

## ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE UM ESTÚDIO DE GRAVAÇÃO - UM ESTUDO DE CASO

**F. Rodrigues** <sup>1</sup>

**M. D. C. Magalhães** <sup>2</sup>

[maildofred@yahoo.com](mailto:maildofred@yahoo.com)

[maxdcm@ig.com.br](mailto:maxdcm@ig.com.br)

Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais

R. Espírito Santo, 35 - Centro - Belo Horizonte - MG - Brasil

**Resumo** : *Este trabalho tem como objetivo reavaliar as características acústicas em uma sala de operação de um estúdio de gravação, que de acordo com os músicos usuários do local não está proporcionando um “ambiente acústico ótimo”. Tem sido observado, que em determinadas faixas de frequência o decaimento do campo reverberante é bastante lento. Um fato curioso, é que de acordo com os músicos, está ocorrendo um típico fenômeno de “ressonância da sala” quando uma fonte qualquer emite um som cuja frequência de oscilação é igual a 192 Hz, a qual na escala musical corresponde à nota Sol.*

*O ambiente em questão possui diversos tipos de mobília e equipamentos eletrônicos (caixas acústicas, computador, amplificadores, módulos e etc.) que por sua vez são compostos de diferentes materiais e conseqüentemente diferentes propriedades físicas referentes a absorção, reflexão e transmissão sonora. Medições das curvas de decaimento do campo sonoro serão realizadas com o auxílio de um sistema de aquisição de sinais para então a partir destes dados, propor-se uma solução viável para problema. Uma análise modal das características acústicas da sala de gravação também será realizada.*

Keywords: Absorção sonora, Acústica em estúdios, Frequências naturais

## 1- Introdução

Um tratamento acústico é particular para cada objetivo e difere de ambiente para ambiente a depender do fim a que se destina.

Segundo Fernandes (2000) a qualidade acústica de um ambiente se resume no grau de inteligibilidade que este local propicia. A inteligibilidade é definida como a porcentagem de sons que um ouvinte consegue entender neste ambiente. Essa característica é influenciada principalmente pela capacidade de reflexão e absorção de ondas sonoras pelos materiais que revestem a sala.

De um teatro é exigido que o som produzido no palco chegue com nível e clareza para ser entendido da mesma forma pelas pessoas que estejam sentadas da primeira a última fileira de poltronas, sem a utilização dentro do possível, de equipamentos eletrônicos para amplificar o som.

Para o caso de cinemas, o som de um filme é reproduzido por meio de caixas de som dispostas por toda a sala de exibição com efeitos rigorosamente projetados pelo Diretor, devendo haver pouca reflexão das ondas sonoras e baixos tempos de reverberação para não prejudicar os efeitos planejados.

Segundo Beranek (1975) o ambiente perfeito para uma sala de concerto implica na observação de diversos parâmetros com finalidade de se obter uma qualidade ambiental acústica.

Por exemplo, Valadares (2002) mostrou as impressões e percepções sonoras ou mesmo as expressões quanto à inteligibilidade da música em eventos sinfônicos que foram colocadas em discussão para que houvesse uma comunicação única entre acústicos e músicos. Dessa forma foram criados diversos termos descritores de um ambiente sonoro para concertos com definições claras e enfoque objetivo de fácil compreensão, facilitando assim o diálogo entre projetistas acústicos e críticos músicos. A perfeita adequação das características da sala de acordo com estes parâmetros faz atender os requisitos necessários para obter um ambiente ideal para a exibição de concertos sinfônicos. A saber, o tempo de reverberação é um destes parâmetros e segundo Beranek (1975) tem grande relevância nas execuções das composições musicais desde o século XIX.

Para Beranek (1962) dentre as diversas edificações que merecem uma atenção especial no que dizem respeito à preparação acústica de ambientes, os estúdios ocupam posição de destaque. A preocupação é reduzir as reflexões sonoras ao mínimo aceitável para o serviço a que se destina. a saber, em estúdios de arte dramática permite-se alguma reverberação natural, embora pequena. Já em cabines de locução, a reverberação deve ser a menor possível.

