



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**

ADONEY ARAILSON DE JESUS

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM ESTÚDIO DE ENSAIO DE PEQUENO PORTE**

Brasília

2019

ADONEY ARAILSON DE JESUS

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM ESTÚDIO DE ENSAIO DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado a Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Sérgio Luiz Garavelli

Brasília

2019

ADONEY ARAILSON DE JESUS

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM ESTÚDIO DE ENSAIO DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado a Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Brasília 04 de Julho de 2019.**

**Banca examinadora**

---

Dr. Sérgio Luiz Garavelli  
Orientador

---

Erika Regina Costa Castro  
Examinadora interna

---

Rosanna Duarte Fernandes Dutra  
Examinadora interna

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pai Criador de todas as coisas, que me concedeu a graça de poder realizar mais uma meta em minha vida e por me abençoar grandemente com pessoas maravilhosas que me ajudaram muito e também todas aquelas que conheci nesse caminho que foi trilhado com muito suor e lágrimas, mas agora se torna um pendão de uma conquista deveras importante nesta jornada.

A toda minha família, meus irmãos: Roseleyne Maria de Jesus, Carlos Eduardo Jesus de Souza e Carlos Roberto Jesus de Souza que sempre estiveram ao meu lado em todas as circunstâncias; nas alegrias e tristezas, nas lutas e fadigas, nas brigas e reconciliações e também nas batalhas e conquistas que por força de todo apoio sempre foram alcançadas. Agradeço especialmente a minha mãe Geralda Maria de Jesus que me gerou e deu-me a vida. Se não fosse por todo seu trabalho e suor de criar os quatro filhos sozinha e educa-los todos na fé católica e apostólica, incentivar a uma vida melhor e lutar todos os dias para nos dar um teto e muito amor incondicional, eu jamais teria alcançado coisa alguma nesta vida. Tudo que tenho e sou eu devo a mulher mais amável desse mundo, minha Mãe.

Agradeço também a Luciana Koga Morato que se manteve fiel ao meu lado em todas as atribulações e jamais me deixou esmorecer, mesmo quando eu já não queria mais prosseguir em frente e quando o desânimo levou-me a pensar que eu não era capaz de prosseguir, ela segurou-me firme e me ajudou a seguir em frente.

Por fim gostaria de acrescentar todos os meus professores e colegas que me auxiliaram nesse processo de aprendizagem e crescimento humano e social, e especialmente agradecer a meu Orientador Dr. Sergio Garavelli, por toda paciência e dedicação em me ajudar a compor este documento.

## RESUMO

A acústica de ambientes tem grande importância no cenário atual da sociedade. Com o crescimento vertiginoso das indústrias fonográficas como: teatro, cinema, empresas de dublagem e com o enorme comércio musical, tornou-se de suma importância o conhecimento e tratamento de ambientes acústicos próprios para as práticas citadas acima. Em especial a música, que trabalha com uma grande gama de frequências sonoras simultaneamente, precisa de um refinamento acústico muito elevado, buscando cada vez mais a perfeição, pois a cada dia o consumidor se torna mais exigente quanto a qualidade sonora dos produtos oferecidos. O surgimento de grandes estúdios de ensaio e gravação proporcionaram a música uma maior eficiência acústica, mas para isso é necessário compreender de forma clara que existem muitos parâmetros que um projetista deve dominar para que o projeto atenda com qualidade ao seu propósito. Tais parâmetros como: Tempo de reverberação ( $T_{60}$ ), Clareza ( $C_{50}$ ), Definição ( $D_{50}$ ), Inteligibilidade e tantos outros, devem ser avaliados com grande atenção para a escolha adequada dos materiais e equipamentos a serem adotados na construção de uma sala acusticamente tratada. Com finalidade de difundir esse conhecimento foi realizado um estudo de caso em um estúdio de pequeno porte e foram analisados os parâmetros objetivos que caracterizavam o ambiente. O estúdio apresentou resultados satisfatórios apesar de ter uma deficiência no tratamento de algumas faixas de frequência.

## **ABSTRACT.**

The acoustics of environments have great importance in the current scenario of society. With the dizzying growth of the phonographic industries such as theater, cinema, dubbing companies and the enormous musical commerce, it became of the utmost importance the knowledge and treatment of acoustic environments appropriate to the practices mentioned above. In particular music, which works with a wide range of sound frequencies simultaneously, needs a very high acoustic refinement, seeking more and more perfection, because every day the consumer becomes more demanding as to the sound quality of the products offered. The emergence of large rehearsal and recording studios has provided the music with greater acoustic efficiency, but for this it is necessary to clearly understand that there are many parameters that a designer must master in order for the project to serve its purpose with quality. Such parameters as: Reverberation Time (T60), Clarity (C50), Definition (D50), Intelligibility and many others, should be evaluated with great attention to the proper choice of materials and equipment to be adopted in the construction of an acoustically treated room. In order to disseminate this knowledge, a case study was carried out in a small studio and the objective parameters characterizing the environment were analyzed. The studio presented satisfactory results despite having a deficiency in the treatment of some frequency bands.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação gráfica de uma Onda.....	8
Figura 2 – Reflexão especular e Reflexão difusa ou Difusão .....	10
Figura 3 – Índice de Absorção.....	13
Figura 4 - Gráfico do Tempo de reverberação.....	18
Figura 5- Curva Noise Criteria.....	22
Figura 6 - Entrada e fundo da sala de ensaio.....	26
Figura 7- Parede esquerda e direita com estrutura em ziguezague .....	27
Figura 8– Parede com um difusor de pedras e dois absorvedores de tecido. ....	28
Figura 9 – Detalhes do teto e paredes com difusores.....	28
Figura 10 – Sonômetro – Solo (01dB) .....	30
Figura 11 – Sonômetro – Fusion (01dB) .....	30
Figura 12 – Tripé (Manfrotto).....	31
Figura 13 – Notebook .....	31
Figura 14 – Balões 18” (polegadas) .....	32
Figura 15– Trena a Laser (Bosch .....	32
Figura 16– Protetores auriculares. ....	33
Figura 17– Esquema espacial da sala e posicionamento dos equipamentos.....	34
Figura 18– Curva Noise Criteria s/ ar condicionado. ....	36
Figura 19 – Curva Noise Criteria c/ ar condicionado.....	38

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Pressão sonora da sala s/ ar condicionado.....	37
Gráfico 2– Pressão sonora da sala c/ ar condicionado ligado.....	37
Gráfico 3 – Nível de pressão sonora na sala de emissão.....	39
Gráfico 4 - Nível de pressão sonora na sala receptora.....	39
Gráfico 5 – Pressão sonora medida fora do estúdio.....	40
Gráfico 6 – Gráfico do Tempo de Reverberação.....	41
Gráfico 7– Tempo de reverberação ótimo.....	42
Gráfico 8– Gráfico do Early Decayment Time.....	43
Gráfico 9 – Gráfico de Definição.....	44
Gráfico 10 – Gráfico de Clareza.....	45



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Valores de ALcons .....	23
Tabela 2 – Valores de STI .....	24
Tabela 3 – Tempo de reverberação por faixa de frequência.....	41

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO E ESTRUTURA DO TRABALHO .....	2
2.1. Objetivo Geral. ....	2
2.2. Objetivo específico. ....	2
2.3. Estruturação do trabalho. ....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1. Resumo Histórico .....	3
3.2. Condicionamento acústico em estúdios .....	4
3.3. Definição de Som .....	5
3.3.1. Ondas.....	6
3.3.2. Frequência e Período .....	7
3.4. Interferências entre Sinais .....	8
3.5. Reflexão, Difusão, Absorção e Impedância .....	9
3.5.1. Reflexão .....	9
3.5.2. Difusão .....	9
3.5.3. Absorção .....	10
3.5.4. Impedância.....	11
3.6. Modelagem acústica de salas .....	12
3.6.1. Materiais e Dispositivos de Absorção .....	12
3.6.2. Dispositivos de Difusão .....	15
3.6.3. Dispositivos de Reflexão .....	16
3.7. Parâmetros objetivos de medição acústica.....	17
3.7.1. Tempo de Reverberação $T_{60}$ .....	17
3.7.2. EDT .....	19
3.7.3. Claridade e Definição .....	20
3.7.4. Curva Noise Criteria (NC).....	21
3.7.5. Inteligibilidade e STI .....	23
4. METODOLOGIA DE ANÁLISE .....	25
4.1. Modelo de análise – Prime Estúdio .....	25

4.1.1.	Características geométricas da sala de ensaios .....	26
4.1.2.	Materiais e revestimentos .....	26
4.2.	Predefinições .....	29
4.3.	Parâmetros objetivos de medição acústica .....	29
4.4.	Equipamentos e Softwares .....	29
4.5.	Descrição dos procedimentos .....	33
5.	RESULTADO .....	36
5.1.	Noise Criteria e som residual .....	36
5.2.	Tempo de reverberação ( $T_{60}$ ) .....	40
5.3.	Early Decayment Time – EDT .....	42
5.4.	Definição ( $D_{50}$ ) e Clareza ( $C_{80}$ ) .....	43
5.5.	Speech Transmission Index – STI .....	45
6.	CONCLUSAO .....	46
6.1.	Considerações finais .....	46
6.2.	Sugestão de Trabalhos de pesquisa futuros .....	46

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da acústica nasce da necessidade de compreensão dos efeitos causados pelas ondas sonoras propagadas nos diversos meios onde o indivíduo está inserido. Uma parte do estudo da acústica que sempre teve muito destaque desde seu surgimento foi o estudo de parâmetros que definem o uso ideal da geometria e materiais em ambientes destinados as artes audiovisuais, como os grandes anfiteatros gregos.

Na contemporaneidade os meios digitais têm ganhado cada vez mais espaço entre as artes audiovisuais, levando o indivíduo a um grande êxodo dos meios físicos para os meios eletrônicos, criando assim uma busca cada vez maior por estúdios adequados para a captação e tratamento das ondas sonoras, afim de entregar com maior fidelidade o produto gerado por eles.

Para isso é necessário que o estúdio tenha domínio de todos os parâmetros acústicos necessários para o adequado controle de ruídos, seja a geometria espacial, os materiais empregados na concepção do projeto, o acondicionamento do ar no ambiente a ser utilizado ou mesmo os equipamentos eletrônicos que servirão de emissores e receptores sonoros.

Levando em conta que a utilização de estúdios de pequeno porte tem sido cada vez mais difundida, seja para ensaios de bandas ou gravações de mídias musicais, é necessário verificar a qualidade desses ambientes que em sua grande maioria tem negligenciado a consultoria de especialistas do ramo da acústica por não disporem de investimentos suficientes para tal, podendo assim não adquirir a qualidade necessária a para a transmissão da informação desejada.

## 2. OBJETIVO E ESTRUTURA DO TRABALHO

### 2.1. Objetivo Geral.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar qualitativamente o desempenho acústico do estúdio de ensaio e gravação musical, Prime Estúdio, localizado no Dakota Shopping, Sudoeste/DF.

### 2.2. Objetivo específico.

Avaliar o desempenho acústico do estúdio, por meio dos seguintes parâmetros:

- Noise Critéria, Tempo de Reverberação, Inteligibilidade da Fala (STI), Clareza, Definição e EDT, que está relacionado com as primeiras reflexões.
- Comparar os dados avaliados *in situ* com os valores ideais recolhidas de bibliografias e normas reconhecidas no meio de estudo da acústica.
- Indicar melhorias, caso necessário, para mitigação das deficiências encontradas no estúdio.

### 2.3. Estruturação do trabalho.

O trabalho está dividido em 6 capítulos dispostos na seguinte organização:

Capítulo 1 – Traz a Introdução, onde o conteúdo abrange a motivação do presente trabalho e também sua relevância para o cotidiano.

Capítulo 2 – Objetivo geral e os Objetivos específico que compõe a estrutura do trabalho, bem como sua organização.

Capítulo 3 – É constituído das referências bibliográficas juntamente com os conceitos fundamentais referentes a acústica e o tratamento de ambientes fechados. Tais conceitos são balizadores para a boa compreensão do presente trabalho.

Capítulo 4 – Composto da metodologia aplicada na coleta dos dados utilizados no desenvolvimento do trabalho, os materiais utilizados para captação e sintetização dos dados.

Capítulo 5 – Esta etapa é constituída dos resultados obtidos das medições e aferições realizadas *in situ*.

Capítulo 6 – Aqui é apresentado as conclusões oriundas de análise feita no material coletado e sintetizado.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Resumo Histórico

Para remontar a histórica importância da acústica, temos primeiro que compreender que ela existe desde antes do surgimento dos primeiros seres humanos dotados de capacidade racional em nosso planeta. Desde o advento da vida na terra, os animais usam o som como forma de comunicação, seja para se proteger de possíveis predadores ou para se comunicar com outros de sua espécie afim de assegurar que a vida em comunidade lhes garanta a perduração da espécie, facilitando a caça, segurança ou ritos de acasalamento.

O primeiro registro histórico sobre a acústica arquitetônica deve-se a Marcus Vitruvius Pollio, engenheiro e arquiteto romano. Foi engenheiro militar de Júlio César, e escreveu sobre a acústica dos teatros. Uma parte de sua obra. De Architectura Libri Decem, escrita a cerca de 50 A.C. trata das características acústicas dos teatros gregos e romanos em forma de semicírculo. (FIGUEIREDO, 2005, p. 11).

Como é sabido, muitas espécies de animais utilizam os som de formas variadas e para diferentes finalidades, como exemplo pode-se citar as baleias que emitem fortes sinais sonoros, que podem ser captados a longas distâncias, a fim indicar aos possíveis parceiros que estão prontas para o acasalamento e reprodução de sua espécie; pode-se também citar vários outros exemplos como o leão que utiliza seu rugido para delimitar seu território ou os morcegos que usam seu trissar como forma de localização e referencial espacial ante aos objetos que ele precisa atravessar.

Ao surgir as primeiras sociedades organizadas nasce com ela a necessidade de aprimoramento dos meios de comunicação, buscando maior eficiência e inteligibilidade na troca de informações e interação social. Na Grécia antiga era muito comum o uso dos anfiteatros para ouvir pronunciamentos políticos, informações pertinentes à coletividade social e principalmente para entretenimento. Esses grandes teatros a céu aberto eram projetados de forma a ter o melhor

aproveitamento das ondas sonoras para maior conforto do orador e maior inteligibilidade da plateia. Seu uso era das mais variadas formas, peças teatrais ou musicais, corridas de Biga, duelos de gladiadores e entre outras tantas utilidades.

Desde então a utilização desses espaços ganhou cada vez mais atratividade. Diante disto a necessidade de estudos científicos no campo da acústica tem sido cada vez maior. Com a revolução industrial no século XVIII o nível de ruídos nos grandes centros urbanos, esses espaços a céu aberto foram se tornando inviáveis e dando espaço a ambientes fechados com melhor acondicionamento sonoro, afim de evitar que os ruídos externos fossem entrave para o público interno e para que os ruídos gerados pelas apresentações não afetassem o cotidiano externo ao ambiente, nascendo assim o conceito de isolamento e condicionamento acústico.

