

RICARDO ORTIZ SILVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MEDIÇÃO CONTÍNUA DE  
RUÍDO EM AMBIENTES "IN DOOR": PROJETO PILOTO EM OFICINA  
DE CALDEIRARIA

EPMI  
ESP/HO-2008  
Si39d

SÃO PAULO  
2008

RICARDO ORTIZ SILVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MEDIÇÃO CONTÍNUA DE  
RUÍDO EM AMBIENTES "IN DOOR": PROJETO PILOTO EM OFICINA  
DE CALDEIRARIA

SÃO PAULO

2008

RICARDO ORTIZ SILVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MEDIÇÃO CONTÍNUA DE  
RUÍDO EM AMBIENTES "IN DOOR": PROJETO PILOTO EM OFICINA  
DE CALDEIRARIA

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Especialista em Higiene  
Ocupacional.

SÃO PAULO  
2008

## AGRADECIMENTOS

À ArcelorMittal Tubarão, representada pelo Sr. Rodrigo de Oliveira Gama, gerente de Engenharia de Segurança do Trabalho, que acreditou na minha capacidade e me incentivou no desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimento a 3R Brasil, representado pelo diretor Rogério Regazzi, empresa de consultoria que desenvolveu o sistema e software apresentado neste trabalho.

À minha esposa Janaína e ao meu filho Rafael, pelo amor, pela paciência e compreensão na minha ausência durante todo meu período de estudos.

Agradeço ainda a todos os que colaboraram direta e indiretamente no desenvolvimento e na consecução deste trabalho.

---

## RESUMO

A dificuldade técnica e financeira de realização de monitoramento da exposição do trabalhador em função da existência do risco em áreas industriais, bem como o risco e agravo a saúde do trabalhador. A existência de ferramentas que auxiliem ao acompanhamento da exposição e a adoção de medidas de controle. A proposta deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento contínuo de ruído e medição dos níveis de pressão sonora de uma Oficina de Caldeiraria. A montagem do sistema foi baseada nos conceitos de um audiodosímetro, utilizando-se de componentes disponíveis no mercado. O sistema foi validado por meio da calibração do equipamento pelo INMETRO, e mostrou-se capaz de armazenar informações históricas do Nível Médio Equivalente – Leq, Dose, Nível de Pressão Sonora – NPS e os níveis sonoros por bandas de frequências. Com a massa histórica de dados que é gerada pelo sistema, torna-se mais completa e precisa a análise do comportamento sonoro do ambiente e suas variações, o que auxilia o reconhecimento da exposição do trabalhador na tomada correta de ações, no controle e ainda na avaliação da eficiência da proteção auditiva, pela análise por frequência. O sistema de monitoramento contínuo de ruído não supre a metodologia atual de avaliação ocupacional adotada pela legislação brasileira segundo a Norma Regulamentadora ou Norma de Higiene Ocupacional - NHO 01, da Fundacentro, mas certamente pode auxiliar e aprimorar os estudos da exposição do trabalhador. Estudos correlacionando os dados de dosimetria ocupacional com os dados obtidos em sistema de monitoramento contínuo do ambiente podem ser no futuro uma solução técnica e econômica para garantir um maior acompanhamento e controle da exposição do trabalhador a ruído.

Palavras-chave: Monitoramento contínuo. Ruído. Caldeiraria.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sons comuns ao dia-a-dia .....	14
Figura 2 – Ruídos desagradáveis comuns em nossa vida.....	15
Figura 3 – Exemplos ruído industrial. Filtro prensa acionado por bomba elétrica.....	17
Figura 4 – Distribuição dos níveis de pressão e espectro de frequência .....	18
Figura 5 - Gráfico de comparativo de limites de tolerância para ruído ocupacional..	20
Figura 6 - Tipos de estratégias de amostragens.....	22
Figura 7 – Esquema básico de um medidor de nível de pressão sonora .....	23
Figura 8 – Classificação dos microfones em relação ao tipo de campo .....	24
Figura 9 – Comportamento dos filtros ponderadores.....	26
Figura 10 – Espectograma em relação a bandas de oitava .....	26
Figura 11 – Visão geral da Oficina de Caldeiraria.....	28
Figura 12 - Desenho esquemático dos setores da oficina .....	29
Figura 13 - Exemplos do Setor de Preparação para Montagem.....	30
Figura 14 - Exemplo do Setor de Montagem e Solda – Área Leve.....	30
Figura 15 - Exemplo do Setor de Soldagem de Materiais Não Ferrosos.....	31
Figura 16 - Exemplo do Setor de Célula de Rolos.....	31
Figura 17 – Esquema de montagem do sistema de medição contínua de ruído. ....	35
Figura 18 – Níveis de pressão sonora durante o período de 24h .....	39
Figura 19 - Gráfico da distribuição dos níveis sonoros no horário das 6h às 14h.....	40
Figura 20 - Níveis sonoros em um intervalo para caracterização de fontes .....	41
Figura 21 – Gráfico de frequência às 08:26 h, operação de esmeril em metal.....	42
Figura 22 - Espectro de frequência - Limpeza de superfícies metálicas.....	43
Figura 23 - Distribuição dos níveis de pressão sonora no horário das 14h às 22h...	43
Figura 24 - Níveis de pressão sonora ao longo de uma semana.....	46
Figura 25 – Gráfico dos resultados da avaliação (Confiabilidade de 98%).....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relação de sintomas e órgãos afetados pelo ruído elevado .....	16
Tabela 2.2 - Limites de tolerância para ruído contínuo e intermitente .....	19
Tabela 3.1 - Avaliação ocupacional dos trabalhadores na Oficina de Caldeiraria ....	32
Tabela 3.2 - Avaliação dos níveis de pressão sonora de fontes e operações .....	33
Tabela 3.3 - Exemplo dados coletados de uma amostragem contínua .....	37
Tabela 3.4- Exemplo dados coletados - registros por frequência .....	38
Tabela 4.1 – Análise da distribuição dos NPS em 24h do monitoramento .....	40
Tabela 4.2 - Análise da distribuição dos NPS no 1º Turno .....	41
Tabela 4.3 - Análise da distribuição dos NPS no 2º turno .....	44
Tabela 4.4 – Níveis de pressão sonora medido em oitava .....	45
Tabela 4.5 - Informações técnicas dos protetores .....	47
Tabela 4.6 – Resultados da análise (NIOSH1) – confiabilidade de 98% .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI:	American National Standards Institute
D:	dose.
dB(A):	valor em decibéis que simula a curva de resposta do ouvido humano.
GHE:	grupo homogêneo de exposição.
INMETRO:	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
Leq:	nível médio equivalente.
$L_{max}$ :	nível de ruído máximo.
$L_{min}$ :	nível de ruído mínimo.
$L_{90}$ :	nível de ruído estatístico em dB(A) representativo do tempo de medição. Representa o resíduo residual do ambiente
NPS:	nível de pressão sonora.
NR:	Norma Regulamentadora.
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
TWA:	time-weighted average.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>12</b>
1.1	O ruído industrial .....	12
1.2	Objetivo do trabalho.....	13
1.3	Justificativa do trabalho .....	13
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>14</b>
2.1	Conceitos sobre som e ruído.....	14
2.2	Os efeitos da poluição sonora no corpo humano .....	15
2.3	Fontes sonoras.....	16
2.4	Espectro de sonora das fontes .....	17
2.5	Limites de exposição .....	18
2.6	Monitoramento da exposição ocupacional ao ruído .....	20
2.7	Grupos Homogêneos de Exposição – GHE .....	21
2.8	Estratégia de amostragem.....	22
2.9	Mapas de ruído.....	23
2.10	Instrumentos de medição de ruído .....	23
2.10.1	Microfones .....	24
2.10.2	Filtros ponderadores.....	25
2.10.3	Filtros 1/n oitavas .....	26
2.10.4	Calibração .....	27
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos .....</b>	<b>28</b>
3.1	Detalhes estruturais da oficina .....	28
3.2	Setores de trabalho .....	29
3.3	Avaliações ocupacionais .....	31
3.4	Características da jornada de trabalho .....	33
3.5	Mapeamento dos níveis de pressão sonora da oficina.....	33
3.6	Sistema de monitoramento contínuo .....	34
3.6.1	Descrição dos equipamentos .....	34
3.7	Coleta e armazenamento dos dados .....	36
<b>4</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>39</b>
4.1	Análise dos dados de monitoramento contínuo de ruído.....	39
4.2	Avaliação da exposição semanal .....	44

4.3	Avaliação de atenuação dos protetores auditivos .....	44
5	Discussão .....	48
6	Conclusão .....	52
7	Referências Bibliográficas .....	53
8	Bibliografias Consultadas .....	54

## **1 Introdução**

### **1.1 O ruído industrial**

O agente físico ruído é, sem dúvida, um dos mais presentes na atualidade. Devido a isso, os estudos nos últimos anos avançaram sensivelmente, principalmente com a ajuda da eletrônica e da informática, o que tem proporcionado o desenvolvimento de equipamentos com tecnologias capazes de quantificar e caracterizar os níveis de pressão sonora aos quais os trabalhadores se expõem durante sua jornada de trabalho.

A quantificação do agente tem um significado importante, pois, somente conhecendo sua intensidade e sua característica, é possível adotar medidas de controle sobre a exposição a ele de forma correta e eficaz.

Cada vez mais a indústria em geral se preocupa com o ruído gerado em seus processos, principalmente no que tange à saúde dos trabalhadores expostos a esse agente. A perda auditiva induzida pelo ruído é uma patologia cumulativa que cresce ao longo dos anos de exposição a níveis elevados de ruído presentes no ambiente de trabalho.

Principalmente nas grandes indústrias, os profissionais das áreas de riscos ocupacionais enfrentam dificuldades para a realização do monitoramento de ruído, pois é inviável técnica e economicamente a realização de amostragens individuais de cada trabalhador, que retratem a sua exposição durante toda a jornada de trabalho. Na adoção de grupos homogêneos de exposição, os profissionais da segurança buscam em uma amostra representativa desse grupo um valor que seja representativo de qualquer pessoa.

A proposta de monitoramento contínuo de ruído é coletar dados em tempo real capazes de correlacionar a exposição do trabalhador com as avaliações ocupacionais. De forma contínua, a massa histórica é muito maior, o que possibilita estudos mais detalhados sobre as variações de níveis sonoros e suas características, e auxilia na seleção das melhores e eficazes ações de controle da exposição do trabalhador.

## **1.2 Objetivo do trabalho**

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de medição contínua de ruído em uma unidade piloto, capaz de monitorar continuamente os níveis de pressão sonora, bem como o espectro de freqüência do ambiente de trabalho, gerando informações que possibilitem realizar análises e estudos sobre o comportamento sonoro do ambiente.

Vale ressaltar que o intuito deste trabalho não é propor que um sistema de medição contínua no ambiente de trabalho seja o substituto dos sistemas convencionais de medição individual. As metodologias atuais consideram aspectos reais da exposição ocupacional, como o fato de a medição ser realizada na região próxima do campo auditivo do trabalhador e, também, a correlação entre a intensidade de ruído e o tempo no qual efetivamente ocorre a exposição.

## **1.3 Justificativa do trabalho**

Os efeitos causados pelo ruído justificam por que ele deve ser avaliado ou monitorado, com tomada de ações técnicas e administrativas de controle da exposição. Em relação ao presente trabalho a principal justificativa de seu desenvolvimento é buscar mecanismos ou ferramentas capazes de auxiliar nas medições de campo, não abandonando as metodologias legais vigente. Desenvolver um sistema que ajude os profissionais na avaliação do ambiente e na adoção de medidas de controle para exposição do trabalhador.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Conceitos sobre som e ruído

O som faz parte vida cotidiana, com a experiência agradável de ouvir uma música, um instrumento musical ou o canto de um pássaro, entre outros exemplos apresentados na Figura 1. Outras fontes, como máquinas, fábricas, tráfego de veículos, também geram som não tão agradáveis que podem até gerar mal-estar e danos ao sistema auditivo.

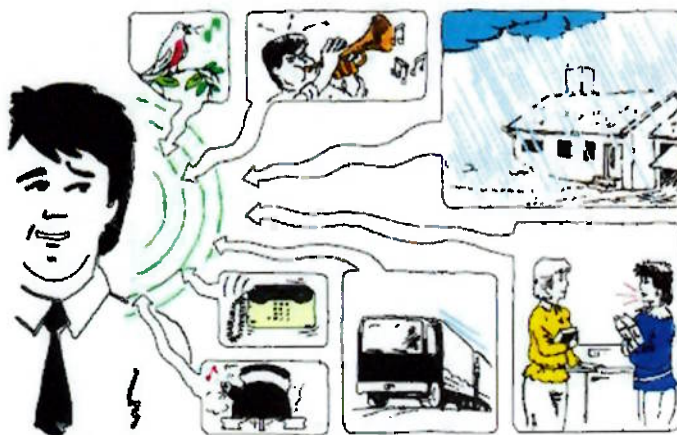


Figura 1 – Sons comuns ao dia-a-dia

Fonte: Lecture Note: Basic Concepts of Sound da Brüel e Kjaer - BA 7666-11, <http://www.bksv.com/Library/Primers.aspx>, 02/04/08.

