅₀ (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	47.95	44.46	46.20	1.66	1.55	1.60
	S2FCTR1	64.75	66.22	65.48	1.48	1.38	1.43
	S3FCTR1	71.84	67.13	69.48	1.47	1.48	1.47
	S4FCTR1	41.65	42.83	42.24	1.84	1.77	1.80
	S5FCTR1	40.60	36.53	38.56	1.67	1.71	1.69
Fonte 2	S1FCTR2	43.84	46.38	45.11	1.81	1.67	1.74
	S2FCTR2	35.47	32.99	34.23	1.62	1.6	1.61
	S3FCTR2	32.13	30.45	31.29	1.65	1.62	1.63
	S4FCTR2	48.85	50.23	49.54	1.44	1.45	1.44
	S5FCTR2	53.01	51.2	52.10	1.49	1.59	1.54
Fonte 3	S1FCTR3	32.58	32.82	32.7	1.58	1.71	1.64
	S2FCTR3	39.80	39.8	39.8	1.61	1.67	1.64
	S3FCTR3	39.06	36.24	37.6	1.76	1.77	1.76
	S4FCTR3	48.50	44.06	46.28	1.77	1.71	1.74
	S5FCTR3	47.43	44.4	45.91	1.63	1.54	1.58

Fonte: Autora, 2020.

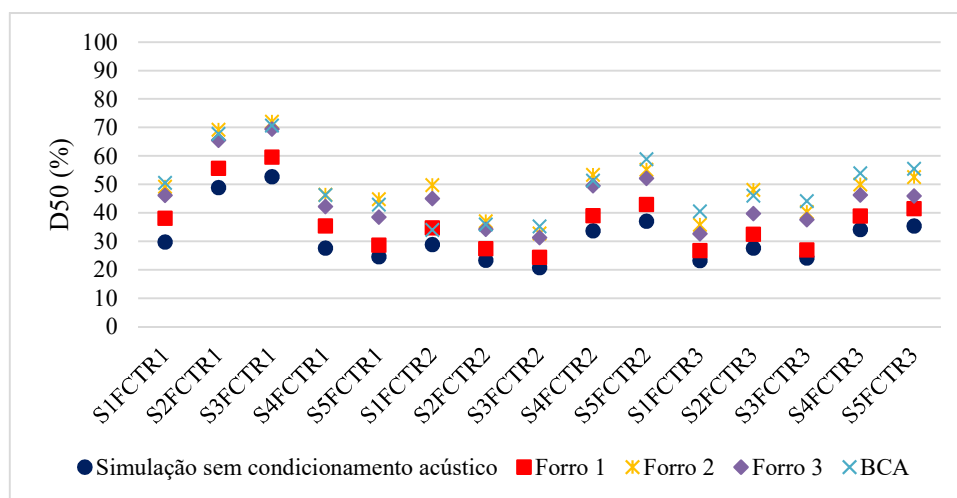
O Quadro 16 apresenta os resultados obtidos da simulação com solução em BCA, por este quadro visualiza-se que os valores de Definição em grande parte não foram satisfatórios, ou seja, ficaram abaixo dos 50% recomendados. Entretanto os resultados de tempo de decaimento inicial (EDT) foram em sua maioria satisfatórios, e abaixo dos valores medidos da Cantina Geral sem condicionamento acústico.

Quadro 16. Resultados simulação D₅₀ e EDT Cantina Geral com BCA

Fonte	Posição sonômetro	D ₅₀ (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FCTR1	49.43	51.80	50.61	1.05	1.01	1.03
	S2FCTR1	67.88	67.59	67.73	0.94	0.99	0.97
	S3FCTR1	72.63	68.80	70.72	1.01	1.03	1.02
	S4FCTR1	46.54	46.01	46.28	1.35	1.38	1.37
	S5FCTR1	44.81	40.93	42.87	1.08	1.16	1.12
Fonte 2	S1FCTR2	34.97	33.18	34.07	1.46	1.43	1.44
	S2FCTR2	38.66	33.18	35.92	1.21	1.20	1.20
	S3FCTR2	37.47	33.18	35.32	1.30	1.35	1.32
	S4FCTR2	50.58	52.06	51.32	1.12	1.14	1.13
	S5FCTR2	58.15	59.55	58.85	1.14	1.12	1.13
Fonte 3	S1FCTR3	41.15	40.05	40.60	1.06	1.14	1.10
	S2FCTR3	47.87	44.30	46.08	1.04	1.13	1.09
	S3FCTR3	43.68	44.70	44.19	1.20	1.17	1.18
	S4FCTR3	55.20	52.61	53.91	1.05	1.16	1.11
	S5FCTR3	55.92	55.21	55.56	1.04	1.05	1.04

Fonte: Autora, 2020.

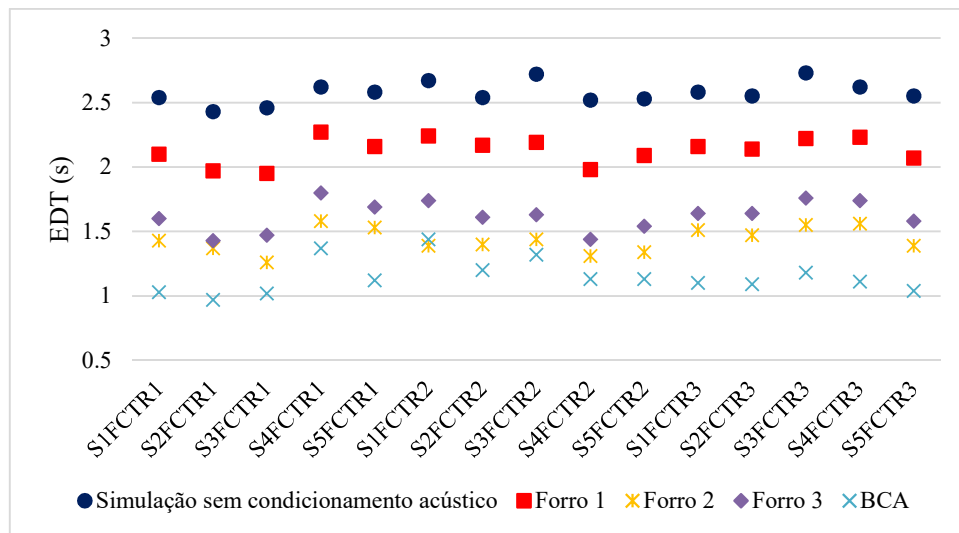
Para uma melhor análise dos resultados das simulações das soluções acústicas, a Figura 33 apresenta os valores anteriormente citados. É possível observar que as quatro soluções sugeridas apresentam melhoras nos resultados de Definição (D₅₀) quando comparadas ao ambiente sem condicionamento acústico.

Figura 33. Resultados D₅₀ (%) Cantina Geral

Fonte: Autora, 2020.

Os resultados de tempo de decaimento inicial (EDT) de todas as simulações realizadas, com e sem condicionamento acústico são apresentados na Figura 34. Todas as soluções propostas apresentam significativa melhora do EDT quando comparados ao valor inicial, do ambiente sem condicionamento acústico, onde os resultados das soluções forro 2 e forro 3 ficaram bem próximas entre si, e a solução em BCA apresentou melhores resultados.

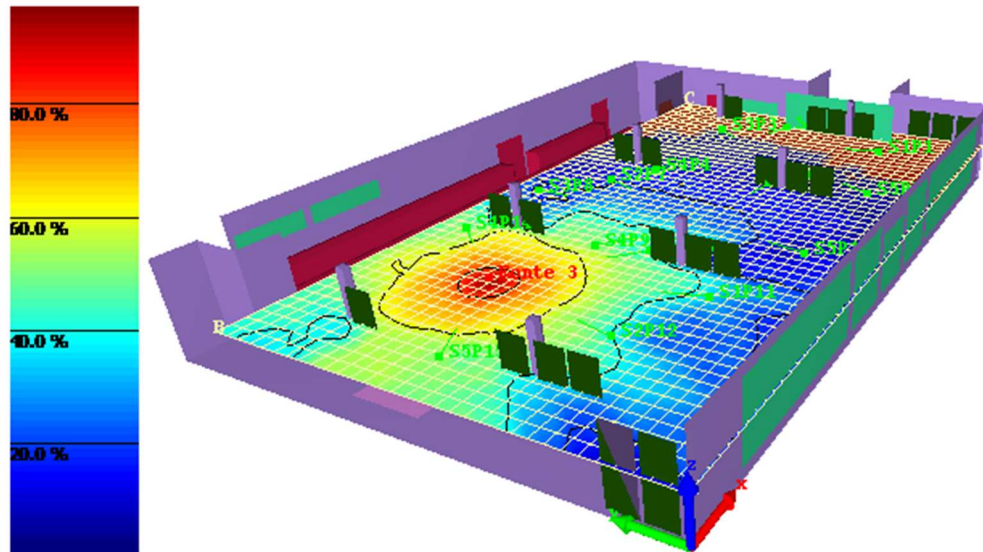
Figura 34. Resultados EDT (s) Cantina Geral



Fonte: Autora, 2020.

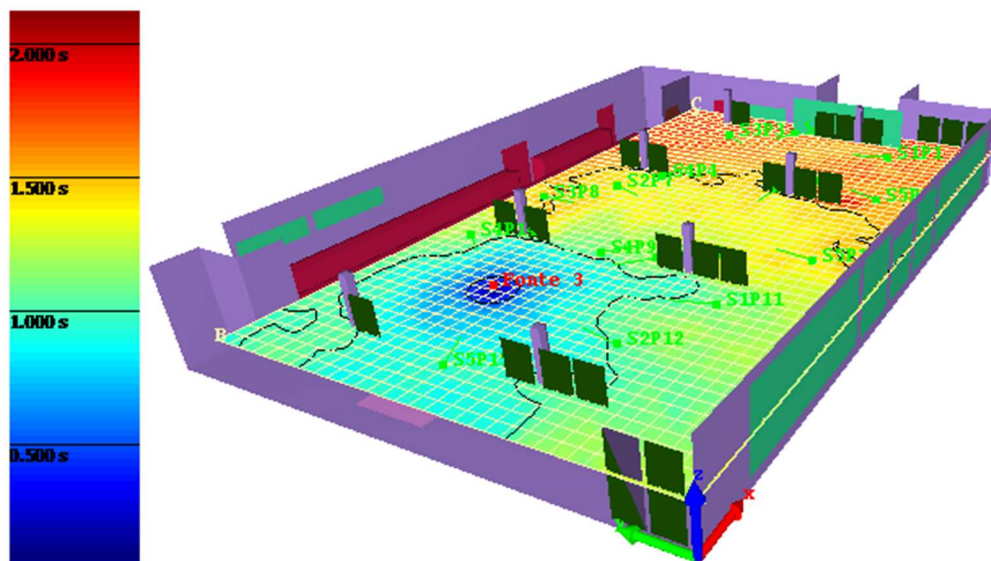
As Figura 35 e Figura 36 apresentam os resultados da distribuição da Definição (D_{50}) e do tempo de decaimento inicial (EDT), para a Cantina Geral, referentes a solução acústica *Broadband Compact Absorber* (BCA), para a frequência de 1000Hz. É possível observar que a solução em BCA aumentou a área de distinção da fala perto da fonte sonora.