Hoje com a revolução tecnológica você pode ouvir suas músicas ou assistir suas peças teatrais sem ter ao menos sair de casa. Os meios digitais proporcionaram ao indivíduo um poder maior de escolha sobre os conteúdos que lhe interessam, mas para que esse produto chegue até ele é necessário o surgimento de novas técnicas de captação e tratamento de som, surgindo assim o conceito de Estúdio de gravação e ensaio, que será o foco deste trabalho.

### **3.2. Condicionamento acústico em estúdios**

Para a correta captação e modelagem do campo acústico, seja ele visando a gravação ou apenas ensaios, é necessário se ter um ambiente preparado adequadamente para se trabalhar as ondas sonoras com eficiência e qualidade. Estes espaços são chamados de Estúdios.

Geralmente localizados em ambientes comerciais, os estúdios podem apresentar diversas características a serem notabilizadas a partir de sua finalidade, podendo comportar orquestras ou pequenas bandas populares, gravações de canto ou dublagens. Existem uma grande gama de estúdios e cada um com características distintas a serem levadas em conta no seu projeto e concepção. Neste trabalho será abordado apenas estúdios de ensaio e gravação de pequeno porte.

Segundo Valle, (2009, p. 215), cada tipo de música ou de áudio, num sentido geral, requer um estilo diferente de acústica de sala para execução ou gravação. Além disso, cada pessoa tem um gosto diferente. Embora possa haver maus gostos, algum consenso nessa escolha – não creio que ninguém pense em criar um estúdio para gravar música pop leve com 5 segundos de reverberação! Assim, ao se projetar a sala de gravação, deve-se, antes de mais nada, saber para que ela será preparada.

A indústria fonográfica é muito exigente quanto a qualidade de seus produtos, por isso os estúdios cada vez mais têm adequado seus projetos para tratar as ondas sonoras com maior eficiência trazendo assim ao público uma experiência cada vez mais imersiva, possibilitando a qualidade de captação e transmissão fiel ao som emitido direto da fonte originária

Para fazer o projeto acústico de um ambiente, é preciso tomar um ponto de partida, em geral, o ponto de partida implica em definir os limites gerais das dimensões do ambiente, já que se pressupõe que um terreno com determinada área útil estará disponível. O próximo passo implica em fazer o estudo de ruído ambiental presente no terreno, a fim de definir o isolamento acústico necessário. Em parte, o isolamento acústico necessário também passa pela definição dos tipos de fontes presentes no interior do ambiente já que também é necessário garantir que as atividades desenvolvidas no recinto não perturbem sua vizinhança. (BRANDÃO, 2016, p. 550).

### **3.3. Definição de Som**

Para definir o que é som se recorrerá a algumas definições prescritas por alguns autores, como Bistafa, (2018, p. 18). O som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectada pelo sistema auditivo. Ao nível do mar, a pressão ambiente é de 101.350 Pa. A menor variação de pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo é da ordem de  $2 \times 10^{-5}$  Pa. Essa pressão chamada –se limiar da audição. E a variação de pressão ambiente capaz de provocar dor é o



limiar da dor. Diferentes valores de pressão são atribuídos a dor, desde 20 até 200 Pa.

Para Valle, (2009, p. 9), áudio, palavra que existe em português e em muitas outras línguas, vem do latim *áudio* que quer dizer “ouço”. No sentido técnico, entende-se por áudio qualquer fenômeno no qual ocorram de 20 a 20 mil ondas por segundo. O ouvido humano é capaz de perceber sons que contenham números de ondas por segundo dentro dessa faixa.

Dessa forma pode-se notar que o som é uma grandeza física definida como uma onda mecânica que se propaga por um meio, envolvendo variações temporais e espaciais, gerando uma perturbação sensível ao sistema auditivo. Contudo essas variações se delimitam a em campos diferentes onde definimos como frequências, podendo elas serem definidas como frequências baixas, frequências medias ou frequências agudas, sendo a frequência definida como o número de vezes que essas ondas se repetem em um intervalo de 1 segundo, tendo sua unidade o Hz (Hertz).

### **3.3.1. Ondas**

Como ondas são fenômenos regidos pelas leis da física, nada mais conveniente do que abordar esse tema dentro do campo da exatas que o descobriu e por longos anos vem o estudado e encontrado cada vez mais utilidades e aplicações de seus estudos, tendo em consideração a sua grande importância ao longo de toda a história da humanidade em toda sua completude.

As ondas são um dos principais assuntos da física, para se ter uma ideia da importância das ondas no mundo moderno basta considerar a indústria musical. Cada peça musical que escutamos, de uma roda de choro ao mais sofisticado concerto sinfônico, depende da produção de ondas pelos artistas e da capacidade da plateia de detectar essas ondas. Entre a produção e a detecção a informação contida nas ondas pode ser transmitida (como no caso de uma apresentação ao vivo pela internet) ou gravada e reproduzida (através de CDs, DVDs ou outros meios atualmente em desenvolvimento nos centros de pesquisa). A importância econômica

do controle de ondas musicais é enorme e a recompensa para os engenheiros que desenvolvem novas técnicas de controle pode ser muito generosa (HALLIDAY e RESNICK, 2012, p. 117).

Segundo Brandão, (2016, p. 62), o termo “onda” diz respeito ao fato de que o som é um fenômeno físico que envolve variações espaciais e temporais em uma dada quantidade física. Para o fenômeno sonoro, essa quantidade física é por exemplo, a densidade volumétrica do fluido, dada em  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ .

Existem três tipos de ondas mais importantes e mais amplamente conhecidas, que são: Ondas Mecânicas, Ondas Eletromagnéticas e Ondas de Matéria. Como a relevância de nosso trabalho se resume aos estudos acústicos, se aterá apenas a compreensão das ondas mecânicas.

Ondas mecânicas: Essas ondas são mais conhecidas, já que estão presentes em toda parte; são, por exemplo, as ondas do mar, as ondas sonoras e as ondas magnéticas. Todas possuem duas características: são governadas pelas leis de Newton e existem apenas em meios materiais, como a água, o ar e as rochas. (HALLIDAY e RESNICK, 2012, p. 117).

### **3.3.2. Frequência e Período**

Outras características conhecidas dos fenômenos sonoros são a frequência e o período que podem ser descrevidas graficamente como funções do tipo senoidal e cossenoidal e podendo assim ser representadas graficamente, com gráficos obtidos através do estudo Movimento Harmônico Simples (MHS).

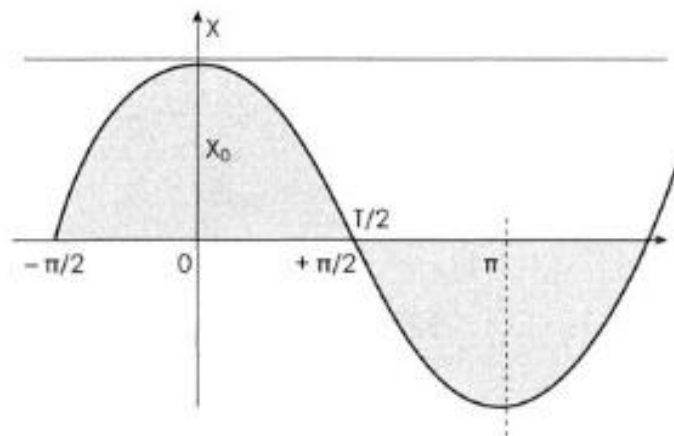
Segundo Costa, (2003, p. 3), dá-se o nome de frequência de uma onda sonora ao número de vibrações completas executadas pela mesma em um segundo.

O tempo que leva para um objeto deslocado executar um ciclo completo de movimento oscilatório – de um extremo ao outro e de volta ao anterior - é chamado de período  $T$ . o inverso do período é a frequência ( $f$ ), que é o número de ciclos por unidade de tempo.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Eq: 1}$$

A unidade de frequência que representa o comportamento da onda é o ciclo por segundo (ciclo/s), ou hertz (Hz), que pode ser definido como a quantidade de ciclos que ocorrem no período de um segundo, como pode ser verificado na Figura 1 que mostra um ciclo de onda completo.

**Figura 1 - Representação gráfica de uma Onda.**



Fonte: COSTA, 2011, p. 05.

### 3.4. Interferências entre Sinais

Considerando que as ondas mecânicas são conduzidas através de um meio material, muitos fenômenos podem acontecer a essa onda antes que ela chegue ao seu receptor. Muitas influências como, a geometria do ambiente, a densidade atmosférica e temperatura, os obstáculos que ela encontra no caminho. Tudo isso gera interferência no sinal emitido, causando assim distorções na onda primordial.

Em uma sala o ouvinte recebe o som direto da fonte e as reflexões nas diversas superfícies da sala, e o sinal percebido pelo ouvinte será o resultado da interferência entre o som direto e as reflexões. (BRANDÃO, 2016, p. 94).

Há dois tipos de fenômenos acústicos: os causados pelo comportamento das superfícies, e os ligados às dimensões do ambiente. O primeiro tipo compreende os

retardos ecos e a reverberação. O segundo grupo compreende os efeitos das ondas estacionárias. A utilização dos efeitos benéficos e a eliminação dos efeitos maléficos destes fenômenos são os objetivos do condicionamento acústico. (VALLE, 2009, p. 81).

De acordo com Costa, (2003, p. 37), quando dois sons são da mesma frequência, a sua superposição da origem a um movimento vibratório de frequência igual, e amplitude que pode apresentar valores desde a diferença até a soma das amplitudes dos movimentos componentes, dependendo da fase relativa dos mesmos.

### **3.5. Reflexão, Difusão, Absorção e Impedância**

Dentre os efeitos causados na onda sonora por meio das interferências, sejam geométricas ou pelos materiais utilizados na composição do estúdio, as principais interferências que podem ocorrer são: Reflexão, Difusão, Absorção e a Impedância. Esses fatores precisam ser bem compreendidos e controlados a fim de garantir que a sala tenha o tratamento acústico adequado em todas as principais faixas de frequências ajustadas de acordo com a especificidade de cada estúdio e sua finalidade.

#### **3.5.1. Reflexão**

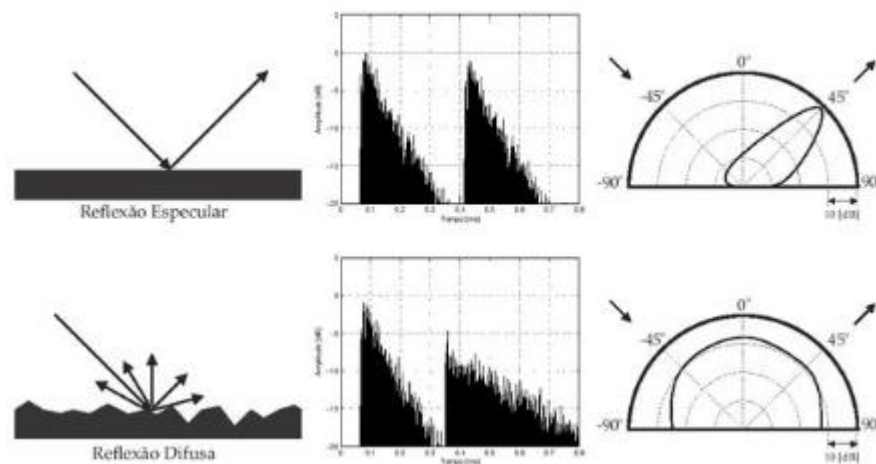
A reflexão é um fenômeno físico que consiste em analisar a mudança de direção de uma onda quando ela incide sobre uma superfície e tem seu retorno em um mesmo ângulo do seu emissor incidente. A reflexão é alvo primordial no estudo de acústica de ambientes, levando em conta que é a partir delas que conseguimos medir os níveis de interferências e assim pode-se controlar melhor os ruídos que poderão agregar construtivamente ou destrutivamente o trabalho.

#### **3.5.2. Difusão**

Diferentemente da reflexão onde a onda é refletida no mesmo ângulo de incidência, na difusão a onda incide sobre uma superfície imperfeita gerando assim vários vetores de saída, com ângulos diferentes a serem emitidos de forma aleatória e dissipados por uma gama maior de espaço. Assim como a reflexão a difusão tem papel fundamental no controle acústico de ambiente. Ela é capaz de distribuir o som de forma mais conveniente levando as ondas sonoras a todo o ambiente projetado.

Sabe-se que, ao incidir em uma superfície, a onda sonora será parcialmente absorvida e parcialmente refletida na direção especular. No entanto, parte da energia também será refletida de maneira difusa, o que corresponde a reflexões em diversas direções além da direção especular. Como se verá, a reflexão difusa está ligada ao fato de que as superfícies na sala não finitas e apresentam irregularidades em maior ou menor grau (BRANDAO, 2016, p. 191). Como se pode notar na Figura 2.

**Figura 2 – Reflexão especular e Reflexão difusa ou Difusão**



Fonte: BRANDAO, 2016, p. 108.

### 3.5.3. Absorção

Devido à grande diferença entre os materiais empregados na construção de um estúdio, alguns desses materiais podem acabar absorvendo parte das frequências enviadas por meio das fontes sonoras presentes no interior do ambiente. Esses materiais, geralmente porosos, devem ser adequadamente dimensionados

para que apenas as frequências indesejadas ou em excesso sejam absorvidas, sem causar prejuízos as frequências essenciais a serem trabalhadas.

Quando uma onda sonora incide sobre uma superfície sólida, parte da energia sonora é absorvida devido ao atrito e viscosidade do ar, transformando-se em calor. Esta parcela de energia que, caracteriza o coeficiente de absorção, depende essencialmente da natureza do material. (COSTA, 2011, p. 32).

Ainda segundo Costa, (2011, p. 32), considerando que os poros do material absorvente sejam suficientemente pequenos, de tal forma que a resistência oferecida ao movimento vibratório da onda sonora, em vista da própria inercia do ar contido nos mesmos, seja desprezável e que, portanto, prevaleça a resistência devido a viscosidade no movimento das partículas em contato com as paredes dos poros.

#### **3.5.4. Impedância**

Outro conceito que precisa-se ter consciência no estudo da acústica é a Impedância, pois ela é responsável por resistir a ao movimento das ondas, gerando assim resistência pela densidade do meio onde a onda se propaga. Por isso é necessário manter o confinamento ideal do meio onde se deseja propagar as ondas sonoras, pois isso pode influenciar diretamente na velocidade de propagação da onda, podendo gerar certo desconforto auditivo.

No caso mecânico, pode-se dizer que a impedância é a grandeza que se opõe a movimentação do sistema. A inercia é a tendência a não modificar o estado cinético do sistema e a impedância é a tendência a eliminar o movimento, dessa maneira, um elemento mecânico que apresente um grande atrito apresenta grande impedância, embora sua inercia possa ser tão pequena quanto possível. (NEPOMUCENO, 1968, p. 62)

### **3.6. Modelagem acústica de salas**

Tendo conhecimento das propriedades acústicas, agora é necessário adequar o seu ambiente para sua devida finalidade. Cada ambiente carrega em si características particulares como a geometria espacial, a estética desejada pelo idealizador, a quantidade de pessoas que poderão utilizar o espaço concomitantemente e tantas outras questões que devem ser levantadas para que o tratamento acústico aplicado ao espaço seja eficaz à sua finalidade, seja ela: gravação, ensaios, dublagens, etc.

O correto emprego dos materiais e dispositivos dentro de um estúdio é de suma importância e por isso antes de aplicar os materiais e dispositivos no ambiente é necessário conhecer bem cada um deles, sua finalidade, bem como suas vantagens e desvantagens, buscando o maior equilíbrio entre as bandas de frequências e o seu tempo de reverberação para o receptor, evitando assim ruídos ou interferências indesejadas.