Segundo GERGES (2000), o som é caracterizado por alterações de pressões em um meio compressível (normalmente o ar). Porém, a sensação de som no ouvido humano só é percebida em uma determinada faixa de intensidade e frequência.

O ruído é considerado hoje um dos maiores problemas na vida moderna, especialmente, os ruídos causados por estabelecimentos, como bares, boates, restaurantes, pela vizinhança, por aparelhos eletrodomésticos, industriais, pelo trânsito, entre outros. GERGES (2000) define ruído como um som indesejável ou desagradável (figura 2, a seguir), cujos efeitos sobre o indivíduo não dependem exclusivamente das características do ruído (intensidade, frequência, entre outros), mas também como o indivíduo se comporta frente à exposição.

BISTAFA (2006) lembra que o ruído pode conter informações úteis, como o sinal de alerta de uma sirene ou o tocar de um telefone. Pode, ainda, dar noções de

velocidade de um veículo, e sons característicos do funcionamento de um equipamento ou componente, como um simples "clique" de travamento.

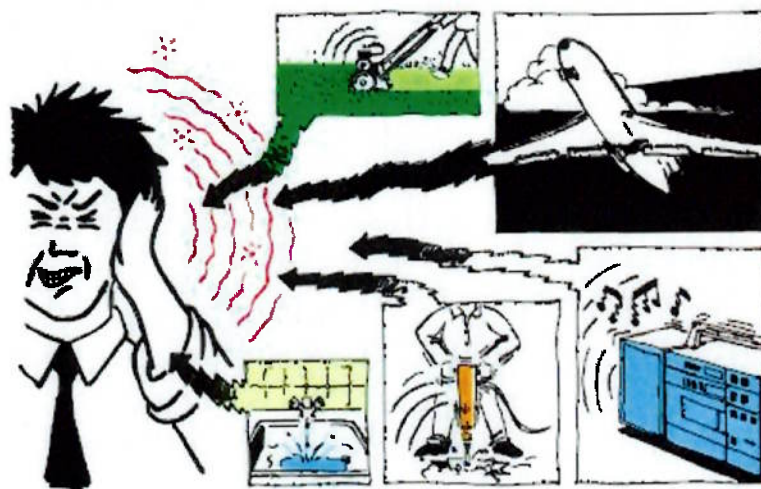


Figura 2 – Ruídos desagradáveis comuns em nossa vida.  
 Fonte: Lecture Note: Basic Concepts of Sound da Brüel e Kjaer -  
 BA 7666-11, <http://www.bksv.com/Library/Primers.aspx>, 02/04/08.

O ruído tem efeito sobre as pessoas, como a perda auditiva, o desconforto acústico, a interferência na comunicação entre indivíduos, o distúrbio do sono e outros efeitos fisiológicos do corpo humano. Os efeitos do ruído têm reflexo na saúde, causando problemas como baixa produtividade, dificuldades de atenção e de aprendizado, absenteísmo e aumento no uso de medicamentos e drogas.

A percepção ou sensação de intensidade do ruído é obtida através do estímulo ocorrido com as alterações de pressão no ambiente e que chegam ao aparelho auditivo. Assim podemos expressar o nível de pressão sonora  $L_p$  em decibel, pela equação abaixo:

$$L_p = 20 \log (P_{\text{eficaz}} / P_o) \quad (1)$$

Sendo que  $P_o$  é a pressão de referência, tomada como a do limiar de audição do ser humano e corresponde a  $2 \times 10^{-5}$  Pa ou 20  $\mu$ Pa.

## 2.2 Os efeitos da poluição sonora no corpo humano

Segundo ARAÚJO (2001), o ruído é um tipo de som que provoca efeitos nocivos no ser humano. É uma sensação auditiva desagradável que interfere na percepção do som desejado.

A perda auditiva induzida pelo ruído é uma patologia cumulativa e insidiosa, que cresce ao longo dos anos de exposição ao ruído associado ao ambiente de trabalho. Tal perda é uma doença de caráter irreversível e de evolução progressiva, passível totalmente de prevenção.

É, portanto, consequência da exposição prolongada a um ambiente ruidoso, que levam em consideração dois aspectos fundamentais: as características do ruído e a suscetibilidade individual.

Relatado por SELIGMAN e IBANEZ (1993), a exposição crônica ao ruído produz deterioração auditiva lenta, progressiva e irreversível, com características de perda auditiva bilateral (disacusia neurosensorial). O paciente pode se queixar de tinitus ("zumbidos"), enfraquecimento da acuidade auditiva, fadiga, queda do rendimento laboral, estresse, e fica sujeito a inúmeras enfermidades orgânicas.

A seguir, a tabela 2.1 apresenta uma relação de sintomas e órgãos afetados pela exposição prolongada a altos níveis de ruído. Os sintomas dependem exclusivamente da suscetibilidade de cada indivíduo e de aspectos, como idade, sexo e condições gerais de saúde.

Tabela 2.1 - Relação de sintomas e órgãos afetados pelo ruído elevado

Órgão afetado	Sintomas
Cérebro	Com elevação da pressão intracraniana, o indivíduo começa a sentir fortes dores de cabeça.
Órgãos genitais	Redução de sangue. Na mulher há perda do desejo sexual, no homem dificuldades de ereção.
Coração	Passa a bater de forma descompassada.
Pulmões	Com a aceleração da respiração, com cansaço sendo inevitável.
Músculos	Ficam contraídos e começam a liberar substâncias inflamatórias.
Aparelho digestivo	O estômago produz altas escalas de suco gástrico, provocando úlcera e gastrite. O intestino também deixa de funcionar corretamente.

Fonte: SELIGMAN e IBANEZ (1993)

### 2.3 Fontes sonoras

As fontes sonoras são todos os mecanismos que geram sons ou ruídos por meio de estruturas vibrantes, ou por movimentação de fluidos e gases, atrito em superfícies, choque contra superfícies, entre outros.

As indústrias, em particular, apresentam níveis de ruído indissociáveis de seus processos, devido às inúmeras atividades ocorridas em seu interior, como o escoamento de fluídos em tubulações, cisalhamento e a quebra de materiais em britadores, peneiramentos, movimentos das correias transportadoras, funcionamento de engrenagens e bombas elétricas, entre outros (figura 3, a seguir). Assim, seus processos ou parte deles são considerados fontes geradoras de ruído.

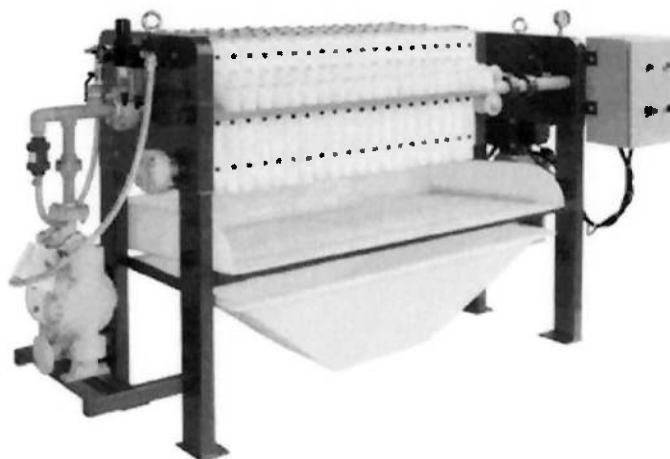


Figura 3 – Exemplos ruído industrial. Filtro prensa acionado por bomba elétrica.

## 2.4 Espectro de sonora das fontes

A identificação de fontes sonoras em um ambiente industrial é, sem dúvida, uma tarefa muito complexa, visto que nele existem diversas fontes gerando ruídos de intensidades e freqüências diferentes ao mesmo tempo. Além disso, nem sempre é possível desligar as demais fontes para efetuar a medição de ruído individualizado, para que se obtenha a influência de determinada fonte no nível global do ambiente.

Um artifício utilizado para a caracterização das fontes sonoras é obtido mediante o espectro de freqüência por elas gerado. A freqüência é, para cada fonte, como uma impressão digital. Assim, é possível analisar a distribuição pela banda de freqüência e, conseqüentemente, e avaliar a maior influência no resultado global do ambiente.

A figura 4, a seguir, apresenta exemplos da distribuição dos níveis de pressão sonora e suas respectivas distribuições em banda de freqüência, a partir das quais se torna possível verificar as diferenças nítidas de cada tipo de fonte.



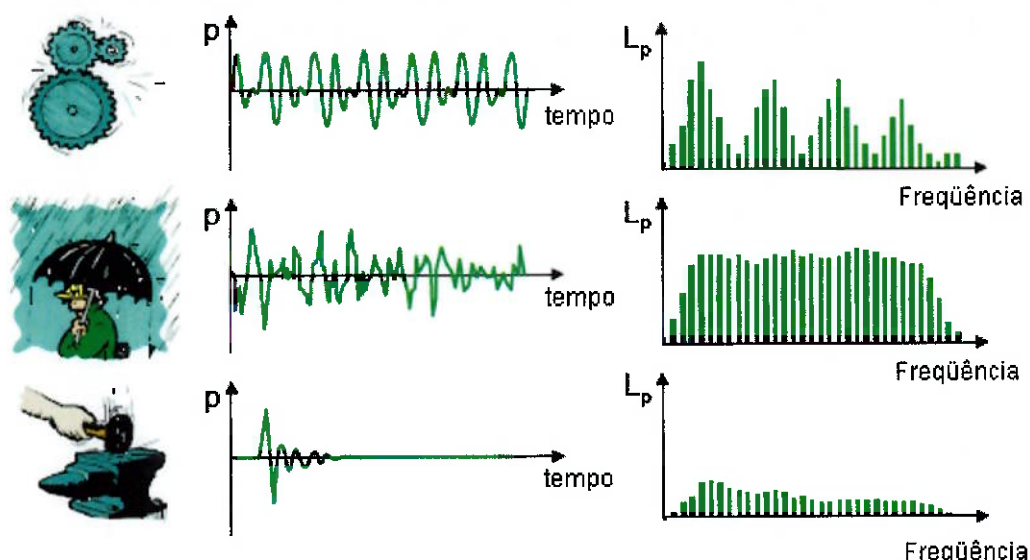


Figura 4 – Distribuição dos níveis de pressão e espectro de frequência  
 Fonte: Lecture Note: Basic Concepts of Sound da Brüel e Kjaer, BA – 7660-06, <http://www.bksv.com/Library/Primers.aspx>, 02/04/08.

## 2.5 Limites de exposição

Os limites de exposição referem-se aos níveis de pressão sonora e aos tempos de exposição que representam condições nas quais, acredita-se, a maioria dos trabalhadores possa estar exposta repetidamente, sem sofrer efeitos adversos à capacidade de ouvir e entender uma conversa normal.

Segundo a Norma Regulamentadora - NR 15, o Limite de Tolerância, é a concentração ou intensidade, relacionada ao tipo e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.

No Brasil, a NR 15, anexo 1, apresenta os limites de tolerância para o ruído contínuo e intermitente, utilizados para a caracterização de atividades ou operações insalubres. A tabela 2.2 apresenta os limites de tolerância e o tempo máximo de exposição permissível. Nota-se que o fator de troca aplicado a essa legislação é o de  $q = 5$ . O fator de troca representa que o tempo de exposição reduz a metade a medida que o valor de ruído acresce de 5 dB(A), ou seja, para um nível de 85 dB(A), o tempo permitido sem a proteção do trabalhador é de 8 horas, aumentando para 90 dB(A) o tempo permitido reduz para 4 horas.

Tabela 2.2 - Limites de tolerância para ruído contínuo e intermitente

NÍVEL DE RUÍDO DB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

O item 2 da NR 15, anexo 01, apresenta a necessidade da medição de ruído próximo ao campo auditivo do trabalhador, e de o equipamento expressar a medida de ruído em dB, operando na curva de compensação "A" e circuito de resposta lenta (SLOW).

As diferenças dos limites de tolerância adotadas pela legislação atual no Brasil, em relação a outros adotados no mundo, tornam-se mais visíveis quando apresentadas na figura 5, a seguir. Os limites de tolerância no Brasil acabam sendo um valor intermediário aos parâmetros recomendados pelos Estados Unidos e pela Europa. O motivo desta diferença entre países se deve pela adoção de limites de tolerância e fator de troca diferente, como por exemplo, para os Estados Unidos (OSHA), o limite de tolerância é de 90 dB(A) e fator de troca de 3.

