
Relatório 1

Medição de Potência Sonora

Técnicas Experimentais em Acústica e Vibrações

Aluno:

José Pedro de Santana Neto - 201505394

Professor: **Arcanjo Lenzi, PhD.**

23 de outubro de 2015

1 Introdução

A potência sonora é uma grandeza física muito importante para caracterizar uma fonte sonora. Para mensurar tal característica usa-se ambientes reverberantes e anecóicos, usando equipamentos específicos para cada contexto afim de usar parâmetros desses ambientes na determinação da potência sonora. Foram então usadas as câmaras semianecóica e reverberante para mensurar o nível de potência sonora e ao final do processo os resultados foram comparados com os valores tabelados da fonte. Concluiu-se que os ensaios refletiram o que era esperado através da comparação com os resultados tabelados, ou seja, as potências sonoras das câmaras anecóica e reverberante seguiram os resultados tabelados com a câmara reverberante o mais próximo do resultado ideal.

2 Fundamentação Teórica

Em vista do que se expõe em (BISTAFA, 2011), o som é a aceleração de partículas de ar que se chocam, transformando a pressão estática do ar numa pressão oscilatória. Essa pressão oscilatória entre em contato com os ouvidos do ouvinte fazendo com que essa variação de pressão seja percebida e escutada. Essa variação de pressão que oscila é escutada pelo ser humano a partir da magnitude de pressão de $2 \cdot 10^{-5} Pa$. Qualquer perturbação de pressão que se encaixa nessas condições é denominada som e as perturbações indesejáveis são denominadas de ruído sonoro.

Para se mensurar o nível de pressão sonora deve-se comparar o valor *rms* da pressão coletada pela pressão de referência ($2 \cdot 10^{-5} Pa$), usando a operação de divisão. Como a magnitude dessa divisão é muita alta, a variação das pressões audíveis é de ordem muito alta fazendo assim que se transforme esse valor numa medida logarítmica e multiplicado por 10. A expressão matemática resultante desse processo é

$$NPS = 10 \cdot \log_{10}(p_{rms}^2 / (2 \cdot 10^{-5})^2). \quad (2.1)$$

Tal que *NPS* é o nível de pressão sonora e p_{rms} é o *rms* da pressão coletada.

De acordo com (GAN, 1999), a potência sonora é uma grandeza física que diz respeito à energia acústica total emitida por uma determinada fonte sonora. Dessa forma, a potência sonora depende apenas da própria fonte e independe das características do meio, fazendo com que esse tipo de grandeza física se qualifique como satisfatório para caracterizar uma fonte sonora. Em vista disso a potência sonora é dada pela equação

$$W = I_{max} S. \quad (2.2)$$

Tal que *W* é a potência sonora, I_{max} intensidade sonora máxima e *S* é a área. Como a intensidade sonora máxima (I_{max}) se relaciona com a impedância característica do meio ($\rho \cdot c$) de tal forma que a expressão matemática de denota como

$$I_{max} = \frac{p_{rms}^2}{\rho_0 \cdot c}. \quad (2.3)$$

Dessa forma, dividindo por uma potência de referência $W_o = \frac{p_o^2}{\rho c} S$ a equação da potência pode ser caracterizada por

$$\frac{W}{W_o} = \frac{p_{rms}^2}{p_o^2} \frac{S}{S_o}. \quad (2.4)$$

Aplicando a operação logarítmica na equação 2.4 o resultado final do cálculo da potência é

$$NWS = NPS + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{S_o} \right). \quad (2.5)$$

Para se medir a potência sonora há ambientes apropriados que são as câmaras anecóicas e câmaras reverberantes. De acordo com (BISTAFA, 2011) as câmaras anecóicas, são construídas com superfícies configuradas para absorver toda a energia sonora incidente, simulando um campo livre com reflexões anuladas nas paredes. No extremo oposto, as câmaras reverberantes são construídas de tal forma a maximizar o som refletido pelas paredes, no sentido de gerar campo difuso. As imagens 1 e 2 ilustram exemplos de câmara anecóica e reverberante respectivamente.