Como já visto, as ondas mecânicas que se propagem em um meio, sofrem alterações de acordo com os materiais que nela incidem, provocando reflexões, absorção por algum material poroso ou áspero ou a sua difusão por meio de superfícies irregulares. Conhecendo as características desses materiais foram criados dispositivos que auxiliarão no tratamento acústico das ondas dentro de uma sala fechada, buscando a melhor resposta em todas as faixas de frequências que ressonam nela.

#### **3.6.1. Materiais e Dispositivos de Absorção**

Todos os materiais apresentam em si características físicas que o tornam mais ou menos ideal para o emprego como dispositivo de absorção acústico, por isso cada material apresenta um índice de absorção acústica, representado pela letra grega  $\alpha$  (Alfa), que varia de acordo com a frequência emitida e incidida nele. Tais índices podem variar entre 0 e 1, sendo respectivamente 0,0% e 100% de absorção, para materiais lisos e podendo ultrapassar esses valores para superfícies em relevo.

De acordo com normas e literaturas sobre o tratamento acústico, um material absorvedor nas baixas frequências deve ter pelo menos um índice de absorção próximo de 0,6, quando nas altas frequências e medias frequências esses materiais são considerados bons quando alcançam um índice aproximado de 0,95. Um dispositivo que com o emprego adequando desses materiais atinja 0,6 e 0,95 nas baixas e medias ou altas frequências é considerado um bom absorvedor de banda larga.

Várias tabelas foram criadas para nos auxiliarem a encontrar com maior facilidade os materiais mais empregados em projetos acústicos e seus respectivos coeficientes de absorção de acordo com suas faixas de frequências. A seguir pode-se ver um exemplo na Figura 3.

**Figura 3 – Índice de Absorção**

Materiais		Índice de Absorção					
Nº	Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
1	Illbruck Sonex 75mm	0,23	0,68	0,98	1,04	0,97	0,99
2	Illbruck Sonex Roc 45mm	0,15	0,70	1,00	0,85	0,91	0,90
3	Vibrasom Sonique 75/30	0,19	0,93	1,01	0,96	0,96	0,96
4	Vibrasom Sonique Classic 45C	0,17	0,38	0,96	1,07	0,97	0,97
5	Isover Scnare	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98
6	Lã de vidro Isover PSI 40, 50mm, direto sobre parede	0,12	0,69	0,98	1,02	1,05	1,06
7	Lã de vidro Isover PSI 30, 100mm, direto sobre parede	0,68	1,17	1,10	0,98	0,99	0,91
8	Carpete comum 6mm	0,03	0,05	0,09	0,23	0,38	0,54
9	Compensado 6mm afastado 7,5cm da parede	0,60	0,30	0,10	0,09	0,09	0,09
10	Painel perurado 0,79% afast. 20cl da parede c/ 10cm de lã	0,98	0,87	0,52	0,20	0,17	0,14
11	Painel perfurado 8,7% afast. 20cm da parede c/ 10cm de lã	0,78	0,97	0,95	0,52	0,32	0,28
12	Piso de madeira sobre ripas	0,20	0,15	0,10	0,08	0,07	0,05
13	Parede alvenaria c/ emboço	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03

Fonte: Valle, 2009, p. 218.

Ao longo dos anos vários dispositivos foram criados afim de dar melhor resposta de absorção de ondas indesejadas nos projetos de acústica. Em seguida será falado resumidamente de alguns dos dispositivos mais utilizados.



- **Absorvedores Porosos**

Os materiais tais como, espumas, feltros, lã de rocha ou lande vidro, são estruturas onde a onda sonora adentra nas frestas e porosidades apresentadas pela característica do material e internamente é refletida diversas vezes até que as ondas se anulem. Esses dispositivos são muito eficientes no tratamento de frequências medias e agudas, mas não atingindo uma boa eficiência nas baixas frequências.

- **Absorvedores de Membrana**

É o mais simples dos ressonantes. Consiste em uma chapa relativamente fina de material, montada sobre uma cavidade fechada. A cavidade pode ser formada por alvenaria e/ou madeira, e deve ser bem solida para não vibrar com o som, além disso, deve ser hermeticamente vedada, de modo que não possa vaziar nenhum ar pelas suas emendas ou por entre a cavidade e a membrana. A membrana deve ser feita de compensado, fibra vegetal (Duratex® ou Eucatex®) ou outro material que possa vibrar sem produzir sons “metálicos”. (VALLE, 2009, p, 222).

- **Absorvedores de Helmholtz**

São estruturas compostas de cavidades que se comunicam com o meio exterior por meio de dutos onde o ar exerce papel de compliância. O duto pode ser construído de várias formas e quantidades a depender da sintonia que se deseja trabalhar. Os absorvedores de Helmholtz mais comuns são o painel perfurado e o absorvedor de frestas.

- **Painel Perfurado**

Como o próprio nome pode sugerir o absorvedor de Painel Perfurado consiste em uma cavidade que se comunica com o ambiente externo por meio de uma placa perfurada onde o duto pode ser considerado a soma das áreas de todos os orifícios nela feitos. O seu interior deve ser preenchido de material absorvedor, como lã de vidro ou de rocha ou mesmo outros materiais com característica de absorção em bandas de frequências desejadas.

- **Absorvedor de Frestas**

Esse absorvedor tem características muito similares ao Painel perfurado, porem ao invés de furos os dutos são compostos de canaletas retas, que permitem a passagem das ondas e se encontram com materiais absorvedores em seu interior. Esse tipo de absorvedor é muito utilizado por ter a mesma eficiência do Painel Perfurado e poder adquirir propriedades estéticas mais elegantes, levando assim a eficiência e estética concomitantemente.

### **3.6.2. Dispositivos de Difusão**

A superfície funciona, para o som, da mesma maneira que uma parede branca fosca age para a luz: as ondas não são absorvidas, e sim espalhadas para todas as direções. Todo o ambiente fica suavemente sonorizado. A difusão do som pode ser no espaço, no tempo ou em ambos. A difusão no espaço consiste em “espalhar” a onda incidente para todas as direções com a mesma intensidade total - ou seja, para cada direção seguira uma pequena parcela da energia total. A difusão no tempo consiste em produzir, em vez de uma só reflexão bem definida, uma sequência aleatória ou calculada de reflexões, usando para isto uma superfície com ressaltos e cavidades que produzam tempos de atraso diferente. (VALLE, 2009, p. 78).

- **Difusor Simples**

O difusor simples consiste em formar uma parede não absorvedora e levemente abaulada de forma que as ondas que incidem nela são refletidas em várias direções, tornando o som mais suave e difuso.

- **Difusor Policilíndrico**

Este difusor é constituído de várias superfícies cilíndricas dispostas lado a lado em forma arcos no sentido horizontal. Geralmente feito de lâminas finas de compensado que são curvados deixando um volume interior que pode ser revestido de material absorvedor, podendo servir aos propósitos de difusor e absorvedor ao mesmo tempo. Sua forma pode ainda agregar ao ambiente um perfil estético.

- **Difusores de Manfred Schroeder**

Os difusores de Schroeder consistem em cavidades de diferentes profundidades, separadas por finas divisórias. As profundidades das cavidades seguem as sequencias matemáticas descobertas pelo matemático. Além da dispersão espacial, os difusores deste tipo oferecem a difusão temporal, isto é, as ondas sonoras que retornas do difusor não são alinhadas no tempo, o que contribui decisivamente para eliminar qualquer sensação de eco definido. (VALLE, 2009, p. 238).

- **Difusor Fractal**

Como é sabido um fractal é a superposição de uma forma geométrica repetida em escalas diferentes sobre si própria. Usando esse princípio nos difusores é como criar difusores dentro de difusores em escalas diferentes obtendo assim boas respostas de difusão nos vários tipos de frequências, podendo abranger desde as ondas de baixas frequências até as de medias e altas frequências, gerando uma difusão muito agradável e dispersa.

- **Difusor Bidirecional**

Todos os difusores que foram mencionados são considerados unidirecionais por refletir as ondas apenas em uma direção, vertical ou horizontal, porem ao se aplicar os métodos de Schroeder simultaneamente nas duas direções, vertical e horizontal, e também o princípio dos difusores fractais, pode se construir um difusor que consegue distribuir as ondas sonoras em ambas as direções.

### **3.6.3. Dispositivos de Reflexão**

Quando uma onda não é absorvida pelo material, ela é refletida e pode gerar vários inconvenientes caso essa reflexão não seja feita de forma difusa. Materiais lisos e pouco porosos como o vidro, mármore, etc. acabam gerando reflexões muito fortes e causam muito desconforto auditivo quando as ondas refletidas se acumulam.

Quando as paredes refletoras estão paralelas e próximas entre si, elas podem gerar um efeito chamado de Flutter Echo, que pode ser descrito como uma sequência de dobras na onda que geram um desconforto acústico gravíssimo, para evitar que esse efeito, indesejado, aconteça é necessário evitar o paralelismo entre as superfícies refletoras, inclinando uma ou mais superfície em relação a superfície à sua frente.

### **3.7. Parâmetros objetivos de medição acústica**

Para melhor compreensão do comportamento das ondas sonoras que percorrem em um ambiente fechado, é indicado que além dos parâmetros subjetivos, relacionados aos processos físicos e químicos do sistema auditivo humano, se utilize parâmetros mais objetivos e mensuráveis para o desenvolvimento do projeto acústico. Alguns parâmetros como Tempo de reverberação, Claridade, Definição e Inteligibilidade, por exemplo, são fatores importantes no desenvolvimento do projeto, visando atender as normas estabelecidas para a construção e utilização de espaço acusticamente preparados.

Grande parte dos parâmetros acústicos que utiliza-se nos projetos acústico nasce da resposta de impulso e é filtrado em bandas de terças ou oitavas. Quando um receptor é submetido a um impulso temos que levar em conta que os dados podem variar de acordo com o posicionamento do sistema Fonte/Receptor. Na música esses parâmetros muitas vezes são usados de forma analógica ou digitalmente inseridos afim de trazer mais personalidade ao trabalho, podendo aproveitar os ecos e reverberações, delays e tantos outros que podem expressar o sentimento do produtor. Para conseguir aproveitar de forma conveniente esses “efeitos”, é necessário estudar e compreender como eles funcionam.

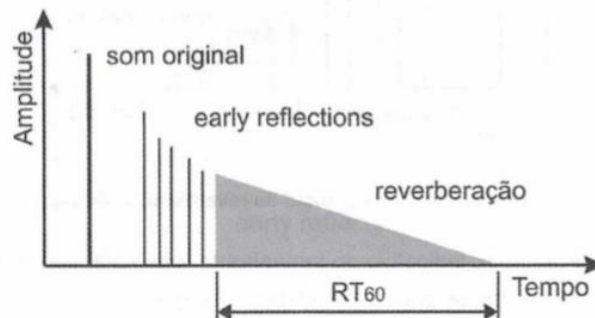
#### **3.7.1. Tempo de Reverberação $T_{60}$ .**

O tempo de reverberação  $T_{60}$  é o tempo em que uma onda sonora refletida demora para decair em 60dB a partir da início da reverberação. Wallace C. Sabine realizou os primeiros experimentos sobre a reverberação, e fez a relação entre o

tempo necessário para que a energia sonora se reduza à um milionésimo da energia do som em regime estacionário.

Desde o momento em que o som é gerado até que ele definitivamente se dissipe, ele percorre vários caminhos, sendo o mais forte o som direto que não provêm de nenhuma reflexão no ambiente, e as reflexões geradas nas superfícies, mais fracas que o direto, e que podem causar uma sensação de prolongamento do som original. (VALLE, 2009, p. 94), como indicado na Figura 4.

**Figura 4 - Gráfico do Tempo de reverberação**



Fonte: VALLE, 2009, p. 94.

Como o Tempo de reverberação  $T_{60}$  é um dos parâmetros mais importantes no estudo das ondas acústicas em ambientes, é preciso compreender como as ondas mecânicas se comporta com os obstáculos que encontra pelo caminho e como ela é recebida pelo receptor. As alterações que podem ser percebidas e registradas no ambiente devem ser devidamente parametrizadas para se evitar distorções indesejadas no som percebido pelo usuário final.

Wallace Sabine criou, em 1900, a fórmula que leva seu nome, para cálculo do tempo de reverberação num ambiente:

$$RT_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \alpha} \text{ (segundos).} \quad \text{Eq: 2}$$

Onde:  $V$  é o volume da sala, medido em  $m^3$  (metros cúbicos) e  $S\alpha$  é a absorção do ambiente, sendo  $\alpha$  a média dos coeficientes de absorção dos materiais presentes na sala e  $S$  a área total da sala em  $m^2$ .

De acordo com a formula de Sabine, podemos perceber que o tempo de reverberação é inversamente proporcional a absorção do ambiente, ou seja, quanto maior a absorção do ambiente, menor é o tempo de reverberação  $T_{60}$ .

### 3.7.2. EDT

Para calcular o tempo de reverberação  $T_{60}$ , a área de decaimento começa a ser analisada em -5dB antes da máxima resposta impulsiva ou da região estacionária. Devido ao fato da análise do trecho entre 0dB e -5dB, a região onde ocorre as primeiras reflexões, é considerada como errática, por esse motivo, para uma melhor análise da região inicial de reflexões, é empregado o uso do parâmetro objetivo EDT (Early Decay Time), que é expresso pela equação a seguir:

$$EDT = 60 \frac{t_{-10} - t_0}{-0 - (-10)} = 6t_{-10} \quad \text{Eq: 3}$$

Onde:  $t_{-10}$  é o tempo de reverberação medido a -10dB antes do início da medição e é expresso em s (segundos) e  $t_0$  é o tempo de reverberação quando a curva atinge 0dB e também é medido em s (segundos).

O EDT é bastante influenciado pelos níveis relativos e distribuição temporal das primeiras reflexões, já que ele está relacionado ao início do decaimento. Dessa forma, esse é um parâmetro consideravelmente dependente da configuração fonte-receptor na sala, o que faz com ele varie mais ao longo do recinto do que o  $T_{60}$ . (BRANDÃO, 2016, p. 506).

Como para a acústica estática o decaimento energético é exponencial e regular do começo ao fim, o EDT equivale ao  $T_{60}$ , e, por isso, não tem uma expressão dedicada. Vale dizer também que o EDT se correlaciona um pouco melhor com a fala e a música com rápida sequência de notas (stacatto), já que a cauda reverberante será mascarada pela próxima sílaba ou nota. (BRANDÃO, 2016, p. 506)

### 3.7.3. Clareza e Definição

Clareza e Definição são parâmetros objetivos que estão relacionados à capacidade subjetiva de distinguir sons em sequência (“clareza” de um sinal sonoro). Quando uma sala apresenta um bom grau de clareza, a música tocada nela soa bem-definida, com articulações sonoras límpidas e exatas, independentemente do andamento. Da mesma forma, um sinal de voz terá vocábulos bem articulados. Assim, esses parâmetros estão relacionados à inteligibilidade da música (Clareza) e a inteligibilidade da fala (Definição). Isso está relacionado ao fato de que as primeiras reflexões, que chegam dentro de até 50 ou 80 [ms], tendem a ser integradas ao som direto pelo sistema auditivo. (BRANDÃO, 2016, p. 507).