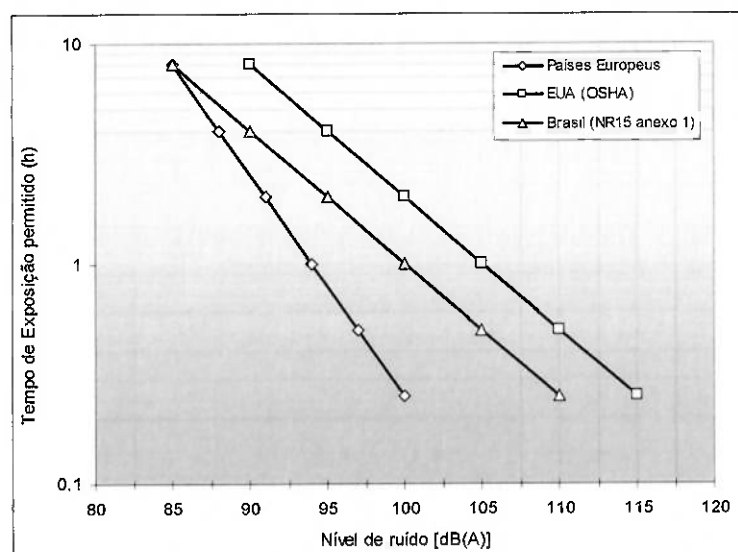


Figura 5 - Gráfico de comparativo de limites de tolerância para ruído ocupacional  
 Fonte: BISTAFA, S. R., Acústica Aplicada ao Controle de Ruído. São Paulo: Edgard Blücher, 2006, pág. 130

## 2.6 Monitoramento da exposição ocupacional ao ruído

O monitoramento ocupacional corresponde a medições realizadas nos trabalhadores expostos ao agente físico ruído, ao longo de sua jornada de trabalho, a fim de identificar a possibilidade de exposição a níveis que possam alterar o seu estado de saúde de forma temporária ou causar algum dano permanente.

A partir da análise do monitoramento ocupacional obtêm-se informações para a adoção de medidas de controle coletivas, medidas de caráter administrativo, enquadramento de insalubridade, no Programa de Conservação Auditiva – PCA, e para a indicação de equipamento de proteção individual. Diante desses fatos, nota-se a grande importância na realização do monitoramento de forma periódica e necessidade de confiabilidade dos dados obtidos.

O monitoramento deve ser periódico no acompanhamento de possíveis alterações e, em particular, na ocorrência de mudanças na produção, nos processos, nos equipamentos, na reestruturação de *layout* ou implantação de medidas de controle da exposição.

## **2.7 Grupos Homogêneos de Exposição – GHE**

Quando se trata de grandes empresas ou setores que envolvem grande quantidade de trabalhadores, os profissionais de segurança encontram dificuldades na realização, de forma técnica e econômica, do monitoramento dos níveis de exposição aos agentes de risco de cada trabalhador.

Segunda a Instrução Normativa nº 1, para avaliação de benzeno nos ambientes de trabalho, conceituou-se a expressão Grupo Homogêneo de Exposição, que

Corresponde a um grupo de trabalhadores que experimentam a exposição semelhante, de forma que o resultado fornecido pela avaliação da exposição de qualquer trabalhador do grupo seja representativo da exposição do restante dos trabalhadores do mesmo grupo. (ver citação)

Para GERGES (2001),

Um Grupo Homogêneo de Exposição (GHE) corresponde a um grupo de trabalhadores sujeito a condições em que ocorram idênticas probabilidades de exposição a um determinado agente. A homogeneidade resulta do fato da distribuição de probabilidade de exposição poder ser considerada a mesma para todos os membros do grupo. (ver citação)

Segundo GERGES (2001), a representatividade dos resultados de uma amostragem em um GHE, configurando uma verdade para cada trabalhador individualmente, será mais próxima da realidade quanto mais restrita for a amostragem em relação a:

- Fontes geradoras com intensidade ou concentrações similares;
- Locais de trabalho com características comuns;
- Turnos de trabalho semelhantes.

## 2.8 Estratégia de amostragem

A referência "A Strategy for Occupational Exposure Assessment", da American Industrial Hygiene Association (AIHA), é sem dúvida uma das mais relevantes obras sobre estratégia de amostragem e, certamente, uma das mais complexas no que tange a definições de grupo homogêneo de exposição, quantidade de amostras, tempo de amostragem e tratamento dos resultados.

A figura 6, a seguir, demonstra vários tipos de amostragem que podem ser usados em uma estratégia para o monitoramento dos trabalhos em um GHE. A escolha da melhor estratégia depende de um estudo profundo das atividades, do local, do turno de trabalho e dos próprios trabalhadores.

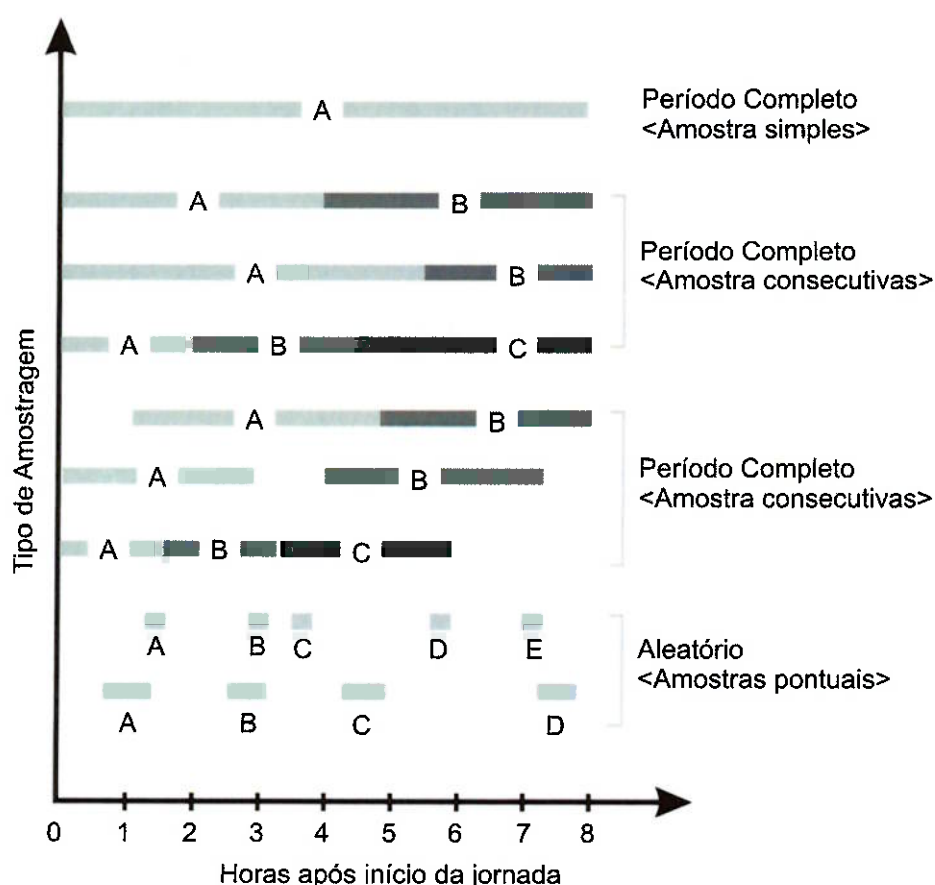


Figura 6 - Tipos de estratégias de amostragens.  
 Fonte: Adaptação LEIDEL, N. A., BUSCH, K. A., LYNCH, J. R., 1977, página 38

## 2.9 Mapas de ruído

Um mapa de ruído tem como objetivo desenhar uma representação visual de um ambiente acústico específico em uma determinada área geográfica. Esses mapas podem, ainda, demonstrar como se altera a distribuição espacial dos níveis de ruído com o tempo.

A elaboração e a utilização do mapa de ruído podem ser uma estratégia clara e objetiva para avaliar a exposição a esse elemento, de intercambiar informações mútuas e ainda de subsidiar informações aos trabalhadores sobre o grau de exposição pelo qual passam.

## 2.10 Instrumentos de medição de ruído

A sensação subjetiva da intensidade dos sons (*loudness*), devido às diferenças fisiológicas entre os indivíduos, é representada por uma grandeza acústica denominada nível de pressão sonora, com a qual é possível quantificar de forma objetiva as alterações sofridas no ambiente e a percepção do indivíduo.

O medidor de nível de pressão sonora é um instrumento que capta as variações de pressão sonora no ambiente, convertendo-as em sinais elétricos, e que através de filtros transmite ao usuário o valor que representa a grandeza do som, em dB (Decibel). A figura 7 demonstra um esquema prático de funcionamento de um medidor de nível sonoro com módulo de filtro para bandas de oitava.

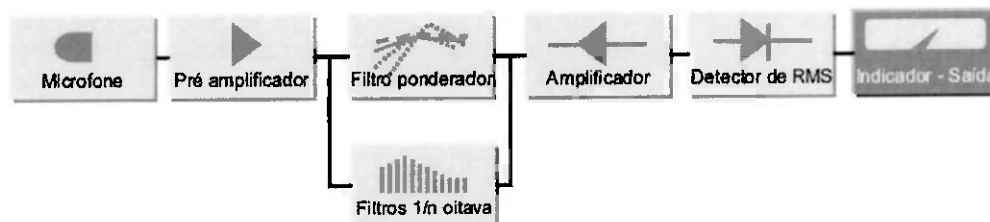


Figura 7 – Esquema básico de um medidor de nível de pressão sonora

Existem classes de medidores de NPS, conforme a norma da ANSI S1.4-1983:

- Classe 1: medidores de precisão, instrumentos de referência padrão, destinados a calibração de outros medidores de nível sonoro, utilizados em laboratórios de calibração.

- Classe 2: medidores de uso geral, usados largamente para as avaliações ocupacionais e reconhecidos pelos órgãos fiscalizadores.
- Classe 3: medidores de uso comum, com baixa precisão, são utilizados para simples avaliação aproximada do nível sonoro.

### 2.10.1 Microfones

O microfone tem a função de converter a pressão sonora captada no ambiente em um sinal elétrico equivalente. Corresponde a um dos itens mais caros em um sistema de medição. As características de um microfone estão relacionadas à sua curva de resposta em frequência, sua diretividade, estabilidade e sensibilidade. Em relação ao tipo de campo sonoro a ser medido, os microfones são classificados em incidência aleatória, campo livre e pressão, conforme figura 8, a seguir.

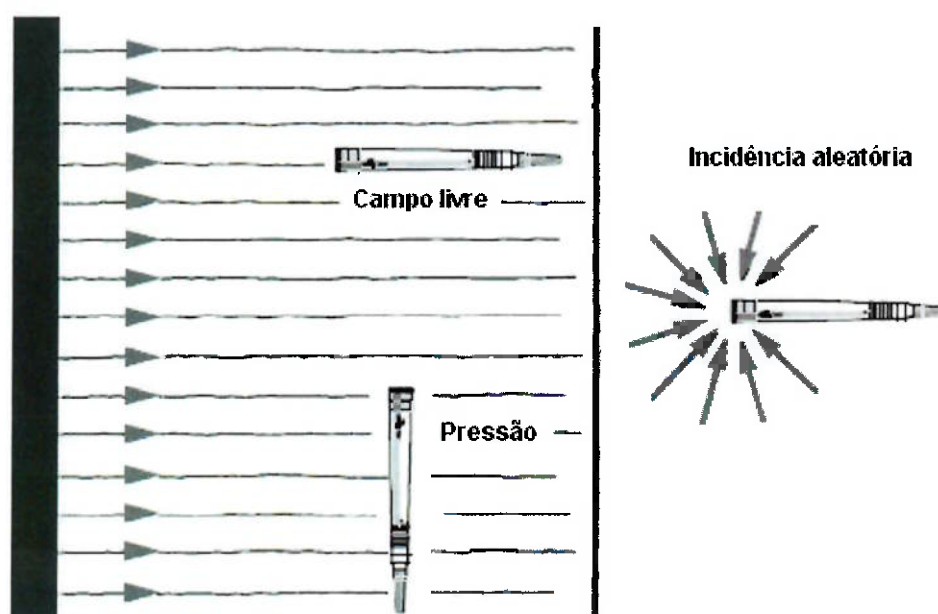


Figura 8 – Classificação dos microfones em relação ao tipo de campo  
 Fonte: Lecture Note: Basic Concepts of Sound da Brüel e Kjaer, BA –  
 7660-06, <http://www.bksv.com/Library/Primers.aspx>, 02/04/08.

A ANSI recomenda o uso de microfones de incidência aleatória para os medidores de níveis de sonoros, por serem projetados para responder uniformemente a todos os sinais de chegada, simultaneamente, e em todos os ângulos. Devem ser utilizados em situações nas quais haja várias fontes contribuindo para o nível global do ambiente.

