

JULIANA WERNECK PINTO MATIAS

**REDUÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM ÁREA  
INDUSTRIAL**

São Paulo

2014

JULIANA WERNECK PINTO MATIAS

**REDUÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM ÁREA  
INDUSTRIAL**

Monografia apresenta à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo

2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

## **RESUMO**

Com este trabalho pretendeu-se verificar as possíveis causas de valores acima daquele recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira NBR 10.151 em avaliação do nível de pressão sonora em área industrial. Foram realizadas medições noturnas com obtenção de nível de pressão sonora em pontos pré-definidos, segundo procedimento da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira NBR 10.151. Foi verificado que o problema resultava do funcionamento dos sopradores localizados na Estação de Tratamento de Efluentes. Foram necessárias modificações no projeto da sala onde o soprador foi instalado para adequação das recomendações das normas de ruído. Foram realizadas avaliações do nível de pressão sonora após a realização das modificações para verificação da conformidade com as leis ambientais vigentes no Brasil e com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira NBR 10.151. Foi verificada a necessidade de implementação de filtros acústicos após as modificações realizadas. Sua eficácia foi confirmada eficácia com novas medições sonoras.

Palavras-chave: Nível de pressão sonora. Soprador. NBR 10.151.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is checking the possible cause of the value in measurement of sound pressure level above of the recommended in ABNT/NBR 10.151 in industrial area. The measurement of sound pressure level was realized at night in determinate points in accordance with ABNT/NBR 10.151 procedure. It was found that the problem was proceeding from the blowers inside the Waste Treatment Station. Modifications in blowers' room project were necessary to adjustment to noise's rules. Measurement of sound pressure level was realized again after the modifications to check it's in accordance with the environment Brazil rules and with the ABNT/NBR 10.151. After the modifications, were necessary put acoustic filters, and than new measurement of sound pressure were realized to confirm the efficacy.

Keywords: Sound pressure level. Blower. NBR 10.151.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
1.1 Objetivo.....	6
1.2 Justificativa.....	6
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Conceitos Fundamentais do Som .....	8
2.1.1 Som e Ruído .....	8
2.1.2 Faixa de Variação da Pressão Sonora.....	9
2.1.3 Propagação Sonora em Fluidos.....	10
2.2 Critérios e Normas para avaliação do ruído .....	12
2.2.1 Ruído em Comunidades .....	13
2.2.2 Resolução CONAMA N.001.....	15
2.2.3 Norma Brasileira NBR 10.151.....	15
2.2.4 Norma Brasileira NBR 10.152.....	16
2.3 Nível Sonoro Equivalente.....	19
2.4 Acústica em ar livre e ruído ambiental.....	19
2.5 Absorção Sonora.....	20
2.6 Dispositivos especializados de absorção sonora .....	24
2.6.1 Ressonadores de Helmholtz.....	25
2.7 Isolação de paredes para sons aéreos.....	26
2.8 Funcionamento de Filtros Acústicos .....	27
2.9 Controle do Ruído .....	28
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1 Métodos.....	30
3.1.1 Classificação da região conforme Norma Brasileira NBR 10.151 .....	30
3.1.2 Localização dos Pontos de Medição de Níveis Sonoros.....	31
3.1.3 Medição dos níveis sonoros.....	31
3.2 Materiais.....	32
3.2.1 Equipamentos utilizados nas medições.....	32

3.2.2 Fonte de ruído (Soprador):.....	32
3.2.3 Características técnicas do filtro industrial .....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
4.1 Medições realizadas no ponto informado pelo reclamante .....	36
4.2 Modificações sugeridas para atenuação do nível de pressão sonora..	36
4.3 Resultados apresentados nas medições dos níveis sonoros.....	36
4.4 Instalação de Filtros Acústicos.....	37
4.5 Medições de níveis sonoros realizadas após a instalação dos filtros acústicos.....	39
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>43</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO A - Espectro e Histograma dos pontos de Medição .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ruído está presente nas atividades humanas 24 horas por dia, tendo como problemas relacionados à deterioração da qualidade de vida, a perda da audição, stress, perda de sono, baixa produtividade, entre outros (BISTAFA 2006). A sociedade ecologicamente consciente em que vivemos vem exigindo o enfrentamento de problemas que prejudicam a qualidade de vida. À medida que aumenta a competição no mercado global, o baixo nível de ruído se torna uma característica que os fabricantes têm que oferecer para distinguir o seu produto da concorrência. (BISTAFA 2006). Os equipamentos e máquinas presentes em área industrial são fontes de ruído que podem atingir níveis prejudiciais à saúde. Deve haver uma preocupação na fase de projeto com relação aos problemas de ruído, quando isto não ocorre, as soluções requeridas levam a perdas financeiras. Não é conveniente a eliminação total do ruído, além de financeiramente não viável. O controle do ruído deve ser o objetivo, devemos estar preparados para determinar a alternativa mais adequada a cada caso para redução do mesmo (BASTOS, 2007).

### 1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi de analisar o processo de adequação da Estação de Tratamento de Efluentes presente em área industrial em atendimento à Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira NBR 10.151.

### 1.2 Justificativa

A aquisição de equipamentos silenciosos em construções, ampliações ou substituições de processos industriais existentes seria o mais adequado para se evitar o problema com ruídos industriais, porém nem sempre isto é possível, devido a tecnologias e processos existentes. A poluição sonora é um problema

que afeta grande número de pessoas, pessoas estas que passam a apresentar problemas fisiológicos e psicológicos, podendo apresentar stress, progressiva perda de audição, entre outros problemas.

Este trabalho propõe soluções para resolução de problemas de ruído proveniente de equipamentos em funcionamento em área industrial, visando a melhor relação custo/benefício.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Conceitos Fundamentais do Som

O som nos permite realizar a comunicação oral, pode nos alertar, no caso de funcionamento de máquinas, sirenes, etc.. e também permite realizar diagnósticos em relação ao funcionamento de equipamentos. (BISTAFA, 2006)

O ouvido detecta a variação de pressão, definida como som. A acústica é o estudo do som (BISTAFA, 2006).

#### 2.1.1 Som e Ruído

O som é um fenômeno de característica ondulatória. As senóides representam as ondas sonoras, conforme figura abaixo (CARVALHO, 1967).

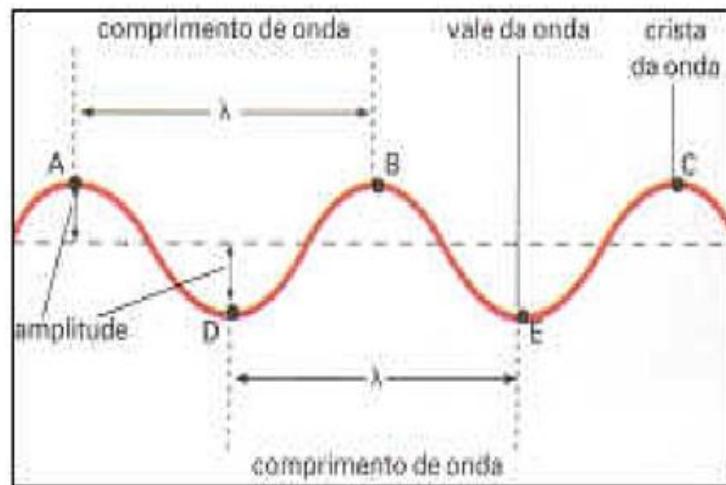


Figura 1: Onda Sonora

Fonte: CARVALHO, 1967, p.67

Uma mistura de sons com frequências não definidas, que causam sensação desagradável é considerada ruído. O comportamento do ruído pode ser verificado na Figura 2.

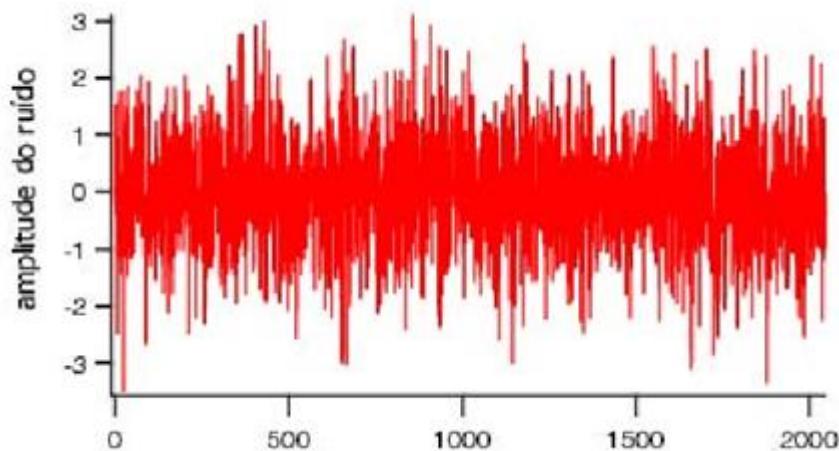


Figura 2: Ruído

Fonte: Carvalho, 1967, p.68

O ruído possui as seguintes classificações (FRANÇA, 2007):

- Ruído Contínuo: variação de nível de intensidade sonora em função do tempo pequena. Ex: motor elétrico.
- Ruído intermitente ou flutuante: grande variação de intensidade sonora em função do tempo. Ex: trânsito de veículos.
- Ruído de impacto: altos níveis de intensidade sonora em pequeno intervalo de tempo. Ex: prensas

### 2.1.2 Faixa de Variação da Pressão Sonora

A faixa de variação das pressões audíveis é grande,  $20 \mu\text{Pa}$  ( $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ) a  $200 \text{ Pa}$ . O limiar da audibilidade está em  $20 \mu\text{Pa}$  e o limiar da dor em  $200 \text{ Pa}$ . Sendo esta faixa de pressões muito ampla, é mais prático expressar a pressão sonora como uma escala logarítmica, denominada decibel (BISTAFA, 2006).

Sendo nível de pressão sonora,  $L_p$  definido por:

$$L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) , \quad \text{dB} \quad (p_0 = 20 \mu\text{Pa})$$

$p$  é o valor da pressão sonora medida em Pascal

$p_0$  é um valor de referência padronizado de  $20 \mu\text{Pa}$  – o limiar da audibilidade.

Verifica-se na Figura 3 a relação entre pressão absoluta, decibel e atividades humanas.

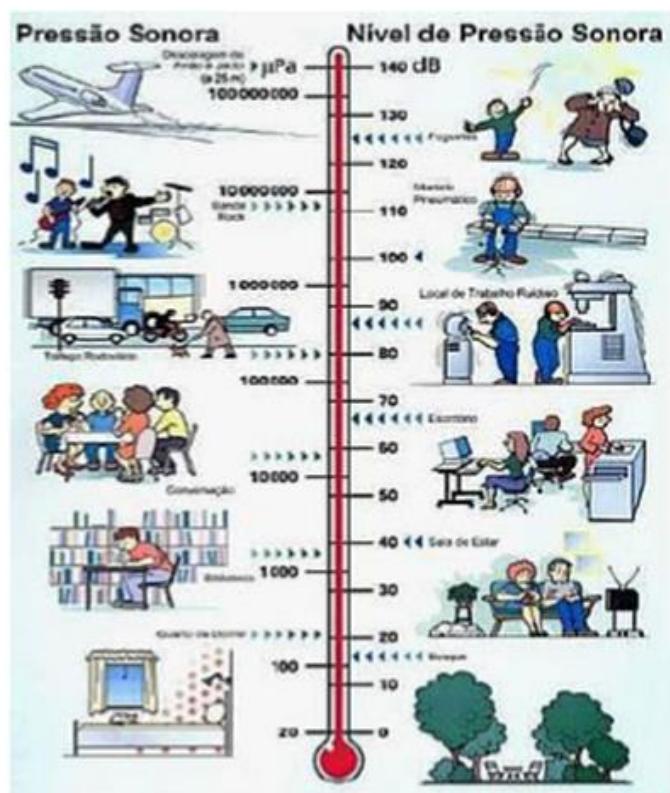


Figura 3: Relação entre pressão absoluta, decibel e atividades humanas.  
Fonte: BRUEL & KJAER, 1982.