Figura 35. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Geral com solução acústica BCA



Fonte: Autora, 2020.

Figura 36. Resultado EDT (s), para 1000Hz na Cantina Geral com solução acústica BCA



Fonte: Autora, 2020.

5.2.2 CANTINA ALTERNATIVA

Os resultados das simulações da Cantina Alternativa sem condicionamento acústico para o tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , estão apresentados no Quadro 17.

Quadro 17. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa

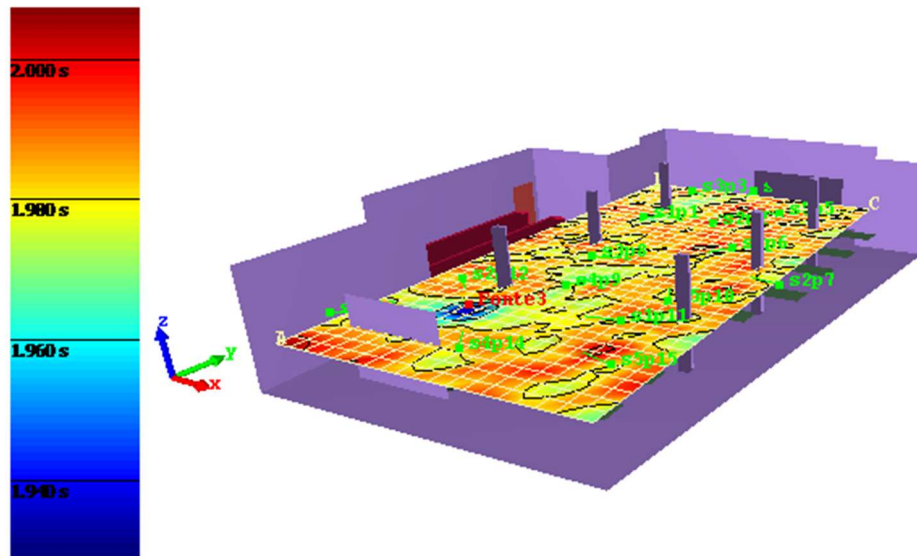
Fonte	Posição sonómetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	2.32	2.02	1.97	2.10	2.54	2.00	1.98	2.17
	S2FATR1	2.18	1.96	2.00	2.05	2.35	2.02	1.98	2.12
	S3FATR1	2.36	1.93	1.96	2.08	2.59	2.01	1.97	2.19
	S4FATR1	2.26	2.03	2.00	2.10	2.57	2.06	2.00	2.21
	S5FATR1	2.23	1.97	2.01	2.07	2.66	1.99	2.00	2.22
Fonte 2	S1FATR2	2.21	1.98	2.00	2.06	2.88	2.04	1.99	2.30
	S2FATR2	2.19	2.00	1.98	2.06	2.36	2.03	1.98	2.12
	S3FATR2	2.37	2.02	1.99	2.13	2.47	2.02	1.98	2.16
	S4FATR2	2.32	1.99	2.01	2.11	2.46	2.05	1.99	2.17
	S5FATR2	2.44	2.02	2.00	2.15	2.65	2.06	1.99	2.23
Fonte 3	S1FATR3	2.26	1.99	1.96	2.07	2.42	2.02	1.98	2.14
	S2FATR3	2.11	1.95	1.98	2.01	2.18	2.03	1.99	2.07
	S3FATR3	2.18	1.97	1.98	2.04	2.63	1.97	1.98	2.19
	S4FATR3	2.20	2.01	1.96	2.06	2.38	2.02	1.98	2.13
	S5FATR3	2.39	1.97	1.98	2.11	2.34	2.03	2.00	2.12

Fonte: Autora, 2020.

Segundo o Decreto Lei nº 96/2008 o tempo de reverberação varia em função do volume do ambiente, para a Cantina Alternativa o valor ideal conforme recomenda o decreto é de 1.44s, pelo quadro anterior é possível observar que os valores medidos, para T_{20} e T_{30} são superiores as recomendações.

A Figura 37 mostra a distribuição do tempo de reverberação T_{30} (s) da Cantina Alternativa sem condicionamento acústico, estes resultados são referentes a frequência de 2000Hz e a fonte 3 como emissora do ruído para o cálculo.

Figura 37. Distribuição T_{30} (s), para 2000Hz na Cantina Alternativa sem condicionamento acústico



Fonte: Autora, 2020.

O Quadro 18 mostra os resultados da simulação da Definição, D_{50} , e do tempo de decaimento inicial (EDT) para a Cantina Alternativa sem condicionamento acústico. Assim como na Cantina Geral, os valores de D_{50} foram apenas simulados, e pelos resultados apresentados é possível observar que a maioria dos valores estão abaixo do recomendado como ideal, 50%.

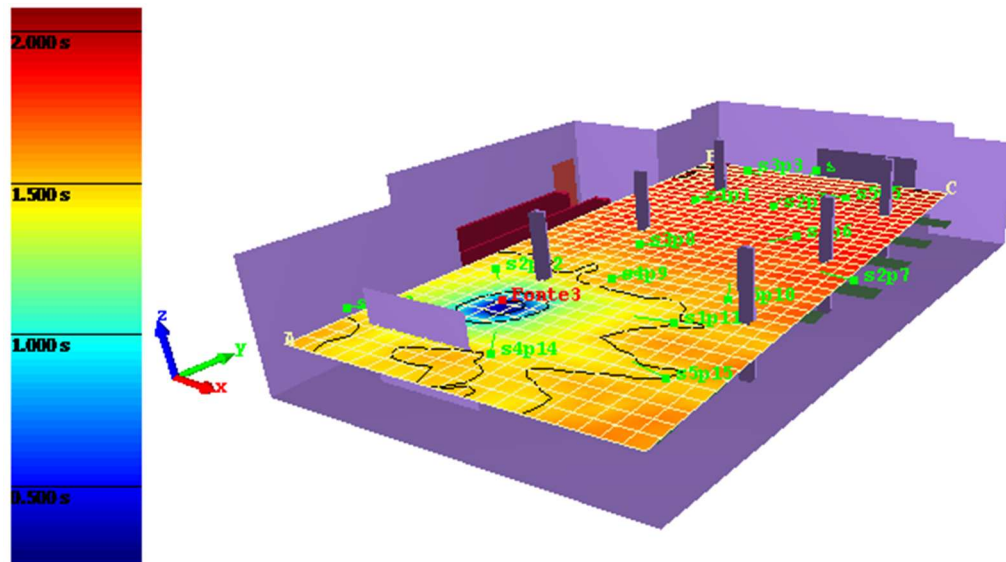
Quadro 18. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa

Fonte	Posição sonômetro	D_{50} (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	36.05	26.8	31.42	1.66	1.86	1.76
	S2FATR1	42.31	31.69	37.00	1.61	1.95	1.78
	S3FATR1	31.66	19.98	25.82	1.61	1.95	1.78
	S4FATR1	29.60	20.57	25.08	1.70	1.94	1.82
	S5FATR1	37.20	25.15	31.17	1.67	1.94	1.80
Fonte 2	S1FATR2	43.58	32.35	37.96	1.46	1.76	1.61
	S2FATR2	32.30	22.94	27.62	1.53	1.87	1.7
	S3FATR2	31.58	21.72	26.65	1.58	1.94	1.76
	S4FATR2	22.62	13.75	18.18	1.70	1.96	1.83
	S5FATR2	22.65	14.90	18.77	1.57	1.98	1.77
Fonte 3	S1FATR3	50.98	41.55	46.26	1.41	1.67	1.54
	S2FATR3	68.83	54.92	61.87	1.27	1.62	1.44
	S3FATR3	59.75	48.48	54.11	1.40	1.75	1.57
	S4FATR3	61.70	49.64	55.67	1.42	1.71	1.56
	S5FATR3	53.44	41.51	47.47	1.45	1.72	1.58

Fonte: Autora, 2020.

A representação gráfica dos resultados de tempo de decaimento inicial, EDT (s), para a Cantina Alternativa sem condicionamento acústico, a frequência de 1000Hz, são representados na Figura 38.

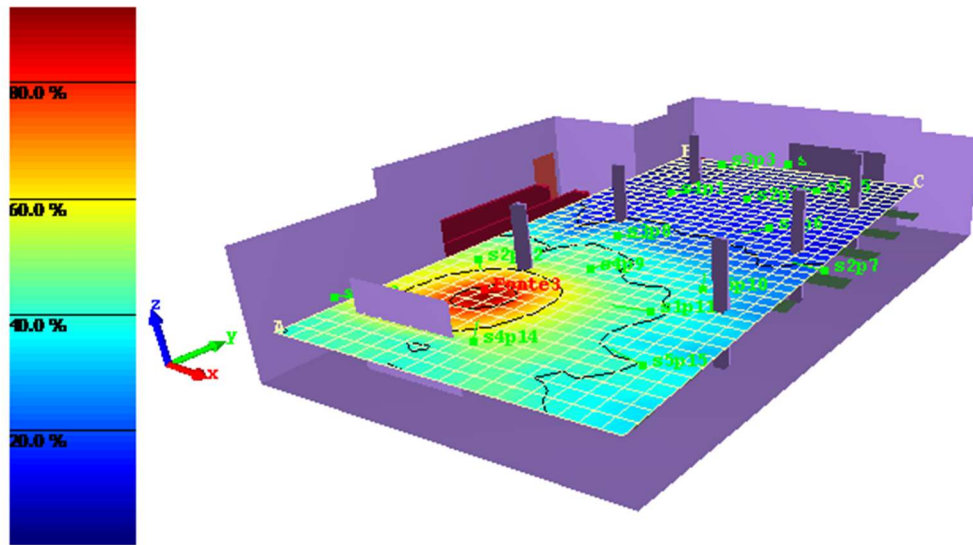
Figura 38. Distribuição EDT (s), para 1000Hz na Cantina Alternativa sem condicionamento acústico



Fonte: Autora, 2020.