Cuidados especiais devem ser respeitados, pois a presença de fatores, como umidade, variações de temperaturas e vento, pode alterar sensivelmente a medida realizada pelo microfone.

### **2.10.2 Filtros ponderadores**

Os filtros ponderadores são utilizados para a modificação do espectro sonoro nas diferentes frequências em relação à resposta real do sistema auditivo humano. Um dos fatores é que o ouvido humano não responde da mesma forma a todas as frequências, sendo mais sensível na faixa de 2kHz a 5kHz e menos sensível nas altas e baixas frequências.

O nível de audibilidade se correlaciona com a sensação subjetiva de intensidade dos sons do que propriamente com o nível de pressão sonora. A aproximação da sensibilidade auditiva com o nível de pressão sonora medido é realizada pelo filtro ponderador: o filtro introduz um sinal de entrada em funções de transferência baseadas nas curvas isofônicas, gerando um sinal de saída melhor correlacionado ao nível de audibilidade, porém a grandeza medida e fornecida pelo medidor continua sendo o nível de pressão sonora.

A figura 9 apresenta a função de transferência dos filtros ponderadores A, B, C e D. O filtro de ponderação A é largamente utilizado, uma vez que os filtros B e C não fornecem correlações bem sucedidas em testes subjetivos e são utilizados para outros tipos de avaliações, como por exemplo, em medição de ruído ambiental. O filtro D foi padronizado para medições em aeroportos.



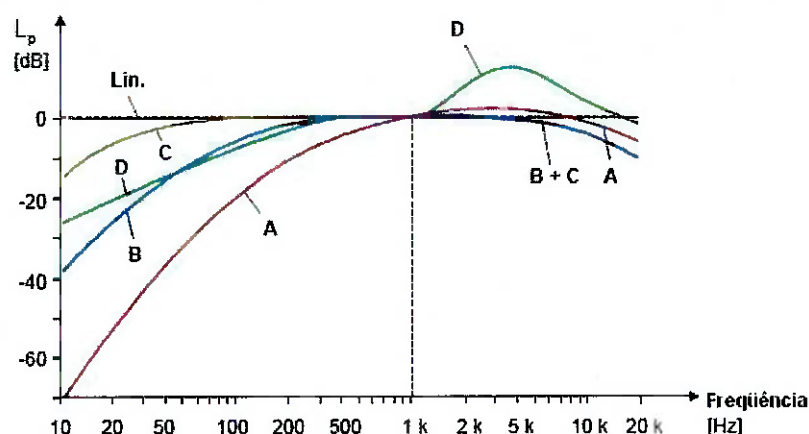


Figura 9 – Comportamento dos filtros ponderadores  
 Fonte: Lecture Note: Basic Concepts of Sound da Brüel e Kjaer, BA – 7660-06, <http://www.bksv.com/Library/Primers.aspx>, 02/04/08.

### 2.10.3 Filtros 1/n oitavas

O medidor de nível sonoro somente fornece os níveis globais obtidos nas diferentes frequências do som. Segundo BISTAFÁ (2006), o filtro de frequência é capaz de medir a energia em cada faixa de frequência que contribui para o nível sonoro global.

A figura 10 mostra uma distribuição de frequência de um nível global apresentado por um medidor. Nota-se que para cada frequência existe um valor correspondente de nível sonoro (dB), no qual o somatório de todos os níveis em todas as frequências implica o valor global medido.

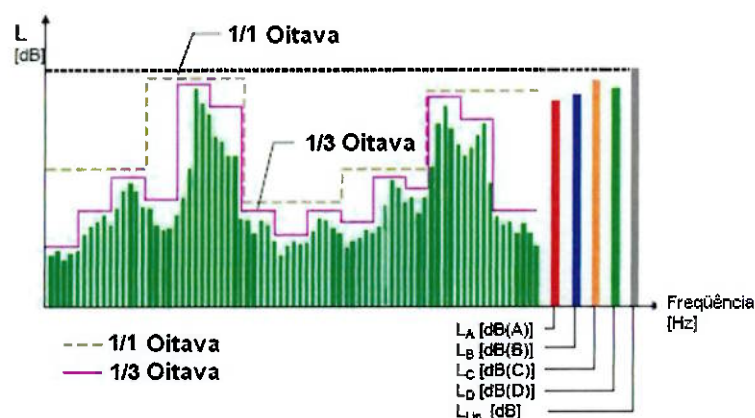


Figura 10 – Espectrograma em relação a bandas de oitava  
 Fonte: Lecture Note: Basic Concepts of Sound da Brüel e Kjaer, BA – 7660-06, <http://www.bksv.com/Library/Primers.aspx>, 02/04/08.

Quando é utilizado um filtro de frequência com análise de banda de oitavas, o sinal é representado pela curva pontilhada, conforme a figura 9, acima. Quando é necessário um maior detalhamento do sinal, o estudo pode ser realizado com o aumento da resolução numa análise de 1/3 oitava (terças de oitava), representado em barras na figura acima.

#### **2.10.4 Calibração**

A calibração, por definição, é a comparação da medida realizada por um equipamento, com padrões primários de referência rastreáveis e reconhecidos. Devido à dificuldade de se calibrar um equipamento continuamente com padrões primários, com necessidade de padrão primário e um ambiente totalmente controlado, são utilizados calibradores secundário para fins de conferência do sistema de medida que assegurem a precisão. Assim, é permitida a comparação entre medidas realizadas em momentos diferentes.

### 3 Materiais e Métodos

A ArcelorMittal Tubarão possui uma oficina de caldeiraria para atendimento interno com serviços de recuperação e manutenção de equipamentos produtivos. Como recuperação de rolos de laminação, construção e recuperação de dutos, recuperação de calhas de sucata, ventaneiras, entre outros.

A oficina de caldeiraria local, onde foi realizado todo o experimento, tem como principal finalidade a de realizar serviços de metal-mecânica para a recuperação e fabricação de peças, como cilindros de laminação, ventaneiras de cobre, recuperação de canaletas, entre outros.

#### 3.1 Detalhes estruturais da oficina

A Oficina de Caldeiraria é uma unidade composta por dois galpões em estrutura de ferro, com cobertura em telha alumínio e piso em concreto.

A figura 11, a seguir, apresenta uma visão geral da estrutura do galpão e disposição do ambiente interno.



Figura 11 – Visão geral da Oficina de Caldeiraria

Os obstáculos existentes consistem basicamente nas colunas estruturais, tubulações elétricas, maquinário, como prensa e guilhotina, e os produtos processados no setor, não existindo paredes internas para a divisão dos setores. Somente a área de Soldagem de Não Ferrosos possui divisória de chapa metálica ondulada, separando esse ambiente dos demais.

### 3.2 Setores de trabalho

A figura 12, a seguir apresenta um croqui da distribuição dos setores ao longo da oficina.

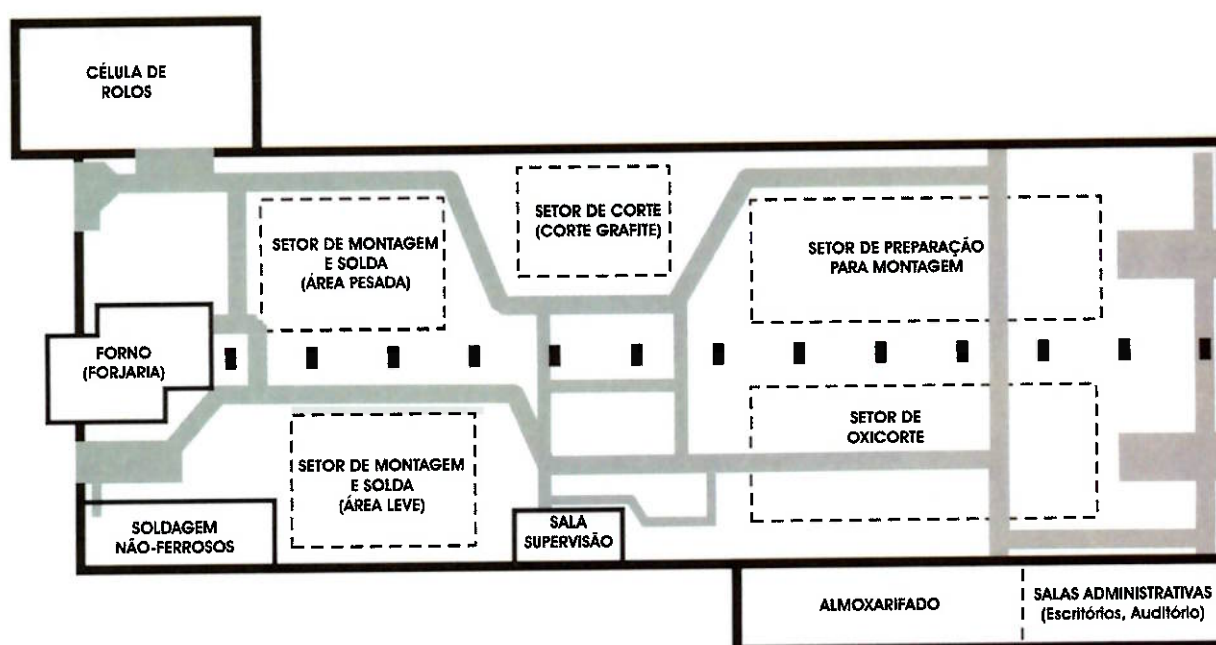


Figura 12 - Desenho esquemático dos setores da oficina

A oficina de caldeiraria é dividida basicamente em 4 setores de trabalho:

- Setor de Preparação para Montagem: onde são realizadas as atividades com equipamentos do tipo oxi-corte, calandras, dobradeira, guilhotina, furadeiras, oxi-corte CNC, conforme figuras 13, a seguir:



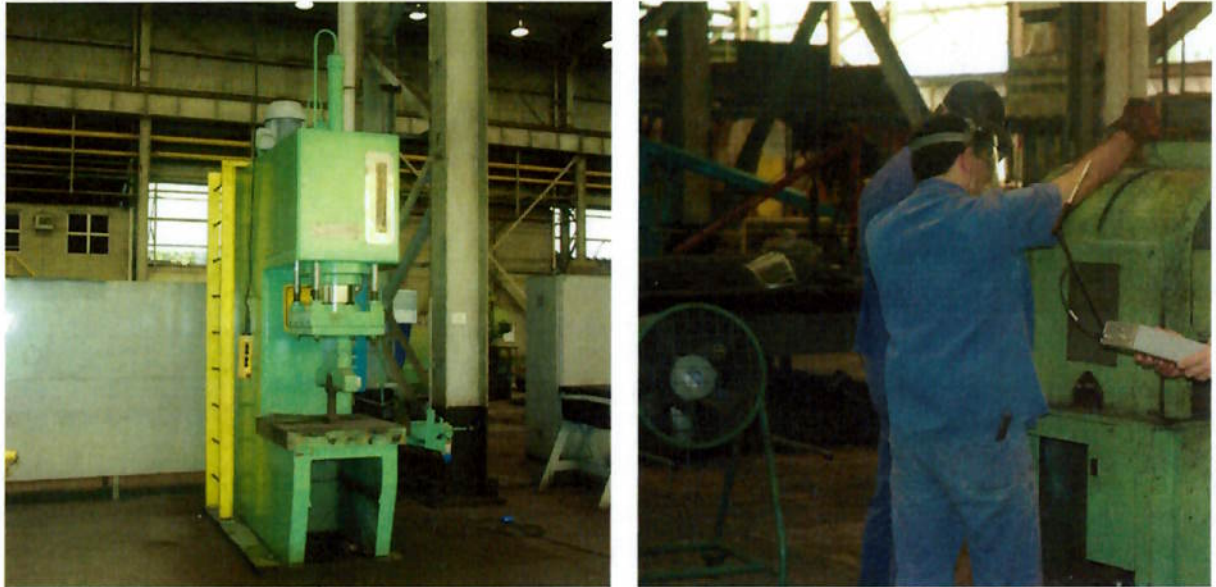


Figura 13 - Exemplos do Setor de Preparação para Montagem.

- **Setor de Montagem e Solda:** é dividido em montagem e solda pesada e montagem e solda leve. Nesses setores, o predominante é a realização de soldagem em geral. Na figura 14, a seguir, é possível verificar os exemplos de serviços realizados: a) soldagem leve em geral, e b) serviços de corte de grafite em canaletas de sucata.

