

OK

ELVIO FERREIRA JUNIOR

**ANÁLISE DO ESPECTRO SONORO EM BANDAS DE OITAVA NA
ESCOLHA DO PROTETOR AURICULAR**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para conclusão do Curso de Especialização
em Higiene Ocupacional

São Paulo

2006

EPMI
ESP/HO-2006
F413a

ELVIO FERREIRA JUNIOR

**ANÁLISE DO ESPECTRO SONORO EM BANDAS DE OITAVA NA
ESCOLHA DO PROTETOR AURICULAR**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para conclusão do Curso de Especialização

Área de Concentração:
Higiene Ocupacional

**São Paulo
2006**

A Geraldo Ferreira (*in memoriam*), meu avô, exemplo de trabalho árduo, honesto e de retidão.

A meus pais, Joselita e Elvio, como retribuição pelos longos anos de estímulo ao estudo.

A Luciana, minha esposa, com amor e gratidão pelo apoio todos os dias.

“Para Tales... a questão primordial não era o que sabemos,
mas como sabemos.”

Aristóteles

RESUMO

O ruído é um agente importante na Higiene Ocupacional. Diversas vezes a proteção à exposição ao ruído depende exclusivamente do uso de protetores auriculares. A escolha do protetor auricular adequado depende, antes de mais nada, da correta avaliação ambiental. No presente estudo de caso, foram avaliados os níveis de pressão sonora de dois setores da área fabril de uma empresa metalúrgica, sendo realizada a análise do espectro sonoro em bandas de oitavas. A partir desses resultados foram calculados os níveis de pressão sonora atenuados fornecidos por 16 protetores auriculares aprovados para uso no Brasil. Foram utilizados o nível de redução de ruído *subject fit* (NRR_{sf}) e o método longo. Observou-se uma diferença considerável nas atenuações fornecidas pelos dois métodos, principalmente para os protetores auriculares de menor NRR_{sf} . Concluiu-se que a análise em bandas de oitavas é uma ferramenta importante na decisão de quais equipamentos de proteção utilizar e que os resultados obtidos com o uso de números únicos de atenuação (como o NRR_{sf}) devem ser analisados com cuidado, especialmente se os níveis protegidos obtidos forem muito próximos do limite de tolerância pretendido.

ABSTRACT

Noise is a relevant agent in Industrial Hygiene. In many cases, noise protection relies just upon ear protectors' wearing. In order to choose noise protectors that provide adequate attenuation, it is necessary to conduct a correct environmental noise assessment. This case presents the noise evaluation of two industrial environments in a steel mill. Octave band sound spectrum analysis was conducted. With these results, the protected sound pressure levels provided by 16 noise protectors used in Brazil were calculated, using the noise reduction rate subject fit (NRR_{sf}) and the long method. The values obtained with the two methods were quite different, mainly for the protectors with lower NRR_{sf} . It was concluded that the octave band noise spectrum analysis is important in the process of choosing noise protectors, and that single noise attenuation numbers (such as the NRR_{sf}) must be taken with care, specially if the obtained protected levels are very close to the considered threshold levels