Para o funcionamento adequado de um estúdio (salas onde é bastante relevante a quantidade de ondas refletidas e absorvidas), Kinsler (1982) mostra diversos parâmetros relativos a projeto e preparação acústica a serem considerados. Um aspecto muito importante diz respeito às dimensões físicas do recinto, isto porque existem frequências do espectro de áudio que podem produzir "ondas estacionárias" no ambiente. Isto ocorre quando as distâncias entre paredes, teto e chão coincidem com os múltiplos e submúltiplos dos comprimentos das ondas sonoras ( $0$ ,  $\lambda/2$ ,  $\lambda$ ,  $3\lambda/2$ , etc.), ou ainda quando o comprimento de onda de determinada frequência coincide com algum modo de vibração natural da sala. A primeira solução para evitar esse fenômeno indesejável é projetar o estúdio com elementos arquitetônicos que dificultem o aparecimento de ondas estacionárias, por exemplo os difusores. Deve-se também evitar a construção de salas com distâncias iguais (ou múltiplas) entre paredes e ainda entre piso e teto, uma vez que isso facilita a ocorrência destas ondas. Já um recinto muito pequeno poderia tornar difícil o tratamento acústico para corrigir as "colorações" criadas no som pelas diversas reflexões.

Ainda segundo Kinsler (1982) para se obter um bom resultado no projeto de estúdios é necessário fazer uma análise do provável comportamento acústico do recinto, baseado nas dimensões da sala. A partir das conclusões dessa análise, é possível saber se o estúdio apresentará resultados satisfatórios quanto à qualidade acústica. Para o caso edificações já construídas que apresentam problemas no ambiente acústico devido a sua geometria, a solução pode ser em muitos casos construir uma nova parede à frente da original, ou rebaixar o teto pois desta forma alterar-se-á as dimensões da sala. Além das dimensões geométricas da sala, Kinler (1982) ainda faz referência aos os materiais a serem empregados como revestimento e seus respectivos posicionamentos a fim de absorver e/ ou refletir as ondas sonoras ali criadas.

O objetivo deste trabalho é justamente verificar as características acústicas de uma sala de operação em um estúdio de gravação musical que vem apresentando problemas que inicialmente aparentam ser relativos à absorção sonora, pois foi verificado pelos músicos uma imperfeição do ambiente acústico, a saber, elevado tempo de reverberação em algumas faixas de frequência.

## **2- Metodologia**

Para realizar a análise do problema em questão foi adotada a seguinte metodologia com objetivo de direcionar e organizar a explanação dos resultados:

- Caracterização geométrica da sala e especificações de materiais
- Determinação dos modos de vibração natural da sala
- Comparação entre as frequências dos modos e as frequências das notas musicais
- Determinação da absorção sonora da sala pela fórmula de Sabine
- Estudo preliminar da sala
- Medições : Ruído de Fundo e Tempo de Reverberação( $T_{60}$ )
- Resultados
- Conclusões

## **3- Caracterização da sala**

O ambiente em estudo é a sala de operação de um estúdio de gravação musical situado na cidade de Belo Horizonte, que segundo os músicos usuários está apresentando problemas de ressonância para uma faixa específica de frequências.

A sala é construída com paredes de blocos de concreto, revestidos com argamassa. O teto foi executado com laje maciça de espessura de 9 cm. O projeto acústico não foi desenvolvido por profissional especialista da área, e sim por um “prático” que segundo o proprietário possui bastante experiência em revestimentos acústicos. Dessa forma não há nenhum embasamento científico para o projeto geométrico da sala assim como a escolha dos materiais de isolamento e absorção de ondas acústicas ou mesmo o posicionamento destes dentro da sala, pois nenhum estudo ou simulação foram feitos para o local.

Possuindo forma retangular, a sala tem 4 m de comprimento por 2,4 m de largura e um pé direito de 3,05 m conforme pode ser visto na Figura 1.

