

Estudo e projeto acústico de um ambiente para gravação musical – estudo de caso



Marcus Vinícius Manfrin de Oliveira Filho, Paulo Henrique Trombetta Zannin

Laboratório de Acústica Ambiental – Industrial e Conforto Acústico

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

mvmof@yahoo.com.br

PACS: 43.55.Br, 43.55.Gx

Resumo

O estudo do condicionamento acústico de um ambiente para gravação musical é importante, pois a qualidade acústica do mesmo tem influência direta no resultado final. Neste trabalho, um ambiente desprovido de qualidade acústica – uma sala ordinária – é analisado através da norma brasileira NBR 12179 – Tratamento acústico em recintos fechados – e dos Critérios de Bonello, a fim de ser transformada em um estúdio de gravação. Foram realizadas medições do tempo de reverberação (TR) na sala do estudo segundo a ISO 3382-2:2008. As medições de TR mostraram que o mesmo, TR = 0,8 s, não satisfazia os requisitos da NBR 12179 para ambientes de gravação. Um projeto de condicionamento acústico foi desenvolvido para que o valor do tempo de reverberação atendesse à NBR 12179, ou seja, TR = 0,6 s. Também foram simuladas modificações nas dimensões da sala a fim de que a mesma atendesse aos Critérios de Bonello.

Abstract

The study of acoustics of a recording studio is important, since its acoustics quality directly influences the final result. On this study, a room with no acoustics quality – an ordinary room – was analyzed through the Brazilian Standard NBR 12179 – Acoustic Treatment in Enclosed Spaces – and through the Bonello Criteria, in order to transform that same room into a recording studio. Reverberation Time (RT) measurement has been taken inside the studied room according to ISO 3382-2:2008. This RT measurement has shown that the current RT, RT = 0,8 s, did not fit NBR 12179 requirements for recording rooms. An acoustic conditioning project was developed, so that the reverberation time value could fit NBR 12179 (RT = 0,6 s). Furthermore, modifications in the room dimensions were simulated so that it could fit Bonello Criteria.

1 Introdução

Para que se chegue a um resultado final satisfatório no processo de gravação e edição de uma música ou *jingle* para ser comercializado, é necessária atenção para diversos fatores. Entre eles, está o correto condicionamento acústico da sala utilizada para captar o som.

O presente trabalho descreve o projeto de transformação de uma sala ordinária, com volume $V = 81 \text{ m}^3$, construída para fins diversos, em um estúdio para a gravação de música. Para tal fim, seu tempo de reverberação TR foi medido e confrontado com o tempo recomendado pela norma brasileira – Tratamento acústico em recintos fechados – NBR 12179 [1]. Foram simuladas também as modificações necessárias nas dimensões da sala, a fim de que os Critérios de Bonello pudessem ser atendidos [2].

Este artigo apresenta um problema prático e uma possível solução para o mesmo, desenvolvido por um estudante de engenharia e que também é músico profissional. Para a transformação de uma “sala ordinária” em sala de gravação musical, objetivo deste trabalho, foram estudados alguns parâmetros acústicos, a saber: 1) Tempo de Reverberação; 2) Razão de baixos (*Bass Ratio*); 3) Modos acústicos (axial, tangencial e oblíquo) a fim de satisfazer aos Critérios de Bonello [2].

2 Materiais e Métodos

2.1 Sala

A sala em estudo tem quatro paredes de tijolo não rebocado, duas janelas de vidro e piso de lajotas. O forro é de madeira, com o teto inclinado. A sala tem 5,40 m de

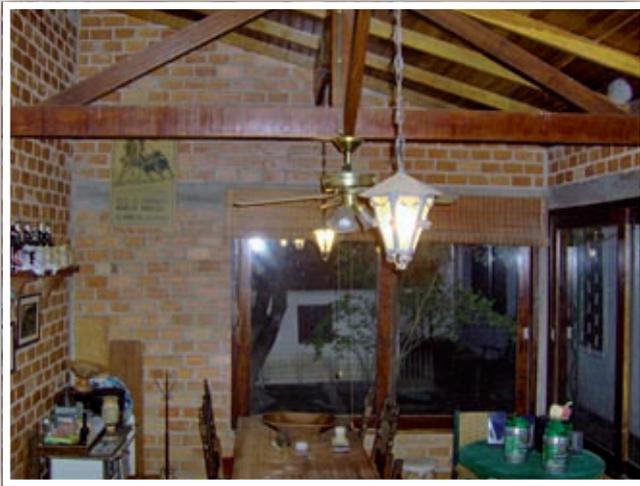


Figura 1. Sala analisada.