Figura 1: Câmara semianecóica. Fonte: <http://lva.ufsc.br/>

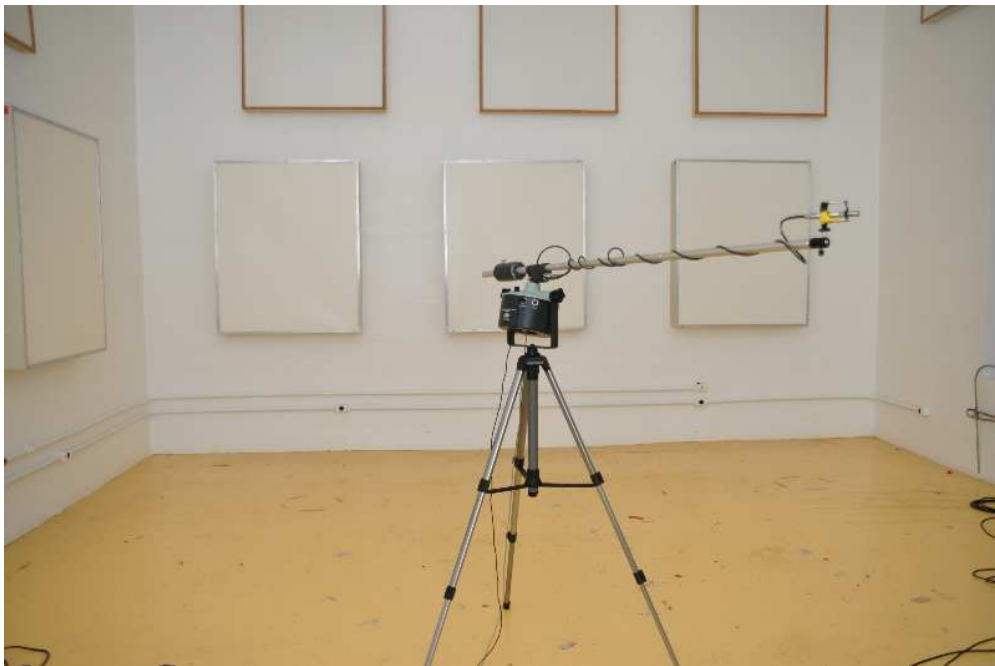


Figura 2: Câmara reverberante. Fonte: <http://lva.ufsc.br/>

Para medir a pressão sonora nas câmaras anecóicas deve-se usar os microfones de campo livre nos quais são projetados de forma direcional para a fonte sonora. Essa característica faz a onda incidir de forma longitudinal no microfone. Para se medir a pressão sonora nas câmaras reverberantes deve-se usar os microfones de campo difuso nos quais são projetados de forma que as ondas se incidem em todos os lados desse tipo de microfone.

3 Experimento e Equipamentos

O objetivo principal desse experimento é mensurar o nível de potência sonora de um fonte sonora nos ambientes de câmara anecóica e reverberante. Ao final deve-se comparar os resultados obtidos com os tabelados do aparelho.

Para realizar as medições tais instrumentos foram utilizados:

- Microfone capacitivo de campo livre:
 - Tipo número 4189-A-021;
 - Sensibilidade -26.7 dB re 1V/Pa;
 - Incerteza, 95% de nível de confiança de 0.2 dB.
- Microfone capacitivo de campo difuso:
 - Tipo número 4942-A-021;
 - Sensibilidade -26.3 dB re 1V/Pa;
 - Incerteza, 95% de nível de confiança de 0.2 dB.
- Calibrador de microfone tipo CAL 200, da Larson Davis. Nível de calibração 94/114 dB;
- Fonte sonora tipo 4204:
 - Cumpre ISO 3741 , ISO 3747 e ISO 6926 para calibrar fontes de potência sonora;
 - Gama de frequências de 100 Hz a 20 kHz;
 - Saída de potência sonora 91 dB re 1 pW (peso A, frequência de linha de 50 Hz) e 95 dB re 1 pW (Aweighted , frequência de linha de 60 Hz);
 - Gama de temperaturas de -10°C a + 50°C;
 - Operação 50 e 60 Hz.

- Tripé e Cabos;
- Analisador de sinais modelo SCADAS da LMS:
 - módulo de condicionamento e aquisição (com 4 ou 8 canais dinâmicos) com frequência de amostragem de 102,4 KHz e 24 bits de resolução;
 - duas entradas para tacômetro com taxas de amostragem de até 6,5 MHz;
 - dois geradores de função.
- Rotating boom tipo 3923:
 - Cumpre ISO 3741;
 - Comprimento da lança ajustável entre 50 cm e 200 cm;
 - Operação com bateria com células NiCd ou operação de linha embutidos;
 - Três vezes rotação do interruptor selecionável;
 - Plano de rotação ajustável em passos de 10 graus;
 - E poder de sinal do microfone via anéis deslizantes;
 - Potência sonora emitida típico igual a 26 dB re 1 pW (peso A).

Focando a formatação dos dados dos microfones, foi desenvolvido um script python. Segue o mesmo:

```
1 import numpy as np
3 data_1 = np.loadtxt("Posicao1.txt");
  data_2 = np.loadtxt("Posicao2.txt");
5 frequencias = []
  microphone_1 = []
7 microphone_2 = []
  microphone_3 = []
9 microphone_4 = []
  microphone_5 = []
```

```
11 microphone_6 = []
    microphone_7 = []
13 microphone_8 = []
    microphone_9 = []
15 microphone_10 = []

17 for frequency in data_1:
    #print frequency[0]
19     frequencies.append(frequency[0])
    microphone_1.append(frequency[1])
21     microphone_2.append(frequency[3])
    microphone_3.append(frequency[5])
23     microphone_4.append(frequency[7])
    microphone_5.append(frequency[9])
25     #for microphone in frequency:

27 for frequency in data_2:
    #print frequency[0]
29     microphone_6.append(frequency[1])
    microphone_7.append(frequency[3])
31     microphone_8.append(frequency[5])
    microphone_9.append(frequency[7])
33     microphone_10.append(frequency[9])
    #for microphone in frequency:

35 np.savetxt("frequencies.txt", frequencies)
37 np.savetxt("microphone_1.txt", microphone_1)
    np.savetxt("microphone_2.txt", microphone_2)
39 np.savetxt("microphone_3.txt", microphone_3)
    np.savetxt("microphone_4.txt", microphone_4)
41 np.savetxt("microphone_5.txt", microphone_5)
    np.savetxt("microphone_6.txt", microphone_6)
43 np.savetxt("microphone_7.txt", microphone_7)
    np.savetxt("microphone_8.txt", microphone_8)
45 np.savetxt("microphone_9.txt", microphone_9)
    np.savetxt("microphone_10.txt", microphone_10)
```