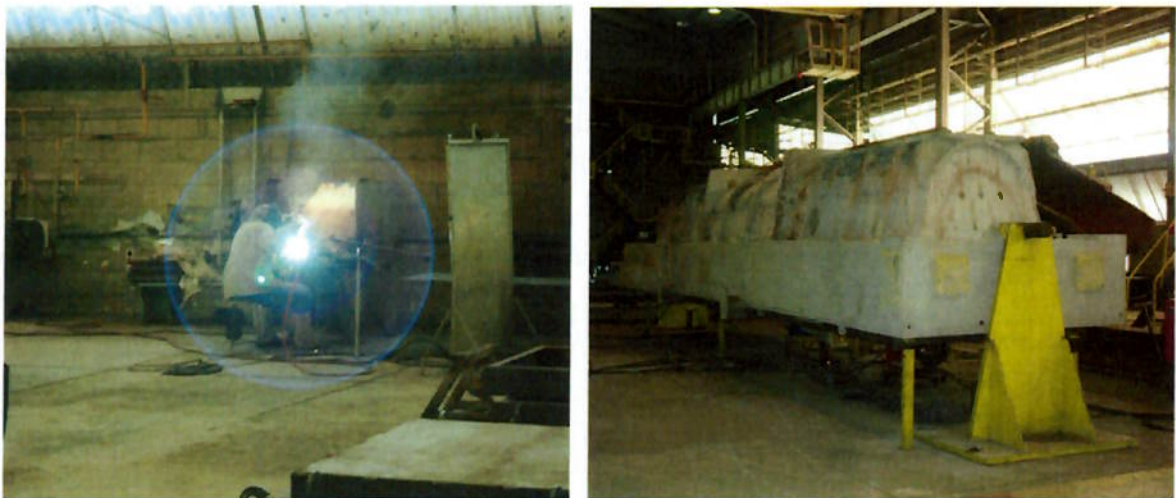


Figura 14 - Exemplo do Setor de Montagem e Solda – Área Leve.

- **Setor de Soldagem de Materiais Não Ferrosos:** onde são realizadas as soldagens do tipo TIG em materiais não ferrosos, como ventaneiras de cobre. A figura 15, a seguir, mostra um exemplo do serviço de recuperação em ventaneiras desse tipo.



Figura 15 - Exemplo do Setor de Soldagem de Materiais Não Ferrosos.

- Setor de Célula de Rolos: onde são realizadas as soldagens com arco submerso para recuperação de rolos das linhas de lingotamento. A figura 16, a seguir, mostra um exemplo do serviço de recuperação de rolos de laminação.



Figura 16 - Exemplo do Setor de Célula de Rolos.

### 3.3 Avaliações ocupacionais

A Tabela 3.1, a seguir, apresenta a avaliação ocupacional realizada em todas as funções que desempenham atividades operacionais na Caldeiraria. Os valores

apresentados foram obtidos por meio das dosimetrias realizadas nas funções e documentadas no Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA – da empresa.

Tabela 3.1 - Avaliação ocupacional dos trabalhadores na Oficina de Caldeiraria

Grupo	Função	LEQ dB(A)	Dose (%)	LT dB(A)	Estatística Descritiva <sup>1</sup>
01	Supervisor I	80,91	56,72	85	M = 63,20
	Op. Máquinas I	81,12	58,40	85	DP = 6,57
	Op. Fresadora Torno Médio	82,28	68,59	85	MG = 63,00
	Op. Máquinas II	82,34	69,16	85	DPG = 1, 11
02	Supervisor II	82,44	70,12	85	M = 70,60
	Op. Montagem I	80,16	51,12	85	DP = 15,70
	Op. Montagem II	82,57	71,40	85	MG = 69,20
	Op. Oxi-Corte	84,21	89,63	85	DPG = 1,26
03	Op. Máquinas Operatrizes	85,72	110,50	85	M = 131,00 DP = 19,30 MG = 130,00 DPG = 1,161
	Modelador	85,82	112,04	85	
	Caldeireiro	87,13	134,35	85	
	Op. Fundição Leve	87,76	146,61	85	
	Soldador	88,03	152,20	85	
04	Soldador Tig	91,68	252,45	85	---

As funções com maior exposição ao ruído expresso pela avaliação ocupacional como pode ser visto na tabela 3.1, encontram-se basicamente nos setores de Oxi-corte, Montagem/Soldagem leve e pesada e na Soldagem de Não Ferrosos, devido as características de atividades desenvolvidas. O uso de maçarico, soldagem do tipo TIG, corte a grafite e martetele pneumático contribuem para o aumento da intensidade no ambiente e consequentemente na exposição do trabalhadores próximos.

<sup>1</sup> Estatística descritiva com base nos valores de Dose, através do software IH Data Analyst-lite Edition v. 1.0.3, da Exposure Assessment Solutions, Inc., [www.oesh.com](http://www.oesh.com).

### 3.4 Características da jornada de trabalho

A Oficina de Caldeiraria funciona com três tipos de jornadas de trabalho:

- Turno Administrativo: das 8h às 17h, envolvendo as funções de gerente, engenheiro, técnico-administrativo e almoxarifado, em jornada de 8 horas.
- 1º Turno: das 6h às 14h – equipe operacional em jornada de 8 horas, em escala de revezamento.
- 2º Turno: das 14h às 22h – equipe operacional em jornada de 8 horas, em escala de revezamento.

### 3.5 Mapeamento dos níveis de pressão sonora da oficina

Os setores de trabalhos apresentam níveis de ruído intermitentes e variados, em função da variabilidade de serviços que ocorrem na oficina, muitas das vezes de forma simultânea.

Foram realizadas as medições dos níveis de pressão sonora através de detecção lenta em dB(A) para nível global, usando-se o LEQ, com pequenos intervalos, posicionado a uma altura aproximada de 1,7 m (semelhante a a medição próximo ao canal auditivo de uma pessoa mediana).

A medição permitiu a identificação de algumas fontes de ruído mais significativas e a visualização da ação de fontes simultâneas.

Os valores dos níveis de pressão sonora encontrados em algumas fontes ou durante as operações simultâneas de fontes encontram-se dispostos na tabela 4, a seguir.

Tabela 3.2 - Avaliação dos níveis de pressão sonora de fontes e operações

Ponto de medição		Leq dB(A)	L máx dB(A)	L min dB(A)	dB Peak
1	Próximo à Guilhotina (1 m de distância)	76,0	80,3	75,0	92,5
2	Operação na Prensa	77,0	80,5	75,0	93,8
3	Corte de cabo de aço com policorte	91,5	92,8	88,8	105,2



Tabela 3.2 - Avaliação dos níveis de pressão sonora de fontes e operações - Continuação

Ponto de medição		Leq dB(A)	L máx dB(A)	L min dB(A)	dB Peak
4	Operação de soldagem – Montagem Leve	81,3	87,8	74,1	102,5
5	Operação com corte de grafite e soldagem na área de não ferrosos simultaneamente.	93,8	93,7	92,7	109,9
6	Sirene da ponte rolante – movimentação de carga suspensa	93,0	95,0	92,6	108,4
7	Operações de soldagem – Montagem leve e marteleiro na área de não ferrosos.	93,8	94,7	92,7	109,9
8	Operações de aquecimento de materiais na bancada de preparação de peças	78,0	85,3	72,2	101,5
9	Operações de aquecimento de materiais na bancada de preparação de peças, operações de soldagem – Montagem Leve e uso de marteleiro na área de não ferrosos.	89,1	90,4	74,8	104,3
10	Operações de recuperação na célula de rolos e operação com marteleiro na área de não ferrosos.	82,0	86,5	73,0	90,8

Vale ressaltar que os níveis de pressão sonora obtidos durante as medições das fontes constituem em medições ambientais e não em medições ocupacionais dos trabalhadores que executam as atividades próximas das mesmas. As medidas ainda não consideram o uso de proteção auditiva dos trabalhadores.

### 3.6 Sistema de monitoramento contínuo

#### 3.6.1 Descrição dos equipamentos

O sistema de monitoramento contínuo de ruído foi elaborado a partir de soluções existentes no mercado, cuja montagem pode ser visualizada na figura 15.

Os principais componentes utilizados foram:

- microfones omnidirecional (incidência aleatória) com pré-amplificador de sinal;
- extensor para transmissão de dados (equipamento que converte e transmite os dados a uma distância de até 300 metros);
- placa USB analisadora de ruído e com filtro de frequência (leitura de 4 canais simultâneos) da National Instruments;

- computador Pentium IV, com aplicativos Windows XP® e pacote Office®, com HD de alta capacidade, para instalação do *software* de aquisição dos dados e com acesso à rede interna da empresa.
- *software* de aquisição e tratamento dos dados.

A placa analisadora de ruído possui 04 canais independentes, ou seja, funciona cada canal associado a um microfone. Assim com uma placa pode-se medir 04 pontos ou microfones diferentes em um mesmo ambiente, posicionados a uma distância máxima de 300 metros da placa.

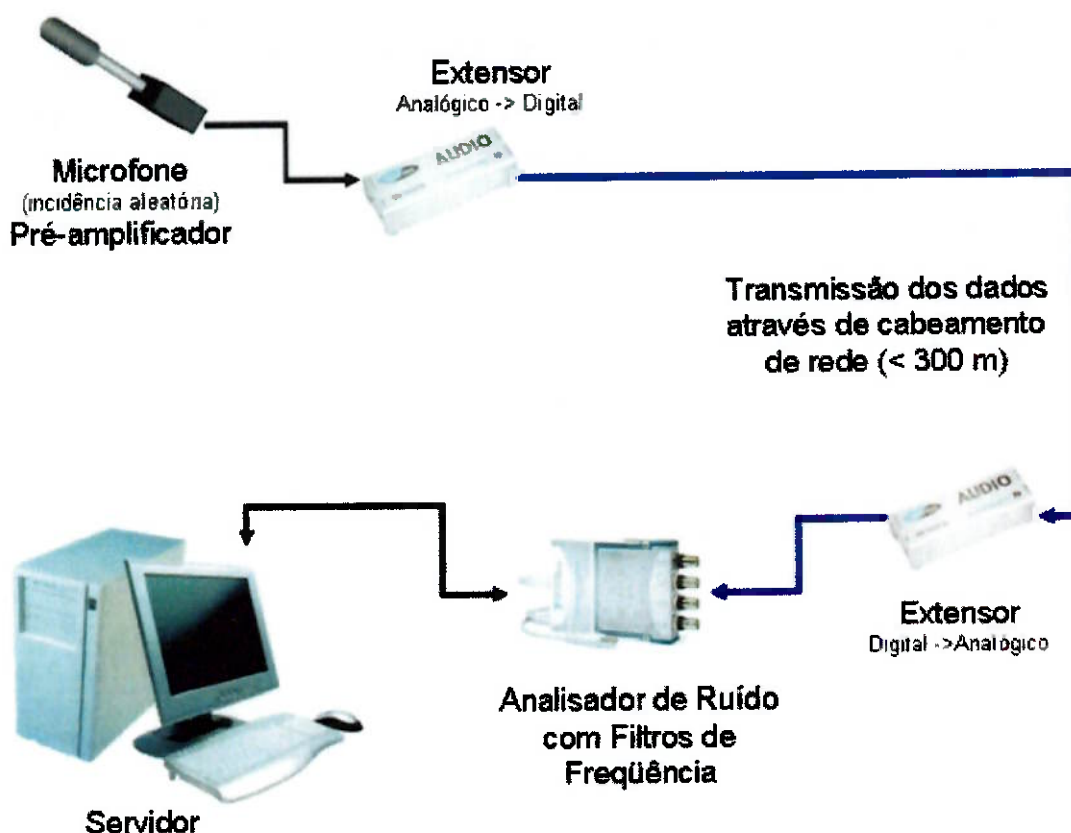


Figura 17 – Esquema de montagem do sistema de medição contínua de ruído.

O microfone capta as pressões sonoras no ambiente e transforma-as em sinal elétrico, que é amplificado. O sinal elétrico é direcionado para o extensor, que tem a finalidade de transmitir este sinal através de uma rede de transmissão de dados (conversão de sinal analógico em digital e vice-versa). O sinal é então alimentado na placa analisadora de ruído. A placa, por sua vez, tem uma interface com o computador via porta USB.

Essa placa analisadora tem uma série de funções a partir das quais, mediante uma plataforma de programação, é possível extrair as informações analisadas e convertê-las em informação passível de análise técnica, como os cálculos de  $L_{eq}$ , Dose acumulada,  $L_{máx}$  e  $L_{min}$ , os níveis sonoros por banda de frequência, entre outros.

A configuração inicial do sistema foi definida semelhante à utilizada nos audiodosímetros, sendo leitura na curva A dB(A) em modo "slow", com tempo de integração de 1 minuto e frequência medida em banda de oitava. A opção em utilizar o tempo de integração de 1 minuto, objetiva a comparação entre os valores obtidos pelo sistema e os avaliados em medições ocupacionais.