comprimento, 4 m de largura, 3,18 m de altura menor e 4,32 m de altura maior, totalizando o volume de $V = 81 \text{ m}^3$.

2.2 Tempo de Reverberação TR

As medições do TR foram realizadas seguindo-se as indicações da norma ISO 3382-2:2008 – *Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms* [3]. Para a medição do TR da sala em estudo, foram utilizados os seguintes equipamentos: 1) Analisador Sonoro B&K 2260; 2) Amplificador de potência B&K 2713; 3) Fonte sonora B&K 4296; 4) Microfone B&K 4189. O esquema de medições é apresentado na figura 2.

Além das medições, o tempo de reverberação da sala foi obtido através de cálculos com as fórmulas de Sabine e Eyring [4]:

$$\text{SABINE: } Tr_{60} = \frac{0,161V}{A} \quad (1)$$

Onde V é o volume total do espaço (m^3) e A é a absorção sonora equivalente (m^2), dado pela fórmula:

$$A = \sum Si * \alpha_i \quad (2)$$

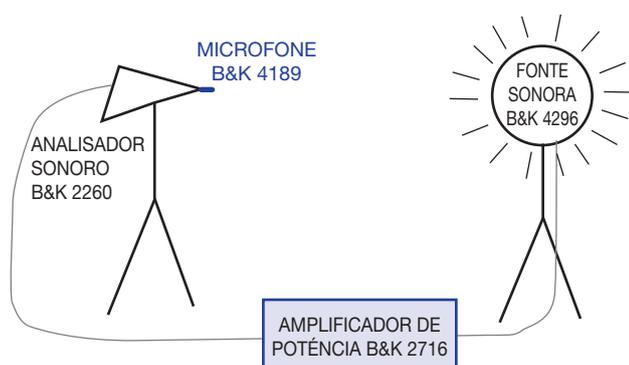


Figura 2. Esquema de medições.

Em que S_i é a área em metros quadrados das superfícies componentes da sala e α_i é o coeficiente de absorção do material.

A fórmula de Eyring é derivada da fórmula de Sabine, porém o A é dado por [4]:

$$A = -S * \ln \left[1 - \left(\frac{\sum Si * \alpha_i}{S} \right) \right] \quad (3)$$

Para auxiliar nos cálculos de tempo de reverberação, foi utilizada a planilha de cálculos *Reverb_1_4*, do autor VALLE [2], disponível gratuitamente para *download* [5].

A planilha contempla as fórmulas de Sabine e Eyring para o cálculo do TR, além de uma biblioteca com diversos materiais e seus coeficientes de absorção sonora.

Os tempos de reverberação calculados foram comparados com o tempo de reverberação recomendado pela norma brasileira NBR 12179 – Tratamento acústico em recintos fechados [1], para estúdio de gravação. Esta norma apresenta os tempos de reverberação ideais em função do volume, para diversas finalidades de uso do ambiente.

2.3 Modos acústicos da sala

Quando o som se propaga em espaço aberto, as ondas podem ser refletidas, dispersadas ou absorvidas pelas diversas superfícies que compõem uma determinada sala [4]. Em locais pequenos e fechados, entretanto, as ondas sonoras tornam-se grandes em comparação ao tamanho do ambiente [2]. O comprimento de onda para baixas frequências (abaixo de 300 Hz), pode tornar-se um múltiplo inteiro das dimensões da sala (altura, largura e comprimento) [2]. Ao encontrar alguma superfície, a onda emitida no interior da sala será refletida em diversas direções, podendo gerar zonas de soma ou cancelamento. O comportamento de cada ponto da sala em relação às somas e cancelamentos de cada faixa de frequências é chamado de modos da sala [2]. Essas somas ou cancelamentos podem ser especialmente problemáticos para a acústica de um local destinado à gravação musical, especialmente nos sons graves – frequências baixas [2, 4].