### 2.1.3 Propagação Sonora em Fluidos

As grandezas envolvidas em ondas sonoras são pressão, densidade e temperatura. Para descrever o estado cinemático de um fluido é adotado o

conceito de partícula, possibilitando a utilização de vetores de posição, velocidade e aceleração das moléculas (LOPES, 2006).

Em acústica, as pressões e temperaturas de equilíbrio dos gases apresentam um comportamento semelhante ao dos gases perfeitos:

$$\frac{p}{\rho} = R T$$

Sendo  $p$  pressão em Pa,  $\rho$  densidade em  $\text{kg/m}^3$ ,  $T$  temperatura em Kelvin,  $R$  constante universal dos gases.

O fluxo de calor entre as frequências da faixa audível, 20 Hz a 20 kHz, é desprezível. (LOPES, 2006).

A propagação do som representa um processo adiabático, relacionando densidade e pressão:

$$p = \alpha \rho^\gamma$$

Sendo  $\alpha$  uma constante,  $\gamma$  razão entre calores específicos a uma pressão e volume constante.

O som é um fenômeno não linear, no entanto sua não linearidade torna-se insignificante devido às mudanças de densidade e pressão associadas aos níveis sonoros relacionados aos seres humanos serem muito pequenas (LOPES, 2006).

Verifica-se na Figura 4 a relação adiabática entre pressão e densidade.

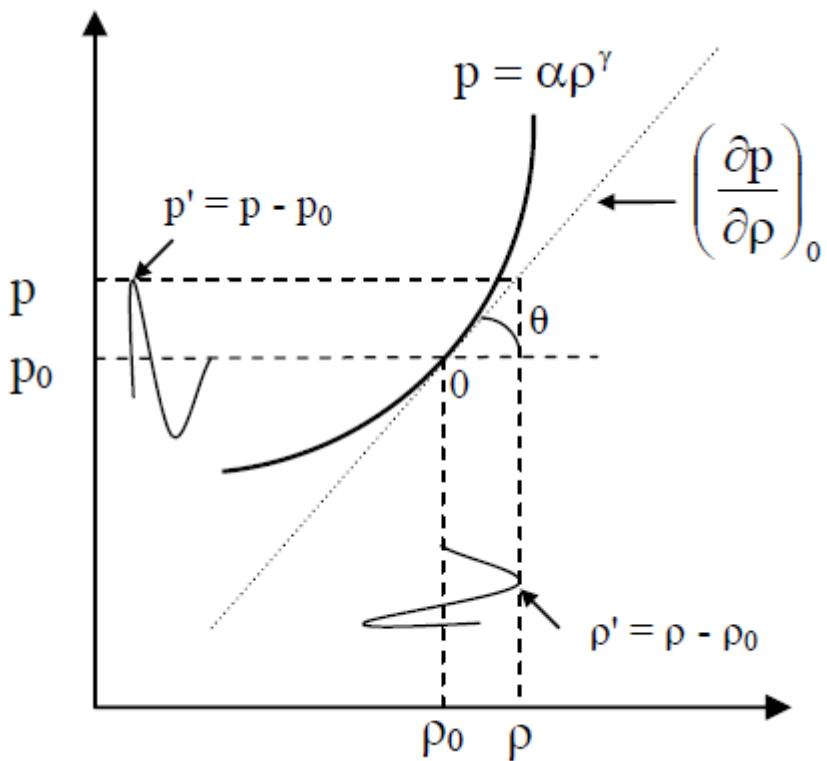


Figura 4: Relação adiabática entre pressão e densidade.  
Fonte: LOPES, 2006.

## 2.2 Critérios e Normas para avaliação do ruído

Os ruídos não estacionários são típicos de comunidades. São caracterizados por variações no nível sonoro devido a fontes diversas, acima de um nível considerado mínimo, nível residual, o qual não se reduz durante certo intervalo de tempo de medição. A medida básica para se avaliar o grau de perturbação do ruído estacionário nas pessoas é a medição do nível sonoro A-ponderado, sendo o risco da perda de audição e a perturbação, melhor avaliados nestas condições (BISTAFÁ, 2006).

Não é possível utilizar níveis sonoros em função do tempo para caracterizar níveis sonoros estacionários, pois este tipo de registro contém muitos detalhes. O histograma pode ser usado no registro de nível sonoro em função do tempo de um ruído não estacionário, possibilitando o cálculo da porcentagem do tempo que

um determinado nível sonoro foi excedido durante o período de medição (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

- L90 - nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo (medida do nível de ruído residual)
- L50 - nível sonoro que foi excedido em 50% do tempo (nível de ruído mediano)
- L10 - nível sonoro que foi excedido em 10% do tempo (níveis de ruído de pico)

### **2.2.1 Ruído em Comunidades**

O ruído é percebido de forma diferente entre as pessoas, sendo um ruído que incomoda uma pessoa pode ser imperceptível para outra (MÉNDEZ, 1994). Podemos utilizar um procedimento para avaliação do ruído em comunidades e verificar a reação comunitária esperada (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

O nível sonoro A-ponderado é medido no local indicado na área residencial e a esse valor aplicamos correções constantes abaixo:

- Tom puro: +5 dB(A)
- Impulsivo ou intermitente: +5 dB(A)
- Horário Comercial: -5 dB(A)
- Ruído contínuo: 0 dB(A)
- Duração do ruído ≤ 30 min: -5 dB(A)
- Duração do ruído ≤ 10 min: -10 dB(A)
- Duração do ruído ≤ 5 min: -15 dB(A)
- Duração do ruído ≤ 1 min: -20 dB(A)
- Duração do ruído ≤ 15s: -25 dB(A)
- Residencial exclusivo: +5 dB(A)
- Residencial: 0 dB(A)
- Residencial urbano: -5 dB(A)
- Urbano próximo a indústrias: -10 dB(A)

- Área de indústria pesada: -15 dB(A)

Realizadas as correções, estima-se a reação comunitária a partir do Nível corrigido, conforme abaixo:

- < 45 dB(A) : Não há reação da comunidade
- 45-55 dB(A): Reclamações esporádicas da comunidade
- 50-60 dB(A): Reclamações generalizadas
- 55-65 dB(A): Ação da comunidade
- >65 dB(A): Forte reação comunitária

Este procedimento é semelhante ao constante na antiga Norma Brasileira NBR 10.151, onde a medição do nível sonoro corrigida estimava a resposta comunitária ao ruído. Na atual versão da Norma Brasileira NBR 10151, o Leq A ponderado medido deve ser corrigido em +5 dB caso o ruído tenha características impulsivas ou de impacto, e com + 5 dB caso o ruído tenha componentes tonais. Faz-se então a comparação do nível sonoro corrigido com o nível-critério avaliação, NCA (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

Para a avaliação dos níveis de ruído aceitáveis em comunidades (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005), utiliza-se:

- Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA N.<sup>º</sup> 001 – Visa controlar a poluição sonora. Fixa que são prejudiciais à saúde e ao sossego público os níveis de ruído superiores aos estabelecidos na Norma NBR 10.151; para edificações, os limites são estabelecidos pela Norma Brasileira NBR 10.152.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira NBR 10.151 – fixa as condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades
- Leis Municipais – criadas pela Câmara de Vereadores de cada município, compatíveis com a Resolução CONAMA N.<sup>º</sup> 001.

## 2.2.2 Resolução CONAMA N.º 001

A Resolução n.º 001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) impõe limites de emissão de ruídos provenientes de diversas atividades, como industriais, comerciais, entre outras, não constando, porém, limites para ruído de tráfego, sendo este definido em norma expedida pelo Conselho Nacional de Trânsito (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005).

## 2.2.3 Norma Brasileira NBR 10.151

Conforme a Norma Brasileira NBR 10151, um método para avaliação de ruído é especificado, envolvendo as medições do nível de pressão sonora equivalente, L<sub>Aeq</sub>, em decibéis ponderados em “A”. Conforme o procedimento de medição constante nesta norma, em caso de reclamações, as medições devem ser realizadas nos locais informados pelo reclamante.

Nesta norma, o nível critério de avaliação (NCA) para ambientes externos está indicado na Figura 5:

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Figura 5: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.151,2000.

As autoridades, de acordo com o hábito da população, podem definir os limites de horários, diurno e noturno, contanto que o período noturno não comece após as 22 h e termine antes das 7 h do dia seguinte. Em casos de domingo ou feriado,

o término do período noturno não deve ser antes das 9 h (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.151, 2000).

O nível de critério de avaliação, NCA, para ambientes internos é o nível indicado na Figura 6, com a correção de - 10 dB(A) para janela aberta e - 15 dB(A) para janela fechada.

#### **2.2.4 Norma Brasileira NBR 10.152**

A Norma Brasileira NBR 10152 trata de níveis de ruído para o conforto acústico. Em 1957, com o intuito de limitar os valores de ruído em ambientes de ocupação humana foram criadas as curvas-critério de ruído (NC), conhecidas também como “curvas NCê”. As curvas associam valores de NC a um espectro em bandas de oitava e a níveis sonoros A-ponderados. Para utilização destas curvas, o nível de ruído é medido em determinado ambiente nas bandas de oitava de 63 a 8000 Hz e plotado sobre as curvas. A curva NC imediatamente acima do nível plotado mais elevado é aquela que classifica o nível de ruído do ambiente (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

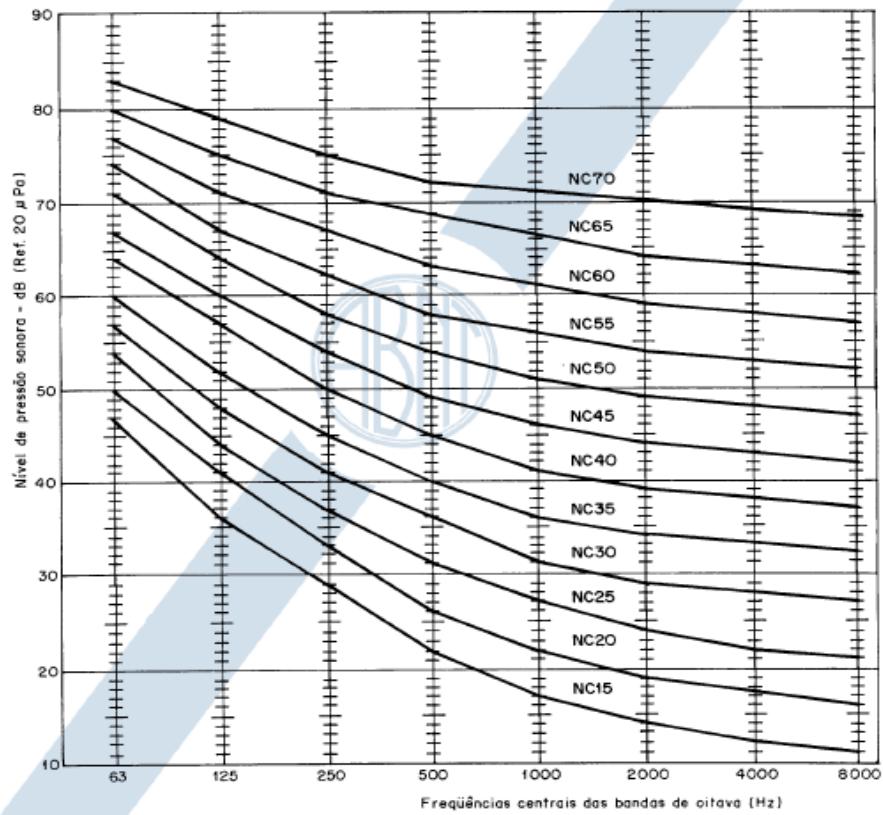


Figura 6: Curvas de avaliação de ruído.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.152,1987.

A Figura 6 é utilizada para verificação do atendimento a esta norma. Valores encontrados acima da faixa especificada na tabela não atendem as condições de conforto, porém não necessariamente causam danos à saúde (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.152,1987).

Verifica-se nas Figuras 7 e 8 os níveis de pressão sonora correspondentes às curvas de avaliação e os valores dB(A) e NC, respectivamente.