### 3.7 Coleta e armazenamento dos dados

A aquisição de dados foi obtida através da interface do *software* de aquisição com a placa analisadora de ruído e seus componentes. A arquitetura do *software* foi desenvolvida de forma a se obter individualmente os níveis de ruído gerado por cada canal e suas respectivas frequências em banda de oitavas, em tempo real.

O *software* trata dos níveis de pressão sonoros captados pelos microfones e os transforma nas medições de  $L_{eq}$ , dose acumulada,  $L_{máx}$  e  $L_{min}$  e de níveis de pressão em cada frequência nas bandas de oitava.

O *software* foi desenvolvido para captar e tratar os níveis sonoros, mas também para que fosse possível visualizar em tempo real as variações em cada canal. Conta com recursos de alarmes e gravação de som, acionados quando um nível sonoro selecionado é ultrapassado, o que facilita a caracterização das fontes e a tomada de decisão sobre a proteção do trabalhador.

Os arquivos gerados em formato texto (TXT), por ser de fácil manipulação e integração com outros *softwares*, gravam toda a informação por canal e por dia, de maneira que cada arquivo corresponde a uma medição de 24 horas contínuas.

A tabela 3.3, a seguir, apresenta um exemplo de um período de amostragem realizado, de forma que os dados em formato TXT foram importados para planilhas em Excel®, para melhor análise e elaboração de gráficos.

Tabela 3.3 - Exemplo dados coletados de uma amostragem contínua

Tempo (hh:mm)	Leq dB(A)	Lmáx	Lmin	Dose
				Acumulada (%)
08:20	64,82	65,44	64,45	0,00
08:21	64,23	62,38	62,28	0,00
08:22	63,30	62,12	61,94	0,00
08:23	62,19	65,92	64,11	0,00
08:24	64,09	63,85	63,62	0,00
08:25	67,33	84,92	84,21	0,04
08:26	78,61	85,96	85,45	0,25
08:27	85,03	80,16	79,42	0,27
08:28	71,85	77,70	74,05	0,40
08:29	82,06	83,02	82,77	0,44
08:30	77,51	63,01	62,90	0,51
08:31	79,41	67,79	66,06	0,54
08:32:	76,18	68,52	68,16	0,54
08:33	68,39	66,00	64,71	0,54
08:34	68,29	68,32	64,97	0,54
08:35	69,45	63,30	63,26	0,54
08:36	67,54	85,51	84,28	0,62
08:37	80,77	84,31	83,62	0,76
08:38	82,94	67,02	66,96	0,87
08:39	81,35	66,23	65,91	0,87
08:40	66,28	66,57	66,50	0,93

Nota:

Lmáx e Lmin representam, respectivamente, os níveis máximos e mínimos obtidos no intervalo entre medições, nesse caso correspondentes a 1 minuto.

A tabela 3.4, a seguir, apresenta um exemplo dos dados de frequência em relação a bandas de oitavas.

Tabela 3.4- Exemplo dados coletados - registros por frequência

Hora	16 Hz	31,5 Hz	65 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz	Leq
08:00	51,44	49,25	55,92	49,91	48,81	45,96	43,49	43,03	43,00	48,27	54,01	60,82
08:01	51,33	49,68	55,28	49,20	48,70	45,94	43,63	43,89	42,34	46,68	54,01	60,51
08:02	50,89	50,54	55,24	49,53	48,41	47,20	44,38	43,41	42,58	46,39	54,05	60,59
08:03	51,04	49,62	55,63	50,48	48,91	45,30	43,05	43,87	42,29	46,26	53,95	60,64
08:04	51,33	49,41	55,18	49,73	48,46	45,13	42,73	43,47	42,29	46,16	53,70	60,35
08:05	51,57	50,50	55,34	49,51	48,21	45,30	43,43	43,71	42,38	46,28	53,89	60,56
08:06	51,19	51,08	55,92	50,22	48,93	45,97	43,69	44,01	42,35	46,67	53,94	60,91
08:07	50,81	50,29	56,62	48,68	48,88	45,71	42,72	43,61	42,47	46,44	54,13	60,92
08:08	50,87	50,69	55,51	49,43	48,13	45,26	43,11	43,70	42,56	46,42	54,04	60,57
08:09	51,65	50,76	55,50	48,91	48,15	45,62	42,86	43,48	42,32	46,30	53,78	60,57
08:10	51,21	50,53	55,37	50,47	48,35	45,31	43,17	43,40	42,50	46,29	53,98	60,63
08:11	51,05	50,52	55,46	48,74	47,94	45,23	42,56	43,08	42,40	46,31	53,81	60,42
08:12	50,66	51,94	54,96	49,89	48,42	45,55	42,80	43,65	42,54	46,36	53,90	60,56
08:13	50,92	50,51	56,33	50,56	48,67	46,28	45,06	44,82	42,35	46,22	53,75	60,98
08:14	51,32	49,83	55,16	48,61	48,01	45,13	42,69	43,52	42,83	46,47	54,26	60,41
08:15	51,32	50,48	55,24	49,72	49,12	45,69	42,56	43,53	42,23	46,18	53,65	60,51
08:16	51,06	50,54	55,55	55,22	50,30	47,72	44,42	43,58	42,80	46,22	53,83	61,62
08:17	50,87	49,85	55,23	48,55	48,05	45,31	43,16	43,45	42,37	46,24	53,70	60,25

## 4 Resultados

### 4.1 Análise dos dados de monitoramento contínuo de ruído

A instalação do sistema de monitoramento contínuo proposto, até o término deste trabalho, não foi concluído, porém encontra-se em fase de adequação de instalações elétricas e de transmissão de dados. Dessa forma, todas as análises dos resultados obtidos foram com base nos testes de campo realizados com um único canal e com equipamento posicionado em um tripé próximo à sala de supervisão

Após a realização dos testes de campo, os dados arquivados em formato digital (formato TXT) foram exportados para planilhas eletrônicas de Excel® (formato XLS), para a análise dos resultados e, assim, serem gerados os gráficos para acompanhamento.

A Figura 18 apresenta um exemplo do gráfico da distribuição dos níveis sonoros de uma medição contínua de 24 horas gerado pelo sistema.

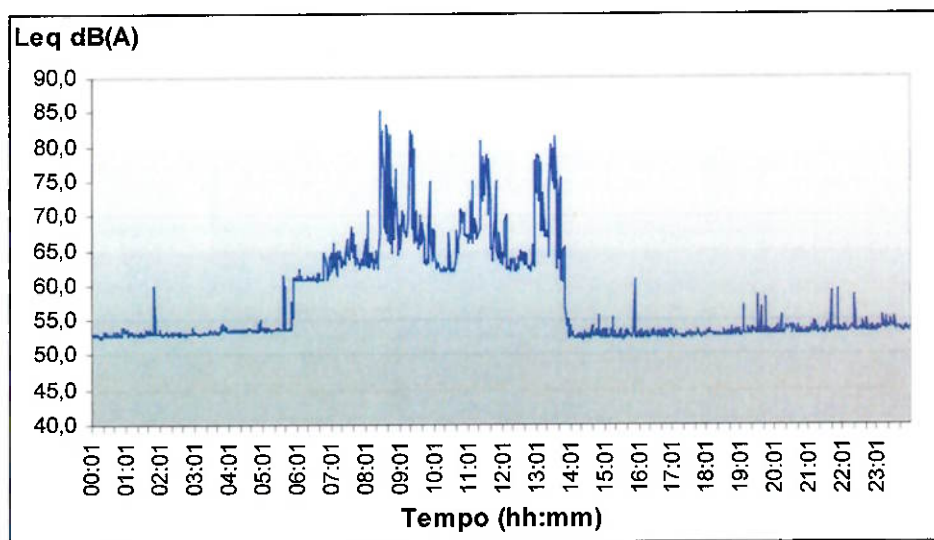


Figura 18 – Níveis de pressão sonora durante o período de 24h

O *software* de aquisição de dados calcula a dose acumulada ao longo do período de medição, bem como registra os  $L_{m\acute{a}x}$  e  $L_{m\acute{i}n}$ . Avaliando o histograma da porcentagem de tempo em que os níveis sonoros estiveram durante a avaliação, foi possível a realização do cálculo do ruído residual,  $L_{90}$ .

A tabela 4.1, a seguir, apresenta os dados obtidos:

Tabela 4.1 – Análise da distribuição dos NPS em 24h do monitoramento		
Parâmetro	Valor	Unidade
Dose Total	15,0	%
Leq	71,1	dB(A)
L <sub>máx</sub> do período	86,2	dB(A)
L <sub>mín</sub> do período	52,0	dB(A)
Ruído Fundo (L <sub>90</sub> )	52,0	dB(A)
Tempo de coleta de dados	1440	minutos

O resultado apresentado na figura 2, acima, pode ser analisado período, seja por turno de trabalho ou em um determinado intervalo de tempo, para melhor caracterização dos eventos ocorridos e que contribuem para os níveis de pressão de sonora, o que auxilia no entendimento e na caracterização do comportamento sonoro do ambiente.

A partir do gráfico, figura 19, reduzindo-se o intervalo de tempo da jornada de trabalho realizada no 1º turno (das 6h às 14h), obteve-se o gráfico, conforme figura 19 a seguir:

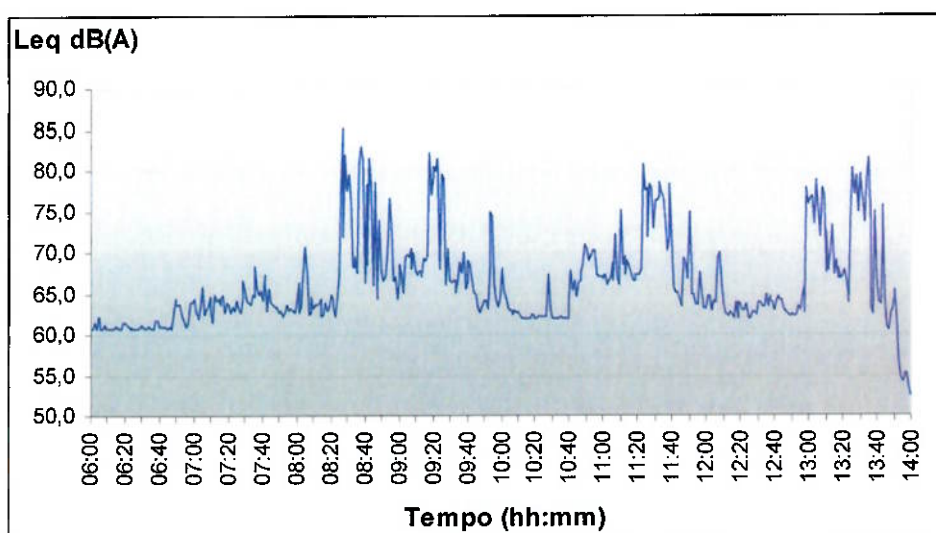


Figura 19 - Gráfico da distribuição dos níveis sonoros no horário das 6h às 14h

Com a redução do período de análise, podem-se verificar as grandes variações que ocorrem durante a jornada de trabalho. Os níveis de ruído variam em até 15 dB(A)

em pequenos intervalos de tempo, o que leva a crer que nesses curtos intervalos grande quantidade de energia sonora é lançada no ambiente devido a atividades específicas, como o uso de martelo pneumático, esmerilhadeira, aparelhos de solda e outros equipamentos.

A tabela 4.2 apresenta a análise da distribuição dos níveis sonoros durante o 1º turno:

Tabela 4.2 - Análise da distribuição dos NPS no 1º Turno		
Parâmetro	Valor	Unidade
Dose Total	5,0	%
Leq	63,3	dB(A)
L <sub>máx</sub> do período	86,2	dB(A)
L <sub>mín</sub> do período	52,0	dB(A)
Ruído Fundo (L <sub>90</sub> )	52,0	dB(A)
Tempo de coleta de dados	480	minutos

Quando se reduz ainda mais o intervalo, fica mais fácil a análise dos eventos ocorridos, a ponto de iniciar o reconhecimento e a caracterização de fontes geradoras de ruído.