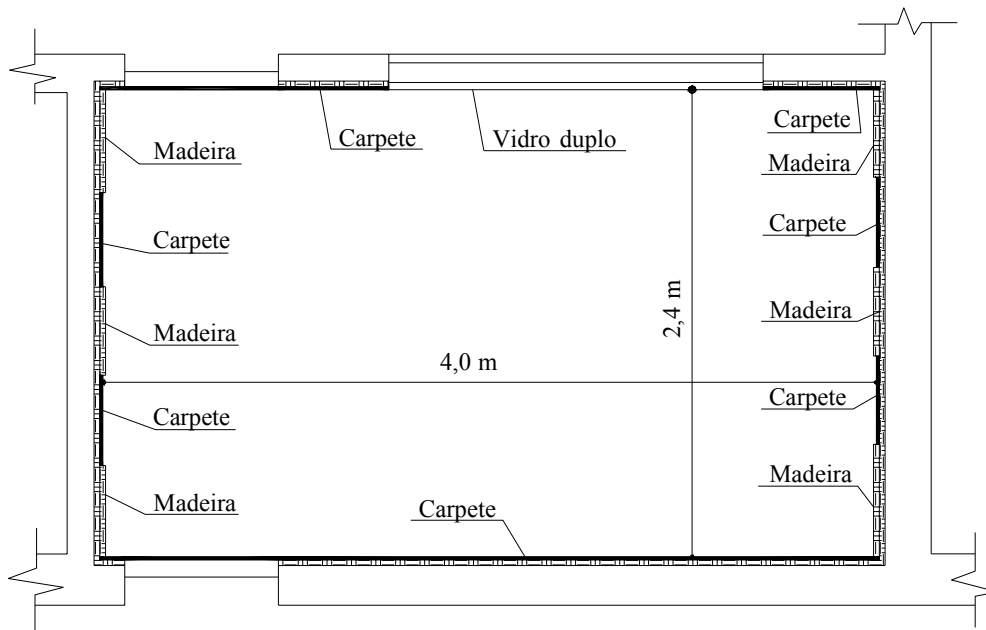


Figura 1 – Planta da sala de operação do estúdio com os materiais de absorção indicados

Em contato com o revestimento feito sobre a parede de blocos de concreto foi colocado como primeiro revestimento acústico lã de rocha de espessura igual a 2,5 cm fixada por uma rede de arame. Em contato com este foram colocadas placas de madeira compensada (Duratex) de espessura igual a 3 mm. Na direção do maior vão, foi colocado sobre as placas de compensado um carpete de textura média. Ainda no vão maior, porém na outra parede há um vão distante 1 m do chão isolado com vidro duplo que faz a comunicação visual entre a sala de gravação e a sala de operação do estúdio. Este vidro possui 5 mm de espessura e área de aproximadamente 1,70 m<sup>2</sup>. Já no vão menor de direção perpendicular ao descrito anteriormente, foi intercalado por cima das placas de compensado áreas com carpete e áreas onde foram colocadas faixas de madeira do tipo Pinus de espessura 7 mm. O piso da sala tem acabamento em cimento liso e por cima deste foi colocado um carpete com textura mais grossa do que o utilizado nas paredes. O teto do estúdio tem acabamento em cimento liso e é revestido integralmente por espuma do tipo sonex de espessura 50 mm.

Por ser a sala de operação do estúdio, esta possui ainda diversas mobílias e equipamentos eletrônicos com diferentes coeficientes de absorção Sonora. Sendo o estúdio destinado a gravações musicais de estilos variados, a diversidade de frequências que são excitadas na sala de operação através de monitores amplificadas é bastante extensa e contínua, começando em baixas frequências passando pelas médias até atingir as altas, porém o problema a ser estudado vem ocorrendo apenas em baixas frequências.

#### 4- Determinação dos Modos de Vibração e frequências naturais da sala

A partir da geometria da sala calculou-se as frequências naturais da mesma utilizando a seguinte equação (Kinsler -1982):

$$f = \sqrt{\left(\frac{lc}{2L_x}\right)^2 + \left(\frac{mc}{2L_y}\right)^2 + \left(\frac{nc}{2L_z}\right)^2} \quad (1)$$

Onde  $c$  é a velocidade do som,  $l$ ,  $m$ ,  $n$  são os índices modais relativos aos eixos  $x$ ,  $y$ ,  $z$  respectivamente e  $L_x$ ,  $L_y$  e  $L_z$  são as dimensões da sala. Para realizar os cálculos estabeleceu-se um sistema de coordenadas para sala tal que o eixo  $x$  é a menor direção horizontal da sala, o eixo  $y$  é a maior direção horizontal, enquanto  $z$  é a altura da sala, ou seja  $L_x = 2,40$  m,  $L_y = 4,00$  m e  $L_z = 3,05$  m como pode ser visto na Figura 2.