Focando o processamento dos dados e plotagem dos gráficos foi desenvolvido um script em Matlab. Segue o mesmo:


```
clc; clear all; close all;

2
frequencias = textread('frequencias.txt');
4 % Esses valores ja sao em RMS
microphone_1 = textread('microphone_1.txt');
6 microphone_2 = textread('microphone_2.txt');
microphone_3 = textread('microphone_3.txt');
8 microphone_4 = textread('microphone_4.txt');
microphone_5 = textread('microphone_5.txt');
10 microphone_6 = textread('microphone_6.txt');
microphone_7 = textread('microphone_7.txt');
12 microphone_8 = textread('microphone_8.txt');
microphone_9 = textread('microphone_9.txt');
14 microphone_10 = textread('microphone_10.txt');

16 %% POTENCIA SONORA – CAMARA SEMI-ANECOICA
% Media entre as pressoes sonoras da camara anecoica
18 pressao_rms(1:length(frequencias)) = 0;
for frequencia = 1:length(frequencias)
20     pressao_rms(frequencia) = mean([microphone_1(frequencia) ...
        microphone_2(frequencia) ...
22     microphone_3(frequencia) ...
        microphone_4(frequencia) ...
24     microphone_5(frequencia) ...
        microphone_6(frequencia) ...
26     microphone_7(frequencia) ...
        microphone_8(frequencia) ...
28     microphone_9(frequencia) ...
        microphone_10(frequencia)].^2);
30 end
nivel_pressao_sonora_anecoica = 10*log10(pressao_rms(11:end)/(2e-5)
    ^2);
32 diretividade = 2;
raio = 1;
34 nivel_potencia_sonora_anecoica = nivel_pressao_sonora_anecoica - 10*
    log10((diretividade)/(4*pi*raio^(2)));

36 % pegar a partir de 250 Hz pois eh a frequencia de corte da camara
    reverberante,
```

```

% pois abaixo disso os modos acusticos atuam na sala
38
% Plotando o nivel de pressao sonora para a camara anecoica
40 figure(1);
    bar(nivel_pressao_sonora_anecoica, 'r'); hold on;
42 set(gca, 'XTick', 1:1:15);
    set(gca, 'XTickLabel', {'250', '315', '400', '500', '630', '800', '1k', '
        1.25k', '1.6k', '2k', '2.5k', ...
44 '3.15k', '4k', '5k', '6.3k'}, 'FontSize', 12);
    xlabel('Frequencia - [Hz]', 'FontSize', 20);
46 ylabel('NPS - [dB]', 'FontSize', 20);
    title('Nivel de Pressao Sonora na Camara Semianecoica', 'FontSize', 20)
        ;
48
%% POTENCIA SONORA – CAMARA REVERBERANTE
50 % ler valores rms reverberante
    valores_rms_reverberante = textread('ReverberanteBoom.txt');
52 % pegando os valores rms
    valores_rms_reverberante = valores_rms_reverberante(:, 2);
54 % ler tempos de reverberacao (para a frequencia de 6.3k foi uma
        extrapolacao linear)
    load TR_RV;
56 tempo_reverberacao = TR_RV;
    % calcular nivel de pressao sonora
58 nivel_pressao_sonora_reverberacao = 20*log10((
        valores_rms_reverberante)./(2e-5));
    area_superficial_total = 203.37; % m^2
60 volume_camara_reverberativa = 189.15; % m^3
    A = -0.161*volume_camara_reverberativa;
62 B = tempo_reverberacao*area_superficial_total;
    alpha_eyring = 1 - exp(A./B);
64 A = 0.161*volume_camara_reverberativa;
    B = tempo_reverberacao*area_superficial_total;
66 alpha_sabine = A./B;
    % calcular potencia sonora
68 A = 4*(1 - alpha_sabine);
    B = area_superficial_total*alpha_sabine;
70 nivel_potencia_sonora_reverberacao = ...
    nivel_pressao_sonora_reverberacao(11:end) - 10*log10(A./B);

```

```

72 % Plotando o nivel de pressao sonora para a camara reverberacao
74 figure(2);
   bar(nivel_pressao_sonora_anecoica, 'g'); hold on;
76 set(gca, 'XTick', 1:1:15);
   set(gca, 'XTickLabel', {'250', '315', '400', '500', '630', '800', '1k', '1.25k', '1.6k', '2k', '2.5k', ...
78 '3.15k', '4k', '5k', '6.3k'}, 'FontSize', 12);
   xlabel('Frequencia - [Hz]', 'FontSize', 20);
80 ylabel('NPS - [dB]', 'FontSize', 20);
   title('Nivel de Pressao Sonora na Camara Reverberante', 'FontSize', 20)
   ;

82 % Plotando a comparacao dos niveis de potencia sonora
84 load NWS_Ref;
   nivel_potencia_sonora_referencia = NWS_Ref;
86 figure(3)
   nivel_potencia_sonora_reverberacao =
       nivel_potencia_sonora_reverberacao';
88 nivel_potencia_sonora_referencia = nivel_potencia_sonora_referencia';
   A = [nivel_potencia_sonora_anecoica;
       nivel_potencia_sonora_reverberacao;
       nivel_potencia_sonora_referencia]';
90 bar(A)
   ylim([0 115])
92 set(gca, 'XTick', 1:1:15)
   set(gca, 'XTickLabel', {'250', '315', '400', '500', '630', '800', '1k', '1.25k', '1.6k', '2k', '2.5k', ...
94 '3.15k', '4k', '5k', '6.3k'}, 'FontSize', 12)
   xlabel('Frequencia - [Hz]', 'FontSize', 20)
96 ylabel('NWS - [dB]', 'FontSize', 20)
   title('Nivel de Potencia Sonora', 'FontSize', 20)
98 k=legend('Camara Semianecoica', 'Camara Reverberante', 'Fonte de
       Referencia');
   set(k, 'FontSize', 20)

100 figure(4)
102 bar([alpha_sabine alpha_eyring])
   set(gca, 'XTick', 1:1:15)