Ainda na simulação da Cantina Alternativa sem condicionamento acústico, foi possível obter a representação gráfica da definição, D_{50} (%), a qual é representada pela Figura 39. É possível observar que o posicionamento dos sonômetros relacionados a fonte ativa (fonte 3), estão fora da região de maior de compreensão de fala, ou seja maior percentagem de D_{50} .

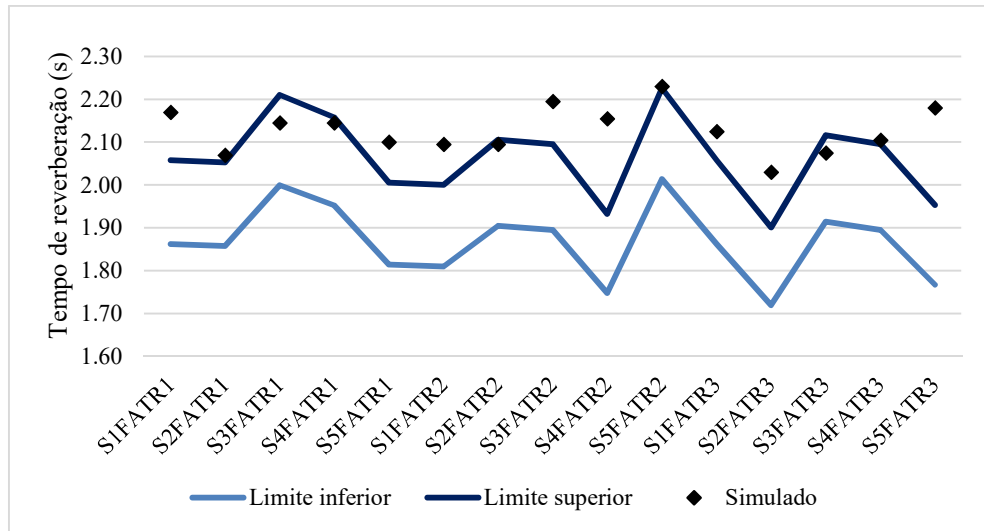
Figura 39. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Alternativa sem condicionamento acústico



Fonte: Autora, 2020.

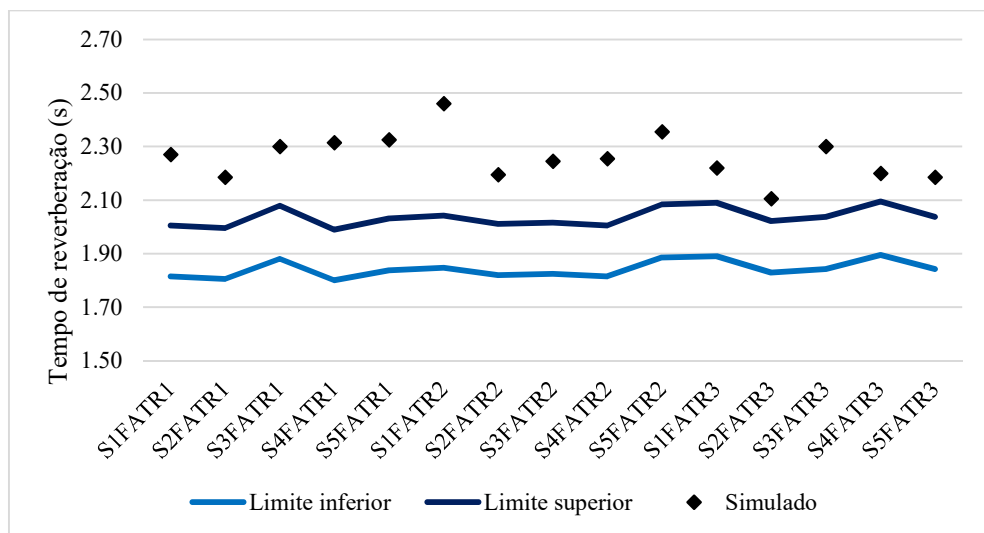
Assim como nos resultados da Cantina Geral, validaram-se os resultados da simulação da Cantina Alternativa sem condicionamento acústico, comparando os valores medidos de tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , e EDT. Esta validação decorreu a partir do intervalo entre os valores medidos a partir do JND (diferença mínima perceptível), conforme recomendações da ISO 3382-1, onde o limite inferior corresponde a -5% do valor medido e o limite superior corresponde a +5% do valor medido.

Os resultados de tempo de reverberação, T_{20} , simulados para a Cantina Alternativa, comparados aos limites superior e inferior conforme JND (diferença mínima perceptível), são apresentados na Figura 40. É possível observar que a maioria dos pontos ficaram fora do limite superior, essa diferença pode ocorrer em função dos valores de coeficiente de absorção utilizados, quais não são precisos o suficiente para simulações acústicas (VORLANDER, 2013).

Figura 40. Validação dos resultados simulados T_{20} (s) Cantina Alternativa

Fonte: Autora, 2020.

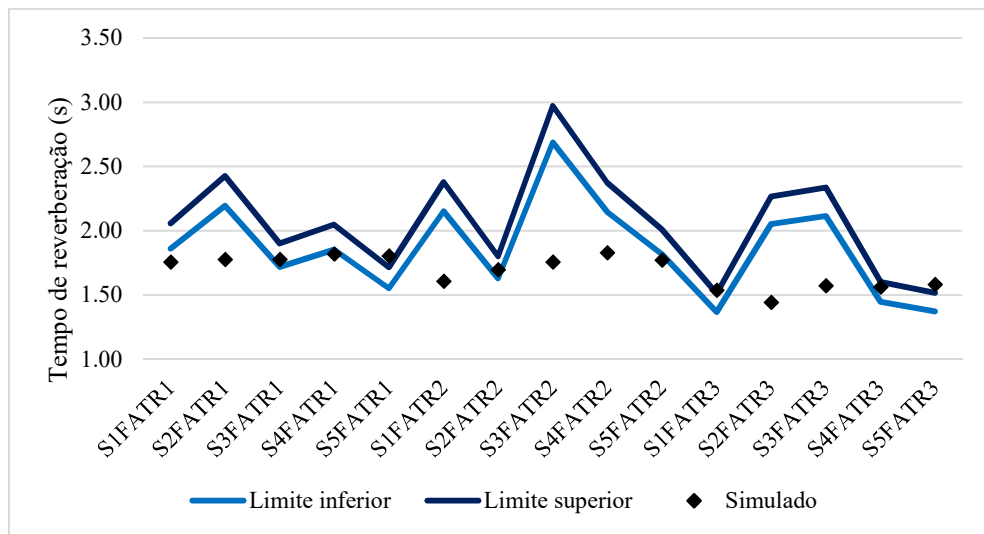
Assim como no tempo de reverberação T_{20} , para o T_{30} os valores também ficaram acima do limite superior, como apresenta a Figura 41, além dos coeficientes de absorção não apresentarem precisão suficiente.

Figura 41. Validação dos resultados simulados T_{30} (s) Cantina Alternativa

Fonte: Autora, 2020.

A validação dos resultados do EDT da simulação da Cantina Alternativa sem condicionamento acústico, é representada na pela Figura 42. Observa-se que os valores ficaram abaixo do mínimo, conforme as recomendações da diferença mínima perceptível (JND).

Figura 42. Validação dos resultados simulados EDT (s) Cantina Alternativa



Fonte: Autora, 2020.

Como já dito anteriormente, o valor recomendado pelo Decreto Lei nº 96/2008 para a Cantina Alternativa, é de 1,44s. Os valores medidos e simulados da Cantina Alternativa superam este valor, portanto foram realizadas 4 simulações de soluções acústicas para este ambiente.

A primeira solução denominada de forro 1, apresentou resultados satisfatórios quando comparados ao sem condicionamento, mas sem resultados satisfatórios quando relacionados ao Decreto Lei nº96/2008. O Quadro 19 apresenta os resultados obtidos das simulações com as características do forro 1.

Quadro 19. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa com forro 1

Fonte	Posição sonómetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	2.24	1.85	1.59	1.89	2.39	1.90	1.58	1.96
	S2FATR1	2.06	1.72	1.60	1.79	2.26	1.80	1.59	1.88
	S3FATR1	2.07	1.75	1.58	1.80	2.37	1.86	1.57	1.93
	S4FATR1	2.10	1.70	1.59	1.80	2.32	1.77	1.59	1.89
	S5FATR1	1.90	1.79	1.60	1.76	2.45	1.89	1.61	1.98
Fonte 2	S1FATR2	1.98	1.78	1.59	1.78	2.47	1.92	1.60	2.00
	S2FATR2	2.09	1.78	1.59	1.82	2.43	1.79	1.60	1.94
	S3FATR2	2.10	1.76	1.59	1.82	2.33	1.97	1.60	1.97
	S4FATR2	2.34	1.80	1.61	1.92	2.58	1.86	1.61	2.02
	S5FATR2	2.13	1.71	1.60	1.81	3.43	1.86	1.59	2.29
Fonte 3	S1FATR3	2.08	1.78	1.59	1.82	2.37	1.91	1.58	1.95
	S2FATR3	2.19	1.69	1.58	1.82	2.54	1.87	1.58	2.00
	S3FATR3	2.15	1.75	1.59	1.83	2.29	1.78	1.59	1.89
	S4FATR3	2.28	1.77	1.59	1.88	2.66	1.85	1.60	2.04
	S5FATR3	2.25	1.72	1.58	1.85	2.37	1.87	1.58	1.94

Fonte: Autora, 2020.

A segunda solução adotada foi o forro 2, os resultados das simulações com este forro absorvedor estão apresentados no Quadro 20, é possível observar que os valores dos tempos de reverberação, T_{20} e T_{30} , ficaram acima do recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008, e muito semelhantes aos resultados obtidos com a solução acústica forro 1.