Curva	63 Hz dB	125 Hz dB	250 Hz dB	500 Hz dB	1 kHz dB	2 kHz dB	4 kHz dB	8 kHz dB
15	47	36	29	22	17	14	12	11
20	50	41	33	26	22	19	17	16
25	54	44	37	31	27	24	22	21
30	57	48	41	36	31	29	28	27
35	60	52	45	40	36	34	33	32
40	64	57	50	45	41	39	38	37
45	67	60	54	49	46	44	43	42
50	71	64	58	54	51	49	48	47
55	74	67	62	58	56	54	53	52
60	77	71	67	63	61	59	58	57
65	80	75	71	68	66	64	63	62
70	83	79	75	72	71	70	69	68

Figura 7: Níveis de pressão sonora correspondentes às curvas de avaliação  
 Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.152,1987.

Locais	dB(A)	NC
<b>Hospitais</b>		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45	30-40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45
Serviços	45-55	40-50
<b>Escolas</b>		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40
Salas de aula, Laboratórios	40-50	35-45
Circulação	45-55	40-50
<b>Hotéis</b>		
Apartamentos	35-45	30-40
Restaurantes, Salas de Estar	40-50	35-45
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
<b>Residências</b>		
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45
<b>Auditórios</b>		
Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35
<b>Restaurantes</b>	40-50	35-45
<b>Escritórios</b>		
Salas de reunião	30-40	25-35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45	30-40
Salas de computadores	45-65	40-60
Salas de mecanografia	50-60	45-55
<b>Igrejas e Templos (Cultos meditativos)</b>	40-50	35-45
<b>Locais para esporte</b>		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55

Figura 8: Valores dB(A) e NC.  
 Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.152,1987.

## 2.3 Nível Sonoro Equivalente

O nível sonoro equivalente é utilizado na medição de níveis sonoros não estacionários, base de normas e legislações relacionadas à exposição ao ruído. (BISTAFA, 2006). Representa a energia sonora média num intervalo de tempo, podendo ser calculado pela fórmula:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt \right] \text{dB.}$$

Sendo  $L_p(t)$  o nível de pressão sonora no instante  $t$ .

## 2.4 Acústica em ar livre e ruído ambiental

Conforme BISTAFA, 2006, à medida que nos afastamos da fonte, o nível sonoro se reduz. A absorção sonora do ar atmosférico, reflexões do solo, áreas densamente arborizadas, gradientes verticais de ventos, ambos exercem influência sobre o nível sonoro (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013). A fonte sonora, a trajetória e o receptor são componentes da propagação sonora em ar livre, dada pela equação:

$$L_p(r, \theta) = L_w - 20 \log r + DI_\theta - 10 \log \frac{\Omega}{4\pi} - A_{combinado} - 11 \text{dB}$$

Sendo  $L_w$  o nível de potência sonora da fonte,  $r$  a distância entre a fonte sonora e o receptor,  $DI_\theta$  o índice de direcionalidade da fonte,  $\Omega$  é o ângulo sólido que é disponibilizado para livre propagação sonora,  $A_{combinado}$  é a atenuação

combinada de todos os mecanismos significativos de atenuação sonora entre a fonte e o receptor.

## 2.5 Absorção Sonora

Os materiais utilizados em absorção sonora são porosos ou fibrosos. Sendo os fibrosos a lã de vidro, lã de rocha, etc.. e os porosos as espumas de poliuretano por exemplo. Nestes materiais, com o movimento das partículas na passagem da energia sonora, ocorre a dissipação desta por atrito. A resistência ao escoamento é uma característica importante para materiais absorventes, sendo o melhor material absorvente, aquele que permite a penetração e movimentação das partículas do ar em seu interior (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013). Verifica-se na Figura 9 as estruturas dos materiais porosos e fibrosos.

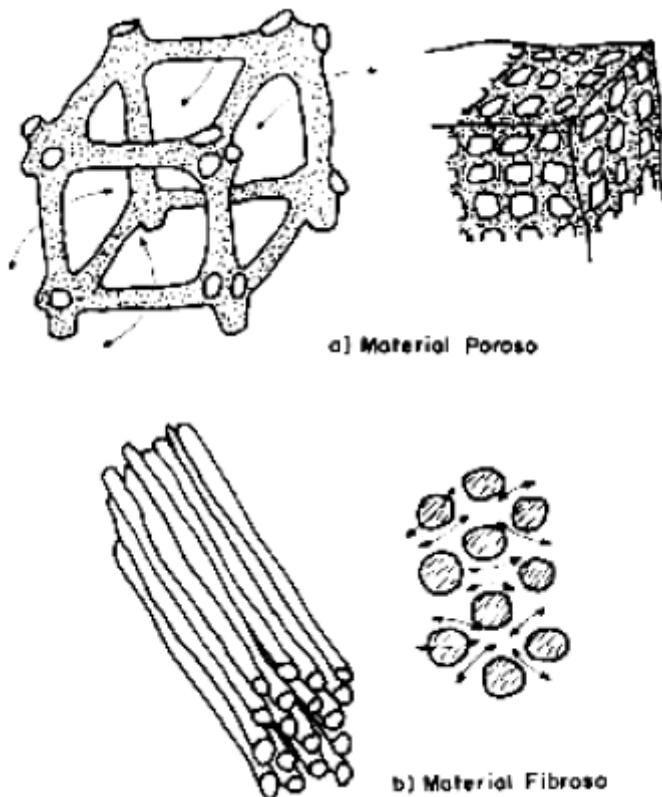


Figura 9: Materiais porosos e fibrosos  
Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

O coeficiente de absorção sonora dos materiais é denominado de Sabine, obtidos em câmara reverberante, sendo o coeficiente dos materiais porosos e fibrosos variáveis com a frequência, conforme verifica-se na Figura 10 (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

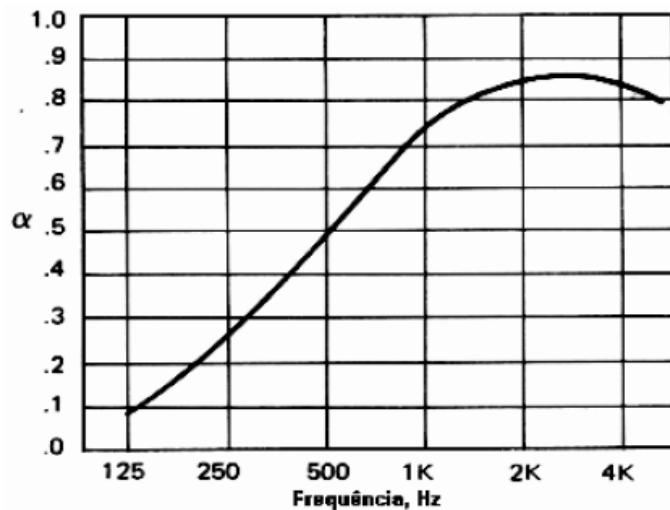


Figura 10: Coeficiente de absorção Sonora relacionado com a frequência de Materiais Absorventes de Som Fibrosos e Porosos.

Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

Segue abaixo, na Figura 11, fatores que influenciam na absorção sonora de materiais fibrosos e porosos (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013):

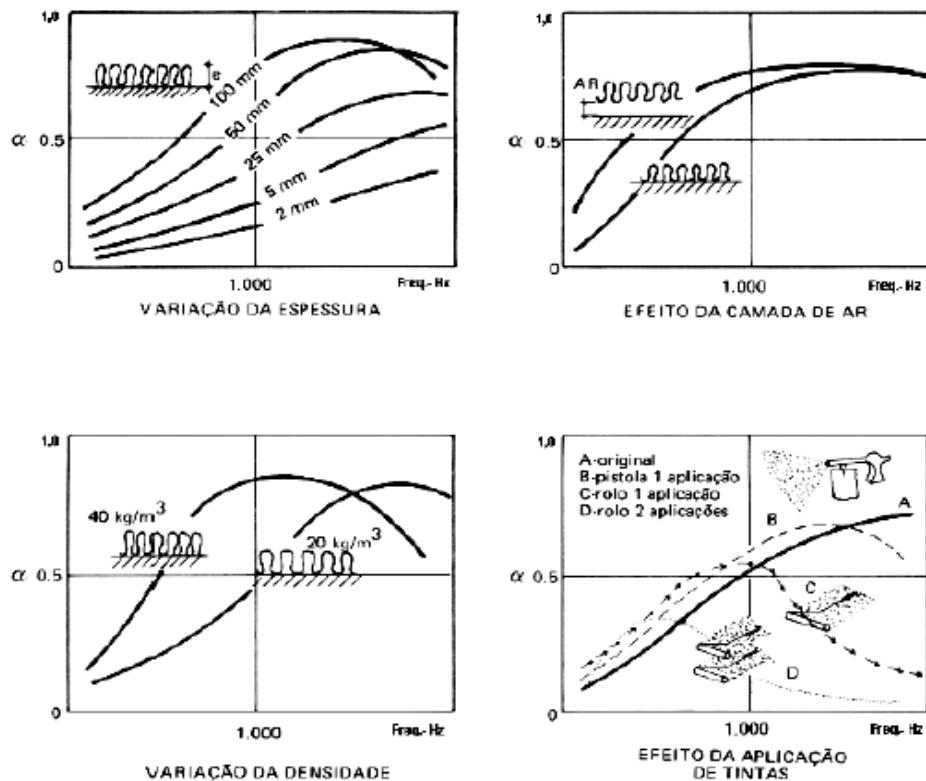


Figura 11: Fatores que influenciam a Absorção Sonora de Materiais Fibrosos e Porosos.

Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

Em baixas frequências verifica-se que a absorção sonora é maior com o maior afastamento do material de paredes/teto, isto é, a absorção sonora é maior nas regiões onde o movimento acústico das partículas é maior. Junto a paredes a velocidades de partículas é zero e a pressão sonora máxima. Uma distância da parede de  $\frac{1}{4}$  do comprimento de onda incidente é o local onde a velocidade das partículas é máxima e a pressão sonora mínima. Para que se atenda esta condição, o material deve estar afastado o suficiente da superfície ou ser espesso (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

NRC, coeficiente de redução sonora é definido como a média aritmética dos coeficientes de absorção sonora das bandas de oitava de 250 a 2.000 Hz, útil

numa análise preliminar comparativa dos materiais (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

Verificam-se, na Figura 12, os coeficientes de absorção sonora de materiais porosos e fibrosos.

MATERIAL		Frequência Central da Banda de Oitava, Hz										
		125	250	500	1k	2k	4k					
Fibroso	ISOVER – Santa Marina Placa de Lã de Vidro Aglomerada.	Densidade, kg/m <sup>3</sup>	30	Espessura, mm	25	0,08	0,27	0,50	0,87	0,98	1,04	0,66
			60		50	0,17	0,62	0,90	1,08	1,07	0,97	0,92
		Densidade, kg/m <sup>3</sup>	32	Espessura, mm	25	0,05	0,27	0,68	0,94	1,03	1,05	0,73
			64		50	0,13	0,75	0,96	1,03	0,88	0,96	0,91
	THERMAX - RockFibers Manta de Lã de Rocha Basáltica.	Densidade, kg/m <sup>3</sup>	32	Espessura, mm	50	0,35	0,48	0,74	0,88	0,91	0,96	0,75
			64		100	0,85	0,98	1,10	1,11	1,09	1,18	1,07
		Densidade, kg/m <sup>3</sup>	32	Espessura, mm	50	0,50	0,59	0,91	1,05	1,06	1,06	0,90
			64		100	0,87	1,23	1,19	1,15	1,12	1,10	1,17
Poroso	ESPUMEX - Acústica São Luiz Espuma Flexível de Poliuretano Poliéster Incombustível.	Densidade, kg/m <sup>3</sup>	32	Espessura, mm	40	0,06	0,19	0,38	0,52	0,48	0,65	0,39
			64		60	0,10	0,28	0,49	0,53	0,47	0,82	0,44
		Densidade: 32 kg/m <sup>3</sup>	32	Espessura, mm	70	0,15	0,42	0,75	0,74	0,66	0,95	0,64
			64		75	0,15	0,50	0,90	0,99	1,00	1,00	0,85
	SONEX - Illbruck Espuma Flexível de Poliuretano Poliéster (com retardadores de chama) Densidade: 32 kg/m <sup>3</sup> .	Densidade: 32 kg/m <sup>3</sup>	32	Espessura, mm	20	0,04	0,12	0,28	0,44	0,60	0,73	0,36
			64		35	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89	0,58
		Densidade: 32 kg/m <sup>3</sup>	32	Espessura, mm	50	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01	0,72
			64		75	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00	0,89

\* Valores indicativos. Utilizar sempre coeficientes de absorção sonora fornecidos pelo fabricante.