```

```

104 set(gca, 'XTickLabel', {'250', '315', '400', '500', '630', '800', '1k', '
    1.25k', '1.6k', '2k', '2.5k', ...
    '3.15k', '4k', '5k', '6.3k'}, 'FontSize', 12)
106 xlabel('Frequencia - [Hz]', 'FontSize', 20)
    ylabel('Absorcao \alpha', 'FontSize', 20)
108 title('Aborcao Camara Reverberante', 'FontSize', 20)
    k=legend('Sabine', 'Eyring');
110 set(k, 'FontSize', 20)
    ylim([0 0.09])
112
    valores_ruido_fundo_anecoica = textread('RuidoFundoAnecoica.txt');
114 ruidos_fundo_anecoica = valores_ruido_fundo_anecoica(:, 2:5);
    frecuencias = valores_ruido_fundo_anecoica(:, 1);
116 nps_fundo_media_anecoica(1:length(frecuencias)) = 0;
    for frecuencia = 1:length(frecuencias)
118     media_ruido = mean(ruidos_fundo_anecoica(frecuencia, :));
        nps_fundo_media_anecoica(frecuencia) = 20*log10(media_ruido
            /0.00002);
120 end
    figure(5);
122 bar(nps_fundo_media_anecoica, 'y');
    hold on;
124 set(gca, 'XTick', 1:1:15);
    set(gca, 'XTickLabel', {'250', '315', '400', '500', '630', '800', '1k', '
        1.25k', '1.6k', '2k', '2.5k', ...
126 '3.15k', '4k', '5k', '6.3k'}, 'FontSize', 12);
    xlabel('Frequencia - [Hz]', 'FontSize', 20);
128 ylabel('NPS - [dB]', 'FontSize', 20);
    title('Ruido de Fundo na Camara Semianecoica ', 'FontSize', 20);
130
    valores_ruido_fundo_reverberante = textread('RuidoFundoReverberante.
        txt');
132 nps_fundo_reverberante = 20*log10(valores_ruido_fundo_reverberante
        (:, 2)/0.00002);
    figure(6);
134 bar(nps_fundo_reverberante, 'c');
    hold on;
136 set(gca, 'XTick', 1:1:15);
    set(gca, 'XTickLabel', {'250', '315', '400', '500', '630', '800', '1k', '

```

```

138     '1.25k' , '1.6k' , '2k' , '2.5k' , ...
    '3.15k' , '4k' , '5k' , '6.3k' } , 'FontSize' , 12);
xlabel( 'Frequencia - [Hz]' , 'FontSize' , 20);
140 ylabel( 'NPS - [dB]' , 'FontSize' , 20);
    title( 'Ruido de Fundo na Camara Reverberante' , 'FontSize' , 20);
142
% Grafico do erro da potencia
144 figure(7)
    erro_potencia_reverberacao = nivel_potencia_sonora_reverberacao -
        nivel_potencia_sonora_referencia;
146 erro_potencia_anecoica = nivel_potencia_sonora_anecoica -
        nivel_potencia_sonora_referencia;
    A = [erro_potencia_anecoica; erro_potencia_reverberacao]';
148 bar(A)
    %ylim([0 115])
150 set(gca, 'XTick' , 1:1:15)
    set(gca, 'XTickLabel' , { '250' , '315' , '400' , '500' , '630' , '800' , '1k' , '
        '1.25k' , '1.6k' , '2k' , '2.5k' , ...
152 '3.15k' , '4k' , '5k' , '6.3k' } , 'FontSize' , 12)
    xlabel( 'Frequencia - [Hz]' , 'FontSize' , 20)
154 ylabel( 'NWS - [dB]' , 'FontSize' , 20)
    title( 'Erro da Potencia Sonora' , 'FontSize' , 20)
156 k=legend( 'Erro Anecoica' , 'Erro Reverberante' );
    set(k, 'FontSize' , 20)

```

4 Resultados

Feito os procedimentos das medições, obteve-se os níveis de pressão sonora em dB por bandas de frequências que pode ser conferido na figura 3.