Quadro 20. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa com forro 2

Fonte	Posição sonómetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	2.32	1.78	1.64	1.91	2.34	1.82	1.64	1.93
	S2FATR1	2.17	1.78	1.65	1.87	2.36	1.88	1.64	1.96
	S3FATR1	2.02	1.87	1.62	1.84	2.28	1.88	1.63	1.93
	S4FATR1	2.15	1.88	1.65	1.89	2.28	2.19	1.65	2.04
	S5FATR1	2.00	1.83	1.65	1.83	2.27	1.93	1.67	1.96
Fonte 2	S1FATR2	2.42	1.80	1.64	1.95	2.70	1.87	1.65	2.07
	S2FATR2	2.18	1.76	1.63	1.86	2.43	1.80	1.65	1.96
	S3FATR2	2.08	1.80	1.68	1.85	2.30	1.98	1.65	1.98
	S4FATR2	2.17	1.89	1.65	1.90	2.50	1.99	1.66	2.05
	S5FATR2	2.28	1.82	1.64	1.91	2.49	1.88	1.64	2.00
Fonte 3	S1FATR3	2.32	1.80	1.62	1.91	2.94	2.00	1.63	2.19
	S2FATR3	2.08	1.75	1.62	1.82	2.44	1.85	1.64	1.98
	S3FATR3	2.04	1.84	1.63	1.84	2.30	1.91	1.64	1.95
	S4FATR3	2.53	1.81	1.65	2.00	2.53	1.83	1.65	2.00
	S5FATR3	2.22	1.84	1.64	1.90	2.46	1.92	1.68	2.02

Fonte: Autora, 2020.

Os resultados obtidos da terceira solução acústica são apresentadas no Quadro 21, os resultados para os tempos de reverberação, T_{20} e T_{30} , são baixos quando comparados aos valores medidos, entretanto não satisfazem o recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008.

Quadro 21. Resultados simulações T₂₀ (s) e T₃₀ (s) Cantina Alternativa com forro 3

Fonte	Posição sonómetro	T ₂₀ (s)				T ₃₀ (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	2.14	1.70	1.49	1.78	2.59	1.71	1.47	1.92
	S2FATR1	2.18	1.70	1.47	1.78	2.19	1.76	1.49	1.81
	S3FATR1	2.11	1.73	1.47	1.77	2.36	1.89	1.50	1.92
	S4FATR1	2.01	1.64	1.48	1.71	2.15	1.70	1.49	1.78
	S5FATR1	1.82	1.75	1.45	1.67	2.40	1.86	1.46	1.91
Fonte 2	S1FATR2	2.53	1.67	1.48	1.89	3.34	1.76	1.47	2.19
	S2FATR2	2.25	1.77	1.47	1.83	2.57	1.80	1.48	1.95
	S3FATR2	2.24	1.69	1.50	1.81	2.42	1.86	1.50	1.93
	S4FATR2	2.22	1.82	1.50	1.85	2.71	1.85	1.50	2.02
	S5FATR2	2.19	1.65	1.49	1.78	2.46	1.77	1.49	1.91
Fonte 3	S1FATR3	2.04	1.67	1.48	1.73	2.56	1.79	1.51	1.95
	S2FATR3	2.02	1.70	1.47	1.73	2.26	1.90	1.49	1.88
	S3FATR3	2.19	1.70	1.47	1.79	2.37	1.84	1.50	1.90
	S4FATR3	1.99	1.67	1.49	1.72	2.32	1.73	1.49	1.85
	S5FATR3	2.26	1.73	1.49	1.83	2.53	1.82	1.48	1.94

Fonte: Autora, 2020.

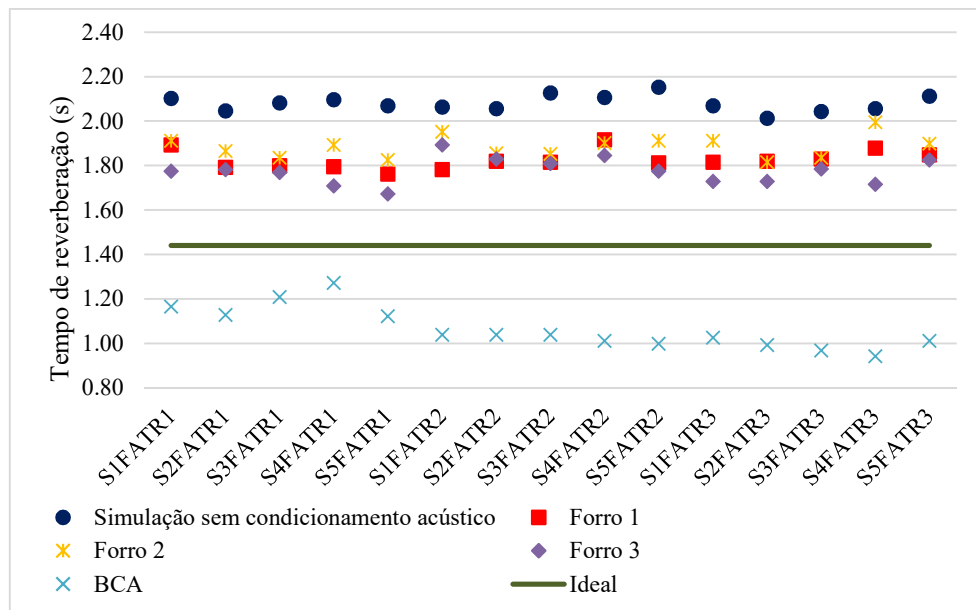
Por fim, a última simulação realizada foi com o *Broadband Compact Absorber* (BCA), os resultados desta solução estão apresentados no Quadro 22, onde é possível observar que os resultados médios de cada ponto de medição para T₂₀ e T₃₀ são satisfatórios, pois ficam abaixo dos valores medidos e atendem o recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008.

Quadro 22. Resultados simulações T_{20} (s) e T_{30} (s) Cantina Alternativa com BCA

Fonte	Posição sonômetro	T_{20} (s)				T_{30} (s)			
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	1.23	1.17	1.10	1.17	1.51	1.29	1.10	1.30
	S2FATR1	1.14	1.17	1.08	1.13	1.49	1.15	1.10	1.25
	S3FATR1	1.36	1.21	1.06	1.21	1.61	1.27	1.06	1.31
	S4FATR1	1.54	1.20	1.08	1.27	1.62	1.22	1.08	1.31
	S5FATR1	1.20	1.15	1.02	1.12	1.47	1.17	1.05	1.23
Fonte 2	S1FATR2	0.98	1.05	1.09	1.04	1.06	1.14	1.08	1.09
	S2FATR2	0.97	1.09	1.06	1.04	1.03	1.06	1.12	1.07
	S3FATR2	0.98	1.05	1.09	1.04	1.08	1.07	1.02	1.06
	S4FATR2	0.94	1.01	1.09	1.01	1.03	1.05	1.10	1.06
	S5FATR2	0.89	1.03	1.08	1.00	0.99	1.07	1.13	1.06
Fonte 3	S1FATR3	0.97	1.06	1.05	1.03	1.04	1.13	1.11	1.09
	S2FATR3	0.91	1.03	1.04	0.99	1.07	1.03	1.11	1.07
	S3FATR3	0.85	1.01	1.05	0.97	0.93	1.07	1.08	1.03
	S4FATR3	0.83	1.00	1.00	0.94	0.84	1.06	1.01	0.97
	S5FATR3	0.97	1.00	1.07	1.01	0.91	1.05	1.11	1.02

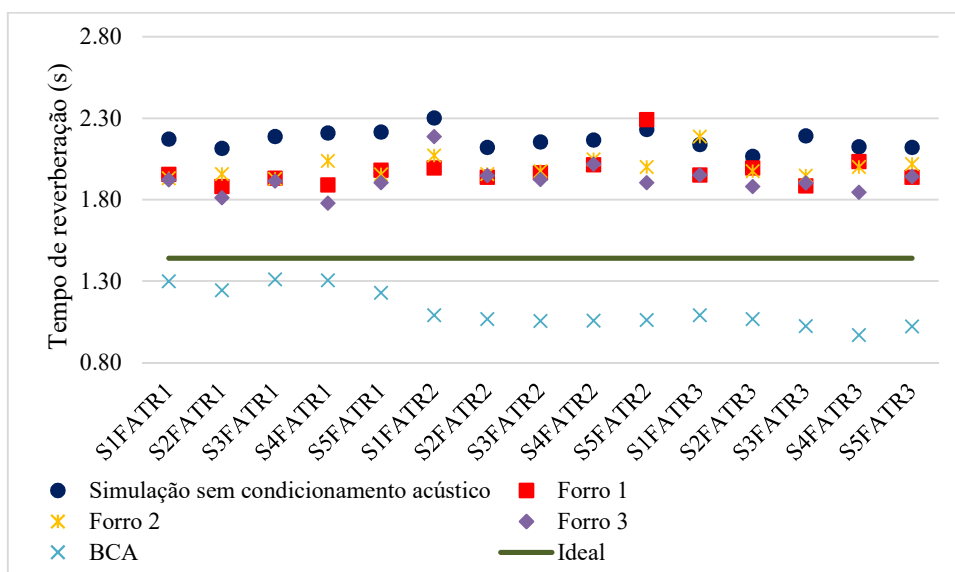
Fonte: Autora, 2020.

A Figura 43 apresenta todos os resultados das simulações para o T_{20} , sem condicionamento acústico, as soluções adotadas e o recomendado pelo Decreto Lei nº 96/2008. É possível observar que as soluções adotadas como forro obtiveram resultados muito próximos entre si, e não satisfizeram o recomendado pelo Decreto Lei nº96/2008. Já a solução acústica *Broadband Compact Absorber* (BCA) apresentou resultados muito satisfatórios, ficando bem abaixo do recomendado.

Figura 43. Resultados T_{20} (s) Cantina Alternativa

Fonte: Autora, 2020.

O resumo dos resultados para o tempo de reverberação T_{30} são apresentados na Figura 44, novamente os valores das soluções como forro apresentaram resultados muito próximos entre si, e em alguns pontos muito próximos ao valor simulado sem condicionamento acústico. A solução em *Broadband Compact Absorber* (BCA) novamente foi a melhor, atendendo o recomendado pelo Decreto Lei n°96/2008.

Figura 44. Resultados T_{30} (s) Cantina Alternativa

Fonte: Autora, 2020.

Os resultados das simulações com a solução acústica forro 1 da Cantina Alternativa, para a Definição D_{50} (%), e tempo de decaimento inicial EDT (s), são apresentados no Quadro 23, observando a coluna dos valores médios da Definição (D_{50}), conclui-se que esta solução melhora a definição de fala do ambiente, pois a maioria dos valores foram superiores a 50%. Bem como os valores de tempo de decaimento inicial (EDT) quando comparados aos valores simulados sem condicionamento acústico apresentam uma significativa melhora.