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Justificativa.....	2
2. Revisão da Literatura	3
3. Material e Métodos	11
4. Resultados	20
5. Discussão.....	25
6. Conclusões	27
Lista de Referências.....	28
Bibliografia Consultada	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos da relação entre o formato de onda e seu espectro de frequência.	3
Figura 2 – Espectro de frequências de dois ruídos industriais comuns	5
Figura 3 – A orelha humana. No canal auditivo observa-se protetor auricular...	5
Figura 4 – Curvas de audibilidade de Fletcher e Munson e da ISO	6
Figura 5 – Curvas de Ponderação	7
Figura 6 – Espectro máximo de ruído recomendado pela OSHA	7
Figura 7 – Determinação da redução de ruído necessária para um dado ambiente utilizando o espectro recomendado pela OSHA	8
Figura 8 – Forjaria	11
Figura 9 – Forjaria	12
Figura 10 – Corte	12
Figura 11 – Corte	13
Figura 12 – Decibelímetro Extech, modelo 407790	13
Figura 13 – Alguns protetores auriculares estudados.	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atenuação do protetor auricular CA 8670.....	15
Tabela 2 – Atenuação do protetor auricular CA 9145.....	15
Tabela 3 – Atenuação do protetor auricular CA 11970.....	15
Tabela 4 – Atenuação do protetor auricular CA 9584.....	16
Tabela 5 – Atenuação do protetor auricular CA 2271.....	16
Tabela 6 – Atenuação do protetor auricular CA 10370.....	16
Tabela 7 – Atenuação do protetor auricular CA 11882.....	16
Tabela 8 – Atenuação do protetor auricular CA 5445.....	17
Tabela 9 – Atenuação do protetor auricular CA 13027.....	17
Tabela 10 – Atenuação do protetor auricular CA 13314.....	17
Tabela 11 – Atenuação do protetor auricular CA 13325.....	17
Tabela 12 – Atenuação do protetor auricular CA 14235.....	18
Tabela 13 – Atenuação do protetor auricular CA 15624.....	18
Tabela 14 – Atenuação do protetor auricular CA 15625.....	18
Tabela 15 – Atenuação do protetor auricular CA 12255.....	18
Tabela 16 – Atenuação do protetor auricular CA 15623.....	19
Tabela 17 – Níveis médios de pressão sonora obtidos, por banda de oitava.....	20
Tabela 18 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 8670.....	20
Tabela 19 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 9145.....	20
Tabela 20 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 11970.....	21
Tabela 21 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 9584.....	21
Tabela 22 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 2271.....	21
Tabela 23 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 10370.....	21
Tabela 24 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 11882.....	22
Tabela 25 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 5745.....	22
Tabela 26 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 13027.....	22
Tabela 27 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 13314.....	22
Tabela 28 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 13325.....	23
Tabela 29 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 14235.....	23
Tabela 30 – NPS_P pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 15624.....	23

Tabela 31 – NPS_p pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 15625	23
Tabela 32 – NPS_p pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 9145	24
Tabela 33 – NPS_p pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 15623	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	– American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ANSI	– American National Standards Institute
B&K	– Brüel & Kjær Sound and Vibration Measurement A/S
CA	– Certificado de Aprovação
dB	– decibel
dB(A)	– decibéis na curva de ponderação “A”
DP	– desvio padrão
FUNDACENTRO	– Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
Hz	– Hertz
ISO	– International Organization for Standardization
MTE	– Ministério do Trabalho e do Emprego
NHO	– Norma de Higiene Ocupacional
NM	– nível médio
NPS	– nível de pressão sonora
NPS _{ML}	– nível de pressão sonora protegido (método longo)
NPS _p	– nível de pressão sonora protegido
NR	– Norma Regulamentadora
NRR	– nível de redução de ruído
NRR _{sf}	– nível de redução de ruído subject fit
OSHA	– Occupational Safety and Health Agency
PCA	– Programa de Conservação Auditiva

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O ruído é um agente importante na Higiene Ocupacional. Em boa parte das atividades industriais observa-se a presença de níveis elevados de pressão sonora.

A exposição, sem proteção, do homem a níveis elevados de pressão sonora é potencialmente prejudicial, em especial para a audição. Sabe-se que, quanto maior o nível de pressão sonora (NPS), menor o tempo de exposição seguro para o ser humano.

Seja em função de inviabilidade técnica ou econômica, por diversas vezes a proteção à exposição ao ruído depende exclusivamente do uso de protetores auriculares. Segundo definido pelas normas da *International Organization for Standardization* (ISO) (1990) e do *American National Standards Institute* (ANSI) (1997), protetores auditivos são dispositivos usados pelas pessoas para prevenir ou reduzir qualquer efeito subjetivo ou nocivo do som ao sistema auditivo. Podem ser usados sobre as orelhas ou inseridos no canal auditivo com a finalidade de impedir a passagem do ruído.

Protetores auditivos de uso individual são seguramente os dispositivos mais comuns, econômicos e práticos para reduzir a dose de ruído.

Cada vez mais o mercado disponibiliza protetores com (segundo dados de seus fabricantes) valores de atenuação de ruído bastante significativos. Isso muitas vezes cria dificuldades aos profissionais envolvidos com a proteção auditiva, pela incerteza de qual o tipo ou modelo mais adequado, porque desconhecem o quanto estes dispositivos são realmente capazes de proteger a audição do trabalhador (RIFFEL, 2001).

Neste contexto, a escolha adequada do protetor auricular é fundamental para o sucesso do Programa de Conservação Auditiva (PCA). Para tanto, a avaliação ambiental deve ser feita de maneira criteriosa, a fim de fornecer dados confiáveis e representativos da exposição do trabalhador, permitindo obter conclusões acertadas.