A clareza da fala ou C50 serve para avaliar a inteligibilidade da palavra falada, e é a razão entre a energia acústica nos primeiros 50ms e no restante do tempo. A fórmula da clareza de fala é semelhante à da presença, exceto pelos limites das integrais, que neste caso se concentram em 50 milissegundos:

O parâmetro C80 mede, em escala decibel, a razão entre a energia das primeiras reflexões e a energia da cauda reverberante (EGAN, 2011). Ambos os parâmetros podem ser expressos matematicamente pelas expressões:

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} h^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} h^2(t) dt} \quad \text{Eq: 4}$$

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} h^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} h^2(t) dt} \quad \text{Eq: 5}$$

Onde:  $h(t)$  é a pressão acústica num determinado tempo e o valor final é expresso em dB.

Para Valle, (2009, p. 140), os valores corretos da clareza de música dependem, naturalmente, do tipo de música executada:

- Abaixo de 0 dB: Instrumentos de sopro, incluindo órgão, tocando melodias com notas longas;

- De 0 dB a +4dB: Música clássica e sinfônica; cordas e corais. Permite música mais rápida que o anterior, e é ideal para igrejas tradicionais.
- De +2 dB a +6 dB: Instrumentos de cordas puxadas, música pop. Música religiosa mais moderna, jazz leve, estilo com notas mais rápidas.
- De +6 dB a +10 dB: Instrumentos de percussão, rock'n'roll inclusive em igrejas. Adapta-se melhor à música atual.
- Valores superiores a +10 dB produzem salas muito “mortas”.

Segundo Brandao, (2016, p. 508), analogamente, os outros dois parâmetros são o  $D_{80}$  e o  $D_{50}$ , que representam a definição para avaliações de salas destinadas à música e à fala.

$$D_{80} = \frac{\int_0^{80ms} h^2(t)dt}{\int_0^{\infty} h^2(t)dt} \quad \text{Eq: 6}$$

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} h^2(t)dt}{\int_0^{\infty} h^2(t)dt} \quad \text{Eq: 7}$$

Pode-se notar que as grandezas são dadas em escala linear, isso significa que um valor maior que 0,5 desses parâmetros quer dizer que a região das primeiras reflexões carrega a maior parte das quantidades de energia contida na resposta ao impulso e um valor menor que 0,5 desses parâmetros significa que a região da cauda reverberante carrega a maior parte da quantidade de energia contida na resposta ao impulso. Da mesma forma, o parâmetro  $D_{50}$  tem sido constantemente utilizado para a avaliação de salas destinadas à fala. Valores adequados de  $D_{50}$  indicam uma boa inteligibilidade da fala. Já o  $D_{80}$  não tem sido tão utilizado na análise de salas para música. Acredita-se que o uso do  $C_{80}$  tenha tornado o uso de  $D_{80}$  redundante, embora não exista nenhum motivo que impeça o uso de ambos. (BRANDÃO, 2016, p. 509).

#### 3.7.4. Curva Noise Criteria (NC)

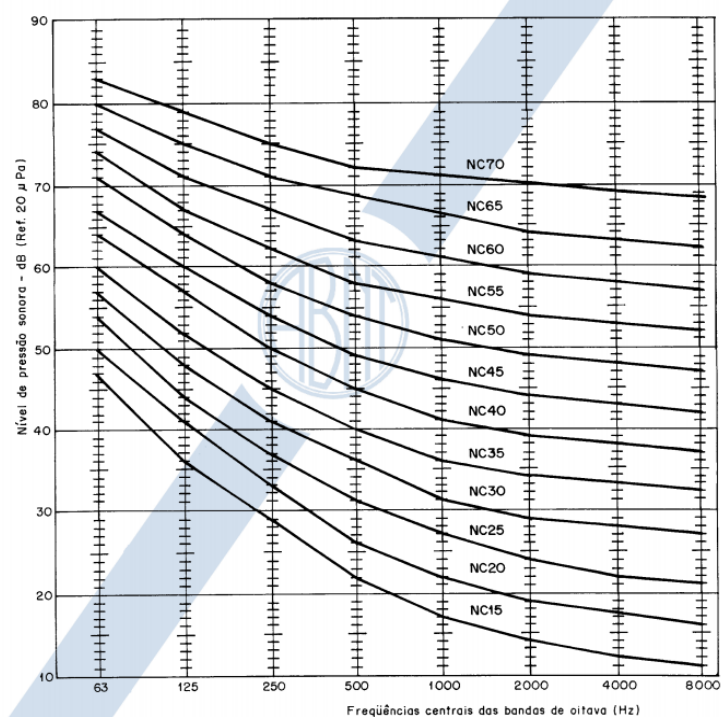
Quando é feito o projeto de uma sala acusticamente tratada se espera que o nível de ruídos seja o mínimo, e se possível que seja nulo, pois os ruídos levam em si uma conotação negativa e geralmente ele é indesejado pois causa sensações



desagradáveis ao ouvido, portanto é primordial analisar os níveis de ruídos que são gerados em um determinado ambiente para então poder “atacar” de forma apropriada o problema e encontrar soluções viáveis que tornem o ambiente apropriado a sua utilização específica. Para isso geralmente é utilizado o método das Curvas Noise Criteria ou Curva NC.

Este é o método mais usado, inclusive no Brasil. Baseia-se em curvas que variam conforme o nível. Assim como o ouvido, em níveis baixos os graves influem menos na leitura. As curvas não são também paralelas, já que em níveis mais baixos os graves são ainda menos audíveis; portanto as curvas correspondentes a baixos níveis sonoros são mais ascendentes nas frequências baixas. (VALLE, 2009, p. 190).

**Figura 5- Curva Noise Criteria**



Fonte: Norma ABNT 12152-1987.

Os ambientes destinados à estúdios de gravação devem estar situados na faixa abaixo da curva NC-20, com um nível de pressão sonora equivalente abaixo de 30 dB (A), para condições de audibilidade excelentes. Já os ambientes destinados à prática de música devem estar situados na faixa entre a curva NC-20 e NC-30, com

um nível de pressão sonora entre 30 dB (A) e 38 dB (A) para condição de audibilidade muito boa. (EGAN, 2007).

### 3.7.5. Inteligibilidade e STI

Além de todos os conceitos já mencionados, será visto a importância da inteligibilidade na concepção de um projeto acústico adequado, pois todos os parâmetros estudados até aqui são fonte de conhecimento para o controle das ondas sonoras objetivando a recepção de um usuário.

O destinatário final dessas ondas precisa ouvir e entender com qualidade os sons emitidos, assim como é importante para um narrador esportivo ser compreendido em sua narração ou um cantor que precisa cantar com boa dicção para que seu público compreenda de forma clara e objetiva às suas canções.

A inteligibilidade denota a facilidade de compreensão das palavras que uma pessoa, com acuidade auditiva normal, tem ao se relacionar com as ondas sonoras que chegam até ela por meio da fala. É desejável em um estúdio que as pessoas se compreendam mutuamente e que consigam definir com precisão o diálogo que por eles são executados e para isso então é feito uma análise sobre o grau de inteligibilidade do ambiente, visando a máxima qualidade do produto final a ser realizado.

Segundo Valle, (2009, p. 128), em 1971, Peutz e Klein (Holanda) estabeleceram uma fórmula para, a partir das características acústicas da sala e da fonte sonora, calcularmos diretamente a perda de articulação  $AL_{cons}$  (Articulation Loss of Consonants), mostrado na tabela 1.

**Tabela 1– Valores de  $AL_{cons}$**

Valores de $AL_{cons}$	
0% a 5%	Excelente
5% a 10%	Bom
10% a 15%	Aceitável
Acima de 15%	Inaceitável

Fonte: VALLE, 2009, p. 128.

A inteligibilidade por ser um parâmetro subjetivo é feita geralmente a partir de um parâmetro objetivo conhecido como Speech Transmissivo Index (STI).

Segundo Brandão, (2016, p. 535), o STI está fundamentado no fato de que a reverberação e o ruído de fundo fazem com que a amplitude de modulação do sinal recebido por um ouvinte em uma sala seja menor que a amplitude de modulação do sinal emitido (sem ruído e reverberação).

Os parâmetros do STI são regulamentados pela norma IEC 602608-16 e a escala de inteligibilidade nela apresentada varia de 0 a 1 onde 0 representa a inteligibilidade mínima e não aconselhável e 1 é o valor máximo de inteligibilidade conforme a tabela 2.

**Tabela 2 – Valores de STI**

Valor do STI	Avaliação segunda a IEC 60268-16
0,75 - 1	Excelente
0,6 - 0,75	Bom
0,45 - 0,6	Adequado
0,3 - 0,45	Fraco
0 - 0,3	Péssimo

Fonte: Norma IEC 60268-16

Assim pode-se perceber que quanto maior for o índice STI, maior é a facilidade de compreensão da fala por meio do receptor e tornando assim a inteligibilidade maior. Quanto menor for esse índice, mais difícil é a compreensão do receptor e sua capacidade de abstração da fala.

Apesar da complexidade, o STI é considerado um parâmetro objetivo bastante robusto para a medição de inteligibilidade, o que o torna um parâmetro de uso obrigatório nesse contexto. Nada impede o projetista, no entanto, de utilizar métricas mais simples nas etapas iniciais do projeto. (BRANDÃO, 2016, p. 541).

## **4. METODOLOGIA DE ANÁLISE**

Este trabalho tomou como base as normas técnicas nacionais e internacionais, para execução do método científico a, visando maior confiabilidade e procedência na geração dos dados que serão analisados.

Adiante irá-se descrever de forma direta e objetiva os métodos utilizados na captação de dados e as características do estúdio analisado, tais como as características físicas do ambiente estudado, localização, materiais empregados em sua construção, além de também descrever os equipamentos utilizados no experimento durante as medições e coleta de dados.

### **4.1. Modelo de análise – Prime Estúdio**

O estúdio Prime fica localizado na quadra 301 do Sudoeste, aproximadamente a 7,5 km da zona central de Brasília, suas salas estão localizadas no edifício comercial Dakota Shopping, no subsolo.

O estúdio de pequeno porte apresenta características minimalistas, tendo apenas uma sala de recepção e duas salas de ensaio, paralelas uma à outra, não tendo assim sala técnica para análise, portanto apenas as salas de ensaio foram utilizadas para captação de dados e análise de condicionamento acústico.

A sala de ensaios utilizada para o experimento é mostrada na Figura 6.

**Figura 6 - Entrada e fundo da sala de ensaio**

Fonte: Autor.

#### **4.1.1. Características geométricas da sala de ensaios**

O estúdio possui duas salas de ensaios com pequenas dimensões internas, sendo uma sala com comprimento de 6,34m, largura de 3,16m e altura média de 3,2m, alcançando um volume de aproximadamente  $64,11\text{m}^3$  e a segunda sala com comprimento de 6,22m, largura de 3,10m e altura média de 3,2m, totalizando um volume aproximado de  $61,70\text{m}^3$ . Caracterizando assim um estúdio de pequeno porte como já citado anteriormente.

#### **4.1.2. Materiais e revestimentos**

As características internas das salas buscam evitar o paralelismo entre as paredes, aplicando leves angulações na parte inferior das paredes laterais, com forma geométrica semelhante a uma serra, onde em sua grande parte é constituída de material essencialmente refletivo. A parede de entrada dispõe de um absorvedor no canto esquerdo, evitando acúmulo indesejado de ondas sonoras.

A parede de fundo contém uma inclinação a partir de 1,20m de sua altura e é composta de: madeira, dois painéis absorvedores e quatro peças de difusores, a parede de entrada é de alvenaria e contém dois difusores policilíndricos, enquanto a parede direita é formada por madeira, três painéis absorvedores de tecido e um painel de pedras irregulares que funciona como difusor, a parede esquerda, onde se localiza a bateria, é constituída de dois painéis absorvedores e um painel de pedras irregulares que também funciona como difusor, o restante é coberto por madeira, o teto é em sua totalidade composto por difusores do tipo policilíndrico de madeira, dispostos em duas direções distintas e ortogonais entre si, o piso é completamente de madeira. Os materiais podem ser vistos na Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

**Figura 7- Parede esquerda e direita com estrutura em ziguezague**



Fonte: Autor.

**Figura 8– Parede com um difusor de pedras e dois absorvedores de tecido.**



Fonte: Autor.

**Figura 9 – Detalhes do teto e paredes com difusores.**



Fonte: Autor.

## **4.2. Predefinições**

A análise experimental consistiu da captação e medição dos parâmetros acústicos objetivos e foi realizada In Situ, nas salas de ensaio do Prime Estúdio, localizado no Sudoeste, como visto anteriormente.

Após levantamento da geometria das salas em questão, onde foi considerado as características dos materiais absorvedores, difusores e refletivos, foram utilizados balões de látex de 18 polegadas como fonte sonora omnidirecional. Em seguida foi escolhida as posições dos equipamentos: receptores, fonte omnidirecional e a estação de trabalho que era constituída de um notebook ligado aos receptores.

## **4.3. Parâmetros objetivos de medição acústica**

Os parâmetros acústicos objetivos analisados neste experimento foram:

- Tempo de Reverberação ( $T_{60}$ )
- Tempo de Decaimento Inicial (EDT ou Early Decay Time)
- Clareza ( $C_{80}$ )
- Definição ( $D_{50}$ )
- Curva Noise Criteria (NC)
- Inteligibilidade

## **4.4. Equipamentos e Softwares**

Para a captura e sintetização dos dados dos parâmetros acústicos citados, foram necessários um conjunto de equipamentos de medição acústica listados adiante:

- Sonômetro – Solo: o medidor de pressão sonora da empresa 01dB®, possui filtros de banda de 1/3 de oitavas, e foi calibrado antes da medição. Foi utilizado na ponta de seu captador uma espuma corta vento. Figura 10.



**Figura 10 – Sonômetro – Solo (01dB)**



Fonte: Autor.

- Sonômetro – Fusion: medidor de pressão sonora também da empresa 01dB. Também foi configurado para bandas de 1/3 de oitavas e utilizado com uma espuma corta vento na ponta do microfone. Figura 11.

**Figura 11 – Sonômetro – Fusion (01dB)**



Fonte: Autor.

- Tripé: foram utilizados dois tripés da empresa Manfrotto para estabilização dos sonômetros, evitando que movimentos bruscos afetem as medições. Figura 12.

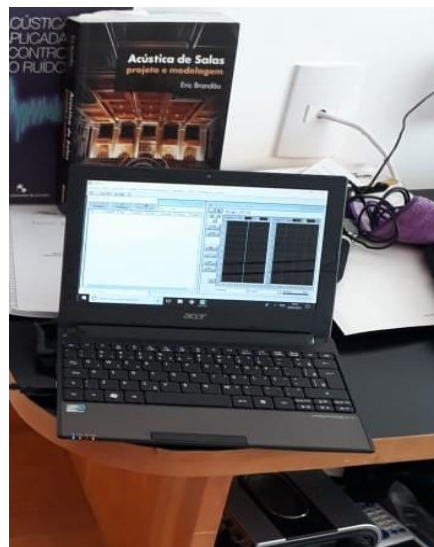
**Figura 12 – Tripé (Manfrotto)**



Fonte: Autor.