Quadro 23. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa com forro 1

Fonte	Posição sonómetro	D_{50} (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	56.47	46.7	51.58	1.36	1.56	1.46
	S2FATR1	74.68	65.83	70.25	1.05	1.39	1.22
	S3FATR1	61.96	51.71	56.83	1.23	1.35	1.29
	S4FATR1	70.21	57.14	63.67	1.03	1.38	1.20
	S5FATR1	74.40	66.39	70.39	0.97	1.18	1.07
Fonte 2	S1FATR2	65.68	57.65	61.66	1.17	1.42	1.29
	S2FATR2	54.90	50.02	52.46	1.21	1.33	1.27
	S3FATR2	60.52	52.05	56.28	1.13	1.43	1.28
	S4FATR2	53.71	44.33	49.02	1.32	1.51	1.41
	S5FATR2	57.77	46.47	52.12	1.23	1.44	1.33
Fonte 3	S1FATR3	55.38	44.68	50.03	1.24	1.49	1.36
	S2FATR3	72.08	60.74	66.41	1.14	1.37	1.25
	S3FATR3	62.75	53.42	58.08	1.25	1.45	1.35
	S4FATR3	65.29	54.32	59.80	1.24	1.45	1.34
	S5FATR3	56.10	46.23	51.16	1.42	1.49	1.45

Fonte: Autora, 2020.

Os resultados das simulações para a definição D_{50} (%) e o tempo de decaimento inicial para a solução acústica forro 2, são apresentadas no Quadro 24. É possível observar que assim como a solução anterior os valores para a definição são satisfatórios, ficando em grande parte acima dos 50%. Os valores finais para o EDT apresentaram melhora quando comparados aos simulados sem condicionamento acústico.

Quadro 24. Resultados simulação D₅₀ e EDT Cantina Alternativa com forro 2

Fonte	Posição sonômetro	D ₅₀ (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	56.25	45.61	50.93	1.33	1.57	1.45
	S2FATR1	72.15	63.69	67.92	1.04	1.39	1.21
	S3FATR1	63.63	51.43	57.53	1.15	1.4	1.27
	S4FATR1	68.74	59.51	64.12	1.07	1.34	1.20
	S5FATR1	75.32	65.12	70.22	0.99	1.31	1.15
Fonte 2	S1FATR2	65.22	55.93	60.57	1.23	1.48	1.35
	S2FATR2	55.82	48.78	52.3	1.19	1.38	1.28
	S3FATR2	60.25	52.24	56.24	1.19	1.43	1.31
	S4FATR2	51.42	44.11	47.76	1.31	1.50	1.40
	S5FATR2	57.98	48.31	53.14	1.20	1.48	1.34
Fonte 3	S1FATR3	54.58	43.28	48.93	1.31	1.44	1.37
	S2FATR3	71.29	60.73	66.01	1.09	1.39	1.24
	S3FATR3	62.26	51.16	56.71	1.35	1.48	1.41
	S4FATR3	64.27	54.42	59.34	1.33	1.46	1.39
	S5FATR3	55.16	45.98	50.57	1.33	1.45	1.39

Fonte: Autora, 2020.

A terceira solução acústica, denominada de forro 3, também apresentou resultados satisfatórios para a definição D₅₀ (%), e para o tempo de decaimento inicial (EDT) como mostra o Quadro 25.

Quadro 25. Resultados simulação D₅₀ e EDT Cantina Alternativa com forro 3

Fonte	Posição sonômetro	D ₅₀ (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	57.61	48.67	53.14	1.18	1.48	1.33
	S2FATR1	76.66	68.58	72.62	0.96	1.22	1.09
	S3FATR1	64.78	55.76	60.27	1.06	1.26	1.16
	S4FATR1	69.20	62.45	65.82	1.01	1.19	1.1
	S5FATR1	76.78	68.33	72.55	0.86	1.13	0.99
Fonte 2	S1FATR2	66.43	61.45	63.94	1.17	1.28	1.22
	S2FATR2	56.15	49.41	52.78	1.12	1.32	1.22
	S3FATR2	60.69	53.62	57.15	1.11	1.29	1.2
	S4FATR2	52.17	44.79	48.48	1.22	1.38	1.3
	S5FATR2	58.84	50.23	54.53	1.15	1.37	1.26
Fonte 3	S1FATR3	55.70	47.93	51.81	1.19	1.34	1.26
	S2FATR3	72.95	62.42	67.68	1.05	1.31	1.18
	S3FATR3	63.03	53.83	58.43	1.24	1.33	1.28
	S4FATR3	65.22	55.29	60.25	1.23	1.35	1.29
	S5FATR3	56.25	46.38	51.31	1.28	1.39	1.33

Fonte: Autora, 2020.

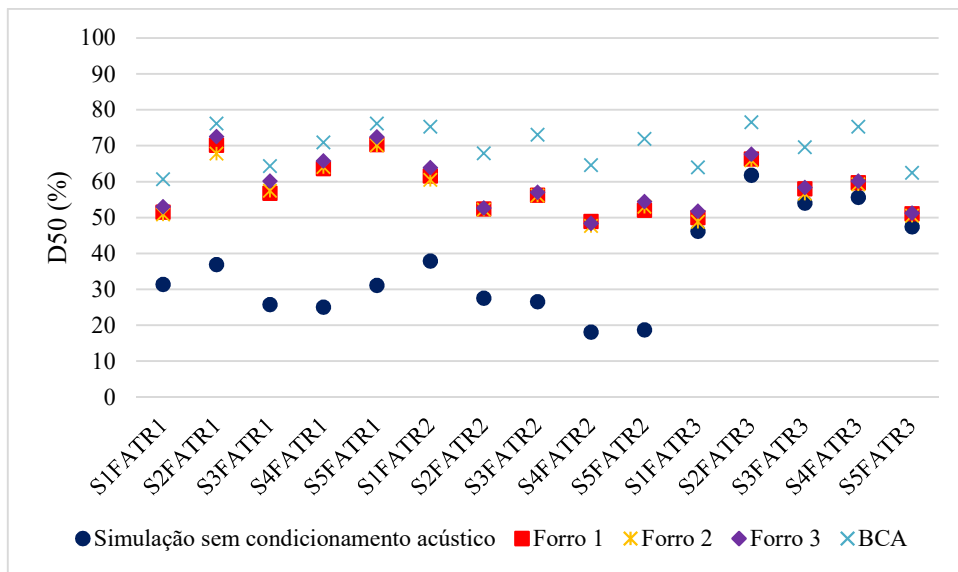
Por fim, os resultados das simulações com a solução acústica BCA, também apresentou resultados satisfatórios para a Definição (D_{50}), mas merece destaque pelos resultados finais de EDT, que foram bem abaixo dos medidos e dos simulados com outras soluções, como mostra o Quadro 26.

Quadro 26. Resultados simulação D_{50} e EDT Cantina Alternativa com forro BCA

Fonte	Posição sonômetro	D_{50} (%)			EDT (s)		
		500 Hz	1000 Hz	Média	500 Hz	1000 Hz	Média
Fonte 1	S1FATR1	67.07	54.42	60.75	0.71	0.99	0.71
	S2FATR1	80.76	71.76	76.26	0.57	0.81	0.57
	S3FATR1	69.42	59.33	64.38	0.69	0.86	0.69
	S4FATR1	76.29	65.73	71.01	0.64	0.85	0.64
	S5FATR1	80.40	72.14	76.27	0.61	0.78	0.61
Fonte 2	S1FATR2	79.75	70.98	75.37	0.58	0.83	0.58
	S2FATR2	70.64	65.26	67.95	0.63	0.73	0.63
	S3FATR2	78.86	67.38	73.12	0.52	0.77	0.52
	S4FATR2	70.74	58.66	64.70	0.61	0.86	0.61
	S5FATR2	77.55	66.48	72.02	0.51	0.74	0.51
Fonte 3	S1FATR3	70.35	57.73	64.04	0.55	0.77	0.55
	S2FATR3	82.34	70.92	76.63	0.52	0.80	0.52
	S3FATR3	75.03	64.37	69.70	0.54	0.81	0.54
	S4FATR3	80.27	70.43	75.35	0.52	0.76	0.52
	S5FATR3	68.63	56.38	62.51	0.55	0.77	0.55

Fonte: Autora, 2020.

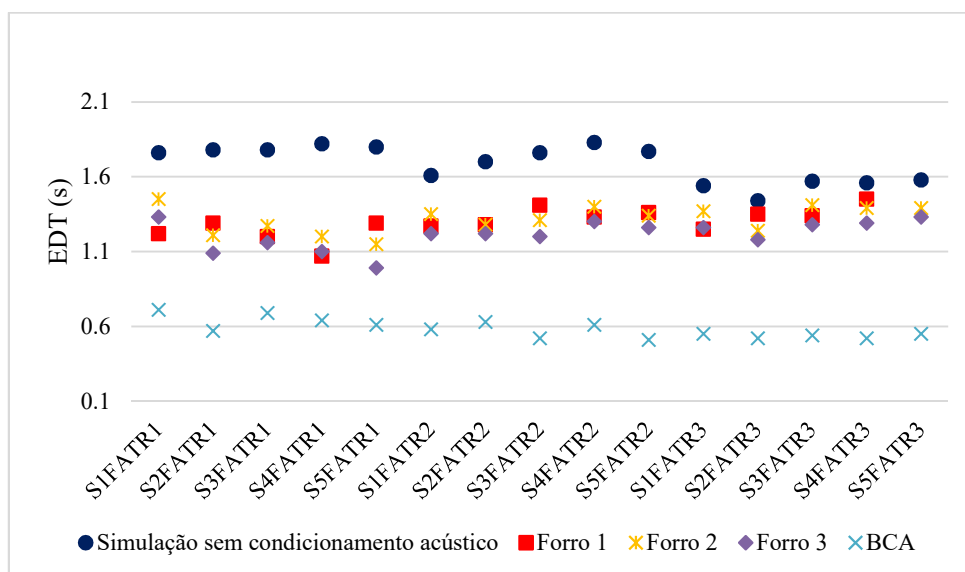
A Figura 45 apresenta todos os resultados das simulações realizadas para Definição (D_{50}) para a Cantina Alternativa, sem condicionamento acústico e com soluções aplicadas. É possível observar que os valores das soluções foram próximos entre si, e em grande parte acima dos 50%, o que significa que a distinção de fala no ambiente melhora com todas as soluções propostas. Bem como nos itens anteriores avaliados, tempo de reverberação T_{20} e T_{30} , a solução acústica BCA apresenta os melhores resultados quando comparados ao demais.