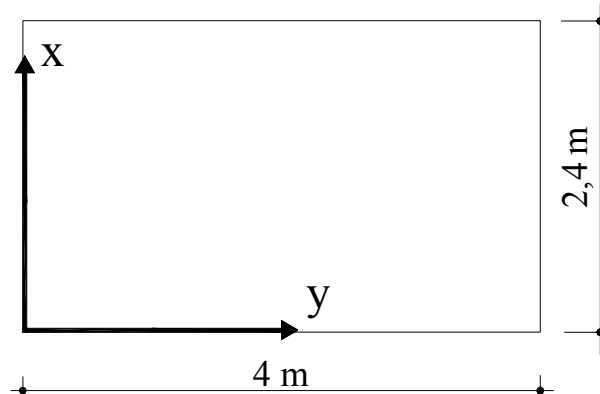


Figura 2 – Sistema de coordenadas adotado onde o eixo  $x$  é a menor direção em planta da sala, o eixo  $y$  é a direção em planta perpendicular a  $x$  e  $z$  é o eixo correspondente ao pé direito da sala

A seguir são mostrados na tabela 1, os dez primeiros modos naturais da sala calculados:

Tabela 1. Dez primeiros valores calculados para os modos de vibração natural de uma sala com 2,4 m x 4,0 m x 3,05 m considerando a velocidade do som  $c = 343$  m/s

Modos	Frequência Natural			
	x	y	z	F (Hz)
1°	0	0	0	0,0
2°	0	1	0	42,9
3°	0	0	1	56,2
4°	0	1	1	70,7
5°	1	0	0	71,5
6°	1	1	0	83,3
7°	0	2	0	85,8
8°	1	0	1	90,9
9°	1	1	1	100,5
10°	0	2	1	102,5

A partir dos modos calculados da sala foi possível verificar que diversos deles coincidem ou tem valores bem próximos das frequências das notas musicais que estão na faixa compreendida entre 40 Hz e 250 Hz, a saber, faixa onde os problemas acusados pelos músicos estão ocorrendo. A relação de proximidade entre a frequência dos modos de vibração natural da sala com as frequências das notas musicais, pode ser visualizada na tabela 2.

Tabela 2. Notas musicais dentro do intervalo de freqüências estudado que coincidem ou são próximas dos modos de vibração natural da sala

Modos			Freqüência Natural	Notas Musicais	
x	y	z	F (Hz)	F(Hz)	
0	1	0	42,9	Fá 0	42,6
1	0	0	71,5	Ré 1	72,0
0	2	0	85,8	Fá 1	85,2
0	1	2	120,4	Si 1	120,0
0	3	0	128,6	Dó 2	128,0
2	0	0	142,9	Ré 2	144,0
1	2	2	158,4	Mi 2	160,0
0	3	2	170,9	Fá 2	170,5
2	3	0	192,3	Sol 2	192,0
0	4	3	240,6	Si 2	240,0

### 5- Determinação da Absorção sonora da sala

Estimou-se inicialmente o tempo de reverberação com intuito de prever o comportamento do decaimento das ondas sonoras neste ambiente levando em consideração apenas os coeficientes de absorção aproximados para cada material e suas respectivas áreas. Para isso utilizou-se a Fórmula de Sabine (Kinsler – 1982):

$$T_{60} = \frac{0,16.V}{S_1.a_1 + S_2.a_2 + S_3.a_3...} \quad (2)$$

Onde temos que V é o volume do ambiente em m<sup>3</sup>, S<sub>i</sub> é área superficial de cada material absorvedor em m<sup>2</sup>, a<sub>i</sub> é o coeficientes de absorção de cada material absorvedor e T é o tempo de reverberação dado em segundos.

O resultado dos valores encontrados para o tempo de reverberação pode ser visto na tabela 3, discriminados por bandas de oitava.