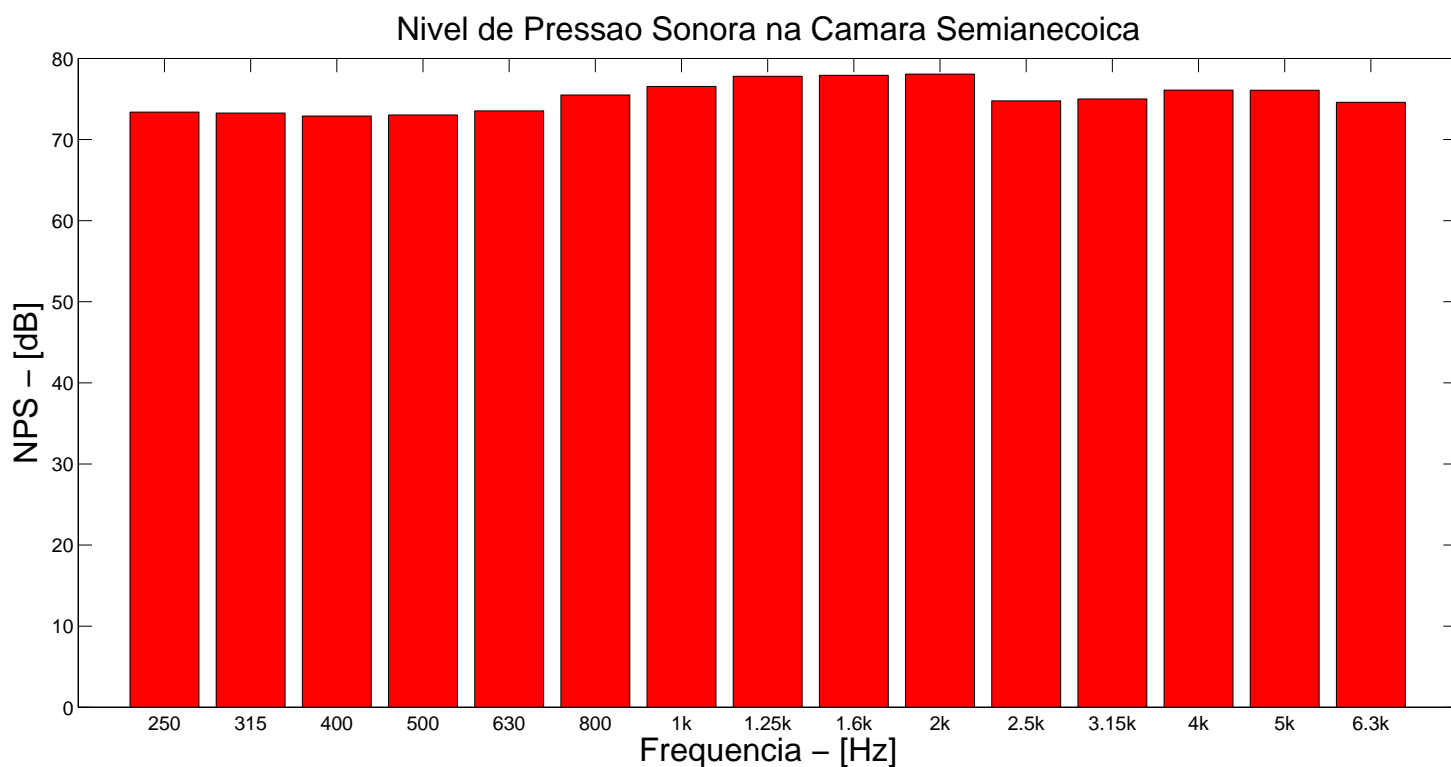


Figura 3: Níveis de pressão sonora da fonte na camara semianecóica por bandas de frequências. Fonte: autoria própria.

Tendo em vista a figura 3, é possível observar que o nível de pressão sonora para cada banda de frequência está na média de 75 dB e máximo perto de 78 dB e os ruídos mais fortes estão concentrados mais na faixa de médias frequências.

Obteve-se também o ruído de fundo da câmara semianecóica ilustrado na figura 4.

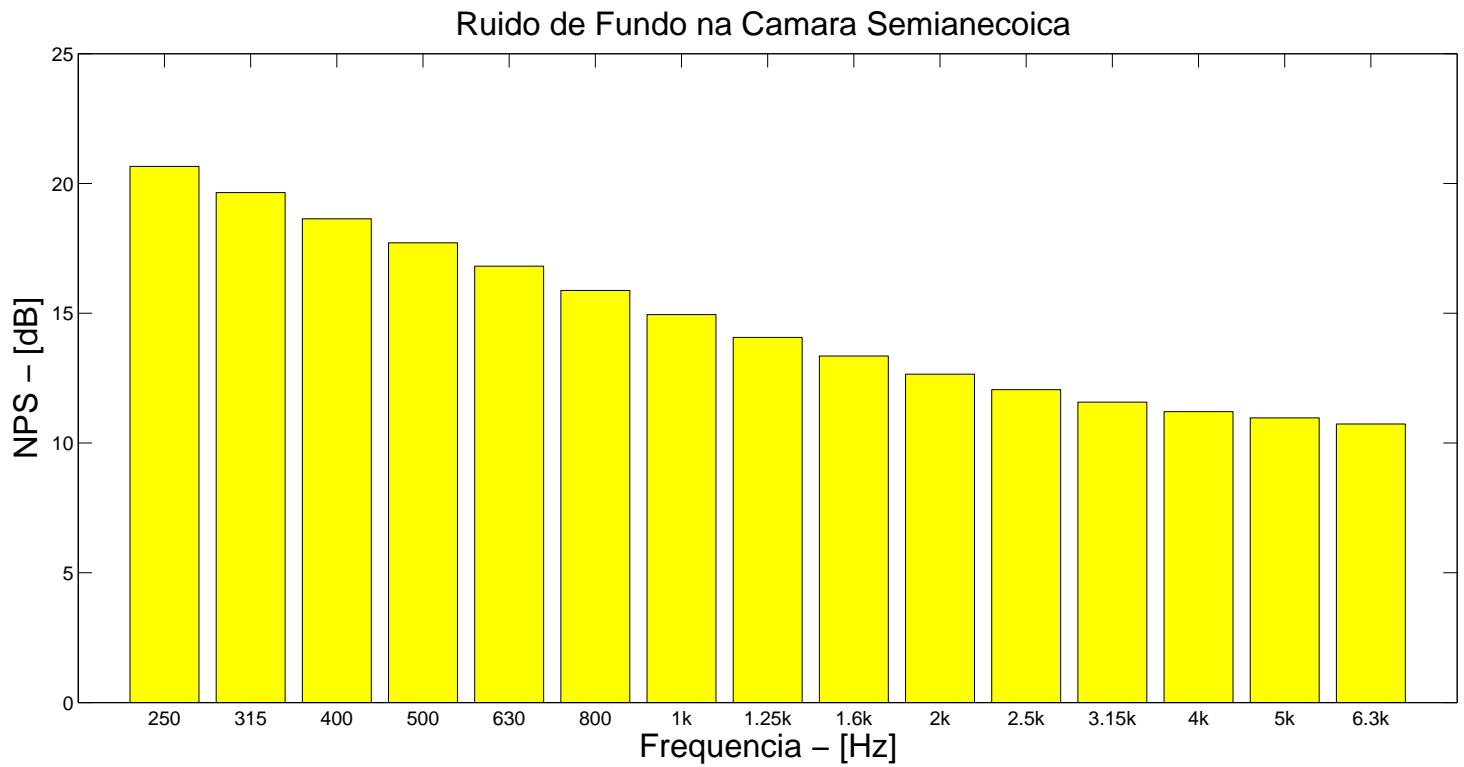


Figura 4: Ruído de fundo da câmara semianecóica. Fonte: autoria própria.

Tendo em vista a figura 4, é possível observar que o nível de pressão sonora para cada banda de frequência está na média de 14 dB e máximo perto de 20 dB e os ruídos mais fortes estão mais na faixa de baixas frequências. É visível que o ruído gravado da fonte é mais alto que o ruído de fundo.