- Notebook: o notebook foi utilizado como estação de trabalho e foi ligado ao sonômetro para captação dos dados. Figura 13.

**Figura 13 – Notebook**



Fonte: Autor.

- Software – dB Trait: o software da empresa 01dB, instalado na estação de trabalho foi utilizado para registro das medições e sintetização de dados coletados.
- Software – dBbati: o software também pertence a empresa 01dB, fabricante dos Sonômetros que foi utilizado para análise dos registros.
- Balões: os balões escolhidos para o experimento foram de 18 polegadas e foram utilizados como fonte impulsiva omnidirecional dos ruídos gerados na sala acústica. Figura 14.

**Figura 14 – Balões 18” (polegadas)**



Fonte: Autor.

- Trena – Laser: foi utilizado uma trena a laser da fabricante Bosch® para aferição das dimensões do espaço estudado. Figura 15.

**Figura 15– Trena a Laser (Bosch)**



Fonte: Autor.

- Protetor auricular: como equipamento de segurança foram escolhidos protetores auriculares in ears e também um protetor auricular tipo concha para evitar desconforto auditivo e manter a segurança dos indivíduos. Figura 16.

Figura 16– Protetores auriculares.



Fonte: Autor.

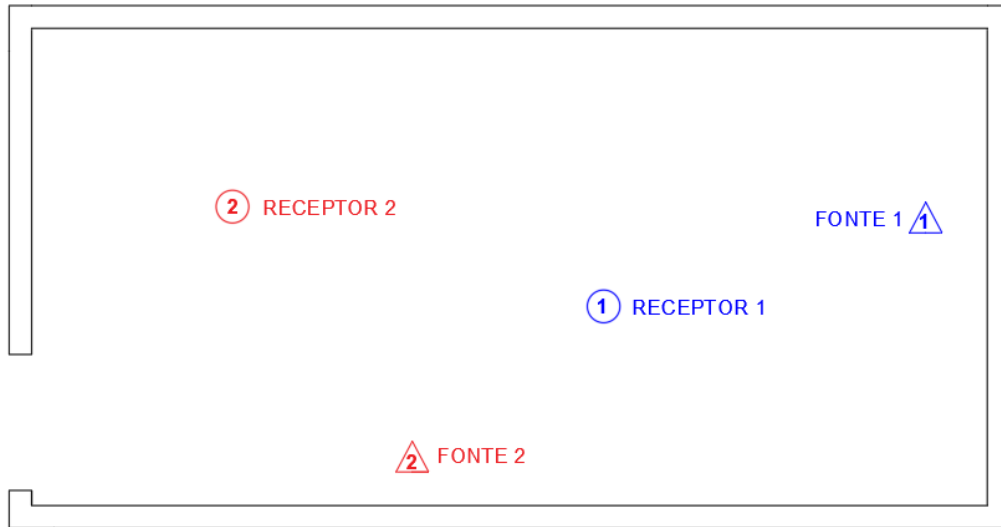
#### 4.5. Descrição dos procedimentos

O primeiro passo do ensaio foi medir o ruído externo em frente a fachada do estúdio, em seguida foi feita uma medição de ruídos dentro da sala com o ar condicionado ligado e outra medida com o ar condicionado desligado.

Os parâmetros acústicos foram medidos pelo método de resposta ao impulso gerado por uma fonte omnidirecional. Os medidores foram instalados em dois pontos distintos dentro da sala acústica e com distância mínima de 1,5 metros entre os pontos de medição entre si. As fontes sonoras foram disparadas a uma distância superior a dois metros do receptor e a estação de trabalho foi instalada no canto esquerdo da entrada da sala.

O esquema apresentado na figura 17 detalha o posicionamento do equipamento nas duas posições onde se encontram o receptor e a fonte de emissão sonora.

**Figura 17– Esquema espacial da sala e posicionamento dos equipamentos.**



Fonte: Autor.

No primeiro ponto onde foi feita a medição, o receptor foi instalado próximo ao centro da sala, como mostra a Figura 17. Logo em seguida foram estourados uma sequência de 3 balões de 18 polegadas, durante os estouros foram utilizados os protetores auriculares. Durante o experimento manteve-se o silêncio e a respiração foi feita de forma controlada, evitando que os captadores percebessem ruídos não advindos da fonte omnidirecional. Também foi suprimido o uso do ar condicionado para não haver alterações nos padrões captados.

A segunda posição, mais no início da sala e mais próximo à estação de trabalho, foram estourados mais uma sequência de 3 balões de 18 polegadas, assim como na primeira posição todas as precauções foram tomadas para segurança dos envolvidos e maior fidelidade a emissão do impulso omnidirecional.

Todas as medições de impulso foram feitas a uma distância mínima de 2m entre a fonte de ruído e o receptor, conforme prescrito em norma, visando alcançar resultados satisfatórios e coerentes com o estipulado pela Associação de Normas Brasileiras.

Após cada estouro da fonte impulsiva de ruídos, com o auxílio do computador e dos softwares próprios, foram registrados os dados correspondentes a cada

estouro. Esses dados foram consolidados e armazenados para posterior análise crítica e discussão dos resultados.

No software de captação foi configurado as predefinições para trabalhar com o tempo de reverberação da sala em bandas de terços de oitava, seguindo expressamente as indicações normativas nacionais e internacionais. Outra configuração na coleta de dados foi a utilização da integração de Schroeder, por se tratar de um método muito eficaz na determinação dos parâmetros de curva de decaimento.

Uma terceira configuração foi estipulada para a faixa dinâmica de medição, fazendo a análise acerta do processo de ajuste de curva adotando a faixa dinâmica de medição de 30dB, podendo assim obter os dados do tempo de reverberação  $T_{60}$ .

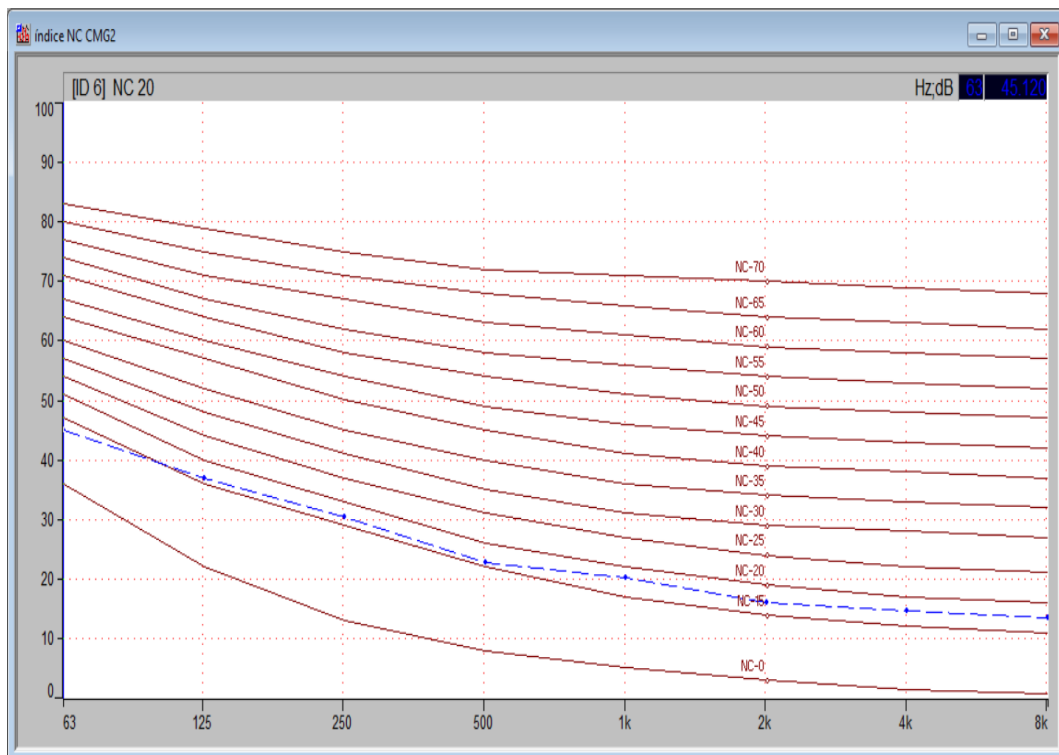
## 5. RESULTADOS

### 5.1. Noise Criteria e som residual

Para medição e síntese dos dados do som residual, obedeceu-se às normas exigidas, especialmente a ISO 140-4 – Measurement of sound insulation in building elements.

A análise do som residual foi feita com o ar condicionado desligado e apenas a estação de trabalho em funcionamento. O resultado obtido pela medição do som residual apresentou características apropriadas para a sala acústica analisada, levando em conta a curva Noise Criteria, que já foi apresentada neste trabalho, onde o estúdio teve um NC- 20, que corresponde ao recomendado em normas que define que esse tipo de ambiente deve ser enquadrado até as curvas NC-20 e NC-30, como apresentado figura 18, que apresenta a curva Noise Criteria do ambiente em questão.

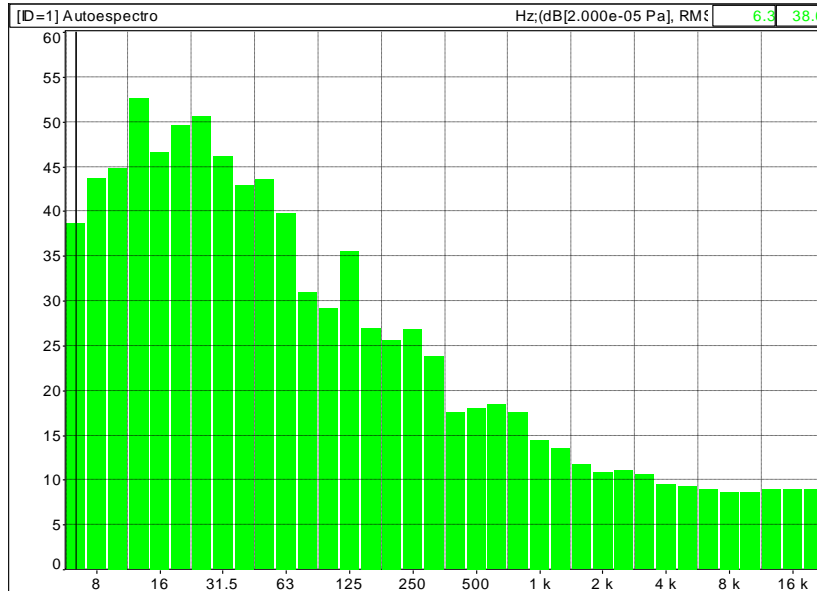
**Figura 18– Curva Noise Criteria s/ ar condicionado.**



Fonte: Autor

O Gráfico 1 apresenta os valores de níveis de pressão sonora (dB) para cada faixa de frequência que foi aferida dentro da sala.

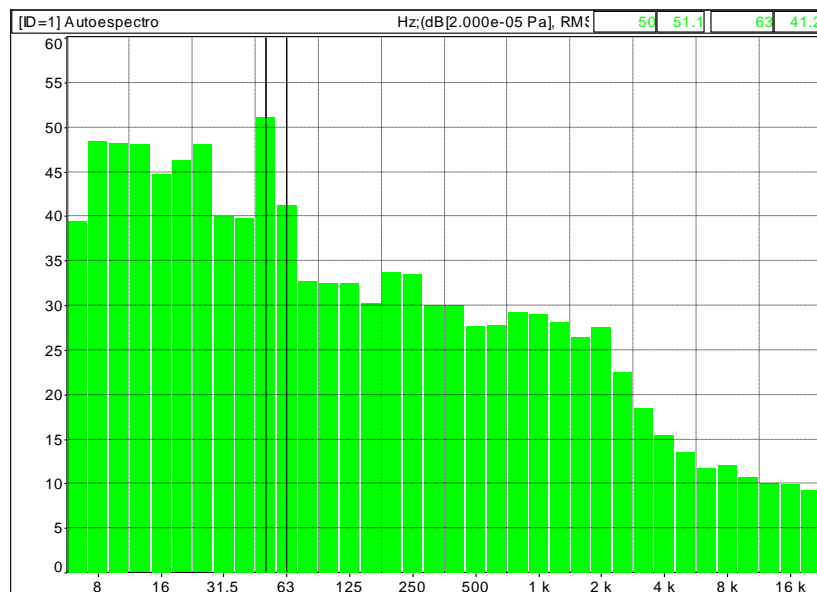
**Gráfico 1– Pressão sonora da sala s/ ar condicionado**



Fonte: Autor.

Para efeito de comparação foi realizada outra medição do Noise Criteria com o ar condicionado ligado para aferir o quanto de ruído é acrescido com o equipamento em funcionamento. O gráfico 2 apresenta os valores de pressão sonora para cada frequência e a figura mostra o valor do Noise Criteria.

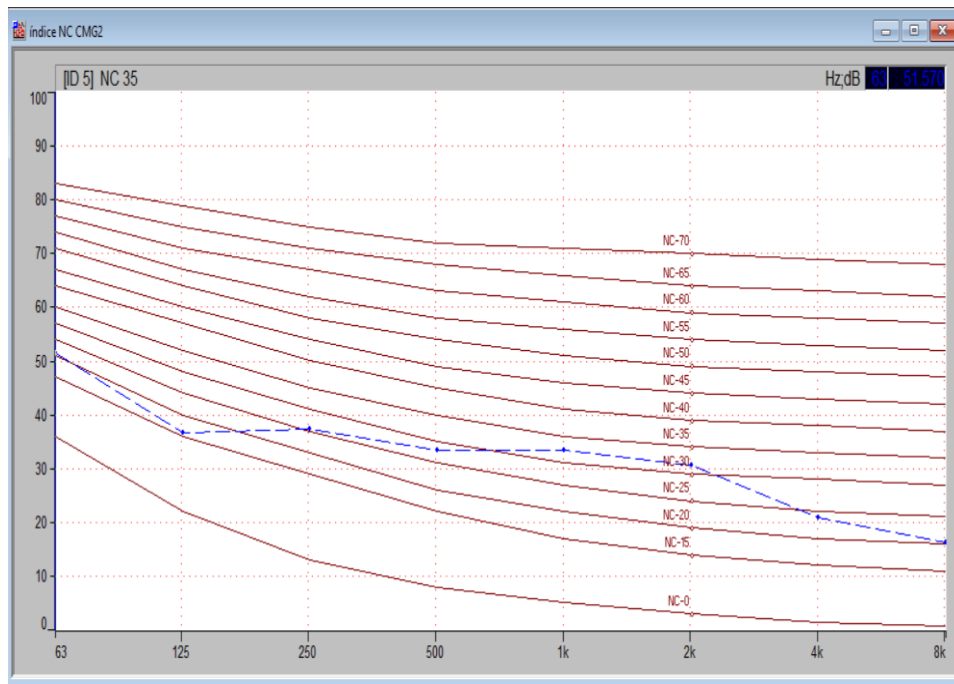
**Gráfico 2– Pressão sonora da sala c/ ar condicionado ligado**



Fonte: Autor.