Tabela 3. Tempo de Reverberação calculado para a sala pela fórmula de Sabine separados em bandas de oitava

Freqüência (Hz)	125	250	500	1000	2000
T <sub>60</sub> (s)	0,961	0,720	0,457	0,371	0,323

Os coeficientes de absorção adotados para os materiais ( Carpete, madeira, espuma sonex, vidro e mobílias) foram obtidos em Beranek (1971).

Conforme previsto, há uma diminuição do tempo de reverberação à medida que a freqüência aumenta. Isto ocorre por que todos os materiais empregados nas paredes, teto e piso da sala com intuito de absorver o som produzido no local possuem baixos coeficientes de absorção para as baixas freqüências. Não foi projetado para o local nenhum dispositivo para dissipar a energia sonora em baixas freqüências, ou seja, grandes comprimentos de onda. Segundo Kinsler (1982) um exemplo deste tipo dispositivo seriam as cavidades absorvedoras. A seguir é mostrado o decaimento do tempo de reverberação calculado pela equação(1):

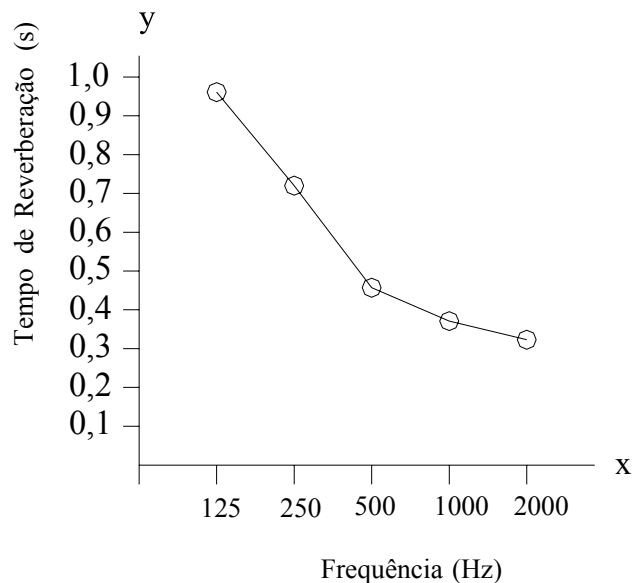


Figura 3 – Gráfico do Tempo de Reverberação em função da Frequência calculado pela equação (1)

## 6- Estudo preliminar

Em uma primeira visita ao local foi possível constatar o “problema” acusado pelos músicos. Com o auxílio de um sintetizador da marca Korg modelo Triton Extreme e uma caixa amplificadora modelo Samson Resolv - 80A, excitou-se diversas frequências em diversos timbres diferentes emitidos pelo sintetizador, e dessa forma verificou-se que há um exagerado tempo de decaimento do campo reverberante para baixas frequências (abaixo de 200 Hz).

A caixa foi posicionada no chão e no canto da sala voltada com o seu alto falante para o encontro das duas paredes, pois desta forma é sabido que é possível excitar todos os modos naturais da sala. Feito isto, utilizou-se o sintetizador para reproduzir diversas frequências compreendidas no intervalo de 40 Hz a 250 Hz por ser a região mais crítica. Constatou-se então que para as frequências abaixo de 200 Hz, o tempo de decaimento do campo reverberante era elevado.

Ainda com posse da tabela dos modos de vibração natural da sala que já haviam sido calculados, e ainda uma lista completa de todas as frequências das notas musicais, foi possível verificar que, as notas cujas frequências eram próximas das frequências naturais da sala tinham tempo de decaimento perceptivelmente maior.

## 7- Medição do Tempo de Reverberação

As medições de ruído de fundo e tempo de reverberação realizadas, foram feitas com referencia na norma International Standar ISO 354.

Para obter dados concretos sobre os problemas acusados pelos músicos e posteriormente constatados no estudo preliminar utilizou-se um sistema de aquisição de sinais para medir os tempos de reverberação. O equipamento portátil da marca Hewllet Packard modelo 3569 A-*Frequency Analyzer* foi instalado na sala com seu microfone a uma altura de 1,20 m do chão e distando 1,03 m e 1,02 m respectivamente nos eixos x e y do sistema local adotado para sala conforme pode ser visto no ponto A da Figura 4.