Figura 45. Resultados D_{50} (%) Cantina Alternativa

Fonte: Autora, 2020.

Os resultados finais das simulações de tempo de decaimento inicial (EDT) para Cantina Alternativa, são apresentados na Figura 46, é possível observar que todas as soluções apresentaram bons resultados em comparação a simulação sem condicionamento acústico. As soluções em forro apresentam valores muito próximos entre si, entre 1,0s e 1,6s aproximadamente. E a solução em *Broadband Compact Absorber* (BCA) é a que apresenta os melhores resultados entre todas.

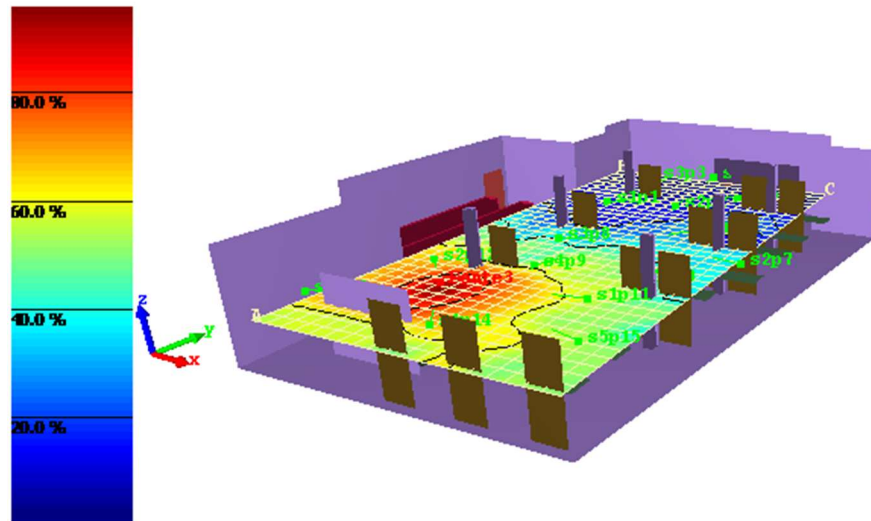
Figura 46. Resultados EDT (s) Cantina Alternativa



Fonte: Autora, 2020.

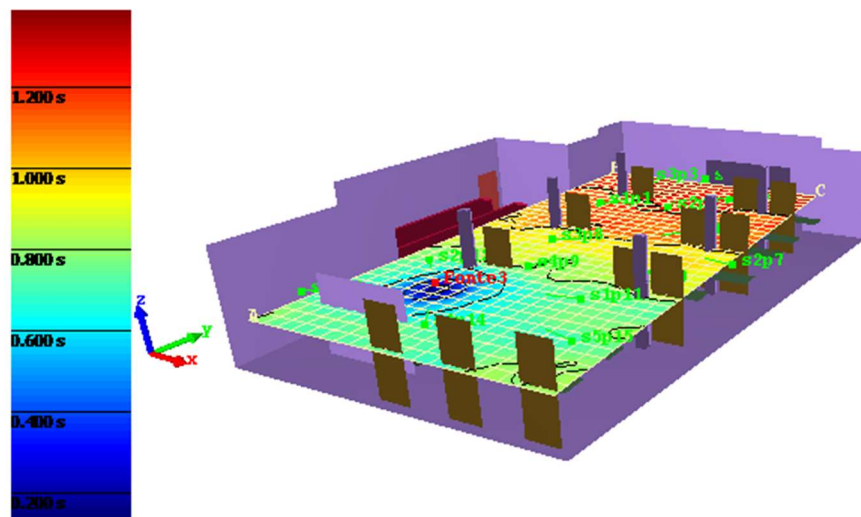
As Figura 47 e Figura 48 apresentam os resultados da distribuição da Definição (D_{50}) e do tempo de decaimento inicial (EDT), para a Cantina Alternativa, referentes a solução acústica *Broadband Compact Absorber* (BCA), para a frequência de 1000Hz.

Figura 47. Resultado D_{50} (%), para 1000Hz na Cantina Alternativa com solução acústica BCA



Fonte: Autora, 2020.

Figura 48. Resultado EDT (s), para 1000Hz na Cantina Alternativa com solução acústica BCA



Fonte: Autora, 2020.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivos avaliar o condicionamento acústico dos dois ambientes de restauração do Instituto Politécnico de Bragança, Campus Santa Apolónia. As avaliações ocorreram a partir de medições *in situ*, do tempo de reverberação, e de simulações acústicas, estas sem condicionamento acústico e com soluções que proporcionassem mais qualidade ao ambiente.

A hipótese inicial deste trabalho era de que o ambiente não possuía condicionamento acústico, o que se confirmou a partir das medições realizadas, onde os valores de tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , foram muito superiores ao recomendado pelo Decreto Lei n°96/2008, em vista deste resultado foram realizadas simulações com propostas de soluções afim de melhorar o condicionamento acústico do ambiente.

Dentre as soluções propostas, foram avaliados os ambientes com três soluções em forros absorventes, com diferentes dimensões e propriedades absorventes, e outra em *Broadband Compact Absorber* (BCA), o qual apresentou valores muito satisfatórios em todas as simulações realizadas.

As simulações com *Broadband Compact Absorber* (BCA) realizadas para a Cantina Geral, e para a Cantina Alternativa, apresentaram resultados de tempo de reverberação, T_{20} e T_{30} , menores que o recomendado pelo Decreto Lei n°96/2008, o que não foi observado com as outras soluções em forro.

O parâmetro de Definição (D_{50}) foi apenas simulado, todos os valores simulados tanto para a Cantina Geral, quanto para a Cantina Alternativa, com as soluções acústicas apresentaram melhoras quando comparadas ao valor inicial, sem condicionamento acústico. Porém, apenas para a Cantina Alternativa ela pode ser considerada significativa, onde a maioria dos resultados das quatro soluções apresentaram valores igual, ou superiores a 50%.

O tempo de decaimento inicial (EDT) foi medido e simulado, assim como o tempo de reverberação. As simulações com as soluções acústicas mostraram bons resultados quando avaliados esse parâmetro, em todas as simulações foi possível observar uma diminuição do

tempo de decaimento inicial, dando destaque novamente para a solução *Broadband Compact Absorber* (BCA), qual apresentou valores significativamente menores que as demais soluções acústicas.

Quanto à validação do software, verificou-se que o parâmetro simulado T_{20} ficou dentro do intervalo aceitável para as diferenças mínimas perceptíveis na Cantina Geral quando comparado com seu respectivo valor medido, para as simulações do tempo de reverberação T_{30} e o tempo de decaimento inicial (EDT) foi possível verificar que os valores simulados ficaram fora do intervalo determinado a partir da diferença mínima perceptível, essa diferença pode ser justificada em função dos coeficientes de absorção adotados para as superfícies.

Conclui-se, portanto, que os painéis verticais, *Broadband Compact Absorber* (BCA), podem ser utilizados no condicionamento acústico das Cantina Geral e Cantina Alternativa, esta solução irá proporcionar melhor qualidade do ambiente de restauração do Campus.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Verificado que existem soluções para melhorar o condicionamento acústico das Cantina Geral e Cantina Alternativa, sugere-se como trabalhos futuros:

- Investigar os valores de coeficientes de absorção afim de obter valores mais precisos das simulações;
- Avaliar a interferência arquitetônica, de iluminação e ventilação natural causadas pelos painéis de *Broadband Compact Absorber* (BCA);
- Avaliar os custos dos painéis, bem como os custos de implantação e manutenção do mesmo;
- Simular os ambientes de restauração, Cantina Geral e Cantina Alternativa, em outros softwares de simulação acústica para complementar a validação do I-SIMPA.

7 REFERÊNCIAS

- ARONS, Barry. *A review of the cocktail party effect. Journal of the American Voice I/O Society* 12, no. 7 (1992): 35-50.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3382-1**. – Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 1: Salas de espetáculos. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3382-2**: Acústica – medição de parâmetros de acústicas de salas, Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro, 2008.
- BERANEK, Leo L. *Revised criteria for noise in buildings. Noise control*, v. 3, n. 1, p. 19-27, 1957.
- BERANEK, Leo; MELLOW, TIM. *Acoustics: Sound Fields, Transducers and Vibration*. 2 ed. Academic Press, 2019.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2ª edição revista. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRANDÃO, Eric. **Acústica de salas: projeto e modelagem**. São Paulo: Blucher, 2016.
- CMIEL, Cheryl Ann et al. *Noise Control: A Nursing Team's Approach to Sleep Promotion: Respecting the silence creates a healthier environment for your patients. AJN The American Journal of Nursing*, v. 104, n. 2, p. 40-48, 2004.
- COX, TREVOR J.; D'ANTONIO, PETER. *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*. 3. ed. Boca Raton (EUA): CRC Press, 2017.
- CYSNE, Luiz Fernando Otero. **A nova bíblia do som**. Editora: Cia do Ebook, 2016.
- EVEREST, F Alton. *Master handbook of acoustics*. Estados Unidos da América: McGraw-Hill, 2001.
- FERREIRA, Andressa Maria Coelho. **Avaliação do conforto acústico em salas de aula – Estudo de caso na Universidade Federal do Paraná**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- FILHO, Marcus Vinícius Manfrin de Oliveira. **Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba-PR**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.
- FUCHS, Helmut, ZHA, Xueqin e BABUKE, Gerhard. *Broadband compact absorbers for anechoic linings*. In CFA/DAGA, vol. 4, p. 272. 2004.
- HOPKINS, Carl. *Sound insulation*. [s.l.]: Elsevier, 2007.