Obteve-se também os níveis de pressão sonora da fonte na camara reverberante por bandas de frequências. Tais valores estão ilustrados na figura 5.

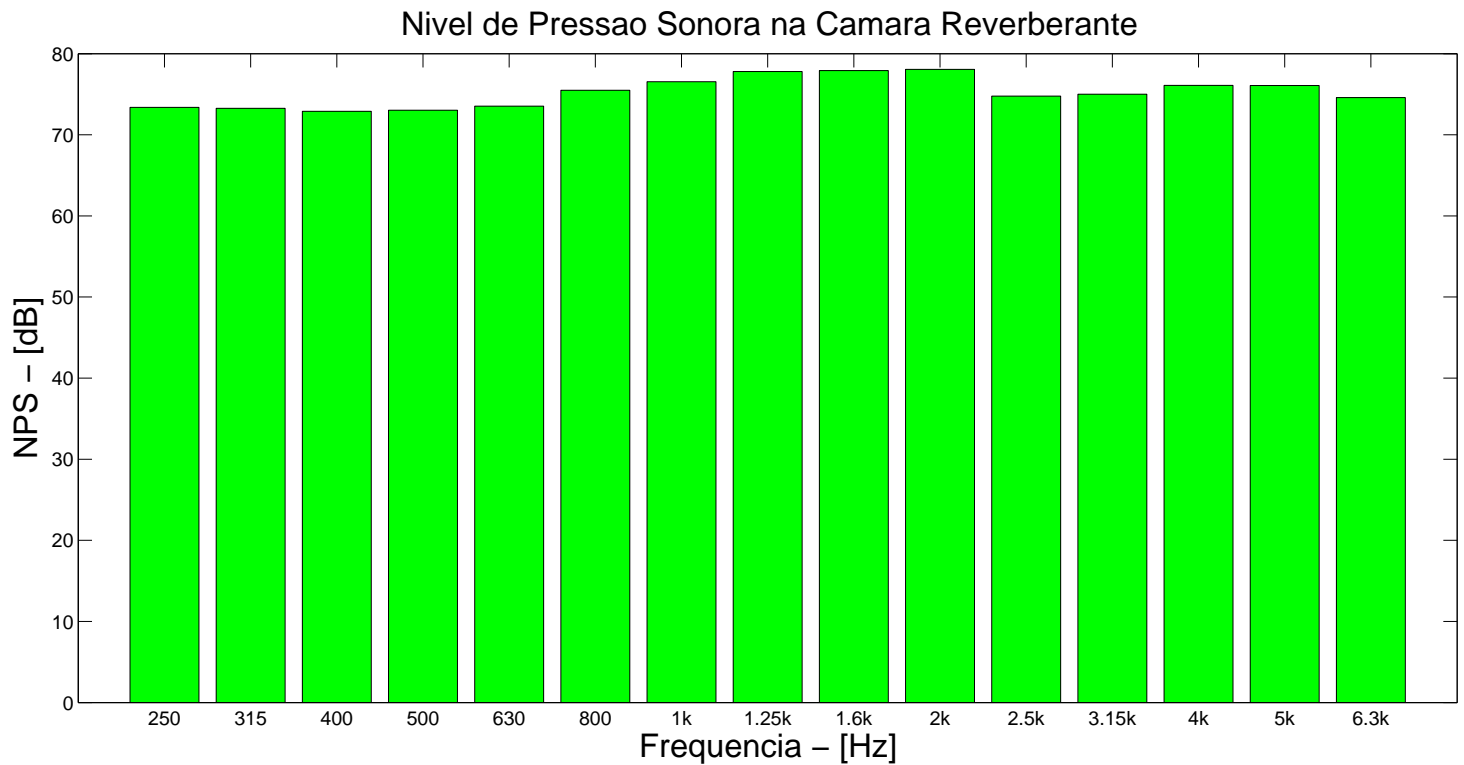


Figura 5: Níveis de pressão sonora da fonte na camara reverberante por bandas de frequências. Fonte: autoria própria.

Tendo em vista a figura 5, é possível observar que o nível de pressão sonora para cada banda de frequência está na média de 75 dB e máximo perto de 81 dB e os ruídos mais fortes estão concentrados mais na faixa de médias frequências. É visível que esses ruídos encontrados possuem uma correlação bastante alta com os encontrados na câmara semianecóica.

Obteve-se também o ruído de fundo da câmara reverberante ilustrado na figura 6.