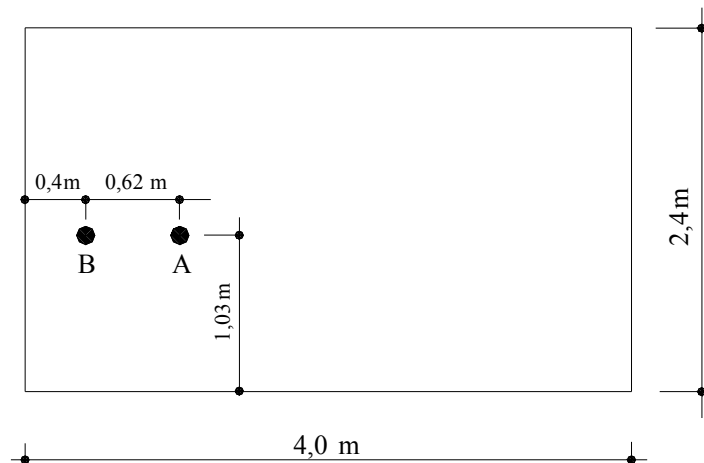


Figura 4 - Localização dos pontos de instalação do microfone para medir a pressão sonora e Tempos de Reverberação. As dimensões estão apresentadas em metros

Feito isto realizou-se o procedimento para calibrar o microfone. Isso foi feito por um calibrador acústico compacto que emiti uma frequência de 1000 Hz. A calibração foi feita para um nível de pressão sonora de 94 dB.

As primeiras medições realizadas foram dos níveis da pressão sonora do ruído de fundo com o ar condicionado da sala ligado e posteriormente desligado. Em um primeiro momento com o ar condicionado ligado a medição foi feita em dois pontos respectivamente às distâncias de 2 m e 3 m do aparelho obtendo um ruído de fundo médio de 48 dB.

Após desligado o aparelho de refrigeração do ambiente, nova medição do nível de pressão sonora foi realizada e constatou-se um ruído de fundo de 33,4 dB. Considerando que esta sala tem a necessidade de uma qualidade acústica significativa para que se possa executar os processos de gravação como mixagem, masterização ou mesmo gravações em linha, este ruído de fundo possui um valor alto. Este ruído é proveniente principalmente do ambiente externo (corredores e salas, pois este estúdio fica dentro de um complexo organizacional de uma produtora e distribuidora de CD's) concluindo-se assim que o isolamento acústico desta sala possui certas deficiências.

Antes de iniciar a medição do tempo de reverberação o microfone do aparelho foi reposicionado de forma que sua distancia na direção y e de acordo com o sistema de coordenadas adotado passou a ser 0,4 m conforme ponto B da figura 4. A fonte de ruído para medição do tempo de reverberação foi a do próprio aparelho (*pink noise*). Excitou-se as sala com o ruído rosa (Beranek - 1962) através de uma caixa amplificadora (utilizada no estudo preliminar) ligada diretamente ao aparelho. Esta caixa foi posicionada no canto da sala voltada com seu alto falante para a parede similarmente ao que foi feito no estudo preliminar.

Foram feitas três medições do tempo de reverberação a partir da excitação da sala com o ruído rosa. O aparelho então utilizado forneceu os resultados por meio de gráficos que mostram a curva de decaimento após o fim da excitação sonora. Consequentemente, os tempos de reverberação ( $T_{60}$ ) foram calculados. A partir dos valores encontrados para cada medição foi feita uma média, de acordo com a norma ISO 354, a qual é apresentada a seguir:



Tabela 4 - Tempos de reverberação medidos na sala em intervalos de 1/3 de oitava

Frequência (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
T <sub>60</sub> (s)	0,96	1,27	0,76	0,56	0,59	0,21	0,18	0,13	0,17	0,18
Frequência (Hz)	500	1000	2000	4000	8000					
T <sub>60</sub> (s)	0,18	0,25	0,20	0,20	0,16					

Assim como foi constatado no estudo preliminar, os tempos de reverberação para baixas frequências são maiores e vão decaindo na medida em que se aumenta a frequência. Esta variação dos tempos de reverberação com a frequência pode ser visualizada no gráfico a seguir:

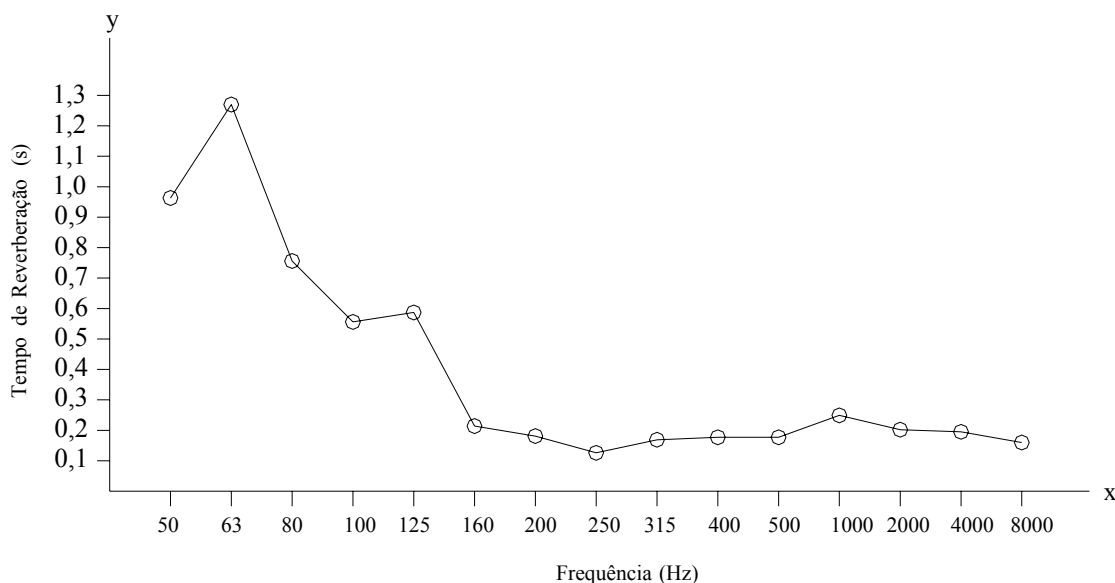


Figura 5 - Gráfico do Tempo de Reverberação x Frequência medido pelo sistema de aquisição de sinais

## 8 - Resultados

Pela figura 5 é possível verificar o quanto os tempos de reverberação são maiores para baixas frequências e diminuem com o aumento da mesma. Isto era esperado uma vez que no estudo preliminar constatou-se que, devido as características dos materiais absorventes utilizados, os tempos de reverberação para baixas frequências são mesmo maiores.

Na figura 6 pode ser observado que apesar da similaridade entre o tempo de reverberação obtido pela equação (1) e o tempo de reverberação obtido experimentalmente, a discrepância entre os valores se dá ao fato de que os valores calculados pela fórmula de Sabine são aproximados e não levam em consideração fatores como posicionamento dos materiais absorvedores na sala, as características geométricas da sala, localização dos pontos de medição, etc. Além do mais, os valores para os coeficientes de absorção dos materiais utilizados na fórmula de Sabine foram aproximados, e não medidos experimentalmente em um tubo de impedância, por exemplo.