- KLEINER, Mendel; TICHY, Jiri. *Acoustics of Small Rooms*. 1. ed. Boca Raton (EUA): CRC Press, 2014.
- LONG, Marshall. *Architectural acoustics*. 2ª edição. [s.l.]: Elsevier, 2014.
- MAEKAWA, Z.; RINDEL, J. H.; LORD, P. *Environmental and Architectural Acoustics*. 2. ed. Nova Iorque: Spon press, 2011.
- MOCCELIN, Carlos Fernando de Almeida. **Desempenho acústico de lajes nervuradas**. 2017. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Pitágoras, Londrina, 2017.
- NETO, Maria de Fatima Ferreira. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais**. 2009. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.
- PICAUT, J.; FORTIN, N. *I-Simpa, a graphical user interface devoted to host 3D sound propagation numerical codes*. In: *Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference*. [s.l.: s.n.], 2012.
- PORTUGAL–Leis, Decretos. "Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº 96/2008, de 9 de Junho)." Lisboa: Imprensa Nacional (2008).
- PULKKI, Ville; KARJALAINEN, Matti. *Communication acoustics: an introduction to speech, audio and psychoacoustics*. [s.l.]: John Wiley & Sons, 2015.
- QUEDAS, Araken, André de Campos Duprat, and Gisele Gasparini. "Implicações do efeito Lombard sobre a intensidade, frequência fundamental e estabilidade da voz de indivíduos com doença de Parkinson." *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia* 73, no. 5 (2007): 675-683. (https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-72992007000500014&script=sci_arttext)
- RIBAS, Angela. **Reflexões sobre o ambiente sonoro da cidade de Curitiba: a percepção do ruído urbano e seus efeitos sobre a qualidade de vida de moradores dos Setores Especiais Estruturais**. 2007. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- RIBEIRO, Diogo Filipe Carvalho. "Reabilitação Acústica em Cantinas Escolares-Caso de Estudo: Cantina da FEUP." (2017).
- RIBEIRO, Rodrigo Scoczynski. **Caracterização do condicionamento acústico de uma sala de aula com o uso de painéis de madeira**. 2020. 305 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2020.
- RIGHI, Paulo César da Rosa. **Ferramenta para análise do desempenho acústico das edificações para fins de financiamento imobiliário**. 2013. 159 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.
- RINDEL, H. "Restaurant acoustics–Verbal communication in eating establishments." *Acoustics in Practice* 7, no. 1 (2019).

RYCHTARIKOVA, Monika, and Gerrit Vermeir. "Soundscape in Restaurants." DAGA Düsseldorf (2011): 271-272.

SABINE, Wallace Clement. *Reverberation. The American Architect and The Engineering Record*. Reimpresso em: *Collected Papers on Acoustics*. 1922.

SILVA, Carlos Miguel Ferreira. "O tempo de reverberação e a inteligibilidade da palavra: caso de estudo: salas de aula da FEUP." (2013).

SOUZA, Léa Cristina Lucas; ALMEIDA, Manuela Guedes; Bragança, Luís. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. EdUFSCar, 2011.

VER, Istvan L.; BERANEK, Leo L. *Noise and Vibration Control Engineering-Principles and Applications*. Vol. 1. Bukupedia, 2006.

VÖRLANDER, Michael. *Auralization: Fundamentals of acoustic, Modeling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. 1. ed. Berlim, Alemanha: Springer, 2008.

VÖRLANDER, Michael. *Computer simulations in room acoustics: Concepts and uncertainties. The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 133, n. 3, p. 1203–1213, 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. *Constituição da Organização Mundial da Saúde (OMS/WHO)*. 1946. 2011.

ZWIRTES, Daniele Petri Zanardo. **Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: estudo de caso nas Escolas Estaduais do Paraná**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ANEXO A

Quadro 27. Coeficientes de absorção e espalhamento mesas

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.42	0.05
63	0.42	0.05
80	0.42	0.06
100	0.42	0.08
125	0.42	0.10
160	0.42	0.20
200	0.21	0.30
250	0.21	0.40
315	0.21	0.60
400	0.10	0.65
500	0.10	0.70
630	0.10	0.80
800	0.08	0.90
1000	0.08	0.90
1250	0.08	0.90
1600	0.06	0.90
2000	0.06	0.90
2500	0.06	0.90
3150	0.06	0.90
4000	0.06	0.90
5000	0.06	0.90
6300	0.06	0.90
8000	0.06	0.90
10000	0.06	0.90
12500	0.06	0.90
16000	0.06	0.90
20000	0.06	0.00

Fonte coeficiente de absorção: Vorländer, Michael. Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality. Springer Science & Business Media, (2007).

Quadro 28. Coeficientes de absorção e espalhamento forro central Cantina Central

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.42	0.05
63	0.42	0.05
80	0.42	0.05
100	0.42	0.05
125	0.42	0.05
160	0.42	0.05
200	0.21	0.05
250	0.21	0.05
315	0.21	0.05
400	0.10	0.05
500	0.10	0.05
630	0.10	0.06
800	0.08	0.08
1000	0.08	0.10
1250	0.08	0.30
1600	0.06	0.35
2000	0.06	0.40
2500	0.06	0.50
3150	0.06	0.60
4000	0.06	0.70
5000	0.06	0.71
6300	0.06	0.75
8000	0.06	0.80
10000	0.06	0.80
12500	0.06	0.80
16000	0.06	0.80
20000	0.06	0.80

Fonte coeficiente de absorção: Vorländer, Michael. Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality. Springer Science & Business Media, (2007).

Quadro 29. Coeficientes de absorção e espalhamento paredes, pilares, pisos e forro (Cantina Geral)

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.02	0.05
63	0.02	0.05
80	0.02	0.05
100	0.02	0.05
125	0.02	0.05
160	0.02	0.05
200	0.02	0.05
250	0.02	0.05
315	0.02	0.05
400	0.03	0.05
500	0.03	0.05
630	0.03	0.05
800	0.04	0.05
1000	0.04	0.10
1250	0.04	0.30
1600	0.05	0.35
2000	0.05	0.40
2500	0.05	0.45
3150	0.05	0.50
4000	0.05	0.70
5000	0.05	0.70
6300	0.05	0.70
8000	0.05	0.80
10000	0.05	0.80
12500	0.05	0.80
16000	0.05	0.80
20000	0.05	0.00

Fonte coeficiente de absorção: H. W. Bobran, Handbuch der bauphysik, Verlag Ulstein, Berlin (1973).

Quadro 30. Coeficientes de absorção e espalhamento balcões, pia e porta de acesso ao espaço de lavanderia

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.05	0.05
63	0.40	0.05
80	0.40	0.05
100	0.30	0.05
125	0.30	0.05
160	0.30	0.05
200	0.25	0.05
250	0.25	0.05
315	0.25	0.05
400	0.20	0.05
500	0.20	0.05
630	0.20	0.05
800	0.10	0.05
1000	0.10	0.10
1250	0.10	0.30
1600	0.10	0.35
2000	0.10	0.40
2500	0.10	0.45
3150	0.15	0.50
4000	0.15	0.70
5000	0.15	0.70
6300	0.15	0.70
8000	0.15	0.80
10000	0.15	0.80
12500	0.15	0.80
16000	0.15	0.80
20000	0.15	0.00

Fonte coeficiente de absorção: valores ponderados.

Quadro 31. Coeficientes de absorção e espalhamento janelas, portas de vidro e parede de vidro

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.35	0.05
63	0.35	0.05
80	0.35	0.05
100	0.35	0.05
125	0.35	0.05
160	0.35	0.05
200	0.25	0.05
250	0.25	0.05
315	0.25	0.05
400	0.18	0.05
500	0.18	0.05
630	0.18	0.05
800	0.12	0.05
1000	0.12	0.10
1250	0.12	0.30
1600	0.07	0.35
2000	0.07	0.40
2500	0.07	0.45
3150	0.04	0.50
4000	0.04	0.70
5000	0.04	0.70
6300	0.04	0.70
8000	0.04	0.80
10000	0.04	0.80
12500	0.04	0.80
16000	0.04	0.80
20000	0.04	0.00

Fonte coeficiente de absorção: Harris, Cyril M. Handbook of acoustical measurements and noise control. New York: McGraw-Hill, (1991).

Quadro 32. Coeficientes de absorção e espalhamento portas em madeira

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.14	0.05
63	0.14	0.05
80	0.14	0.05
100	0.14	0.05
125	0.14	0.05
160	0.14	0.05
200	0.10	0.05
250	0.10	0.05
315	0.10	0.05
400	0.06	0.05
500	0.06	0.05
630	0.06	0.05
800	0.08	0.05
1000	0.08	0.10
1250	0.08	0.30
1600	0.10	0.35
2000	0.10	0.40
2500	0.10	0.45
3150	0.10	0.50
4000	0.10	0.70
5000	0.10	0.70
6300	0.10	0.70
8000	0.10	0.80
10000	0.10	0.80
12500	0.10	0.80
16000	0.10	0.80
20000	0.10	0.00

Fonte coeficiente de absorção: Vorländer, Michael. *Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality. Springer Science & Business Media*, (2007).

Quadro 33. Coeficientes de absorção e espalhamento forro alternativo

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.35	0.05
63	0.35	0.05
80	0.35	0.05
100	0.35	0.05
125	0.35	0.05
160	0.35	0.05
200	0.35	0.05
250	0.35	0.05
315	0.35	0.05
400	0.37	0.05
500	0.40	0.05
630	0.28	0.05
800	0.18	0.05
1000	0.18	0.10
1250	0.11	0.30
1600	0.10	0.35
2000	0.10	0.40
2500	0.10	0.45
3150	0.10	0.50
4000	0.10	0.70
5000	0.10	0.70
6300	0.10	0.70
8000	0.10	0.80
10000	0.10	0.80
12500	0.10	0.80
16000	0.10	0.80
20000	0.10	0.00

Fonte coeficiente de absorção: valores ponderados.

Quadro 34. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica forro 1

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.70	0.05
63	0.70	0.05
80	0.70	0.05
100	0.70	0.05
125	0.73	0.05
160	0.60	0.05
200	0.59	0.05
250	0.57	0.05
315	0.60	0.05
400	0.61	0.05
500	0.62	0.05
630	0.60	0.05
800	0.58	0.05
1000	0.56	0.10
1250	0.55	0.30
1600	0.54	0.35
2000	0.53	0.40
2500	0.54	0.45
3150	0.55	0.50
4000	0.57	0.70
5000	0.57	0.70
6300	0.57	0.70
8000	0.57	0.80
10000	0.57	0.80
12500	0.57	0.80
16000	0.57	0.80
20000	0.57	0.00

Fonte coeficiente de absorção: Knauf Danoline, Adit for restaurants.

Quadro 35. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica forro 2

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.30	0.05
63	0.32	0.05
80	0.33	0.05
100	0.34	0.05
125	0.35	0.05
160	0.40	0.05
200	0.50	0.05
250	0.60	0.05
315	0.65	0.05
400	0.75	0.05
500	0.90	0.05
630	0.95	0.05
800	0.95	0.05
1000	1.00	0.00
1250	1.00	0.00
1600	1.00	0.00
2000	1.00	0.00
2500	1.00	0.00
3150	1.00	0.00
4000	1.00	0.00
5000	1.00	0.00
6300	1.00	0.00
8000	1.00	0.00
10000	1.00	0.00
12500	1.00	0.00
16000	1.00	0.00
20000	1.00	0.00

Fonte coeficiente de absorção: Rockfon, Rockfon Blanka dB43.