Os modos acústicos são chamados de axiais quando estão contidos entre duas paredes paralelas da sala; de tangenciais quando as ondas refletem-se em três ou mais paredes; e de oblíquos quando estão contidos entre todas as dimensões de uma sala, paredes laterais, teto e chão [4].

Os modos podem ser determinados (em Hz) pela seguinte fórmula [6]:

$$f_{\text{modos}} = \frac{c}{2} \left[\left(\frac{m}{x} \right)^2 + \left(\frac{n}{y} \right)^2 + \left(\frac{p}{z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Onde c é a velocidade do som no ar; m , n e p são inteiros não negativos (0, 1, 2, 3, etc.) que representam

os parciais harmônicos dos modos em que as vibrações (axial, tangencial e oblíquo respectivamente) ocorrem; x, y e z são as dimensões da sala [6].

É preciso fazer o cálculo de todos os modos de uma sala até 300 Hz [2]. Então, as frequências devem ser dispostas em ordem crescente em uma lista e/ou gráfico. Este gráfico indicará a posição dos modos ao longo do eixo das frequências e também coincidências (diferenças de menos de 1 Hz) entre modos [6]. Este cálculo foi realizado com o auxílio da planilha *Modos*, do autor VALLE [2], disponível gratuitamente para *download* [5].

Feito o acima descrito, pode-se construir um gráfico do número de modos por banda de frequência. As bandas são, geralmente, de 1/3 de oitava, centralizadas nas frequências ISO conforme mostra a Tabela 1. As bandas cobrem o espectro desde 22,4 Hz até 281 Hz. O número de modos deve aparecer ponderado: o número de modos tangenciais deve ser dividido por 2, e o número de modos oblíquos deve ser dividido por 4, conforme indicado na referência [2].

O gráfico obtido com o número de modos por banda deve satisfazer aos três *Crítérios de Bonello* [2]. Estes critérios estabelecem a relação entre os modos acústicos da sala, a fim de se obter uma acústica equilibrada. Os três Critérios de Bonello são os seguintes:

1. O número de modos por banda deve aumentar com a frequência. Na pior hipótese, pode-se manter constante, mas nunca diminuir com a frequência.
2. Se houver dois modos coincidentes numa banda, deve haver pelo menos mais três modos não coincidentes na mesma banda para que isso seja aceitável.

Tabela 1. Bandas ISO [2]

BANDAS ISO (VALLE, Sólón do.- Manual Prático de Acústica)	
Frequência Central (Hz)	Frequências Extremas (Hz)
25	22,4 a 28,1
31,5	28,1 a 35,5
40	35,5 a 44,7
50	44,7 a 56,1
63	56,1 a 70,7
80	70,7 a 89,1
100	89,1 a 112
125	112 a 141
160	141 a 179
200	179 a 224
250	224 a 281
315	281 a 355

3. Três ou mais modos coincidentes numa mesma banda são sempre inaceitáveis.

3. Resultados

3.1 Modos da sala

Os modos da sala foram calculados através da planilha *Modos*, disponível gratuitamente para *download* [5]. Os resultados podem ser conferidos na figura 3.

Uma altura de 3,75 m foi adotada, que é a média aritmética entre as duas alturas da sala (4,32 e 3,18 m), conforme VALLE [2]. A temperatura de 23° foi adotada já que o ambiente será climatizado.