**Figura 19 – Curva Noise Criteria c/ ar condicionado.**

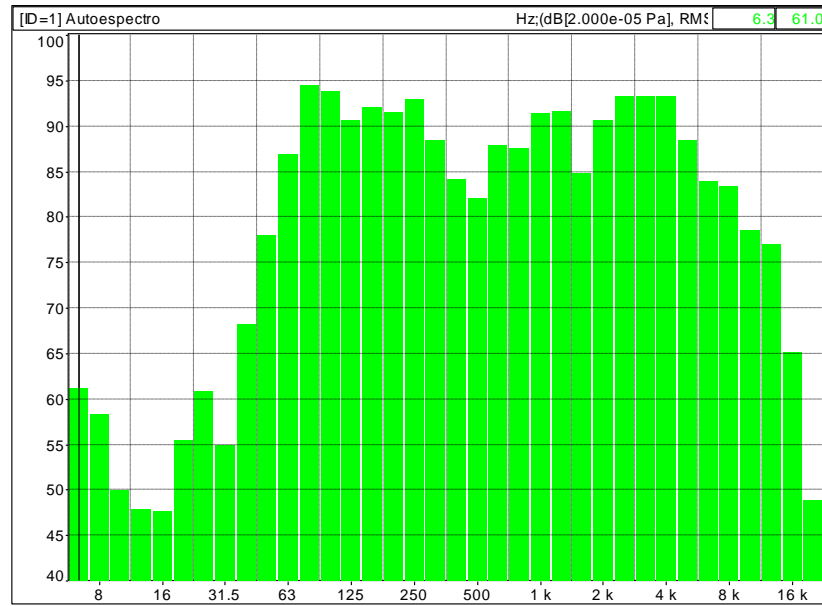


Fonte: Autor.

O que se conclui da comparação das duas situações é que, como esperado, o nível de ruído apresenta uma boa elevação, porém o ambiente continua adequado para sua finalidade, inferindo que o conforto térmico não atrapalha a utilidade do espaço estudado.

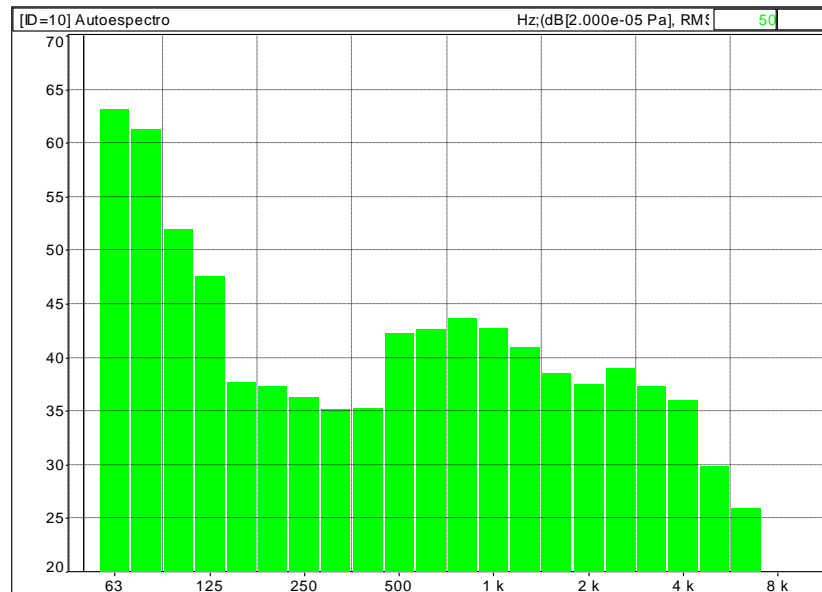
Outra medição feita, foi utilizando a sala ao lado como fonte emissora e comparando a elevação de ruído na sala estudada. A sala emissora apresenta as mesmas características construtivas e um mesmo volume espacial. Nela foi reproduzido uma música com nível médio de 90 dB como apresentado no gráfico 3, enquanto na sala onde todo o experimento foi conduzido foi medido o nível de interferência que uma sala causa na outra quando ambas estão sendo utilizada (figura 4). Como conclusão nota-se que houve uma grande interferência entre as salas, mostrando que o isolamento entre elas não se mostra eficaz.

**Gráfico 3 – Nível de pressão sonora na sala de emissão**



Fonte: Autor.

**Gráfico 4 - Nível de pressão sonora na sala receptora**

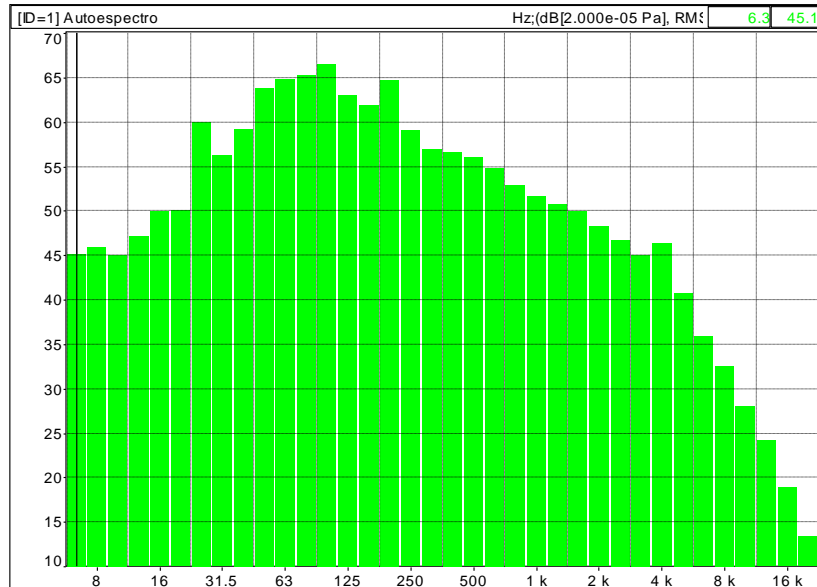


Fonte: Autor.

E uma última medição apresenta o nível de ruído externo ao estúdio. Foi realizada uma medição nas dependências do Dakota Shopping, logo em frente ao estúdio Prime. Os valores da medição mostram que os níveis de ruído externo não

oferecem valores significativos para interferências internas nas salas de ensaio. Os valores de ruídos externos podem ser conferidos no Gráfico 5.

**Gráfico 5 – Pressão sonora medida fora do estúdio**



Fonte; Autor.

## 5.2. Tempo de reverberação ( $T_{60}$ )

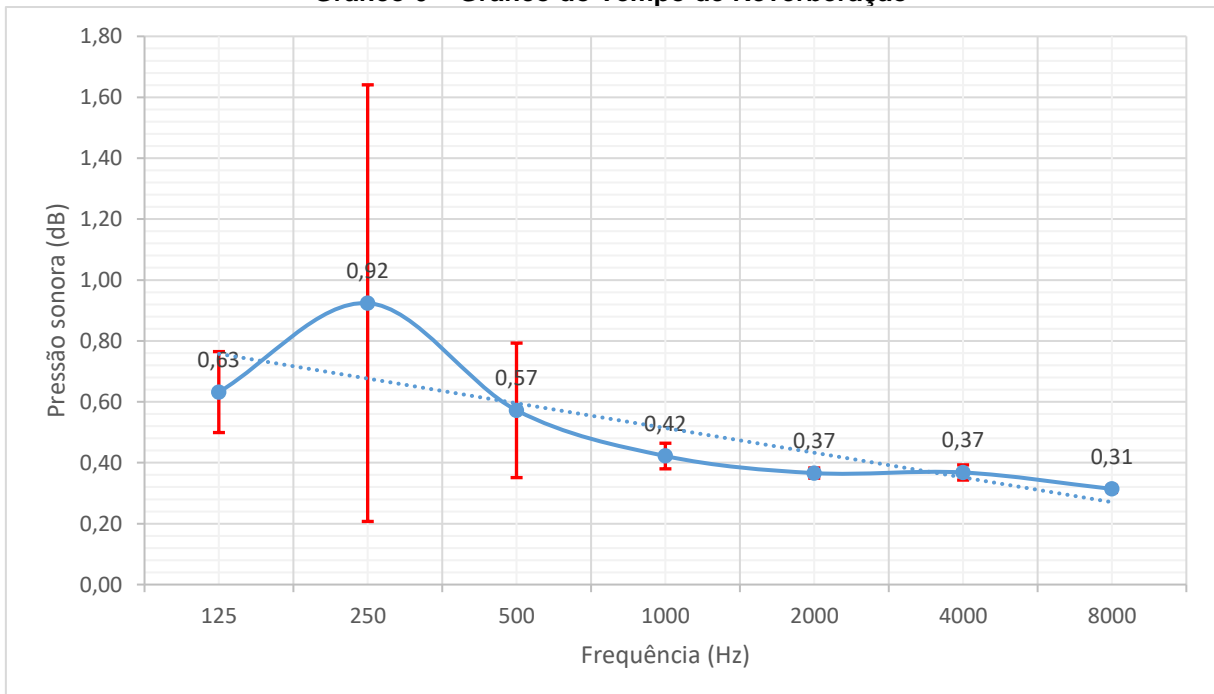
Este parâmetro levou em conta a norma NBR ISO 3382- Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas e a norma ISO 354:2003, que dispõe sobre as formas de medição do Tempo de reverberação  $T_{60}$ , que devem ser feitas em bandas de terças de oitavas entre 100Hz e 5kHz. Como já citado, foram obedecidas as distancias mínimas da fonte e receptor dentro do ambiente, mantendo o receptor a uma distância mínima de 1m de qualquer superfície nas três direções ortogonais e a fonte manteve-se a uma distância superior a 2m do receptor.

Os valores obtidos estão apresentados na tabela 3 e representados graficamente no gráfico 6 respectivamente.

**Tabela 3 – Tempo de reverberação por faixa de frequência**

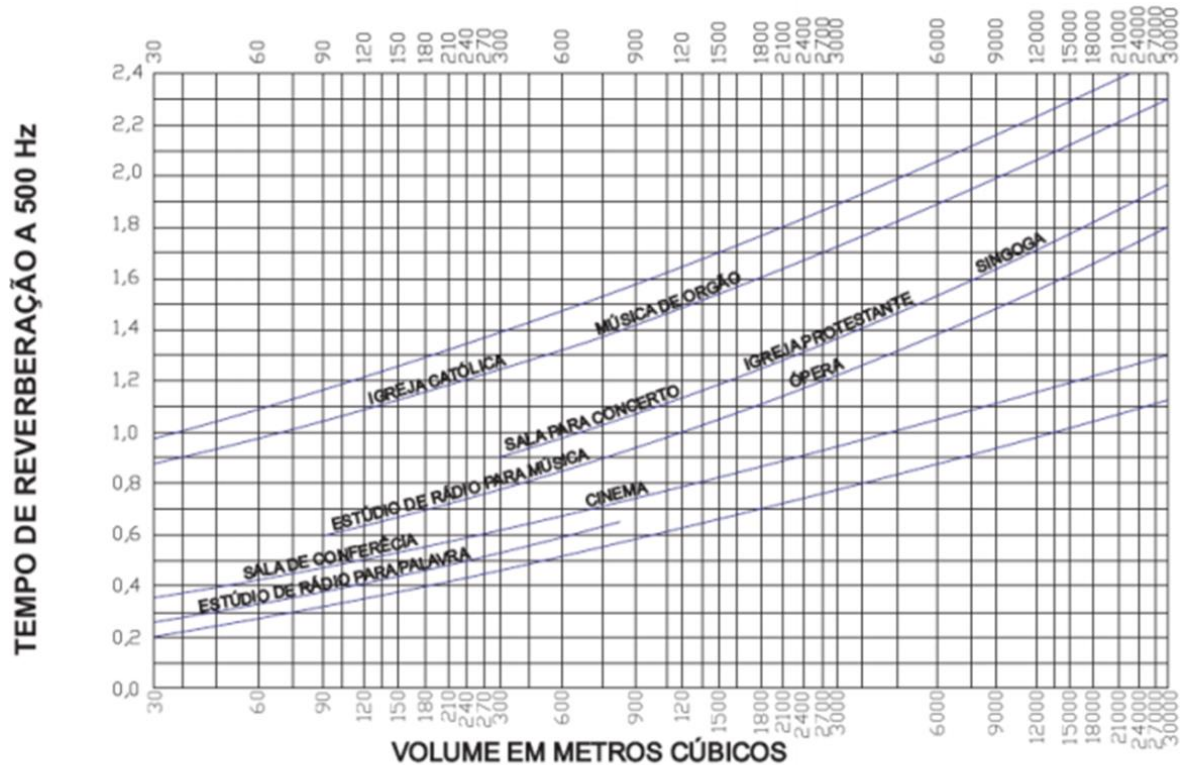
TEMPO DE REVERBERAÇÃO			TEMPO DE REVERBERAÇÃO		
Freq. (Hz)	TR (s)	Desvio	Freq. (Hz)	TR (s)	Desvio
50Hz	0,60	0,47	1kHz	0,38	0,08
63Hz	0,49	0,09	1.25kHz	0,35	0,01
80Hz	0,37	0,05	1.6kHz	0,34	0,01
100Hz	0,60	0,41	2kHz	0,35	0,02
125Hz	0,65	0,23	2.5kHz	0,35	0,01
160Hz	0,60	0,21	3.15kHz	0,36	0,02
200Hz	0,59	0,19	4kHz	0,36	0,03
250Hz	0,56	0,21	5kHz	0,34	0,02
315Hz	0,41	0,22	6.3kHz	0,32	0,01
400Hz	0,47	0,17	8kHz	0,30	0,01
500Hz	0,33	0,04	10kHz	0,28	0,01
630Hz	0,42	0,14	12.5kHz	0,25	0,01
800Hz	0,42	0,06	20kHz	0,45	0,31

Fonte: Autor.

**Gráfico 6 – Gráfico do Tempo de Reverberação**

Fonte: Autor.