Figura 12: Coeficientes de absorção sonora de materiais porosos e fibrosos.  
Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

Nos materiais porosos utilizados no controle de ruído, a energia sonora é transformada em calor devido a presença de meios viscosos.

Os materiais porosos possuem propriedades anisotrópicas, tendo em diferentes direções, propriedades distintas. Em decorrência do processo de manufatura, para a maioria dos materiais fibrosos, ocorre a direção preferencial das fibras. Assume-se, no entanto, que macroscopicamente os materiais utilizados no controle de ruído são homogêneos e isotrópicos (BISTAFA, 2006).

Os materiais mais utilizados em controle de ruído são a fibra de vidro, espumas porosas plásticas, lã mineral e gesso poroso.

## 2.6 Dispositivos especializados de absorção sonora

Os materiais porosos e fibrosos, utilizados na absorção sonora, não possuem eficácia nas baixas frequências. Quando precisamos de absorção sonora nestas baixas frequências devemos utilizar os dispositivos especializados de absorção sonora (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013). Na Figura 13 pode-se identificar alguns dispositivos especializados de absorção sonora.

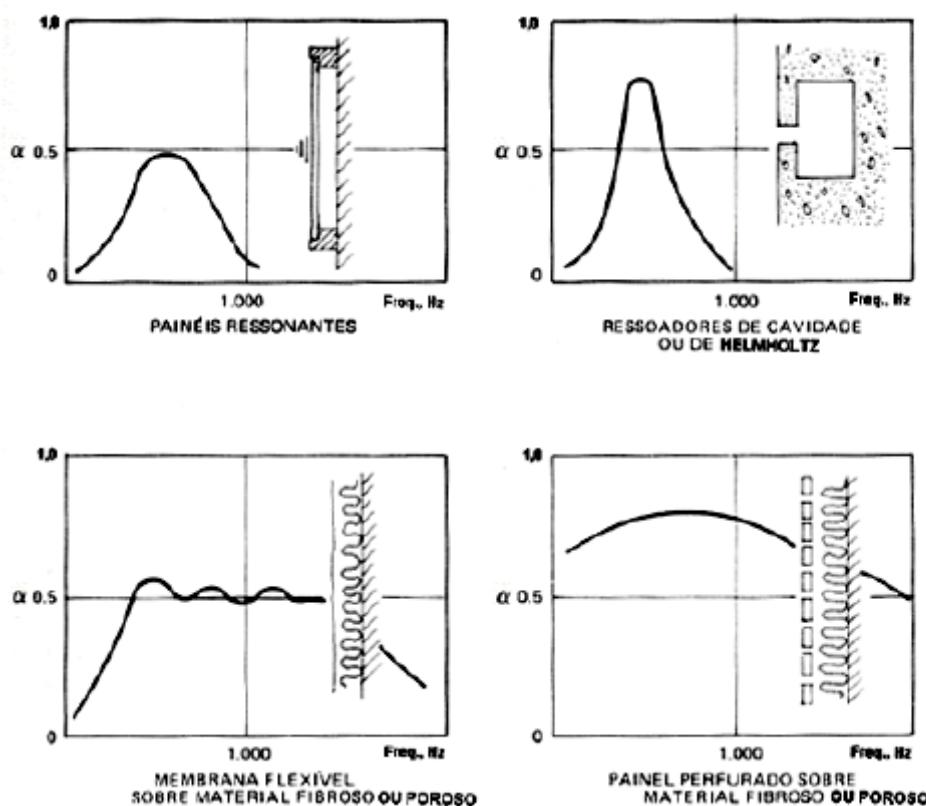


Figura 13: Dispositivos especializados de absorção sonora.  
Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

### 2.6.1 Ressonadores de Helmholtz

Ressonadores de Helmholtz consistem em sistemas acústicos, sendo facilmente explicado pelo exemplo de uma garrafa vazia.

Ao atravessar o pescoço da garrafa cria-se a passagem de ar, massa acústica, e o ar contido na mesma se comporta como uma mola, sendo comprimida pela pressão sonora. A absorção sonora é proveniente do atrito do ar junto às paredes internas (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

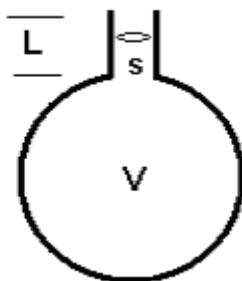


Figura 14: Ressonador de cavidade ou de Helmholtz  
Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

Os ressonadores funcionam como absorvedores de som devido a transformação da energia sonora em energia mecânica, sob a forma de atrito. Para a absorção do som o ar deve ter sua velocidade reduzida, sendo possível pela massa de ar do gargalo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

Podemos determinar absorção sonora em faixas estreitas de frequência com estes ressonadores, geralmente onde os materiais fibrosos e porosos não atuam.

Ressonadores de Helmholtz possuem alto fator de qualidade, sempre determinado pela curva, quanto mais pontiaguda a curva, maior o fator de qualidade do ressonador (LOPES, 2006).

Verifica-se na Figura 15 a curva de ressonância de ressonadores de Helmholtz.

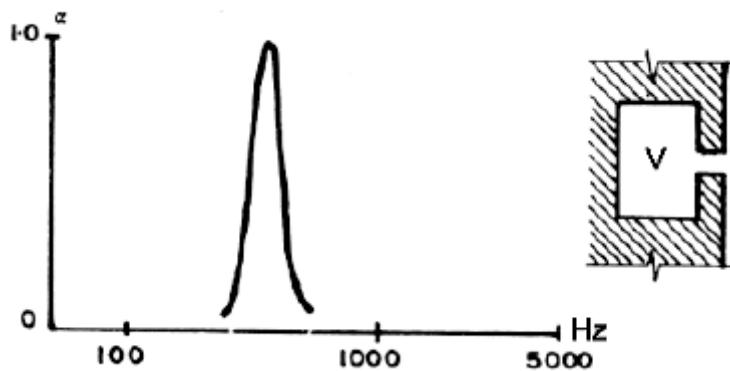


Figura 15: Curva de ressonância de ressonadores de Helmholtz  
Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

## 2.7 Isolação de paredes para sons aéreos

A transmissão sonora é reduzida por uma parede. A frente de onda em propagação, ao colidir com material sólido deve propagar-se por este, percorrendo sua espessura, e então encontrando o ar novamente. O coeficiente de transmissão sonora  $\tau$ , exprime a capacidade transmissão de som de uma parede e quanto menor este, menor será a intensidade sonora transmitida. No entanto, é utilizada a grandeza chamada de perda na transmissão sonora (PT) para caracterização da isolação sonora de uma parede, dada por (BISTAFA, 2006):

$$PT = 10 \log(1/\tau)$$

A perda na transmissão sonora de painéis é baseada em um modelo teórico representado por um painel sólido e homogêneo, onde se considera a dependência da frequência do som na perda na transmissão. Quanto menor a frequência, menor será a isolação sonora da parede.

Para uma perda na transmissão com baixo custo e menor peso, as paredes duplas são recomendadas, sendo mais eficiente o resultado quando os painéis são mecânicamente isolados um do outro. Com o espaçamento entre os painéis e com a presença de material absorvente aumenta-se a perda na

transmissão, devendo-se atentar para que o material absorvente não forme ponte mecânica entre os painéis, sendo necessário que o material seja fixado em apenas um dos painéis (BISTAFA, 2006).

## 2.8 Funcionamento de Filtros Acústicos

Os filtros acústicos são utilizados em motores e equipamentos em geral com frequência, visando atenuar pressões sonoras. Filtros do tipo reativo ou do tipo dissipativo podem ser utilizados para atenuar ondas sonoras que se propagam ao longo de uma tubulação. Os filtros reativos podem ser baseados nos ressonadores de Helmholtz ou nas câmaras de expansão (LOPES, 2006).

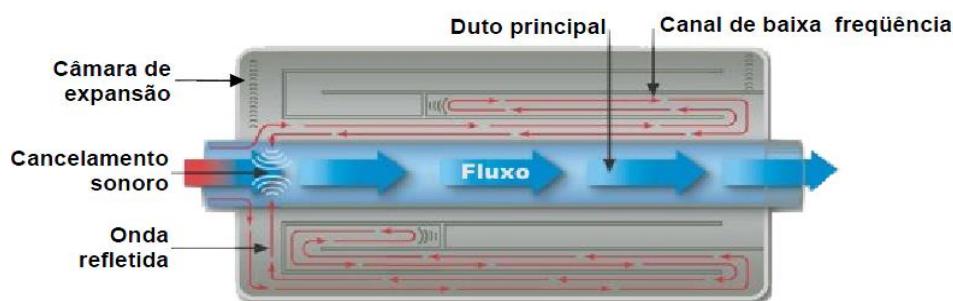


Figura 16: Princípio de funcionamento de um filtro acústico reativo.  
Fonte: LOPES, 2006.

Nos filtros acústicos baseados no princípio de Helmholtz, as ondas sonoras são refletidas em direção à fonte sonora. Nos filtros acústicos dissipativos, constam material de absorção, transformando parte da energia sonora em calor. Há tipos de filtros mais complexos, com melhor desempenho, que além do material de absorção, utilizam tubos perfurados. (LOPES, 2006)

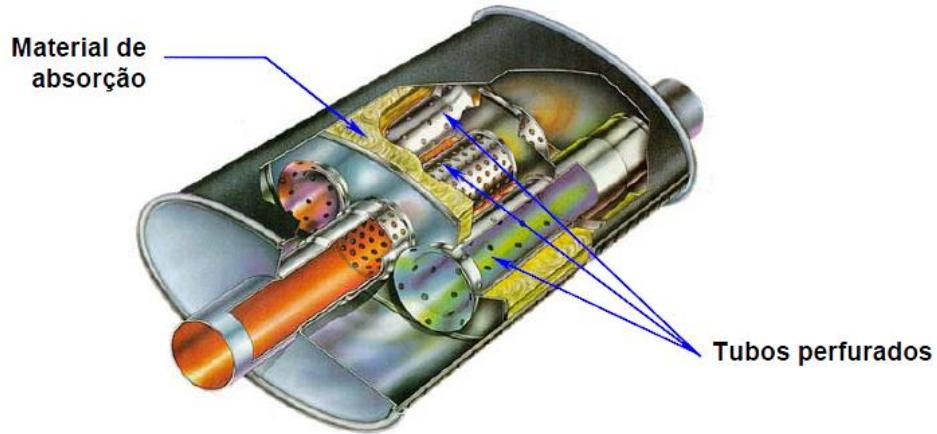


Figura 17: Exemplo de filtro acústico mais complexo.  
Fonte: LOPES, 2006.

## 2.9 Controle do Ruído

O controle do ruído pode ser realizado na fonte, e/ou na trajetória e/ou no receptor. O conhecimento destes sistemas é fundamental no processo de resolução de problemas de ruído. (LISOT, 2008).

Verifica-se na Figura 18 o fluxo de controle de ruído.