Percebe-se uma queda no número de modos por banda, na banda de 50 para 63 Hz. Como o Critério n.º 1 de Bonello [2] não foi atendido, foram realizadas modificações nas dimensões da sala através da

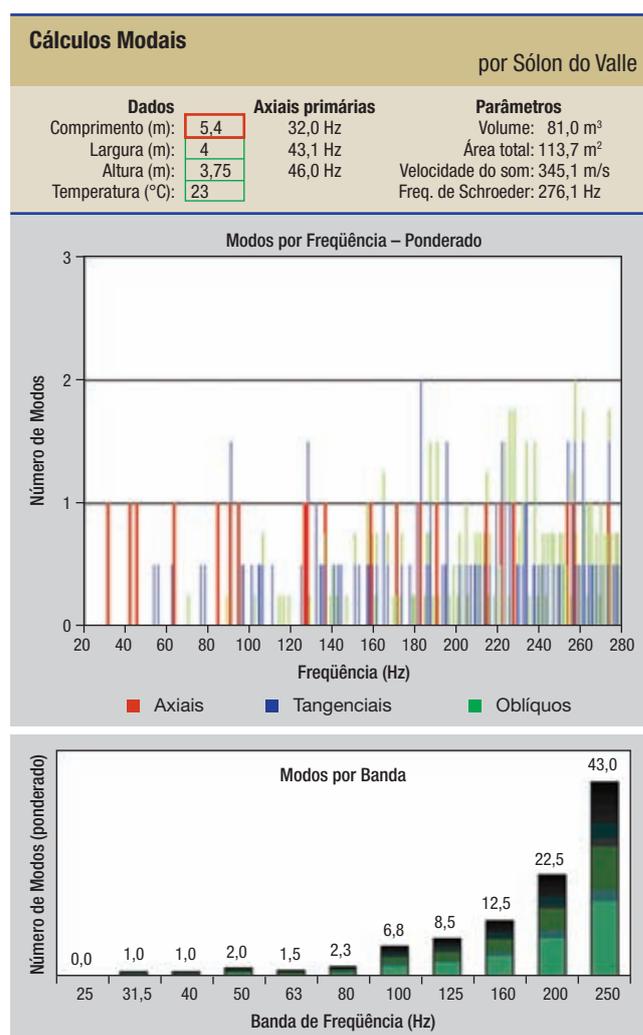


Figura 3. Modos acústicos por banda de frequência da sala.

planilha *Modos* [5]. Uma nova geometria foi considerada para a sala, conforme a figura 4.

O comprimento foi reduzido de 5,4 m para 5,3 m, o que representa uma redução de 10 cm nessa dimensão. Da mesma forma, a largura foi reduzida de 4 para 3,9 m e a altura média de 3,75 para 3,6 m. Conseqüentemente, o volume final da sala será 74,41 m³.

Esta nova geometria da sala eliminou a queda de modos acústicos na banda de 50 para 63 Hz, representando, portanto, uma melhora na acústica para reprodução musical do ambiente, de acordo com os Critérios de Bonello [2].

Vale ressaltar que, na música, os sons mais graves comumente utilizados são as notas do contrabaixo, cujas freqüências giram em torno de 40 Hz. Verifica-se na figura 4 que a sala começa a reproduzir os sons à partir de 31,5 Hz, atendendo aos requisitos de uso para fins musicais.