Gráfico 7– Tempo de reverberação ótimo



FORTE: BOLK BERANEK AND NEWMAN  
ATUAL NBR-101/1988

Fonte: Norma NBR 12179/92

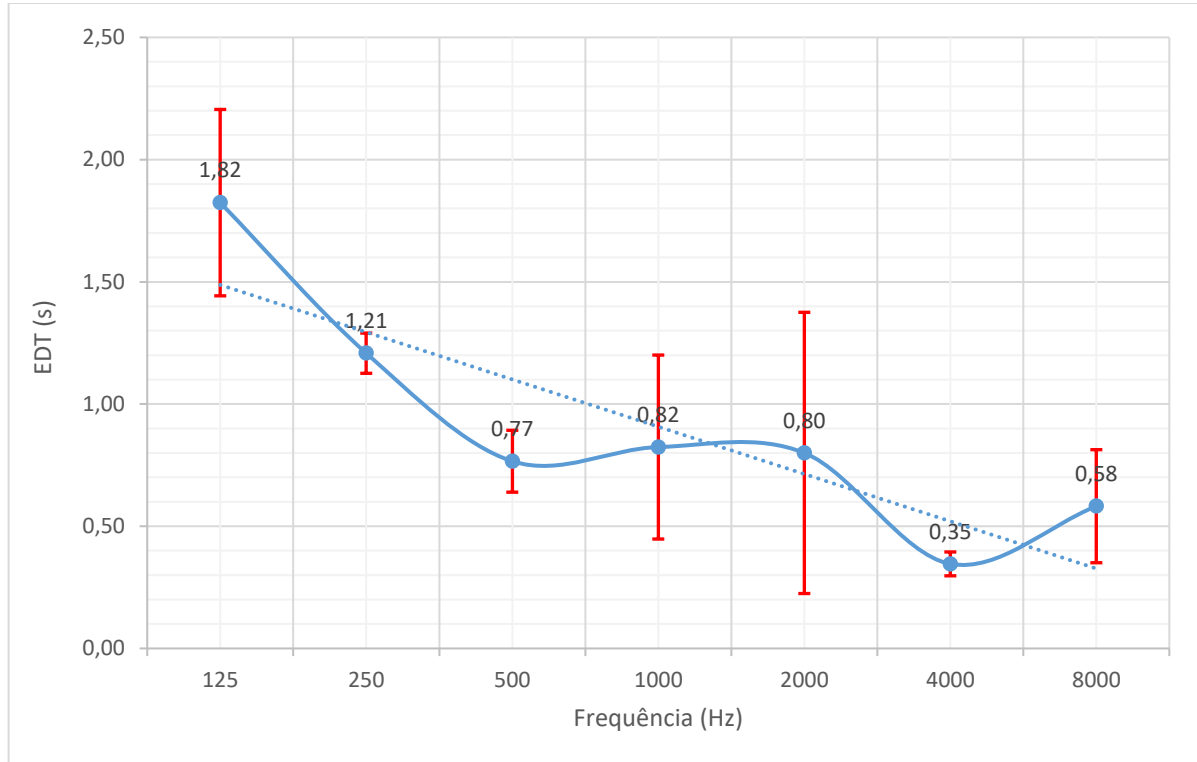
Conforme analisado no Gráfico 6 e comparado com o gráfico de referência constante na norma NBR 12179/92, apresentado na Gráfico 7. Para o volume do ambiente estudado que é de:  $64\text{m}^3$ , o Tempo de Reverberação apresentou uma resposta muito boa nas altas frequências e valores razoáveis em baixas frequências. Apesar dos resultados aparentemente adequados, nas baixas frequências o desvio padrão da amostragem se manteve muito elevado tornando os resultados inconclusivos para as frequências supracitadas.

### 5.3. Early Decayment Time – EDT

O parâmetro EDT (Early Decayment Time) não obteve um resultado satisfatório, apresentando uma linearidade no decaimento do gráfico, porém um tempo muito longo de decaimento inicial, especialmente nas baixas frequências. Apesar dos valores muito elevados, nota-se que o desvio padrão se manteve muito

alto, trazendo assim uma inconfiabilidade neste parâmetro. O resultado da média das amostras e o desvio padrão podem ser vistos no Gráfico 8.

**Gráfico 8– Gráfico do Early Decay Time.**



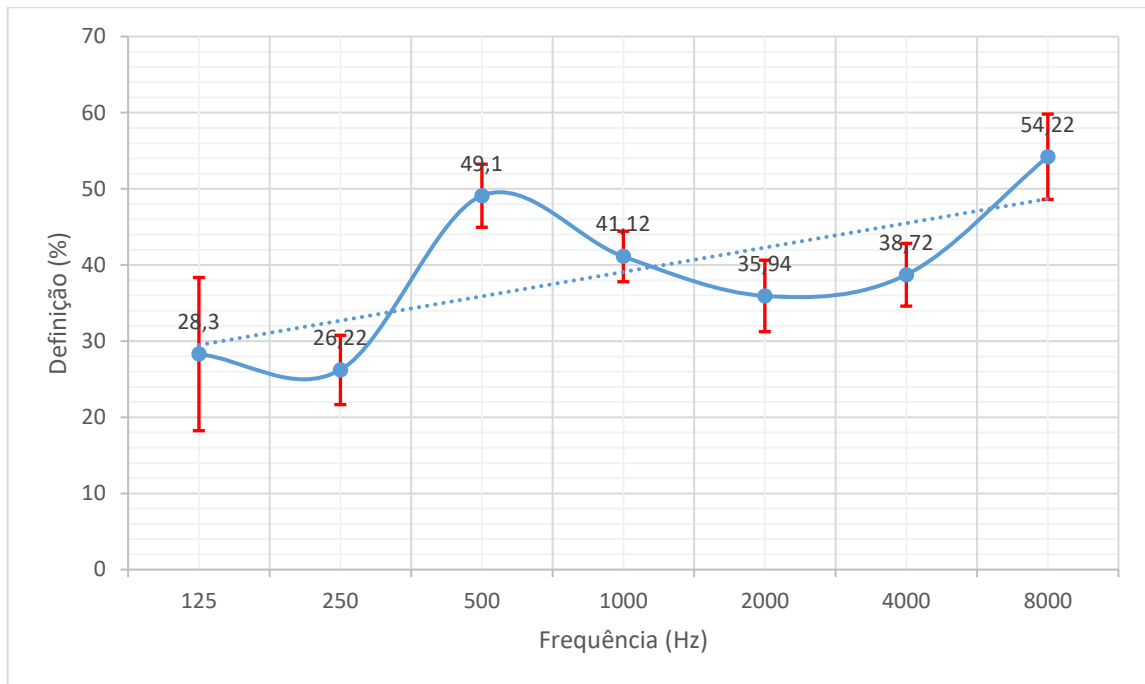
Fonte: Autor.

#### 5.4. Definição ( $D_{50}$ ) e Clareza ( $C_{80}$ )

Conforme visto, o valor da definição deve ser o maior possível e ter um valor médio por volta dos 70% de definição para se considerar um ambiente de boas condições acústicas. O Gráfico 9 indica que os valores de Definição  $D_{50}$  também não atingiram valores ideais para a utilização do ambiente nas altas frequências e acentuando o problema ainda mais nas zonas de baixa frequência. Alcançando o valor de 28,3 % na frequência mais baixa medida e 54,2 % na frequência mais elevada.

Neste caso as incertezas das medições, expressas na figura por meio das barras de erros, estão compatíveis com o esperado, ou seja, erro menor que 10,1

Gráfico 9 – Gráfico de Definição

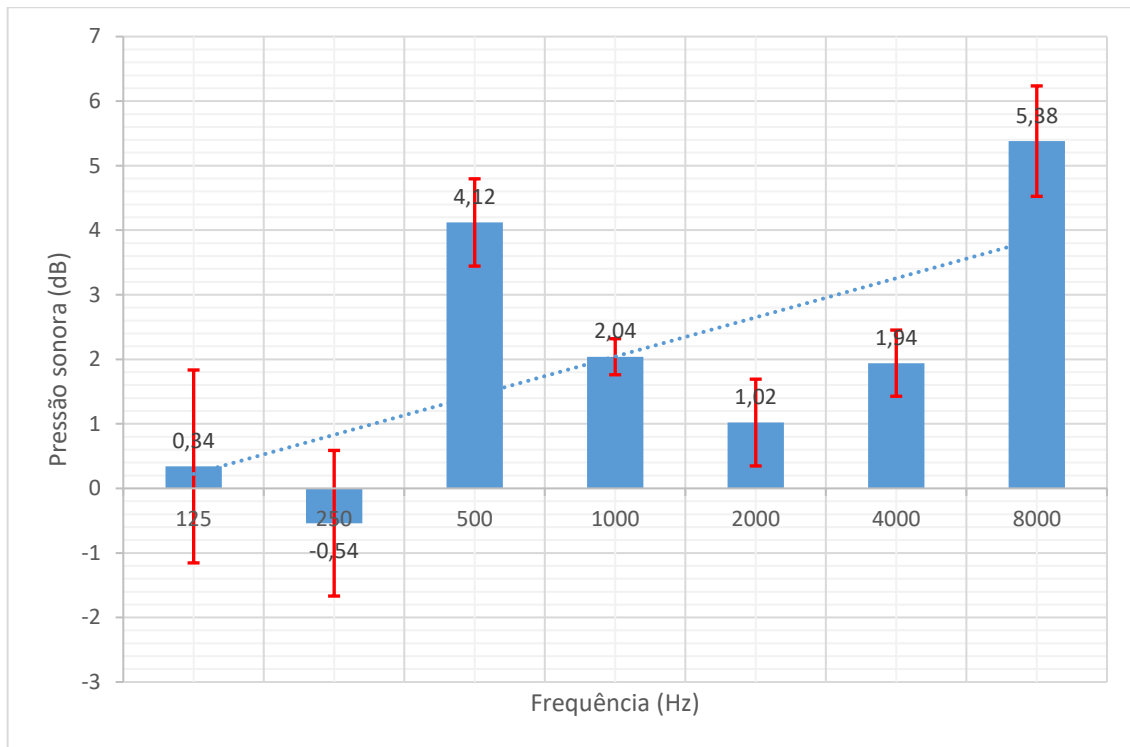


Fonte: Autor.

Já a clareza  $C_{50}$  se manteve em uma boa faixa de pressão sonora, encaixando-se em um resultado satisfatório para o estúdio em questão, apresentando apenas um valor insatisfatório na faixa de 8.000 Hz, superando o indicativo de variação máxima entre a faixa de -4dB e +4dB, como pode ser observado no gráfico 10. A clareza desempenha um papel muito importante dentro do contexto de salas de ensaio, onde se espera uma boa clareza para as canções ensaiadas ou mesmo para comunicação interna em toda a área da sala de ensaio.

O desvio padrão se manteve constante e de baixo valor, tendo uma variação um pouco elevada apenas na frequência de 125 Hz, mostrando que há boa confiabilidade nas amostras recolhidas deste parâmetro.

Gráfico 10 – Gráfico de Clareza.



Fonte: Autor.

### 5.5. Speech Transmission Index – STI

Devido às características do ambiente estudado ser para ensaios musicais, tendo a necessidade de uma boa inteligibilidade interna, a fim de agregar mais clareza na pronuncia das canções ensaiadas, é necessário que o ambiente apresente um bom resultado de STI, que foi confirmado pelo ensaio. O STI alcançou um valor de 0,61 que de acordo com a norma IEC 60268, pode ser enquadrado na faixa considerada Boa, como indicado na Tabela 2.



## **6. CONCLUSAO**

### **6.1. Considerações finais**

A partir dos parâmetros recolhidos e apresentados para as faixas consideradas médias e altas os valores de Tempo de reverberação além de mostrar boa confiabilidade, se manteve em níveis indicados para o tipo de uso do estabelecimento, porém a zona de baixas frequências os valores superaram um pouco os valores aconselhados em norma e para a frequência de 250Hz o desvio padrão ficou bastante elevado devido a uma única amostra que obteve valor de 2,2s, o que elevou a média final desta frequência e elevando também o desvio padrão.

Já a Definição  $D_{50}$  e o EDT não conseguiram atingir níveis mínimos de aceitação, por parte de literaturas normativas, para o uso adequado do estabelecimento, ressaltando porem que o estúdio obteve resultados satisfatórios na Clareza  $C_{80}$  e no Speech Transmission Index , se mantendo em variação aceitável e considerado Bom, e o isolamento entre as duas salas não demonstrou eficiência, mantendo o isolamento de 47dB.

Conclui-se então que o ambiente é adequado para a utilização de ensaios de pequenas bandas, mas é importante ressaltar que é necessário revisar o condicionamento acústico do ambiente em baixas frequências e especialmente sanar a interferência da sala de ensaio que se encontra ao lado da mesma para que se proporcione o mínimo de interferências possíveis quando os dois ambientes estiverem sendo utilizados simultaneamente.

### **6.2. Sugestão de Trabalhos de pesquisa futuros**

Como projeto de continuidade deste trabalho é sugerido que novos estudos a respeito da solução do excesso de reverberação nas baixas frequências com a utilização de materiais e equipamentos adequados para absorção dessa faixa de frequência e soluções que venham elevar o nível de Definição de ambientes deficitários.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10151**: Avaliação de ruídos em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10152**: Níveis de ruídos para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 16313**: Acústica - Terminologia. Rio de Janeiro, 2014
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR ISO 3382-1**: Medição de parâmetros de acústica de salas. Rio de Janeiro, 2017.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. **ISO 140-4**: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Switzerland, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. **ISO 354**: Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room. Switzerland, 2003.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. **ISO 3382**: Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Switzerland, 1997.
- AFRON, Alexander. **El mundo del sonido**. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1971
- BISTAFA, Sylvio Reynaldo. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2006.
- BRANDÃO, Eric. **Acústica de salas: projeto e modelagem**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2016.
- CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. 2. ed. Brasília: Thesaurus Editora, 2010.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Acústica técnica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2003.
- EGAN, M. David. **Architectural acoustics**. 1st. ed. New York: J. Ross Publishing, 2007.
- EVEREST, Frederick Alton. POHLMANN, Ken. **Master Handbook of Acoustics**. 5th edition. New York: McGraw-Hill Companies, 2009.

FIGUEIREDO, Fábio Leão. **Parâmetros acústicos subjetivos**: Critério para avaliação da qualidade acústica de salas de música. Dissertação (Dissertação em Musicologia), Universidade de São Paulo, 2005.

FREEMAN, Ira Maximilian. **Som e ultra-som**. Rio de Janeiro: Record, 1964.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de física**: Gravitação Ondas e Termodinâmica. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC Ltda., 2012.

MARCO, Conrado Silva De. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Acústica Técnica**. 1. ed. São Paulo: ETEGIL LTDA, 1968.

NEWELL, Philip. **Recording Studio Design**. 2. ed. Ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2008.

SETO, William W. **Vibrações mecânicas**. Rio de Janeiro: Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda., 1971.

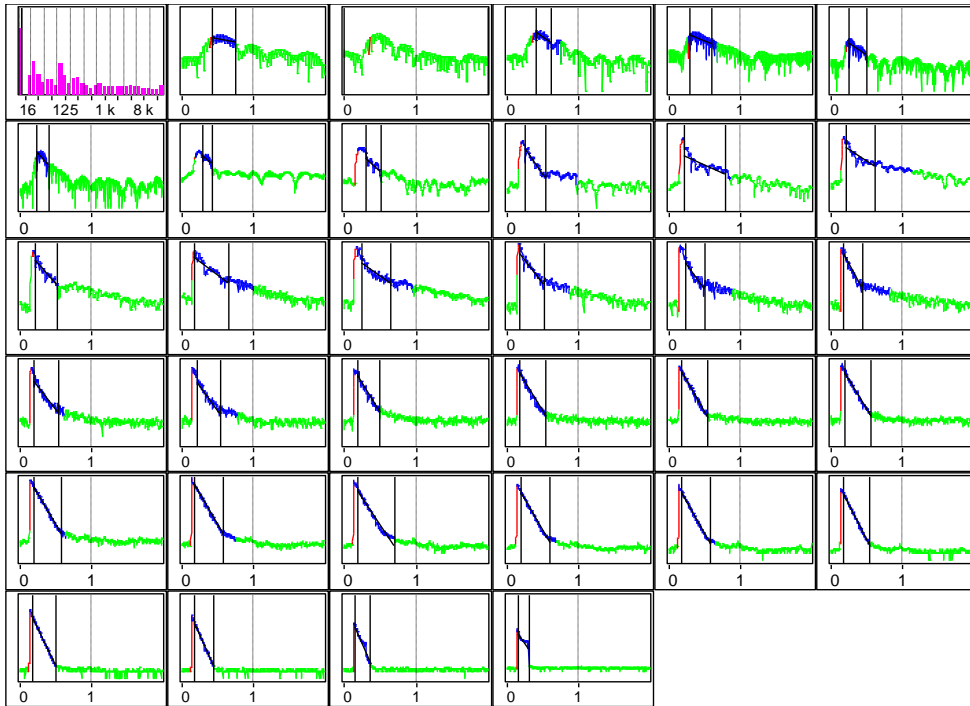
SILVA, Pérides. **Acústica arquitetônica & condicionamento de ar**. 6. ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T. Ltda, 2011.