Figura 18: Fluxo de controle de ruído  
Fonte: (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013)

A forma mais eficaz de tratamento do problema de controle de ruído é o controle na fonte. Consistem em modificações no projeto de equipamentos, máquinas, processos, etc..., mas caso estes já estejam em funcionamento, este tipo de controle não é recomendado. (CABRAL, 2012)

Quando o ruído na fonte não é o adequado para a resolução do problema, atua-se na trajetória da transmissão. No controle de ruído na trajetória, barreiras são inseridas entre a fonte e o receptor, enclausuramentos, adição de materiais absorventes. O enclausuramento é recomendado em casos onde o equipamento já se encontra em funcionamento. Na proteção acústica de equipamentos as paredes e tetos devem possuir densidade superficial de massa suficiente para se interpor à passagem de ruído, podendo ser construídos em alvenaria, chapas de aço, etc.. O enclausuramento, em sua parte interna, deve ser revestido com materiais absorventes, a fim de reduzir o nível de pressão sonora do campo reverberante gerado em seu interior. Pode ser necessária a instalação de portas e/ou atenuadores acústicos para haja a ventilação dos equipamentos, sem o vazamento do som para o exterior. (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Métodos

##### 3.1.1 Classificação da região conforme Norma Brasileira NBR 10.151

Devido a reclamações da comunidade, foram realizadas medições de níveis sonoros no entorno de área industrial a fim de verificar se os resultados encontravam-se compatíveis com a Norma Brasileira NBR 10.151. Nesta norma, estão constantes os critérios aceitáveis de ruído em ambientes externos, bem como os métodos de aferição e tratamento dos dados relacionados ao ruído. A norma apresenta valores de Nível Critério de Avaliação, NCA, de acordo com a classificação da região em que se está realizando a medição. A região em que serão realizadas as medições é constituída essencialmente de residências, envolta pela instalação em questão. Deste modo o ponto de medição externo foi classificado como “Área mista, predominantemente residencial”, conforme classificação da Norma Brasileira NBR 10.151. Por estarem na própria área do empreendimento, os pontos internos, não serão comparados com os critérios da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Os limites adotados estão constantes na figura abaixo:

Norma	Limite Diurno (dBA)	Limite Noturno (dBA)
ABNT (NBR 10.151)	55	50

Figura 19: Classificação da Norma Brasileira NBR 10.151 adotada para o caso

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.151,2000.

### 3.1.2 Localização dos Pontos de Medição de Níveis Sonoros

Foram definidos oito pontos de medição, sendo sete deles dentro da área industrial e o oitavo na comunidade vizinha, conforme Figura 19. Verifica-se em amarelo na Figura 19 a área onde se encontram instalados os sopradores.



Figura 20: Pontos de medição de níveis sonoros na área industrial.

Fonte: Imagem Satélite Google Earth

### 3.1.3 Medição dos níveis sonoros

A medição conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas, norma Brasileira NBR 10.151 permite avaliar o impacto sonoro de fontes de ruído fixas com componentes estacionárias e tonais. Os níveis de pressão sonora são determinados a partir de medições do nível global ponderado A (LAeq). São registrados os níveis de pressão sonora, com ponderação frequencial A e filtro de resposta temporal Fast e Leq. O microfone é localizado a 1,2 metros acima do chão e pelo menos 2 metros do limite de propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras.

## 3.2 Materiais

### 3.2.1 Equipamentos utilizados nas medições

As primeiras medições realizadas para confirmação do não atendimento a Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira NBR 10.151 foram realizadas com decibelímetro, modelo DEC-416, da marca instrutherm, utilizado de acordo com a Norma Brasileira NBR 10.151.

Os seguintes equipamentos foram utilizados nas avaliações subsequentes:

- Sonômetro marca 01dB; Modelo Solo Black; Nº de Série: 60055;  
Certificado de Calibração Nº: RBC1-8247-383
- Microfone marca 01dB-Metrawib
- Calibrador marca 01dB; Modelo Cal21; Nº de Série: 35072561(2007);  
Certificado de Calibração Nº: RBC2-8102-447
- GPS marca Garmin; Modelo GPSmap 60CSx

### 3.2.2 Fonte de ruído (Soprador):

Após uma análise preliminar verificou-se que o problema do ruído era proveniente dos sopradores da área industrial, presentes na Estação de Tratamento de Efluentes. Verificou-se que o ruído estava se propagando pelas portas das salas dos sopradores, que não absorviam nem isolavam o ruído

gerado. Um agravante era o fato dos edifícios e as respectivas portas ficarem em frente à área das residências.

Os sopradores são utilizados em Estações de Tratamento de Efluentes para prover a aeração do meio onde se encontra o efluente, oxigenando este meio pelo processo que consiste em soprar ar dentro do efluente, suprindo oxigênio para as bactérias nos tanques de aeração (WASSERLINK, 2014). Através da tela de operação constante na Figura 21, pode-se verificar a inserção dos sopradores no processo da Estação de Tratamento de Efluentes, em amarelo.

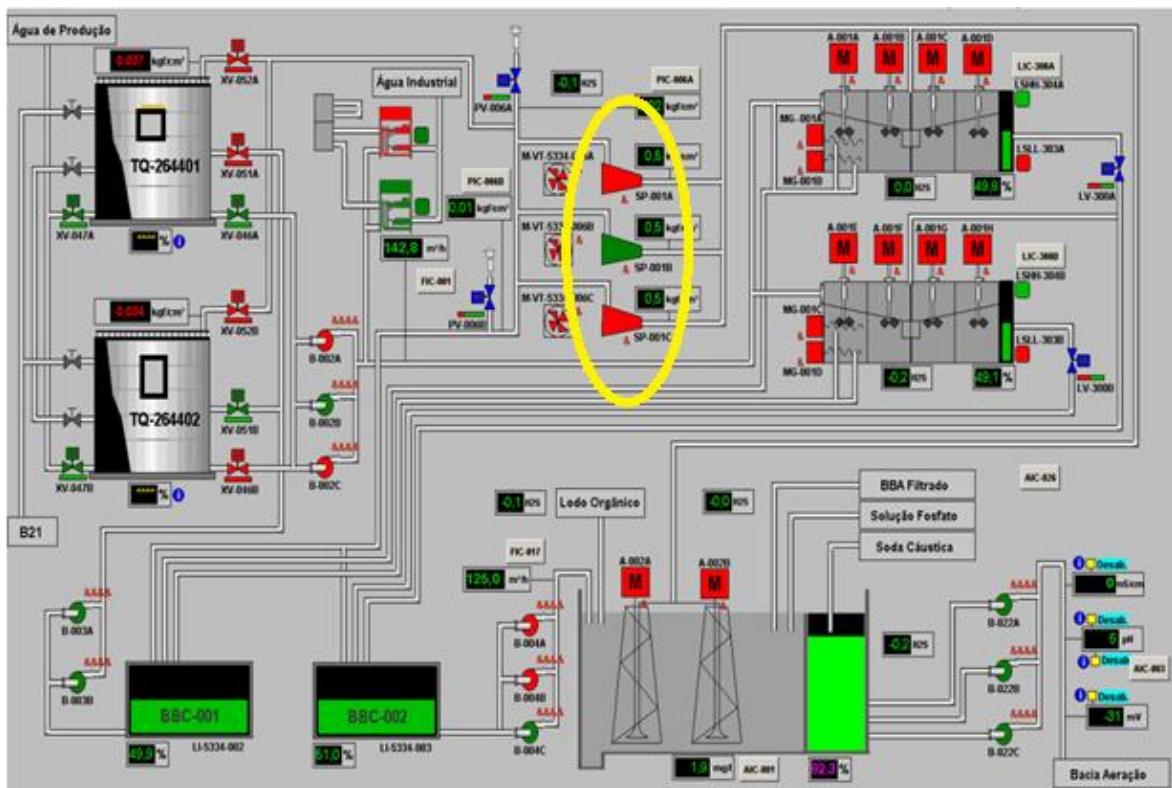


Figura 21: Tela de operação processo da Estação de Tratamento de Efluentes.

Nas figuras 22 e 23 encontram-se as imagens do soprador e da sala do soprador, respectivamente.



Figura 22: Soprador



Figura 23: Sala do soprador

### 3.2.3 Características técnicas do filtro industrial

- Nome técnico: Filtro atenuador acústico de saída passivo reativo/resistivo.
- N° de células: 02.
- N° de paredes por célula: 04.
- Tipo de parede por célula: 02 paredes reativas e 02 paredes refletivas por célula.
- Grau de atenuação: 40 dBA.
- Tolerância: 10%.
- Faixa de frequência de atuação: 500 Hz a 2000 KHz.
- Confeccionado em chapa de aço de 1,2mm de espessura.
- Sistema modular apafusado.
- Chassis: Tipo gaiola em viga L de aço carbono.
- Cunha central para guia de fluxo.
- Paredes: Constituída de chapa perfurada com lã de vidro e chapa lisa de aço carbono.
- Sistema de amortecimento: Lã de vidro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Medições realizadas no ponto informado pelo reclamante

A primeira medição de ruído foi realizada no ponto de reclamação, no entorno das residências, e foram obtidos valores durante o dia em torno de 60 dB(A), e durante a noite, após as 22:00 hs, em torno de 55 dB(A).

### 4.2 Modificações sugeridas para atenuação do nível de pressão sonora

Foram propostas as seguintes modificações com o intuito de reduzir o nível de pressão sonora proveniente dos sopradores:

- Fechamento com alvenaria das saídas de ar da sala dos sopradores.
- As portas devem ser duplas para que o colchão de ar atue como isolante acústico. O espaço interno poderá ser preenchido com materiais isolantes.

Após a implantação das medidas sugeridas, foram realizadas medições de níveis sonoros com o intuito de avaliar sua eficácia.

### 4.3 Resultados apresentados nas medições dos níveis sonoros

Os pontos P01 a P07, conforme descritos na Figura 24, estão localizados no interior da planta industrial, conforme Figura 20, de modo que servirão como referência para os níveis emitidos pelas fontes sonoras, e não serão comparados com os critérios da Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma Brasileira, NBR 10.151.

Ponto	Descrição	Noturno (dBA)		
		NCA	Leq	L90
P01	Prédio dos sopradores para TQ de equalização	-	66	65
P02	Prédio dos Sopradores para Reatores	-	69	69
P03	Prédio das centrífugas e secadores	-	56	55
P04	Sopradores do filtro de areia	-	78	74
P05	Reator biológico	-	52	51
P06	Visão geral da planta em operação	-	41	38
P07	Visão geral da planta sem operação	-	40	37
P08	Em frente à residência de reclamante	50	44	36

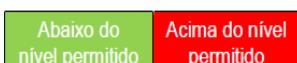


Figura 24: Resultado das medições de ruído, considerando o Nível Critério de Avaliação da ABNT

#### 4.4 Instalação de Filtros Acústicos

Devido à elevada estanqueidade dos portões (após conclusão do tratamento acústico), verificou-se a existência de uma pressão positiva causada pela expansão do ar quente no interior das edificações, que pressionava os portões para fora dos seus eixos de operação, causando um “efeito balão” nos mesmos. Concluiu-se então que seria necessária a implementação de dutos de ar para equalização das pressões interna/externa dos prédios, porém com o devido tratamento acústico (filtros).

A partir dos dados acústicos coletados anteriormente em campo na edificação da área industrial foi possível definir as especificações dos materiais e sistema construtivo adequado para desenvolvimento dos filtros.

O modelo escolhido para determinar tecnicamente os materiais para os filtros foram o sistema de perda por arrasto dinâmico. O processo descrito promove a perda de energia por inversão de fase das ondas e por perda de calor causado pela fricção dos mesmos e a consequente redução do nível de pressão sonora (**NPS**). O filtro possui duas paredes reativas e duas refletivas por elemento de atenuação (célula), tendo como princípio de atenuação acústica o modelo ressonador de Helmholtz.

As paredes refletivas refletem as ondas para as paredes reativas e assim, o ar ao penetrar a passagem (tela perfurada) do filtro tem o seu deslocamento de fase de onda invertido através dos orifícios da chapa perfurada (Efeito Ressonador de Helmholtz).

Ao encontrar a lá de vidro tem o segundo efeito de atenuação causado pela mesma, devido à perda resistiva deste material (efeito de fricção ou perda térmica) permitindo a passagem do fluxo de ar (vazão) e invertendo a fase do mesmo minimizando o ruído de passagem.

Os materiais definidos para os filtros acústicos pautaram pela seguinte ordem de escolha:

- Segurança.
- Durabilidade.
- Simplicidade de operação.
- Dar vazão sem comprometer o arrefecimento dos motores.
- Equalizar a pressão interna/externa dos prédios, para não danificar ou comprometer os portões de vedação acústica.
- Não comprometer o aumento global do nível de ruído na vizinhança ou reclamante.

Os filtros acústicos de saída foram instalados em ambientes específicos, nominados:

- Prédio dos Sopradores (Tanque de Equalização);
- Prédio dos Sopradores (Reatores Biológicos).