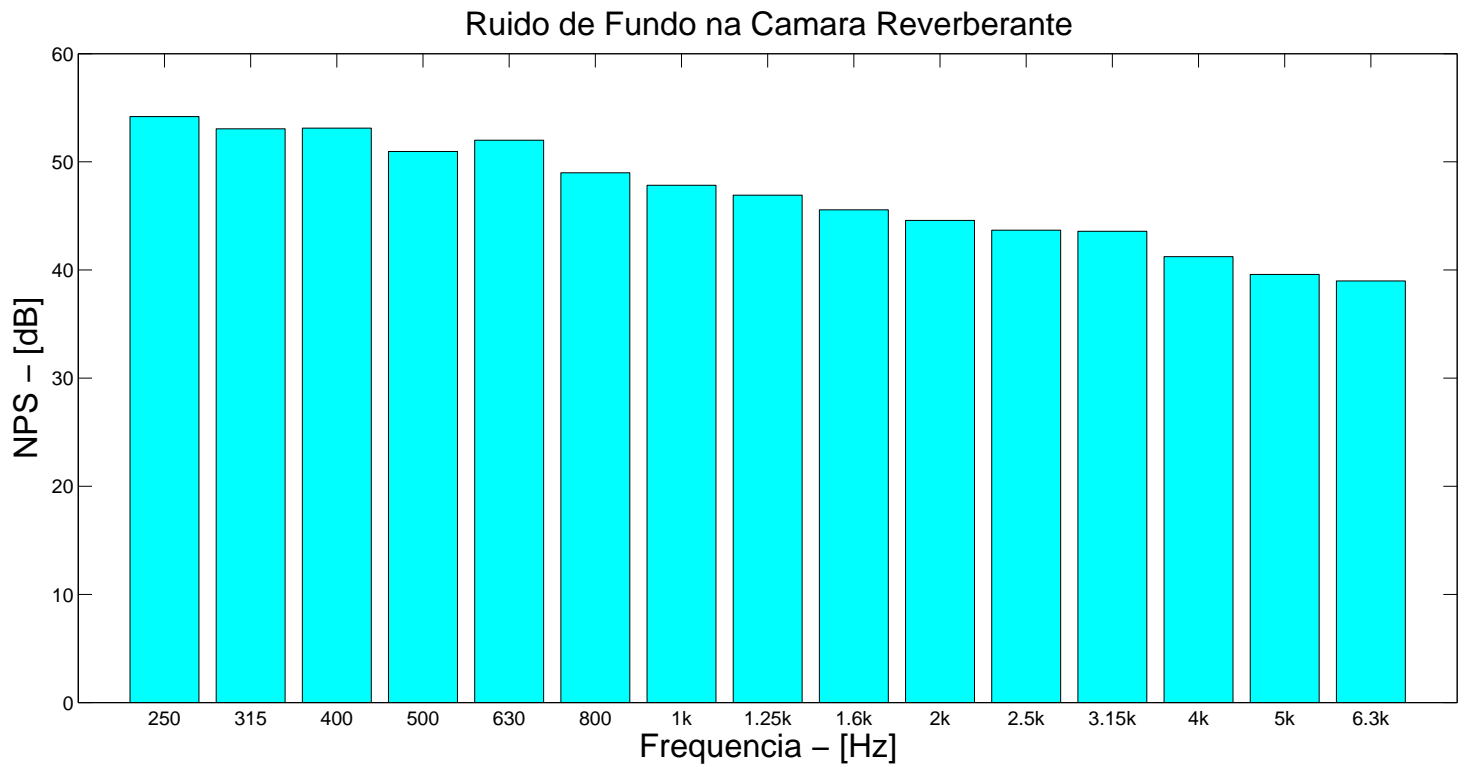


Figura 6: Ruído de fundo da câmara reverberante. Fonte: autoria própria.

Tendo em vista a figura 6, é possível observar que o nível de pressão sonora para cada banda de frequência está na média de 46 dB e máximo perto de 54 dB e os ruídos mais fortes estão mais na faixa de baixas frequências.

Também foi calculado os coeficientes de absorção da câmara reverberante e os mesmos estão ilustrados na figura 7. Na figura 7 é visível que os índices possuem

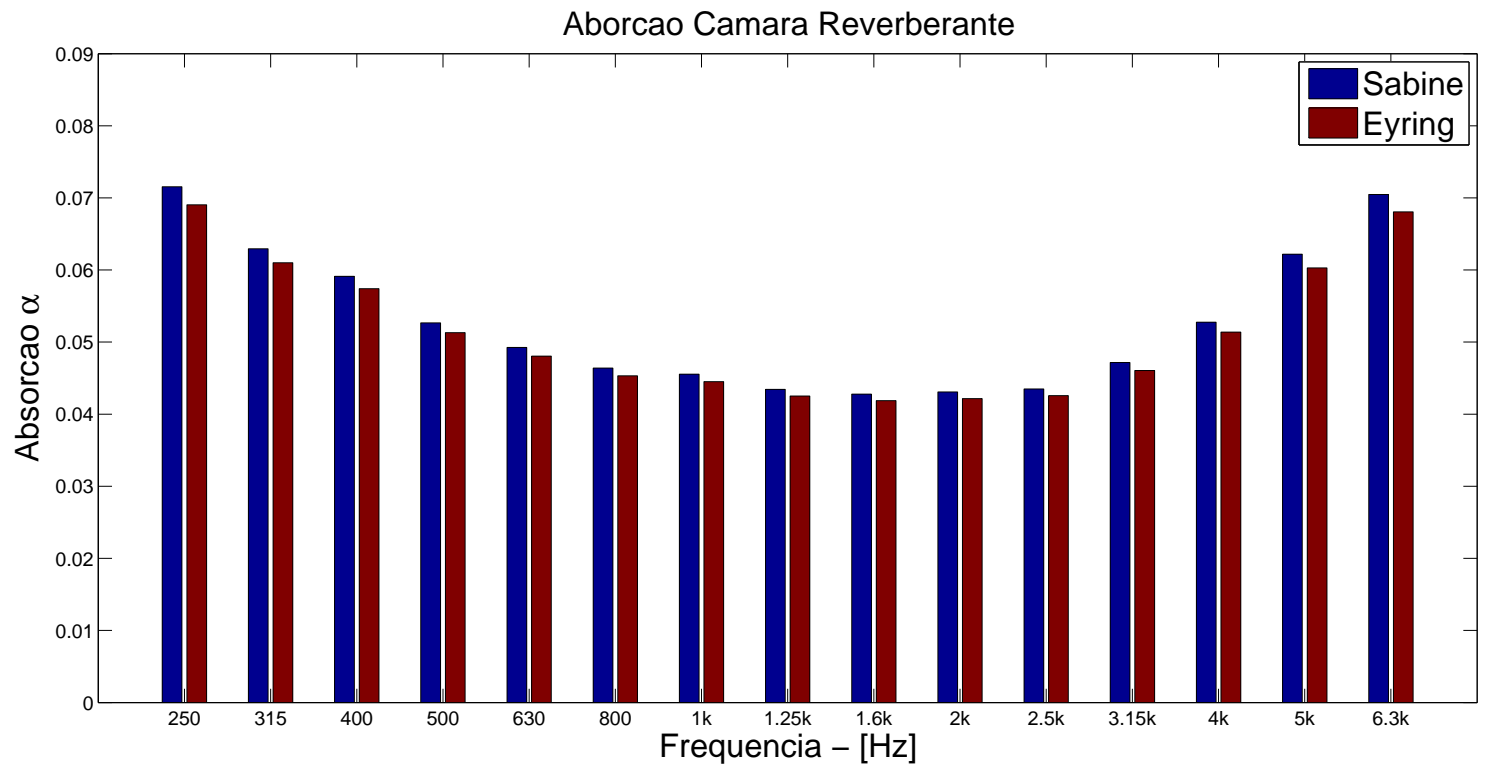


Figura 7: Índices de absorção da câmara reverberante. Fonte: autoria própria.

a mesma caracterização para as bandas de frequências abordadas.