A figura 20, a seguir, apresenta o gráfico de um intervalo de duas horas, ocorrido dentro da jornada de trabalho:

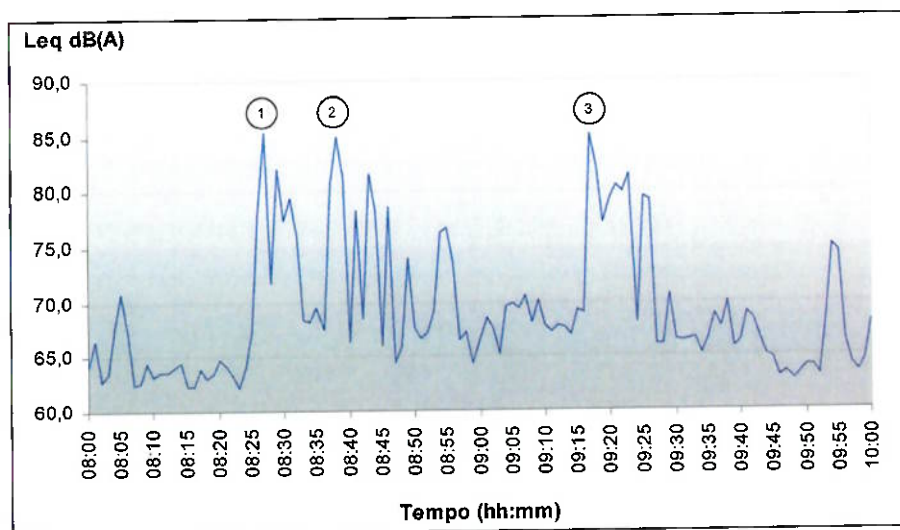


Figura 20 - Níveis sonoros em um intervalo para caracterização de fontes



Quando é reduzido o intervalo, fica mais nítida a variação dos níveis sonoros advindos das diferentes fontes no ambiente de trabalho. Os pontos identificados no gráfico 4, pontos 1, 2 e 3, representam o nível de pressão sonora alcançado pela atividade de lixamento de superfícies metálicas.

A figura 21, demonstra a variação de frequência em banda de oitava da fonte (operação com esmeril). Nota-se a predominância de intensidade da região de alta frequência, acima de 4000 Hz.

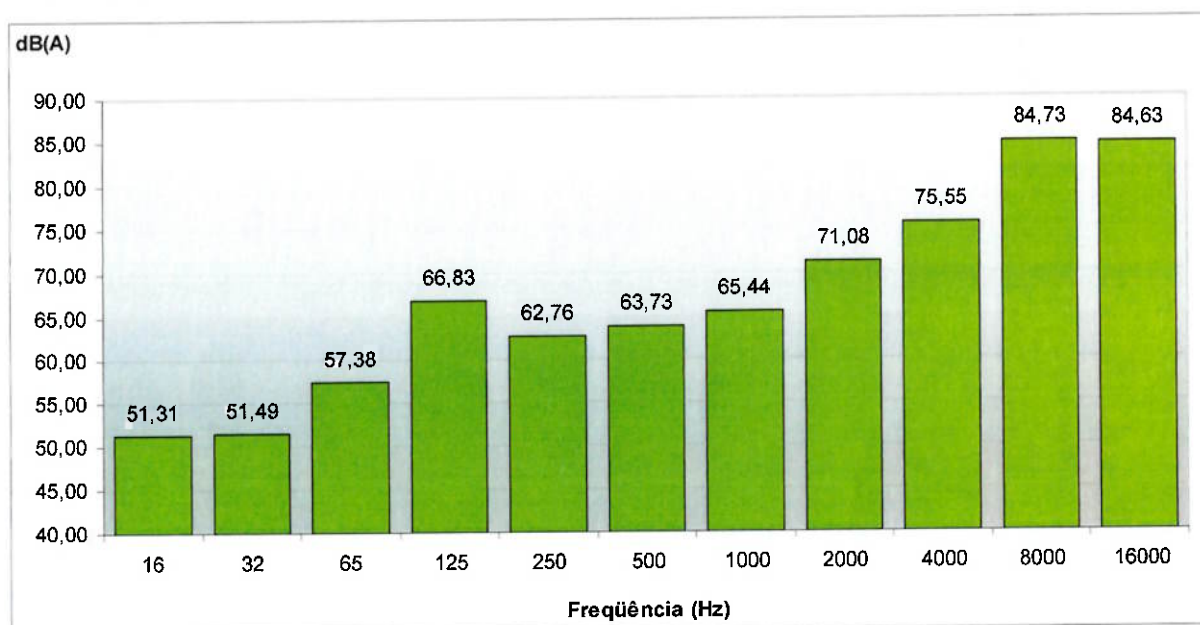


Figura 21 – Gráfico de frequência às 08:26 h, operação de esmeril em metal.

Quando se analisa a frequência em diferentes intervalos, nos picos ocorridos conforme apresentado na figura 20, pontos 1, 2 e 3, pode-se verificar que para a atividade de limpeza de superfície metálica (remoção de rebarbas), a frequência varia muito pouco, como mostra o gráfico na figura 22. Dessa maneira, é possível avaliar a contribuição dessa fonte no nível global e, no caso de implantação de medidas de controle, qual a melhor forma de redução.

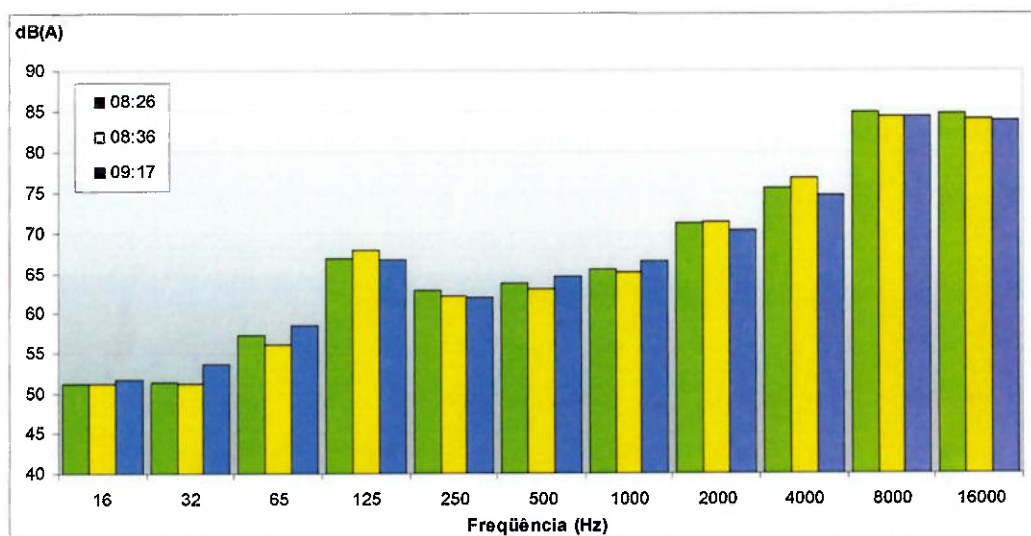


Figura 22 - Espectro de frequência - Limpeza de superfícies metálicas

A partir da figura 18, utilizando-se o intervalo de tempo da jornada de trabalho realizada no 2º turno (das 6h às 14h), obteve-se o gráfico, a seguir, figura 23:

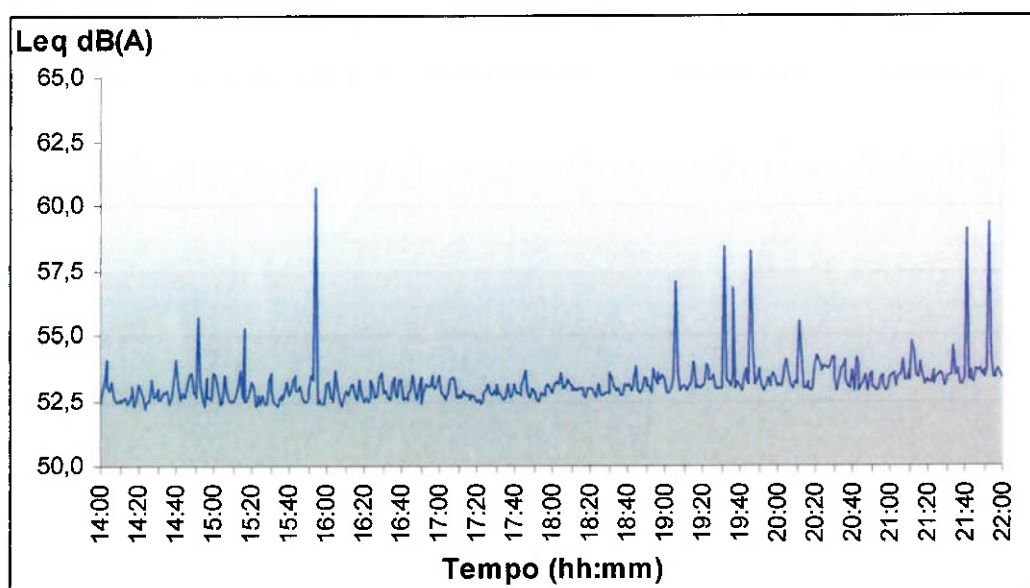


Figura 23 - Distribuição dos níveis de pressão sonora no horário das 14h às 22h

A tabela 4.3 apresenta a análise da distribuição dos níveis sonoros referentes ao segundo turno:

Tabela 4.3 - Análise da distribuição dos NPS no 2º turno

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Dose Total	5,0	%
Leq	53,3	dB(A)
L <sub>máx</sub> do período	62,3	dB(A)
L <sub>mín</sub> do período	52,0	dB(A)
Ruído Fundo (L <sub>90</sub> )	52,0	dB(A)
Tempo de coleta de dados	480	minutos

Assim como realizado no 1º turno, toda a análise pode ser detalhada a partir de intervalos menores. Com o comportamento sonoro do 2º turno, pode-se concluir que nesse período não houve atividades operacionais, ou as atividades realizadas na oficina não envolveram a utilização das principais fontes de ruído, já citadas neste estudo. Os níveis encontrados, oscilando entre 50 e 60 dB(A), segundo a NBR 10.152/1987, seriam níveis estabelecidos para escritórios e não para uma área operacional.

## 4.2 Avaliação da exposição semanal

De posse de várias distribuições diárias, é possível também avaliar a semana, unindo as distribuições dos níveis de pressão sonora dia a dia. A figura 24 demonstra um exemplo de um teste realizado no monitoramento contínuo de uma semana, o gráfico mostra a distribuição de ruídos ao longo do período. Dessa forma, pode-se analisar não somente uma amostra pontual realizada, mas todo comportamento, variações e eventos que contribuem para o incremento da dose diária e até mesmo semanal do trabalhador.

## 4.3 Avaliação de atenuação dos protetores auditivos

A partir dos dados de frequência, é possível avaliar a atenuação do protetor auricular em relação aos níveis de frequência do ambiente. Um exemplo disso foi a operação realizada no Setor de Não Ferrosos, que consiste na atividade de uso de martetele pneumático sobre a superfície metálica.

A tabela 4.4, a seguir, apresenta os níveis de pressão sonora realizada em cada frequência de banda de oitavas. O exemplo citado na tabela 4.4 foi retirado das medições de mapeamento de fonte da área, conforme item 3.5. Porém, as mesmas informações podem ser retiradas da análise de frequência obtida no monitoramento contínuo, relativa a uma fonte específica ou a um nível global oriundo de diversas fontes que podem alterar sensivelmente a exposição do trabalhador.

Tabela 4.4 – Níveis de pressão sonora medido em oitava

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
<b>dB</b>	86,5	87,4	88,7	97,2	101,1	100,9	95,2
<b>dB(A)</b>	70,5	78,4	85,7	97,2	102,1	101,9	94,2

Outras informações importantes devem ser levantadas para o cálculo da atenuação do protetor auricular.