No desenvolvimento dos filtros acústicos, foi preestabelecida uma relação de entrada/saída de 2:1 no fluxo de vazão para que os sopradores mantivessem arrefecidos e não entrassem em colapso térmico em períodos climáticos de elevada temperatura diminuindo o rendimento dos mesmos. Este procedimento exigiu filtros com elevada capacidade de vazão e menos elementos de filtragem, o que por consequência não bloqueia na totalidade o ruído interno dos recintos, pois filtros com elementos reativos-resistivos maiores diminuiriam a vazão de ar colocando em risco o arrefecimento dos motores/sopradores.

Trabalhou-se então em uma relação Arrefecimento x Vazão x Ruído para:

- Evitar o colapso térmico dos motores; Relação: entrada/saída de ar frio e quente dentro dos prédios e o arrefecimento dos mesmos.
- Equalização da pressão interna/externa dos prédios para que não forçassem os portões para fora do eixo de trabalho.
- Baixo nível de saída de ruídos com elevada vazão para não prejudicar a vizinhança e a troca constante de gases nas edificações.

#### **4.5 Medições de níveis sonoros realizadas após a instalação dos filtros acústicos**

As figuras 25 a 28 mostram os locais onde foram realizadas as medições dos níveis sonoros.



Figura 25: Medição de nível sonoro Prédio dos Sopradores (Tanque de Equalização)

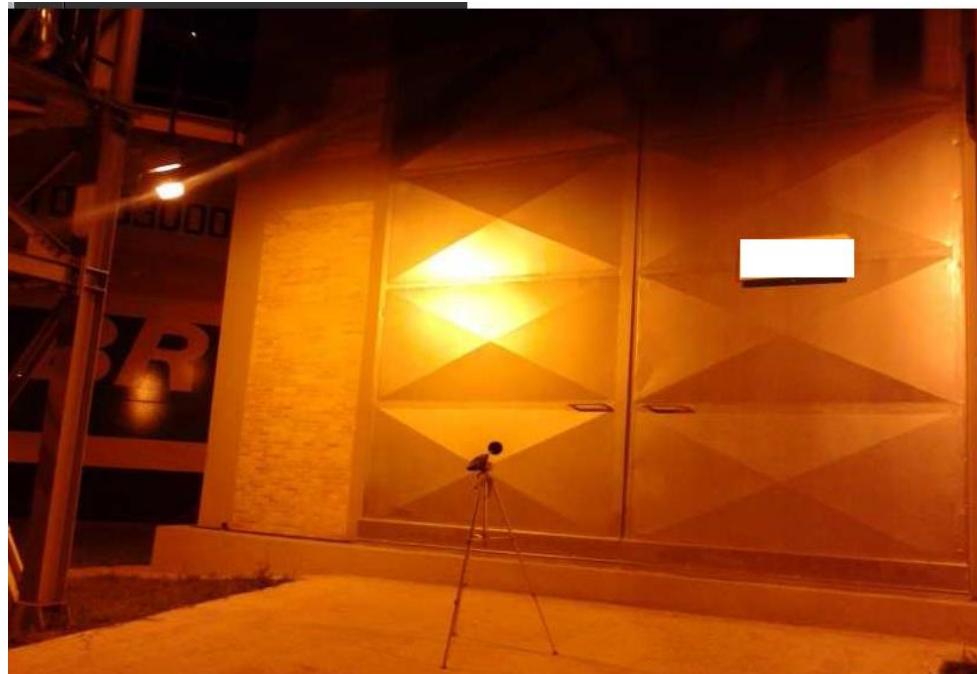


Figura 26: Medição de nível sonoro Prédio dos Sopradores (Reatores Biológicos)



Figura 27: Medição de nível sonoro no limite de propriedade próximo ao vizinho



Figura 28: Medição de nível sonoro realizada em frente à residência do reclamante

As medições foram realizadas nos pontos P01 e P02, locais onde foram implementados os filtros acústicos e nos pontos P03 e P04, próximos ao local determinado pelo reclamante. Verifica-se na figura 29 os resultados destas medições.

Ponto	Descrição	Noturno (dBA)		
		NCA	Leq	L90
P01	Prédio dos sopradores para TQ de equalização	-	71	71
P02	Prédio dos Sopradores para Reatores	-	74	74
P03	Próximo à casa reclamante – Limite de propriedade	-	47	45
P04	Em frente à casa reclamante – Rua Rita Orselli	50	40	39

Abaixo do nível permitido	Acima do nível permitido
---------------------------	--------------------------

Figura 29: Resultado das medições de ruído, considerando o Nível Critério de Avaliação da ABNT.

Em comparação com as medições realizadas anteriormente, podemos afirmar que após a implantação dos filtros acústicos:

- Os níveis de pressão sonora registrados na medição anterior no Ponto 06 Leq 40,1 dBA e também na comunidade Ponto 08 (externo à área industrial) Leq 43,8 dBA, estão dentro da norma exigida NBR 10.151.
- Foi constatado que nas medições noturnas realizadas, os níveis de pressão sonora diminuíram consideravelmente, apresentando no Ponto 04 Leq 40,0 dBA, sendo 3,8 dBA abaixo da medição realizada anteriormente. Isto se deve a um dia em que havia um baixo nível de ruído global na comunidade não interferindo nos resultados da medição.

## 5 CONCLUSÕES

Devido à reclamação registrada pela comunidade da área circunvizinha à área industrial, verificou-se que os sopradores presentes na Estação de Tratamento de Efluentes eram os causadores do ruído que propiciava o incomodo informado. Foram realizadas medidas de tratamento acústico e, de acordo com os resultados das medições realizadas após as primeiras modificações, os Níveis Critério de Avaliação definidos pela NBR 10.151 foram respeitados.

Verificou-se, portanto a necessidade da implementação de filtros acústicos devido à elevada estanqueidade dos portões (após conclusão do tratamento acústico), determinando a existência de uma pressão positiva causada pela expansão do ar quente no interior das edificações, que pressionava os portões para fora dos seus eixos de operação, causando um “efeito balão” nos mesmos.

Os resultados obtidos no emprego dos filtros acústicos apresentados estão amparados pelas medições realizadas, a fim de comprovar a eficácia das técnicas empregadas. A partir das avaliações acústicas, após a instalação dos filtros acústicos, concluímos que a área industrial encontra-se totalmente em conformidade com as leis ambientais vigentes no Brasil e com a norma NBR 10.151. Os filtros acústicos liberam a passagem de ar para arrefecimento dos motores/sopradores, despressurizando o ambiente, sem deixar que o ruído interno gerado passe para a parte externa das edificações, privilegiando um baixo nível de transmissão de ruído para a comunidade.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: **Níveis de ruído para conforto acústico**. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: **Acústica-Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. São Paulo, 2000.

BASTOS, Leopoldo Pacheco, **Controle de ruído em instalações de grupos geradores: um estudo de caso**, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

BISTAFA, Sylvio R.. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.7p. 279 a 288p, 126p,127p.

BRUEL & KJAER, **Noise Control: Principles and Practice**, 1<sup>a</sup> ed. 1982.

CABRAL, Célia Moraes, **Acústica industrial: aplicação da análise de vibrações e ruído a identificação de fontes de ruído em ambiente industrial**, Faculdade de ciências e Tecnologia de Coimbra, Coimbra, 2012.

CARVALHO, Benjamim. **Acústica aplicada a Arquitetura.**: Livraria Freitas Bastos. São Paulo, 1967.

FRANÇA, Walquíria Soares de Souza, **Desenvolvimento e Implantação da Gestão do ruído na fabricação de resistores eletrônicos**, Universidade de Pernambuco, Recife, 2007.

MÉNDEZ, A. M. et al. **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1994. 117 p.

LISOT, Aline, **Resssoadores de Helmholtz em Barreiras: Avaliação do Desempenho na Atenuação do Ruído de Tráfego**, Maringá, 2008.

LOPES, Leonardo Ferreira, **Uso de materiais porosos em filtros acústicos**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola Politécnica, **Higiene do Trabalho**. Apostila. São Paulo, 2013.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola Politécnica, **Fundamentos do Controle de ruído industrial**. Apostila. São Paulo, 2013.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO, **Acústica e Ruídos**, Apostila, Bauru, 2005.

WASSERLINK: Compressores e sopradores aplicados em tratamento de água, efluentes e saneamento. Disponível em:

<http://www.wasserlink.com.br/site/midia/noticias/320-compressores-e-sopradores-tae.html>. Acesso em 16 jan.2014.

## ANEXO A- Espectro e Histograma dos pontos de Medição

Espectros e Histogramas realizados nos pontos de medição constantes nas Figuras de 1 a 7.

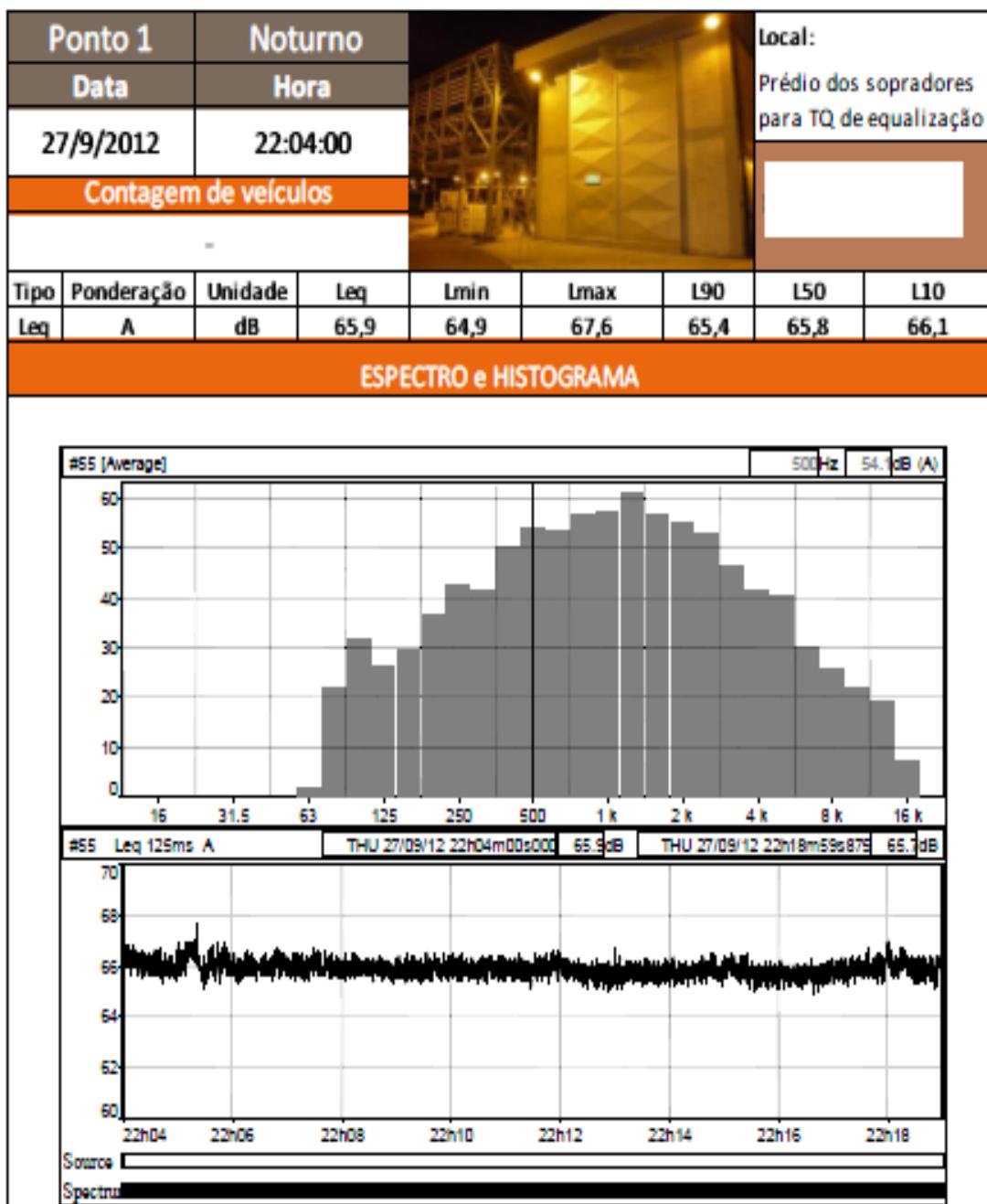


Figura 1: Medições realizadas no prédio dos sopradores para o tanque de Equalização

Fonte: Relatório realizado por empresa especializada em estudos de impacto sonoro para empresa do ramo petroquímico.