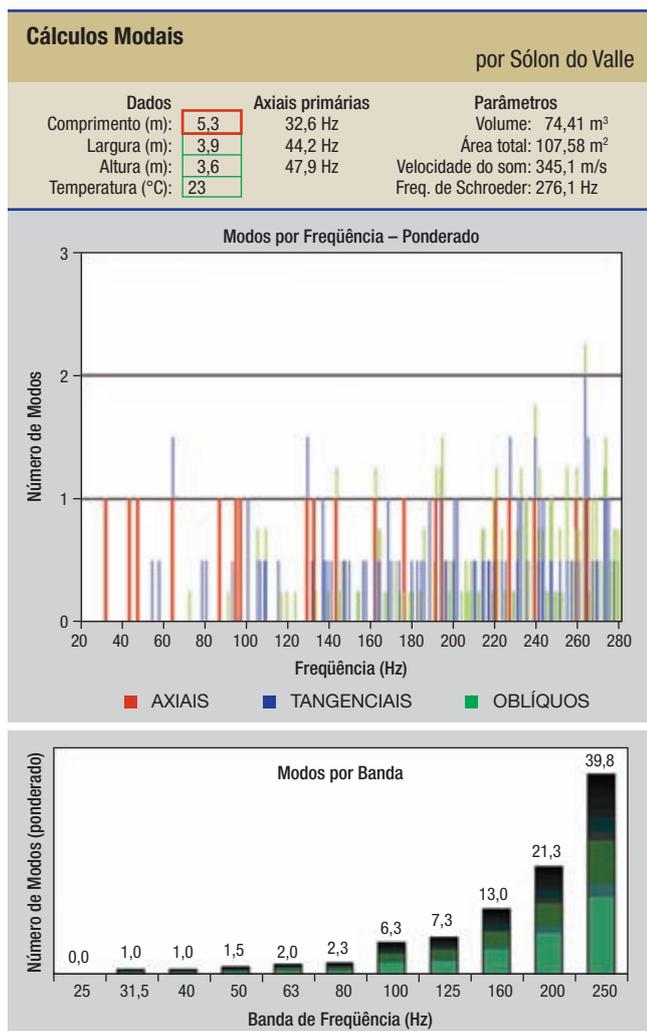


Figura 4. Modos acústicos por banda de freqüência otimizados.

3.2 Tempo de Reverberação

O analisador sonoro B&K 2260 foi usado juntamente com a fonte sonora B&K 4296 para a medição do tempo de reverberação da sala. Foram feitas medições do TR em seis pontos no interior da sala. A figura 5 apresenta o gráfico da média do tempo de reverberação da sala em função da freqüência.

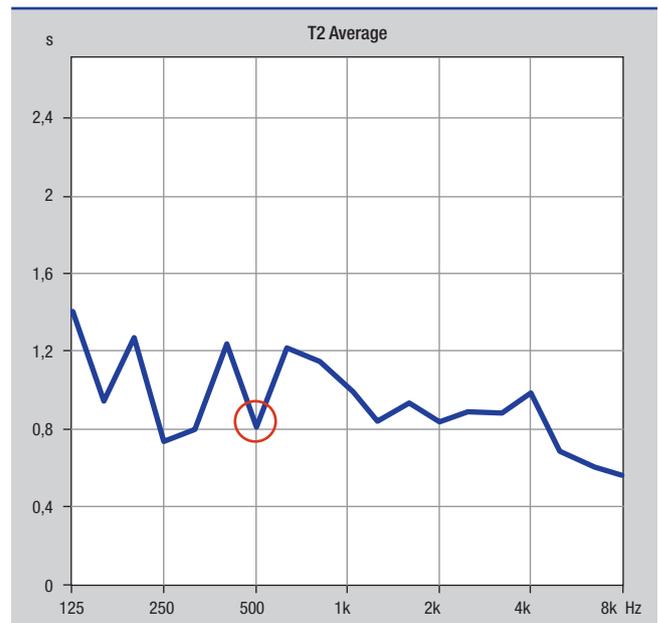


Figura 5. Tempo de reverberação médio da sala em função da freqüência.

Pela figura 5, verifica-se que o TR na freqüência de 500 Hz é de 0,8 s. Segundo a norma brasileira NBR 12179, o tempo de reverberação ideal para estúdios de gravação com volume de aproximadamente 81 m³ é de 0,6 s [1]. Deve-se ressaltar que a NBR 12179 só apresenta os tempos de reverberação ideais para a freqüência de 500 Hz, daí o fato desta freqüência servir de parâmetro.

A fim de adequar o tempo de reverberação da sala ao tempo de reverberação ideal conforme a NBR 12179, foi projetado um condicionamento acústico para a sala em questão, através da planilha de cálculo *Reverb_1_4*, de VALLE [2], conforme a Tabela 2.

O piso foi revestido com carpete grosso, totalizando uma área de 20,67 m². O forro foi abaixado em 15 cm, para satisfazer aos Critérios de Bonello [2], e revestido de madeira, totalizando 21,52 m².