Como resultado principal foi calculado os níveis de potência sonora em cada sala e comparados com os níveis de referência tabelados da fonte sonora. A figura 8 ilustra esse processo e é possível observar que os ruídos para cada banda de frequência segue o formato tabelado de referência.

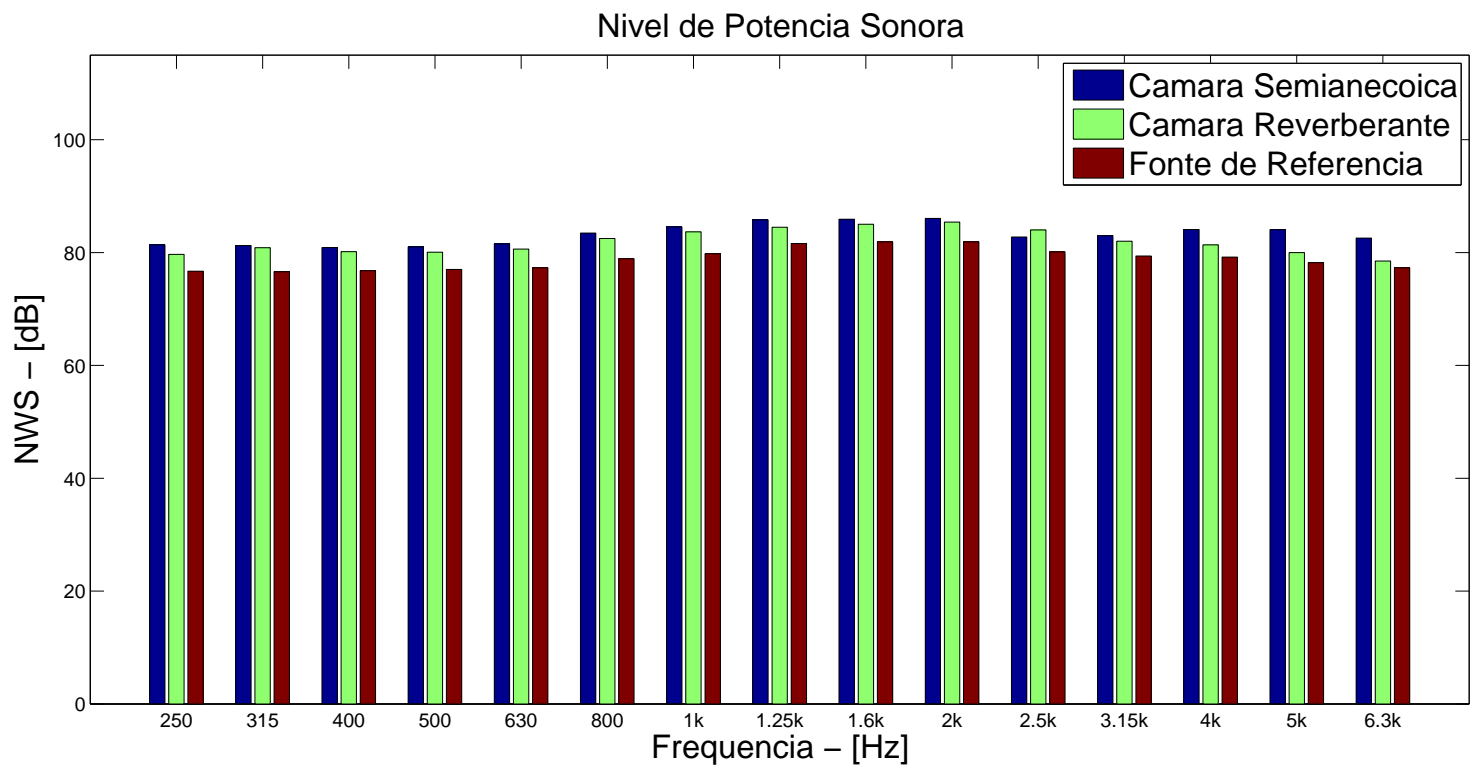


Figura 8: Comparação das potências sonoras. Fonte: autoria própria.

5 Conclusões

Nesse presente relatório trabalhou-se com um procedimento experimental para mensurar a potência sonora nos ambientes de câmara semianecóica e câmara reverberante. Para tal fim validou-se as potências mensuradas com as tabeladas de referência da fonte sonora. As medições foram realizadas e códigos de processamento dos dados foram desenvolvidos. Observou-se no final do processo que as potências mensuradas realmente caracterizaram a fonte em si com os valores tabelados, cabendo ressaltar que as discrepâncias foram causadas em parte pelos respectivos ruídos de fundo de cada sala. O ambiente de medição que mais se aproximou dos valores tabelados foi câmara reverberante.

Referências

BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle de ruído*. [S.l.]: 2ª edição – São Paulo, 2011. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [3](#).

GAN, J. Scanning paths for estimating sound power of noise sources by sound intensity scanning method. *Chinese Journal of Acoustics*, v. 18, n. 4, p. 353–359, 1999. Citado na página [2](#).