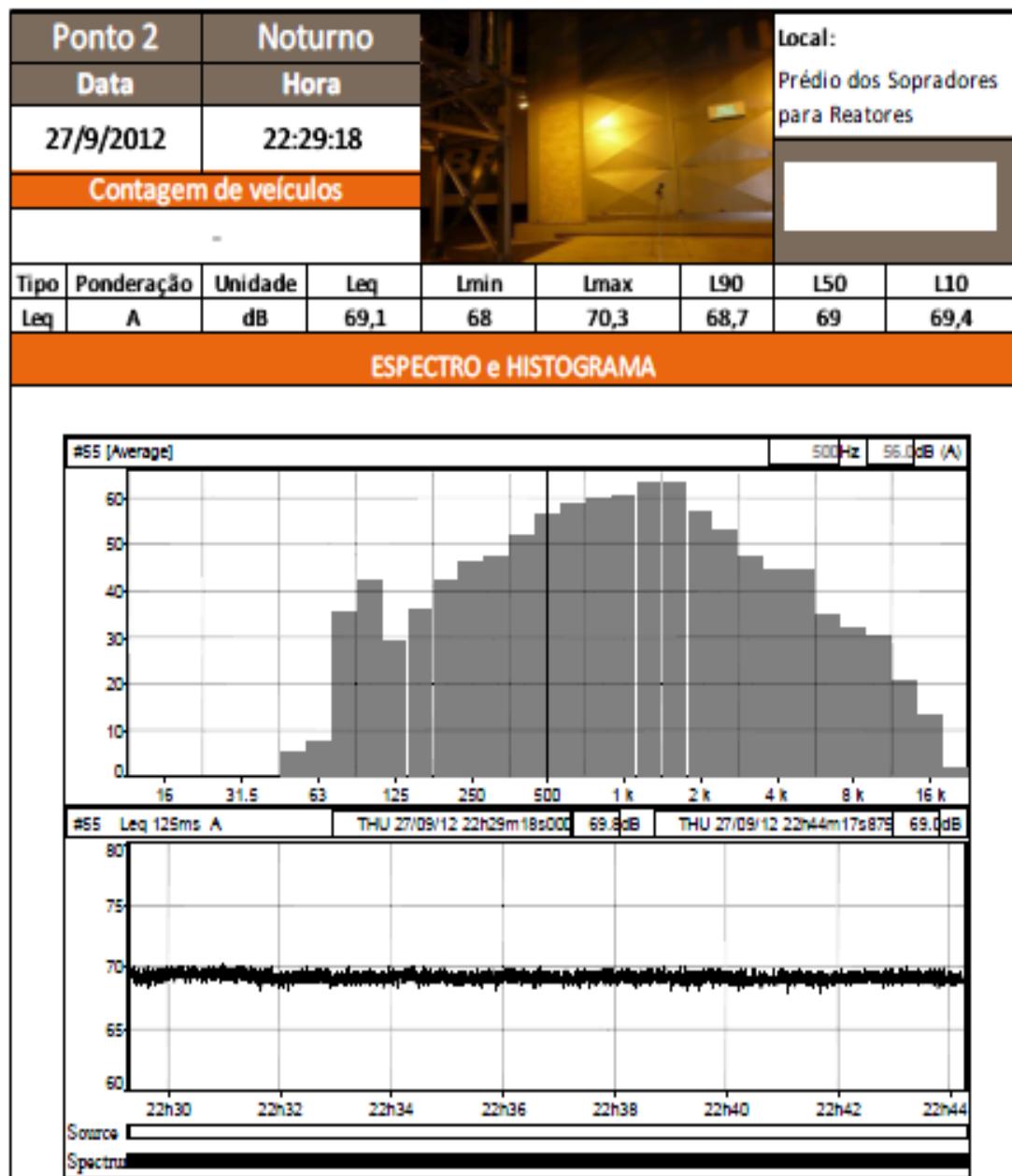


Figura 2: Medições realizadas no prédio dos sopradores para Reatores.

Fonte: Relatório realizado por empresa especializada em estudos de impacto sonoro para empresa do ramo petroquímico.

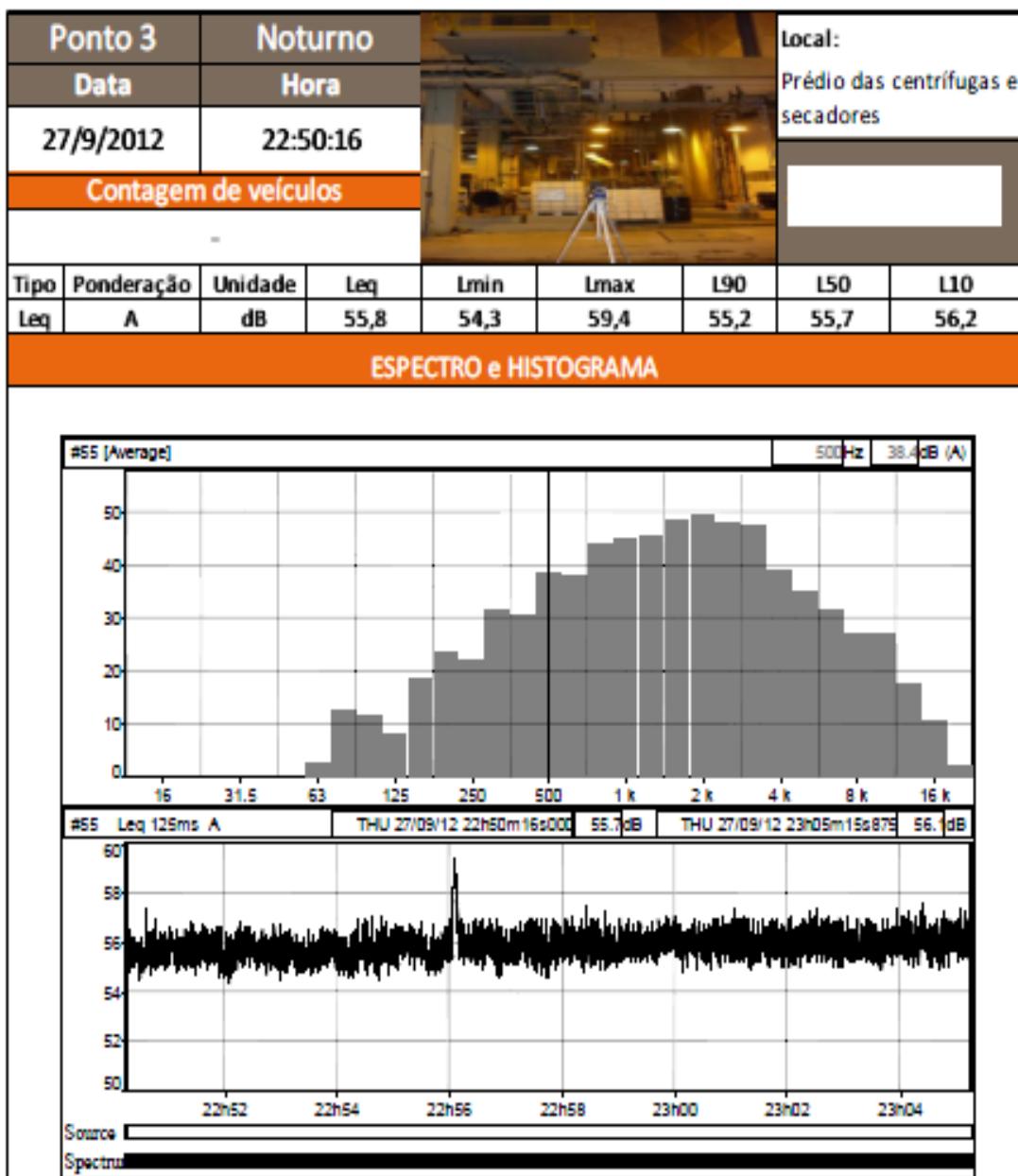


Figura 3: Medição realizadas no prédio das centrífugas e secadores.

Fonte: Relatório realizado por empresa especializada em estudos de impacto sonoro para empresa do ramo petroquímico.

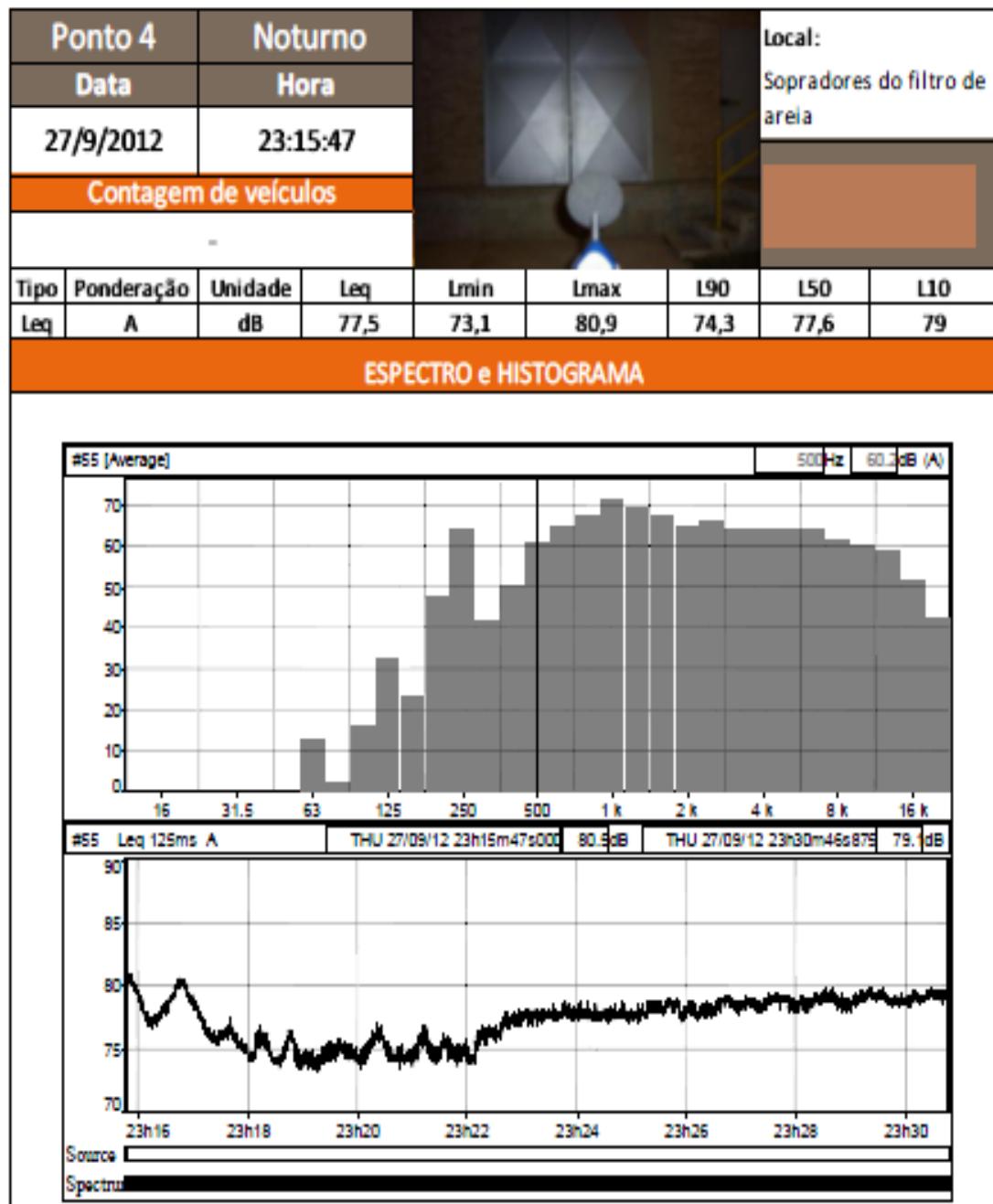


Figura 4: Medidas realizadas nos Sopradores dos Filtros de Areia.