As janelas são de vidro grosso, com uma área de 13,39 m². As paredes de tijolos foram revestidas com um compensado de 10 mm de espessura, a 75 mm da pa-

Tabela 2. Materiais utilizados na correção do TR

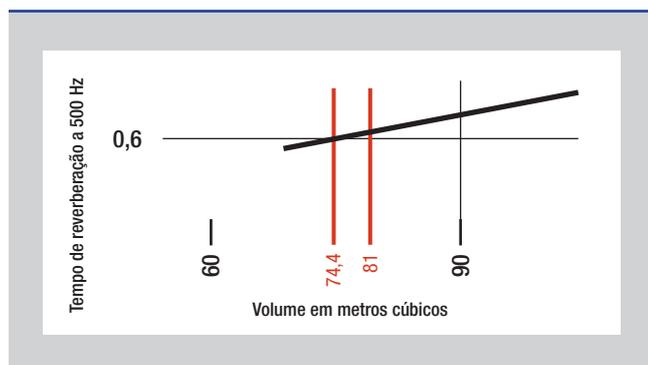
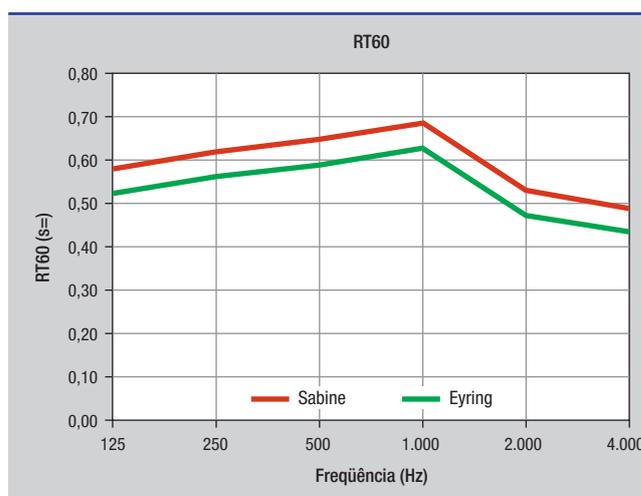
Nº	Material	Área ocupada (m ²)
27	Carpete grosso sobre concreto	20,67
32	Forro de madeira	21,52
33	Vidro grosso	13,39
23	Madeira compensada dom distância de 10 mm a 75 mm da parede	47,00
8	Espuma lisa 45 mm	3,00
16	Painel espessura 4 mm a 10 cm da parede, c/ 5 cm lã, perfurado em 1,40%	2,00
37	Absorção por pessoa	1 pessoa

rede. Sobre o compensado que reveste as paredes foi colocado um painel de 3 m² de espuma lisa 45 mm e um painel de 2 m² com espessura de 4 mm, a 10 cm da parede, com 5 cm de lã, perfurado em 1,40%. Assim, o compensado que reveste as paredes totalizou 47 m² de área superficial. Considerou-se uma pessoa ocupando o ambiente.

A sala estaria assim totalmente revestida com algum material, totalizando 107,58 m² de área interna. Vale ressaltar que mesmo com a redução do volume da sala de 81 m³ para 74,4 m³, para que os Critérios de Bonello fossem satisfeitos [2], pode-se considerar o tempo de reverberação ideal recomendado pela NBR 12179 como sendo TR = 0,6 s. A variação no volume de 81 para 74,4 m³, causou variação insignificante no TR ideal recomendado pela NBR 12179, conforme mostra a figura 6.

A figura 7 abaixo apresenta as curvas do TR obtidas com os cálculos através das fórmulas de Sabine e Eyring, para a situação da sala com tratamento acústico.

Como a absorção média da sala é maior do que 0,3 será considerada a curva gerada pelos cálculos através da fórmula de Eyring [7].

**Figura 6.** Tempo de reverberação ideal para estúdio de rádio para música [1].**Figura 7.** Tempo de reverberação em função da frequência para o projeto do estúdio.

Pode-se observar, portanto, que para a frequência de 500 Hz o tempo de reverberação calculado foi de 0,6 s, atendendo ao requisito para um estúdio de gravação para fins musicais conforme NBR 12179 [1].