Quadro 36. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica forro 3

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.55	0.05
63	0.55	0.05
80	0.55	0.05
100	0.55	0.05
125	0.55	0.05
160	0.60	0.05
200	0.65	0.05
250	0.70	0.05
315	0.68	0.05
400	0.66	0.05
500	0.65	0.05
630	0.65	0.05
800	0.65	0.05
1000	0.65	0.10
1250	0.65	0.30
1600	0.65	0.35
2000	0.60	0.40
2500	0.60	0.45
3150	0.60	0.50
4000	0.60	0.70
5000	0.60	0.70
6300	0.60	0.70
8000	0.60	0.80
10000	0.60	0.80
12500	0.60	0.80
16000	0.60	0.80
20000	0.60	0.00

Fonte coeficiente de absorção: Knauf Cleano Akustik, placas Cleano Akustik – perfuração redonda 15/30R.

Quadro 37. Coeficientes de absorção e espalhamento solução acústica BCA

Frequência (Hz)	Coeficiente de absorção	Coeficiente de espalhamento
50	0.60	0.05
63	0.60	0.05
80	1.00	0.00
100	1.00	0.00
125	1.00	0.00
160	1.00	0.00
200	1.00	0.00
250	1.00	0.00
315	1.00	0.00
400	1.00	0.00
500	1.00	0.00
630	1.00	0.00
800	1.00	0.00
1000	1.00	0.00
1250	1.00	0.00
1600	1.00	0.00
2000	1.00	0.00
2500	1.00	0.00
3150	1.00	0.00
4000	0.90	0.70
5000	0.90	0.70
6300	0.90	0.70
8000	0.90	0.80
10000	0.90	0.80
12500	0.90	0.80
16000	0.90	0.80
20000	0.90	0.00

Fonte coeficiente de absorção: Renz systeme, Broadband compact absorber BCA.

ANEXO B

Quadro 38. Espectro sonoro fonte 1

Frequência (Hz)	dB	dB(A)
50	62.41	32.21
63	59.76	33.56
80	65.31	42.81
100	75.24	56.14
125	78.30	62.20
160	79.96	66.56
200	81.96	71.06
250	85.06	76.46
315	83.58	76.98
400	82.33	77.53
500	80.58	77.38
630	78.56	76.66
800	79.44	78.64
1000	78.53	78.53
1250	76.64	77.24
1600	78.46	79.46
2000	77.50	78.70
2500	77.15	78.45
3150	76.51	77.71
4000	75.63	76.63
5000	71.53	72.03
6300	70.63	70.53
8000	67.17	66.07
10000	61.33	58.83
12500	59.18	54.98
16000	51.43	44.73
20000	43.19	33.89
Global	92.47	89.23

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 39. Espectro sonoro fonte 2

Frequência (Hz)	dB	dB(A)
50	59.82	29.62
63	58.34	32.14
80	62.87	40.37
100	72.88	53.78
125	75.77	59.67
160	77.16	63.76
200	78.78	67.88
250	82.27	73.67
315	81.54	74.94
400	79.95	75.15
500	78.01	74.81
630	76.71	74.81
800	77.33	76.53
1000	76.57	76.57
1250	73.40	74.00
1600	75.09	76.09
2000	76.72	77.92
2500	76.79	78.09
3150	75.56	76.76
4000	73.52	74.52
5000	69.16	69.66
6300	65.95	65.85
8000	63.89	62.79
10000	55.94	53.44
12500	52.19	47.99
16000	47.40	40.70
20000	40.30	31.00
Global	90.13	87.25

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 40. Espectro sonoro fonte 3

Frequência (Hz)	dB	dB(A)
50	56.85	26.65
63	61.15	34.95
80	61.24	38.74
100	71.44	52.34
125	77.47	61.37
160	77.89	64.49
200	80.28	69.38
250	81.78	73.18
315	81.58	74.98
400	80.11	75.31
500	77.91	74.71
630	76.71	74.81
800	77.90	77.10
1000	77.15	77.15
1250	73.94	74.54
1600	75.40	76.40
2000	75.47	76.67
2500	73.72	75.02
3150	72.89	74.09
4000	71.07	72.07
5000	67.80	68.30
6300	67.78	67.68
8000	66.72	65.62
10000	57.74	55.24
12500	52.45	48.25
16000	47.70	41.00
20000	39.38	30.08
Global	90.12	86.73

Fonte: Autora, 2020.

ANEXO C

Quadro 41. Resultados análise estatística T₂₀ (s) em 500 Hz Cantina Geral

Valores para 500 Hz				
Fonte	T ₂₀ (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor do teste de Kruskal-Wallis
Fonte 1	2.94	0.1320	0.0370	0.8536
	2.64			
	2.84			
	2.94			
	2.95			
Fonte 2	2.65	0.2609	0.7369	
	3.15			
	2.53			
	3.05			
	2.84			
Fonte 3	2.85	0.1939	0.5735	
	3.05			
	2.71			
	2.77			
	3.17			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 42. Resultados análise estatística T₂₀ (s) em 1000 Hz Cantina Geral

Valores para 1000 Hz				
Fonte	T ₂₀ (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	2.80	0.1521	0.4157	0.3780
	2.47			
	2.65			
	2.81			
	2.54			
Fonte 2	2.72	0.0445	0.1327	
	2.71			
	2.71			
	2.77			
	2.81			
Fonte 3	2.69	0.0939	0.6034	
	2.78			
	2.83			
	2.77			
	2.59			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 43. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 2000 Hz Cantina Geral

Valores para 2000 Hz				
Fonte	T_{20} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	2.74	0.0602	0.3033	0.8950
	2.75			
	2.69			
	2.62			
	2.63			
Fonte 2	2.60	0.0817	0.4310	
	2.70			
	2.70			
	2.71			
	2.83			
Fonte 3	2.66	0.0797	0.8830	
	2.76			
	2.59			
	2.79			
	2.70			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 44. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 500 Hz Cantina Geral

Valores para 500 Hz				
Fonte	T_{30} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	2.77	0.0885	0.1407	0.7170
	2.74			
	2.74			
	2.83			
	2.95			
Fonte 2	2.73	0.0640	0.0628	
	2.88			
	2.76			
	2.76			
	2.72			
Fonte 3	2.78	0.0660	0.4519	
	2.75			
	2.74			
	2.90			
	2.83			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 45. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 1000 Hz Cantina Geral

Valores para 1000 Hz				
Fonte	T_{30} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	2.84	0.1278	0.1559	0.6810
	2.55			
	2.57			
	2.74			
	2.58			
Fonte 2	2.64	0.0529	0.1773	
	2.75			
	2.65			
	2.75			
	2.71			
Fonte 3	2.60	0.0570	0.4061	
	2.64			
	2.73			
	2.71			
	2.62			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 46. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 2000 Hz Cantina Geral

Valores para 2000 Hz				
Fonte	T_{30} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor do teste de Kruskal-Wallis
Fonte 1	2.71	0.0404	0.6076	0.8437
	2.70			
	2.72			
	2.75			
	2.64			
Fonte 2	2.64	0.0522	0.4211	
	2.68			
	2.76			
	2.72			
	2.76			
Fonte 3	2.71	0.0507	0.0221	
	2.82			
	2.70			
	2.73			
	2.70			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 47. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 500 Hz Cantina Alternativa

Valores para 500 Hz				
Fonte	T_{20} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	1.8	0.0665	0.9796	0.727
	1.85			
	1.89			
	1.93			
	1.97			
Fonte 2	1.82	0.0879	0.3119	
	1.99			
	1.91			
	1.83			
	2.01			
Fonte 3	1.82	0.1375	0.8682	
	1.67			
	1.95			
	2.03			
	1.83			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 48. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 1000 Hz Cantina Alternativa

Valores para 1000 Hz				
Fonte	T_{20} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	2.12	0.1726	0.9244	0.4630
	2.06			
	2.32			
	2.18			
	1.85			
Fonte 2	1.99	0.1383	0.9509	
	2.02			
	2.08			
	1.85			
	2.23			
Fonte 3	2.10	0.0902	0.4025	
	1.95			
	2.08			
	1.96			
	1.89			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 49. Resultados análise estatística T_{20} (s) em 2000 Hz Cantina Alternativa

Valores para 2000 Hz				
Fonte	T_{20} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da Kruskal-Wallis
Fonte 1	2.05	0.0422	0.0229	0.8631
	1.98			
	1.97			
	1.97			
	2.05			
Fonte 2	1.99	0.0390	0.3749	
	1.96			
	1.95			
	2.05			
	1.99			
Fonte 3	2.05	0.0585	0.7583	
	1.90			
	2.03			
	1.97			
	1.99			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 50. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 500 Hz Cantina Alternativa

Valores para 500 Hz				
Fonte	T_{30} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	1.81	0.0611	0.1352	0.191
	1.80			
	1.82			
	1.77			
	1.93			
Fonte 2	1.90	0.0336	0.5597	
	1.86			
	1.88			
	1.89			
	1.95			
Fonte 3	1.99	0.0915	0.1545	
	1.82			
	1.87			
	2.00			
	1.81			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 51. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 1000 Hz Cantina Alternativa

Valores para 1000 Hz				
Fonte	T_{30} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	2.01	0.0729	0.3660	0.2830
	2.00			
	2.14			
	2.02			
	1.94			
Fonte 2	1.99	0.0336	0.9937	
	1.97			
	1.96			
	1.93			
	2.02			
Fonte 3	1.99	0.0335	0.3140	
	2.03			
	2.01			
	1.99			
	2.07			

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 52. Resultados análise estatística T_{30} (s) em 2000 Hz Cantina Alternativa

Valores para 2000 Hz				
Fonte	T_{30} (s)	Desvio-padrão	p-valor Shapiro-Wilk	p-valor da ANOVA
Fonte 1	2.00	0.0182	0.2538	0.5361
	1.99			
	2.00			
	1.96			
	1.97			
Fonte 2	1.99	0.0130	0.3749	
	1.98			
	1.98			
	1.98			
	2.01			
Fonte 3	2.07	0.0483	0.7583	
	1.94			
	1.99			
	2.00			
	2.03			

Fonte: Autora, 2020.