VALLE, Sólton do. **Manual prático de acústica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009.

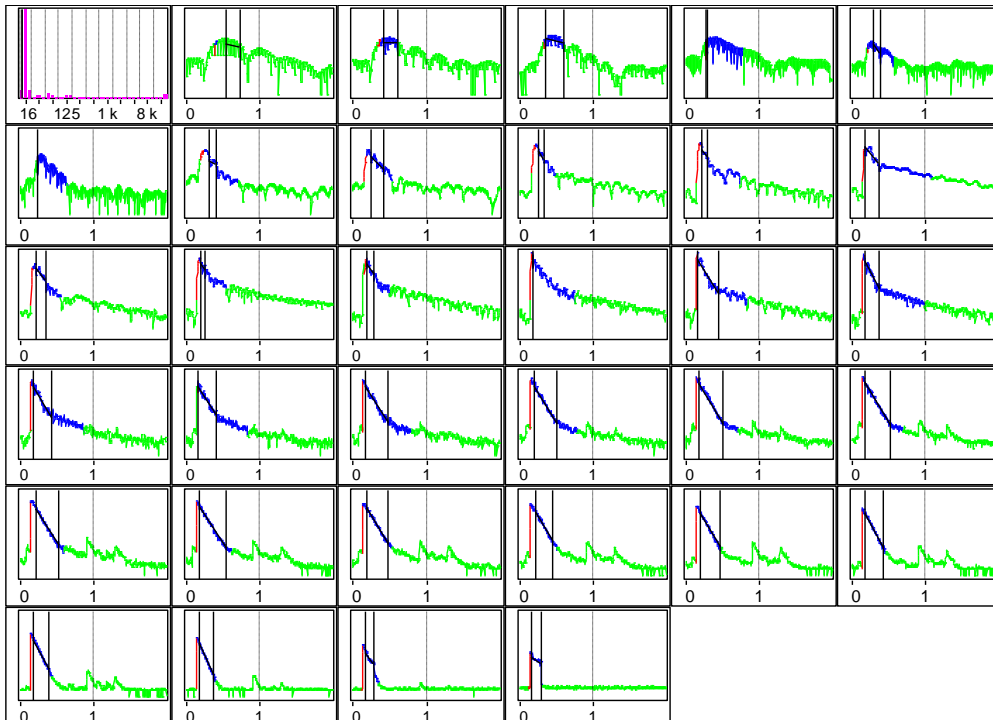
SOBRENOME, NOME. **Título**: subtítulo. Edição. Cidade: editora, ano.

## APÊNDICE

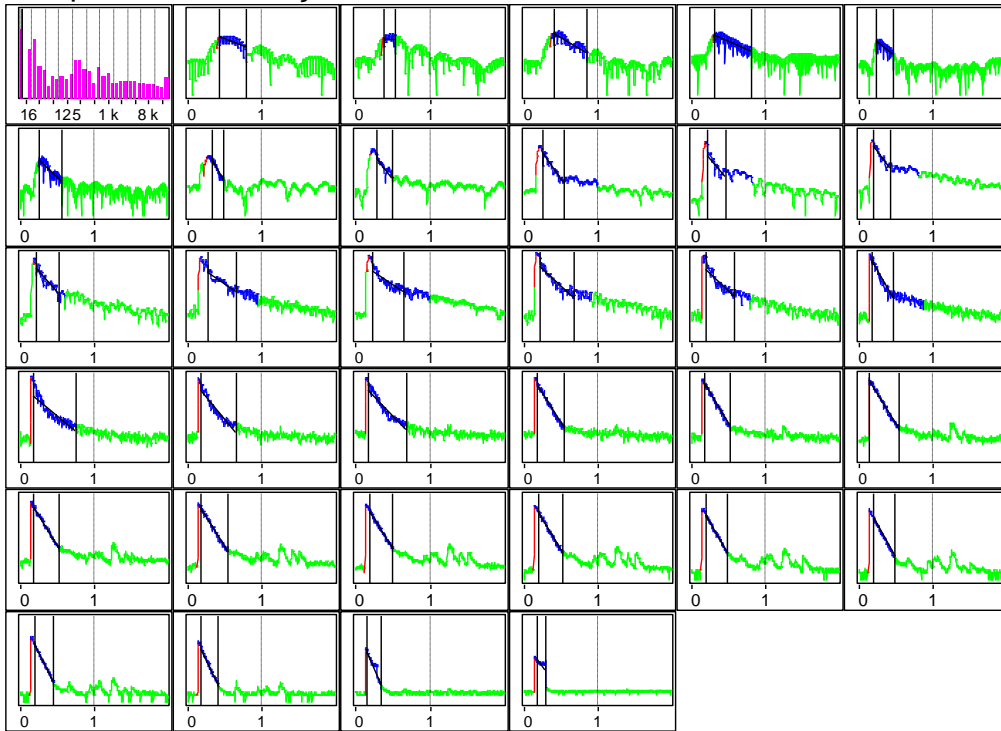
### Tempo de reverberação - 01



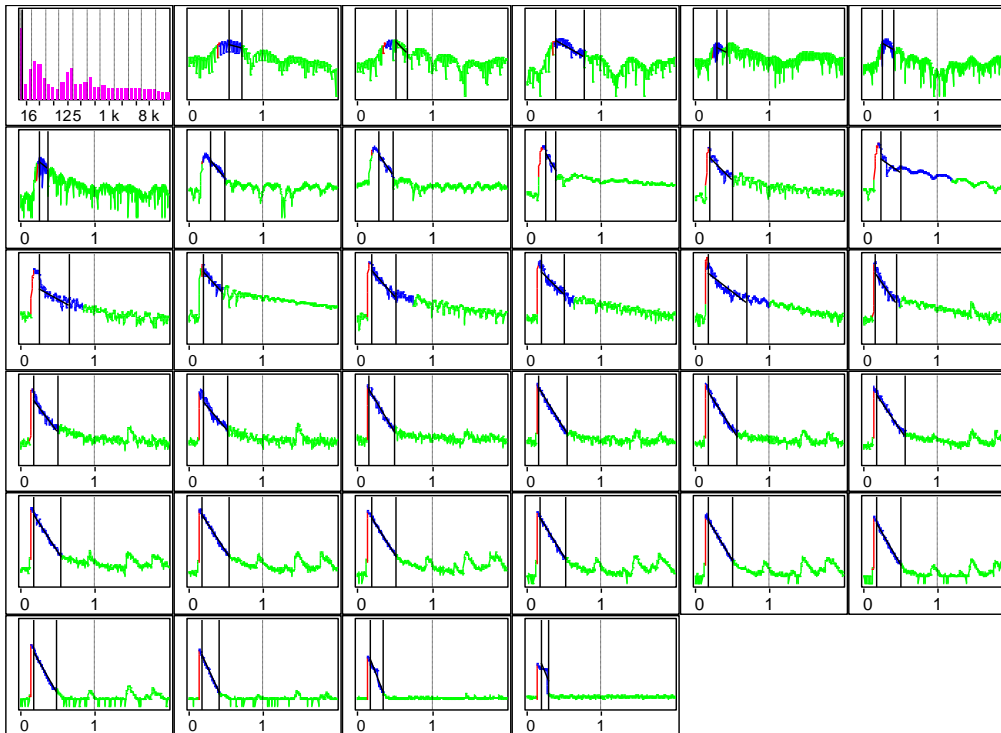
### Tempo de reverberação - 02



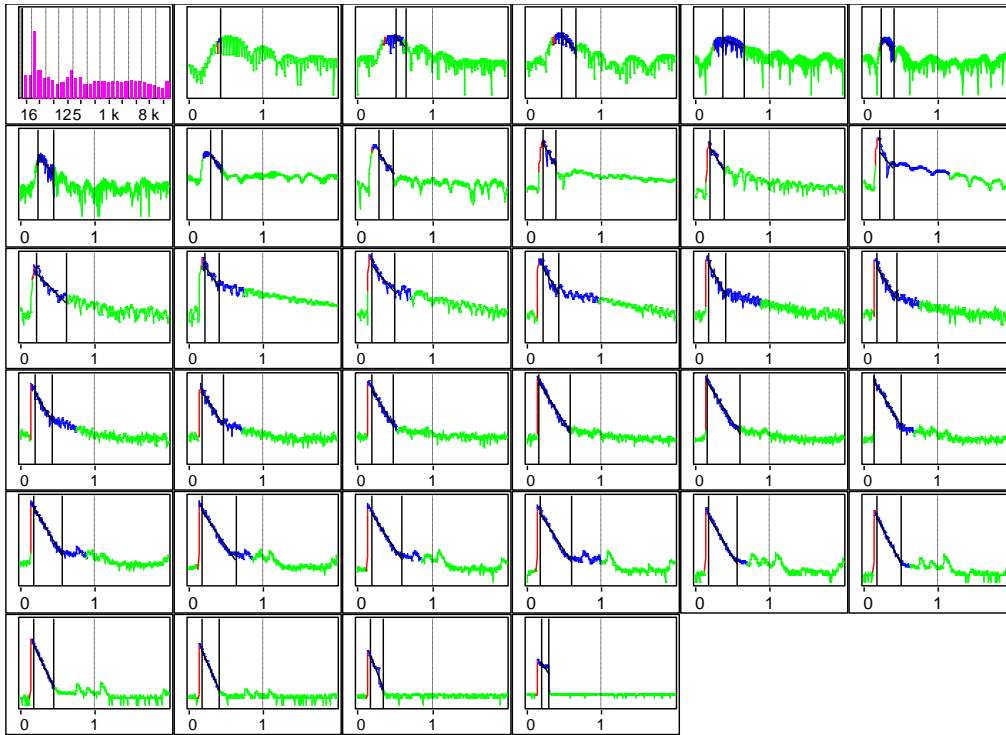
### Tempo de reverberação - 03



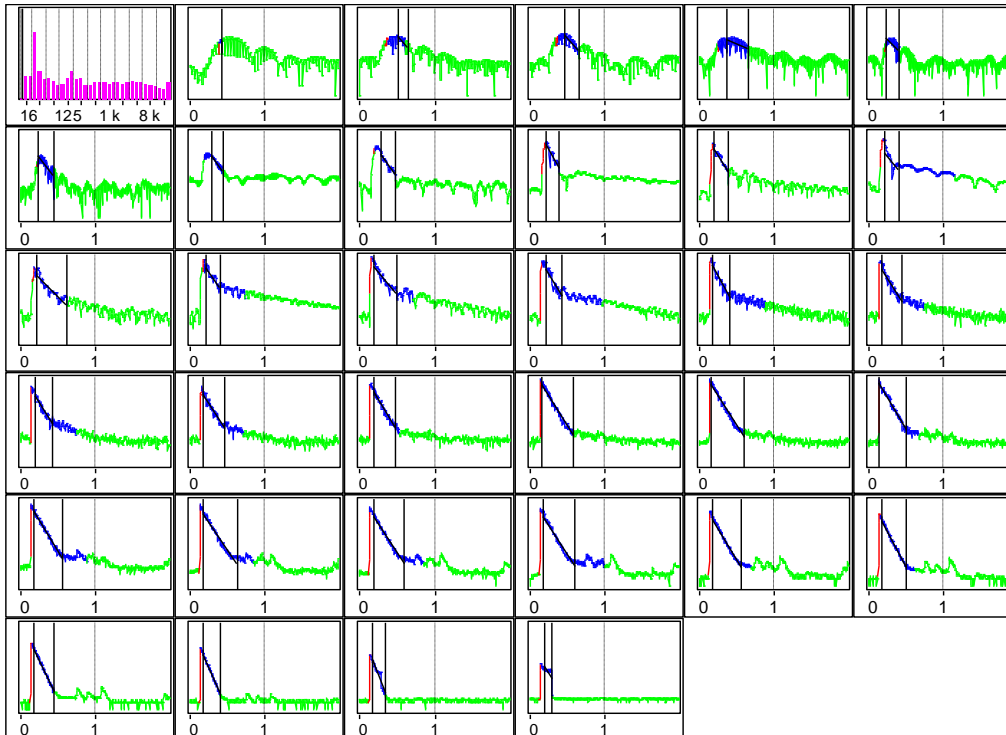
### Tempo de reverberação - 04



### Tempo de reverberação - 05



### Tempo de reverberação - Médio



## RESULTADOS

		Tempo de reverberação (s)								
		Medição	1	2	3	4	5	SOMA	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)	125	0,43	0,59	0,74	0,64	0,76	3,16	0,63	0,13	
	250	0,52	0,68	2,2	0,67	0,55	4,62	0,92	0,72	
	500	0,45	0,43	0,78	0,84	0,36	2,86	0,57	0,22	
	1000	0,37	0,46	0,41	0,4	0,47	2,11	0,42	0,04	
	2000	0,34	0,37	0,36	0,38	0,38	1,83	0,37	0,02	
	4000	0,37	0,35	0,35	0,36	0,41	1,84	0,37	0,02	
	8000	0,31	0,31	0,3	0,32	0,33	1,57	0,31	0,01	

		Early Decayment Time (s)								
		Medição	1	2	3	4	5	SOMA	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)	125	1,25	2,01	2,01	2,21	1,64	7,48	1,82	0,38	
	250	1,24	1,22	1,22	1,07	1,29	4,75	1,21	0,08	
	500	0,97	0,66	0,66	0,77	0,77	3,06	0,77	0,13	
	1000	1,01	1,13	1,13	0,31	0,54	3,58	0,82	0,38	
	2000	0,4	1,43	1,43	0,36	0,38	3,62	0,80	0,58	
	4000	0,38	0,36	0,36	0,37	0,26	1,47	0,35	0,05	
	8000	0,34	0,83	0,83	0,45	0,46	2,45	0,58	0,23	

		Definição (%)								
		Medição	1	2	3	4	5	SOMA	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)	125	18	17,5	30,6	38	37,4	141,5	28,3	10,06	
	250	30,9	29,7	27,7	21,1	21,7	131,1	26,22	4,55	
	500	50	47,4	51,6	42,9	53,6	245,5	49,1	4,14	
	1000	43,7	42,8	38,6	36,6	43,9	205,6	41,12	3,32	
	2000	30,5	41,6	40	34,5	33,1	179,7	35,94	4,70	
	4000	40,3	33,2	41,3	43,1	35,7	193,6	38,72	4,12	
	8000	54,5	59,7	57,1	54,9	44,9	271,1	54,22	5,61	

		Clareza (dB)								
		Medição	1	2	3	4	5	SOMA	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)	125	0	-1,3	-0,5	0,9	2,6	1,7	0,34	1,49	
	250	0,1	0,2	0,5	-1,5	-2	-2,7	-0,54	1,13	
	500	4,3	4,4	4,1	3	4,8	20,6	4,12	0,68	
	1000	2,3	2,3	1,8	1,7	2,1	10,2	2,04	0,28	
	2000	0,8	1,2	2,1	0,6	0,4	5,1	1,02	0,67	
	4000	1,8	2,1	1,8	2,7	1,3	9,7	1,94	0,51	
	8000	5,4	6,3	5,4	5,8	4	26,9	5,38	0,86	