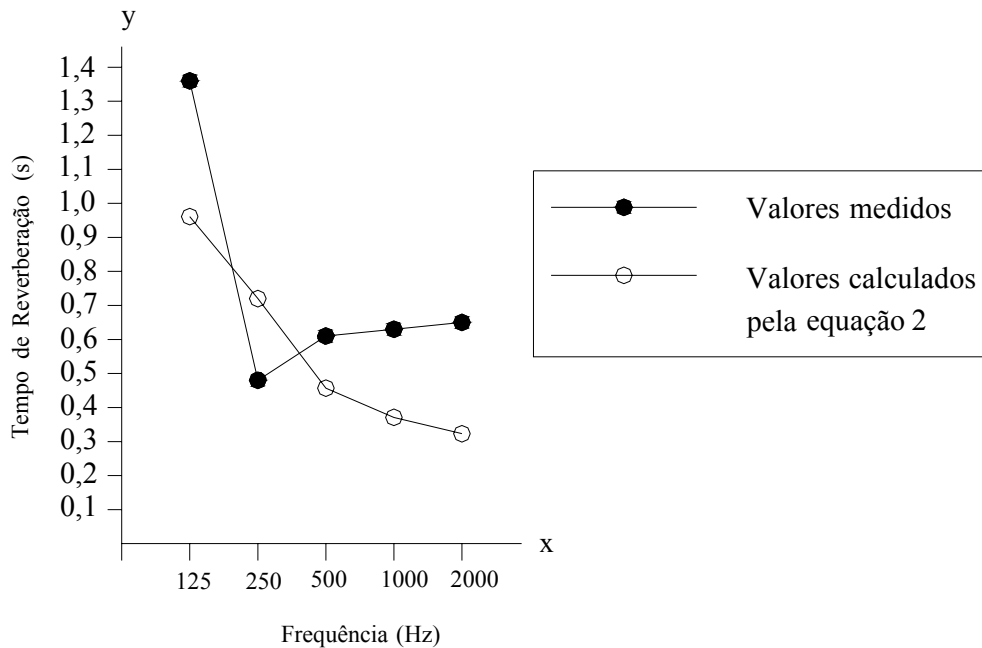


Figura 6 – Comparação entre os tempos de reverberação medido e calculado. A frequência central está representada em bandas de oitava e o tempo de reverberação em segundos

## 9 - Conclusões

Com o presente estudo foi possível constatar que os problemas acusados pelos músicos é devido à ineficiência dos dispositivos absorvedores sonoros para baixas frequências e também à geometria da sala que está favorecendo o surgimento de ondas estacionárias.

Como os materiais que revestem a sala com objetivo de dissipar a energia do campo sonoro possuem pouca eficiência para baixas frequências, o tempo de reverberação nestas faixas de frequência está relativamente elevado. Um agravante adicional diz respeito à geometria da sala perfeitamente retangular. Assim, vários modos de vibração natural da sala estão coincidindo com as frequências das notas musicais e seus respectivos harmônicos.

Considerando os tempos de reverberação elevados para baixas frequências e ainda vários modos de vibração natural da sala coincidindo com as frequências de algumas notas musicais, é fácil entender porque os músicos estão tendo problemas com determinadas notas, especificamente as mais graves (baixa frequência). No entanto, como os resultados teórico e experimental mostraram uma discrepância significativa, seria interessante numa próxima etapa, uma melhor caracterização dos materiais absorvedores presentes na sala de gravação, através por exemplo da utilização de um tubo de impedância e nova medição do tempo de reverberação da sala de gravação.

Resumindo, além dos absorvedores sonoros adotados para a sala não terem eficiência significativa para dissipar a energia sonora em baixas frequências e desta forma permitindo altos tempos de reverberação na sala, existe ainda a coincidência da frequência de vários modos de vibração natural da sala com a frequência de algumas notas e/ou seus respectivos harmônicos comprometendo assim a funcionalidade do ambiente.

## **Agradecimentos**

Agradecemos a imensurável disponibilidade do professor Marco Antônio de Mendonça Vecci pelas medições realizadas no estúdio que foram essenciais para a conclusão deste estudo. Gostaríamos também de agradecer à Comunidade Católica Nova Aliança nas pessoas de Eros Biondini coordenador do estúdio e Hudson Feliciano assistente de operação, pelo acompanhamento e liberação de diversos períodos do estúdio para a realização dos testes e medições.

## **Referências Bibliográficas**

Beranek, L.L. Music, Acoustic & Architecture. New York, John Wiley & Sons, 1962.

Beranek, L. L. Noise and Vibration Control. McGraw-Hill Book Company, 1971.

Beranek, L.L. Acoustic and Concert Hall, J. Acoust. Soc. Am. Vol 57, Nº 6, Part I, June 1975.

Beranek, L.L. How they sound Concert and opera Hall. New York, Acoust. Soc. Am., 1996.

Fernandes, J.C. Avaliação da Inteligibilidade Acústica em uma igreja pelos Métodos Subjetivo e Analista. *XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica-2000*, págs. 300-305.

International Standar ISO 354 - Acoustics – Measurements of sound absorption in a reverberant room, First Edition 1985

Kinsler, L. E. Fundamentals of Acoustic. John Wiley & Sons, Third Edition, 1982.

Valadares, V. M. Acústica de salas de Concerto. *1º SEMEA, 2002*.