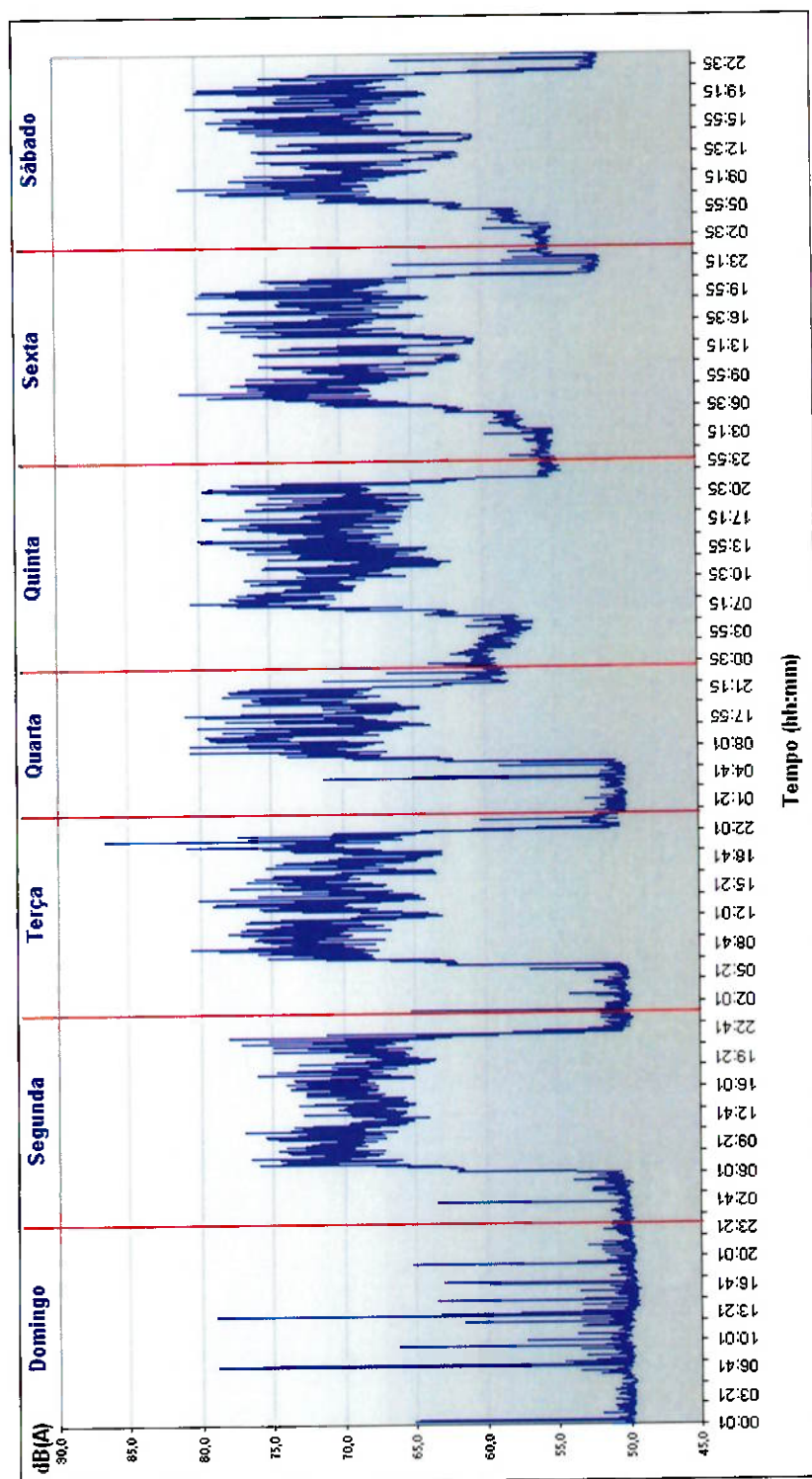


Figura 24 - Níveis de pressão sonora ao longo de uma semana

No caso específico da oficina, os trabalhadores utilizam o protetor auricular tipo concha, da MSA, modelo 05, n° de Certificado de Aprovação – CA: 820, cujo NRRsf, fornecido pelo fabricante, é de 17 dB, conforme Método Subjetivo (ANSI S.12 6/B 1997).

Assim, com base nos níveis sonoros por frequência (tabela 4.5) e os dados técnicos de atenuação do protetor auricular, conforme tabela 10, pode-se calcular o valor de NRRsf real.

Tabela 4.5 - Informações técnicas dos protetores							
	Frequências Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Atenuação dB</b>	8,2	14,9	13,8	21,8	31,7	37,3	36,6
<b>Desvio (<math>\sigma</math>)</b>	2,2	2,4	2,1	2,5	3,2	3,3	4,5

Através de um *software* específico para cálculo de atenuação de protetores auditivos, são lançadas as informações técnicas do protetor e os níveis, tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Resultados da análise (NIOSH1) – confiabilidade de 98%	
<b>Parâmetros</b>	<b>Intensidade dB(A)</b>
NRRsf Calculado (98% conf.)	15,7
Atenuação Global	22,5
NIC s/ EPI	97,0
NPS Global	106,0
NPS Global c/ EPI	83,6

Com base no NRRsf (98%) calculado deve ser avaliada cada banda de frequência de modo a verificar se há atenuação adequada do protetor auditivo nas diferentes frequência predominantes.

## 5 Discussão

O sistema foi validado por meio de sua calibração pelo Laboratório do INMETRO. Os resultados demonstraram que o equipamento fornece respostas tão confiáveis como os medidores de níveis sonoros disponíveis no mercado. O equipamento foi classificado, não de forma oficial, na classe 1, que é dada aos equipamentos usados em laboratório.

A medição contínua possibilita não somente a amostragem mais representativa, por apresentar um histórico maior de dados, mas também a tendência e as variações contidas na exposição. Quanto maior o número de amostras, mais representativo se torna o resultado. Além disso, com a possibilidade de acompanhamento de período completo, dia após dia, há a possibilidade de uma análise mais eficaz das informações e conseqüentemente melhor ação sobre os controles da exposição.

A redução da exposição ao ruído não é uma tarefa simples, pois, por exemplo, para que se ganhe uma redução de 5 dB(A), é necessário muito estudo e, certamente, investimentos.

A utilização de um sistema contínuo de monitoramento pode embasar melhor as ações de controle da exposição, pois na caracterização efetiva das fontes, através dos espectros de frequência, será possível desenhar uma solução técnica mais adequada não só para a redução do nível de sonoro global, mas também da atuação sobre a frequência predominante ou de maior intensidade.

Outro aspecto positivo do monitoramento contínuo é que, com o reconhecimento das frequências emitidas no ambiente de trabalho, é possível avaliar periodicamente a eficácia da proteção auditiva utilizada pelos trabalhadores, podendo os profissionais de segurança atuar mais rapidamente no caso de necessidade de substituição do protetor por outro de maior atenuação.

A figura 25, a seguir, apresenta o gráfico com o resultado da atenuação real do protetor auricular por banda de frequência:



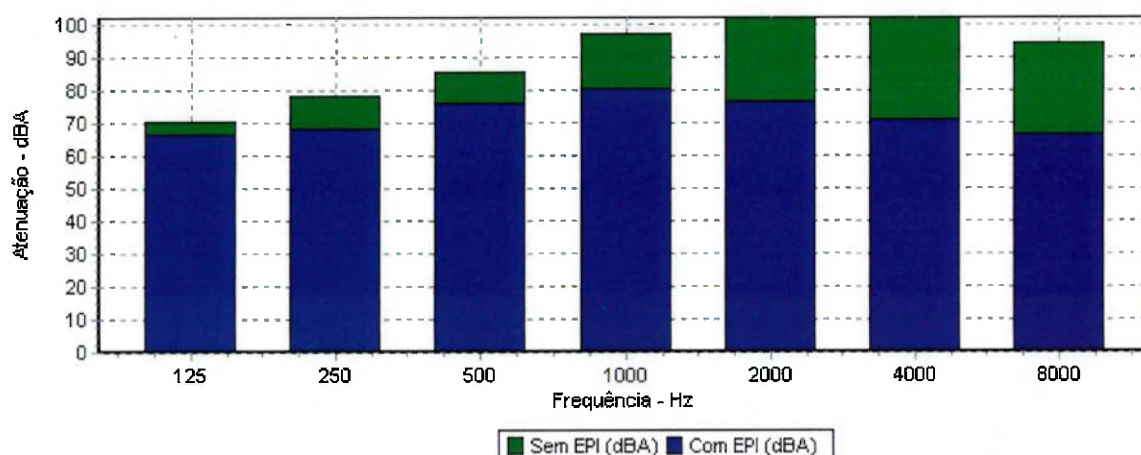


Figura 25 – Gráfico dos resultados da avaliação (Confiabilidade de 98%)

Dessa forma, podem-se identificar, por meio de monitoramento contínuo, as piores situações de exposição do trabalhador, ou seja, os maiores níveis globais identificados, além de se encontrar a respectiva distribuição de frequência dessa situação. Também, a partir da utilização do *software* de cálculo de atenuação, será possível verificar se o protetor está efetivamente protegendo o trabalhador, atenuando os níveis de pressão sonora de forma global e em cada banda de frequência.

O mapa de ruído permite conhecer o ambiente sonoro de um determinado lugar em um dado momento. A utilização de um sistema de monitoramento contínuo para a obtenção de dados históricos possibilita que o mapa de ruído possa ser atualizado quase em tempo real para a geração de mapas, com os dados que são coletados continuamente.

Com a medição contínua em curso, será possível a extração das informações sonoras da área, e, com o devido tratamento dessas, será possível a definição de estratégias de atuação para eliminar ou reduzir a exposição dos trabalhadores ao ruído.

Como já comentado, o sistema de monitoramento contínuo não tem a intenção de substituir o método atual de medição ocupacional, conforme NHO 01 (FUNDACENTRO). Na verdade, vem como uma ferramenta complementar para a



avaliação da exposição do trabalhador a ruídos mediante a análise das variações dos níveis sonoros do ambiente de trabalho.

Outro aspecto importante que deve ser ressaltado é que um sistema de monitoramento contínuo de ruído pode fornecer um conjunto de informações capazes de auxiliar os gestores da área, no controle da exposição ao ruído. Os controles poderiam ser o melhor dimensionamento dos tempos de exposição em determinadas atividades, a reorganização do layout da área, o acompanhamento do desempenho de determinados equipamentos (ou fontes), entre outros.

Por se tratar de um sistema que utiliza energia elétrica para o funcionamento do amplificador e do extensor (transmissor de dados), cuidado especial deve ser tomada para garantir o mínimo de oscilações, evitando assim perturbações ou falseamento dos resultados medidos.

O sistema foi testado em uma rede interna com possibilidade de oscilações, não apresentando alterações significativas nos resultados, vale ressaltar a importância em se estudar o real comportamento mediante oscilações, visto que a garantia de estabilidade é um processo muito complexo no âmbito de redes elétricas industriais.

O sistema proposto pelo presente trabalho foi concebido por meio da montagem individual de equipamentos de tal maneira que a integração em todos os componentes que para o uso destinado em sua concepção poderá ser avaliado com os equipamentos prontos disponíveis no mercado, utilizados em monitoramento ambiental, com metodologias e *softwares* que possibilitam toda a análise técnica.

Outra oportunidade deve ser a de avaliar outras tecnologias de transmissão de dados, visto que num ambiente industrial, dependendo dos locais, pode-se ter uma infinidade de interferências, como distância elevada entre transmissor-receptor, restrições de radiofrequência, presença de agentes agressores, entre outros. São alguns exemplos sistemas como fibra ótica e *Wireless*. Esta última com cuidado especial, pois em ambiente industrial existem uma gama muito grande interferências que podem prejudicar a qualidade do sinal, como campos magnéticos, barreiras físicas entre outros.

De posse de uma base histórica será possível, no futuro, a realização de um estudo para verificar se será possível correlacionar os níveis sonoros do ambiente com a exposição ocupacional do trabalhador, por meio de tratamento estatístico dos dados coletados, aliado à caracterização de frequência e ao reconhecimento das atividades desenvolvidas no local.

## **6 Conclusão**

O sistema de monitoramento contínuo de ruído apresentou resultados significativos, sendo possível realizar análise do comportamento sonoro na Oficina de Caldeiraria ou em ambientes fechados, e, de posse desses dados, é possível entender melhor a exposição do trabalhador e a contribuição de cada fonte geradora de ruído.

A medição de frequência possibilitou um acompanhamento mais efetivo das proteções auditivas utilizadas pelos trabalhadores, considerando-se a atenuação real por frequência, conforme o Método NIOSH 2.

## 7 Referências Bibliográficas

LEIDEL, N. A., BUSCH, K. A., LYNCH, J. R., **A Strategy for Occupational Exposure Assessment**, U.S. Department of Health, Education, And Welfare, National Institute for Occupational Safety and Health, Ohio, Janeiro 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1999;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 1987;

ARAÚJO, S. A., **Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores de metalúrgica**. Scielo: disponível <http://www.scielo.com.br>, 06 de setembro de 2001.

BISTAFÁ, S. R., **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006

GERGES, S. N. Y, **Ruído – Fundamentos e Controle**, 1ª. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.

LEIDEL, N. A.; BUSCH, K. A.; LYNCH, J. R., **Occupational Exposure Sampling Strategy Manual**, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Janeiro 1977

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria 3.214 de Jul. 1978. **Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho**. Brasília, 1978 disponível em <http://www.mte.gov.br/>, Fevereiro 2008.

\_\_\_\_\_. **NR-15: Atividades e operações insalubres**. Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho. Brasília, 1978

SELIGMAN, J.; IBANEZ, R.N. - Considerações a respeito da perda auditiva induzida pelo ruído. ACTA AWHO, 12:75-9, 1993.

## 8 Bibliografias Consultadas

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH, **TLVs e BEIs, Limites de Exposição (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos e Índices Biológicos de Exposição (BEIs)** - Tradução autorizada para o português feita pela Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais - ABHO), 2006.

American National Standards Institute, **Methods for Measuring the real-ear attenuation of hearing protectors**. ANSI S12.6-1997 American National Standards Institute, New York, NY, 1997.

NHO 01 - **Norma de Higiene Ocupacional - Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído**, Fundacentro, 2001

NIOSH, **Criteria for a Recommended Standard - Occupational Noise Exposure**, Revised Criteria. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. DHHS (NIOSH) Publication No. 98-126, 1998.