Fonte: Relatório realizado por empresa especializada em estudos de impacto sonoro para empresa do ramo petroquímico.

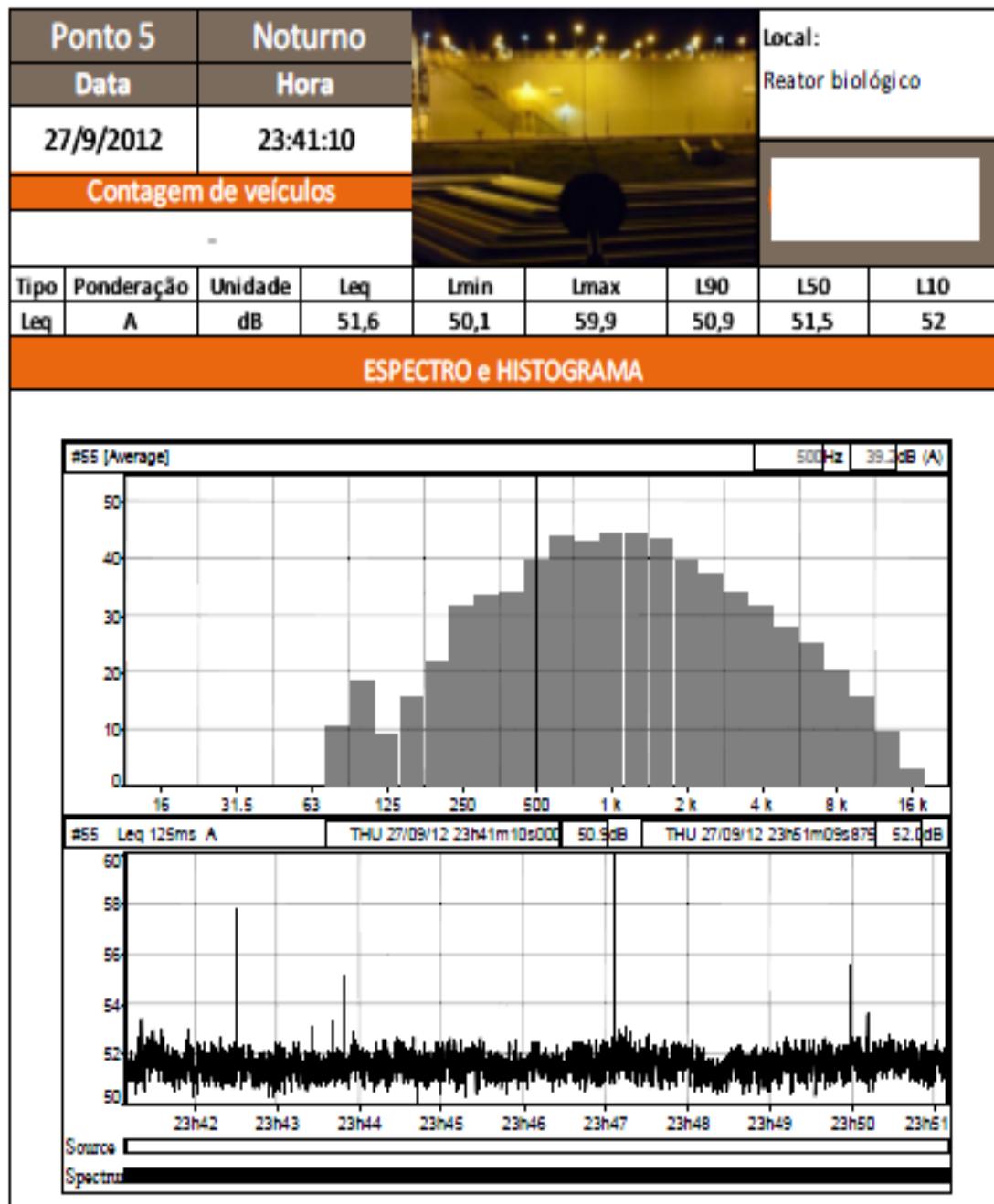


Figura 5: Medição realizadas nos reatores Biológicos.

Fonte: Relatório realizado por empresa especializada em estudos de impacto sonoro para empresa do ramo petroquímico.

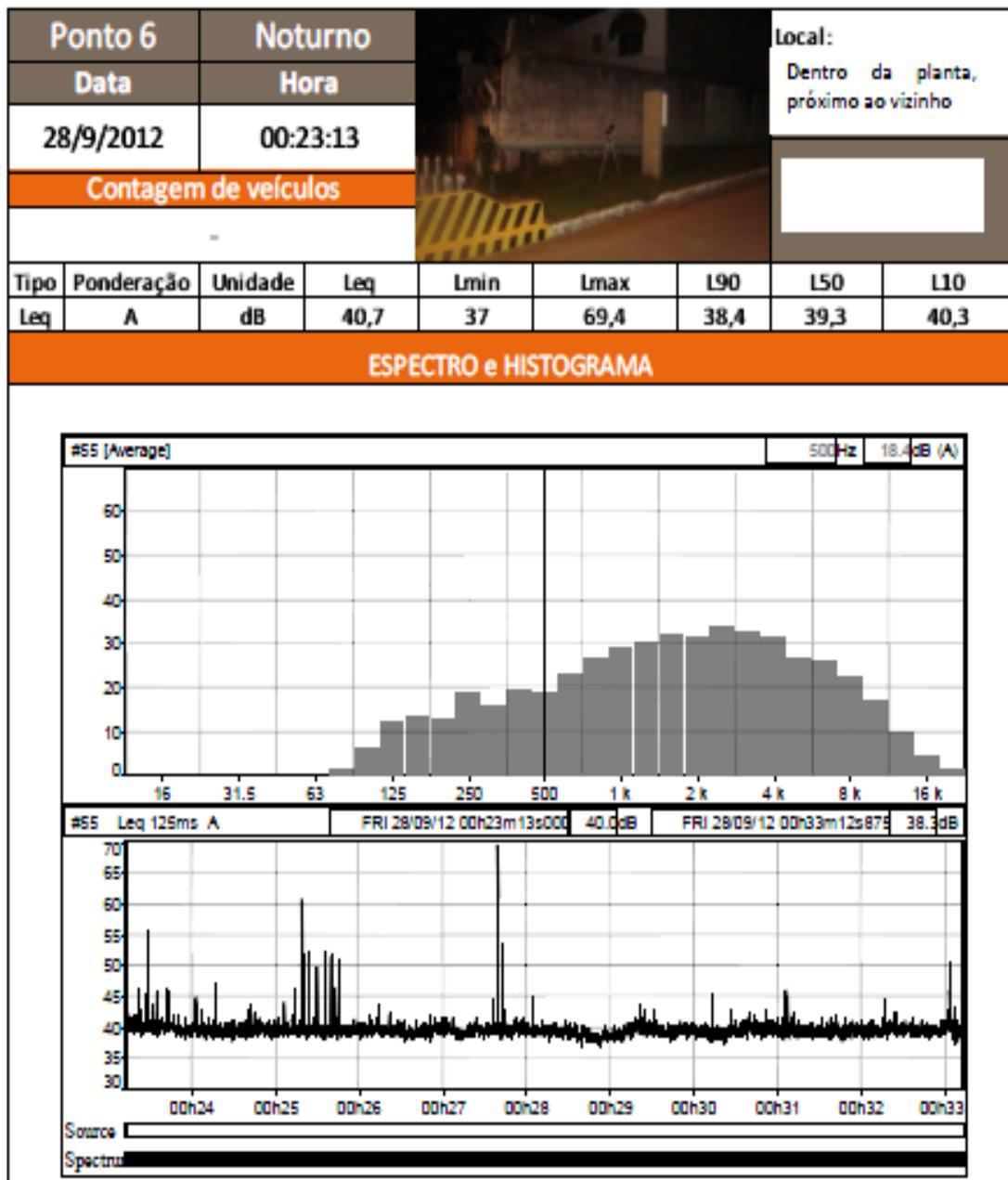


Figura 6: Medição realizadas dentro da planta, próximo à vizinhança.

Fonte: Relatório realizado por empresa especializada em estudos de impacto sonoro para empresa do ramo petroquímico.

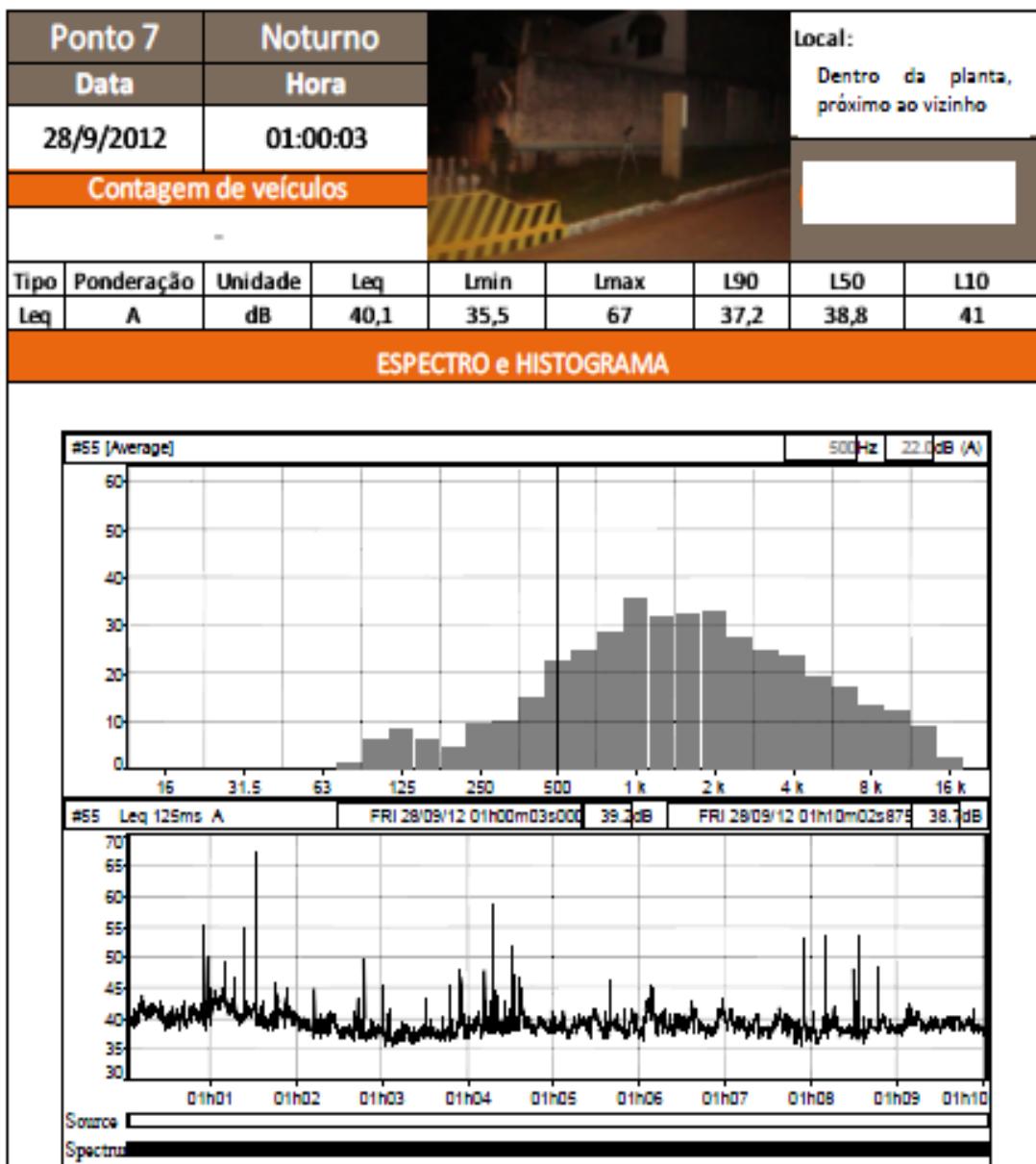


Figura 7: Medição realizadas dentro da planta, próximo à vizinhança.

Fonte: Relatório realizado por empresa especializada em estudos de impacto sonoro para empresa do ramo petroquímico.