3.3 Razão de Baixos (Bass Ratio)

O tempo de reverberação depende da frequência, logo existem diferentes tempos de reverberação para cada registro de som (graves, médios e agudos). A resposta do tempo de reverberação em relação à frequência é de grande importância, especialmente nas frequências mais baixas (graves). A proporção entre o tempo de reverberação nas frequências de 125 e 250 Hz, e 500 e 1000 Hz é chamada de Razão de Baixos (*Bass Ratio*) e é obtida pela seguinte fórmula [8]:

$$BR = \frac{(Tr_{60\ 125\ Hz} + Tr_{60\ 250\ Hz})}{(Tr_{60\ 500\ Hz} + Tr_{60\ 1000\ Hz})} \quad (5)$$

Em auditórios e salas de concerto o *Bass Ratio* desejado para música deve estar entre 1 e 1,3 [7]. Para fala, entre 0,9 e 1. Para um estúdio de gravação essa relação deve ser menor [8].

Substituindo os valores expostos na figura 7 na fórmula (5), tem-se:

$$BR = \frac{(Tr_{60\ 125\ Hz} + Tr_{60\ 250\ Hz})}{(Tr_{60\ 500\ Hz} + Tr_{60\ 1000\ Hz})}$$

$$BR = \frac{(0,52\ s + 0,56\ s)}{(0,60\ s + 0,64\ s)}$$

$$BR = \frac{(1,08\ s)}{(1,24\ s)}$$

$$BR = 0,87$$

A razão de baixos encontrada foi de 0,87. Este valor está abaixo de 0,9, conforme recomendado para estúdios de gravação musical [8].

5 Conclusões

O trabalho acima descrito apresenta uma solução possível para a transformação de uma sala ordinária existente em um pequeno estúdio de gravação musical.

No trabalho foram analisados o tempo de reverberação, os Critérios de Bonello e a Razão de Baixos.

Mostrou-se que com pequenas modificações nas dimensões e o uso de materiais disponíveis no mercado local, a transformação da sala ordinária em um pequeno estúdio de gravação é possível.

6 Agradecimentos

Os resultados apresentados neste artigo são oriundos do trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, e o primeiro autor gostaria de agradecer aos colegas do Laboratório de Acústica Ambiental – Industrial e Conforto Acústico, Paulo Eduardo Fiedler e Fernando Bunn, pela ajuda nas medições do tempo de reverberação.

7 Referências Bibliográficas

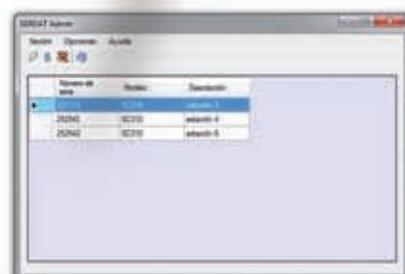
- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 12179 – Tratamento acústico em recintos fechados. 1992.
- [2] VALLE, Sólon do. *Manual Prático de Acústica* – 3ª Edição, Revisada e Ampliada. Editora Música & Tecnologia – 2009.
- [3] ISO 3382-2:2008 - Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
- [4] EVEREST, F. Alton. *Master Handbook of Acoustics* – 2001.
- [5] <http://www.musitec.com.br/downloads>
- [6] JONES, D. – *Acustical Noise Control*. In: BALLOU, G. (ed.); Handbook for Sound Engineers. Boston: Focal Press, 3. ed, 2002.
- [7] FASOLD, M.; VERES, E. – *Schallschutz + Raumakustik in der Praxis*. 1998.
- [8] AHNERT, W.; TENNHARDT, H. *Acoustics for Auditoriums and Concert Halls*. In: Ballou, G. (ed.); Handbook for Sound Engineers. Boston: Focal Press, 3. ed, 2002.

CESVA

www.cesva.com

Red de vigilancia del ruido

Noise Surveillance Network



**Terminales de monitorización
de ruido Ambiental
TA024**

**Software
SERDATadmin
Capture Studio**

CESVA

GIP, global insulation package

www.cesva.com



MI005

Máquina de impactos

FP 121

Fuente de presión

 **Bluetooth**



SC 310

Sonómetro analizador de espectro

SOFTWARE

Cálculo de Aislamientos
CESVA Insulation Studio (CIS)

Ayuda a la medición
CESVA Measurement Assistant (CMA)