1.2. Objetivos

O presente estudo de caso pretende mostrar, através da avaliação de dois setores da área fabril de uma indústria metalúrgica, a importância da avaliação do espectro sonoro em bandas de oitava como um dos critérios na escolha correta do protetor auricular.

1.3. Justificativa

Há vários métodos descritos para avaliação ambiental do ruído. Em geral, opta-se pela avaliação pontual (com decibelímetro, em setores onde praticamente não há variação nos NPS durante a jornada) ou de jornada (com audiodosímetro, em atividades com exposição a grandes variações de NPS durante a jornada). No entanto, tem-se dado muito pouca importância ao estudo do espectro sonoro em bandas de oitava. Essa metodologia, embora pouco utilizada, pode ser fundamental no fornecimento de informações para a escolha correta do protetor auricular. O presente trabalho pretende estimular o uso da análise do espectro sonoro em bandas de oitava na prática diária do higienista.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para Kitamura; Costa (1995) ruído (ou barulho) é todo o som inútil e indesejável, englobando neste conceito “um aspecto subjetivo de indesejabilidade, por ser o som assim definido desagradável ou por ser ele prejudicial a diversos aspectos da atividade humana ou mesmo à saúde”.

Embora sons agradáveis em volume elevado também possam levar a lesão ao aparelho auditivo (BERGER, 2003), esse tipo de risco não é o escopo desse trabalho.

A figura 1 apresenta três exemplos da relação entre o formato de onda no tempo, comparado ao seu espectro de frequência. No primeiro, observa-se uma onda senoidal de amplitude e comprimento de onda grandes; representa som de uma única frequência, de alta intensidade (volume) e baixa frequência. No segundo, observa-se sinal de baixa amplitude e pequeno comprimento de onda; representa som de alta frequência e baixa intensidade. Já o último exemplo apresenta o comportamento da somatória dos dois sinais.

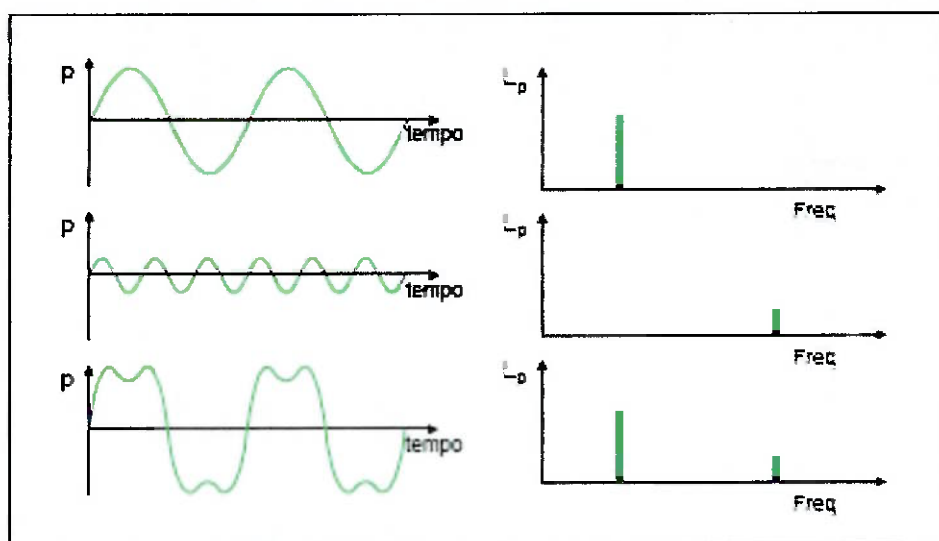


Fig. 1 – Exemplos da relação entre o formato de onda e seu espectro de frequência (B&K, 1998)

A maioria dos sons na natureza têm forma complexa. O primeiro resultado de uma análise de frequência é mostrar que o som é composto de um conjunto de frequências isoladas de intensidades diferentes presentes simultaneamente (BRÜEL & KJÆR SOUND AND VIBRATION MEASUREMENT A/S (B&K), 1998).

A fim de quantificar frequências efetivas sem estudar cada frequência isoladamente vez utilizam-se bandas de oitava — notação utilizada para caracterizar a dependência que o ruído tem da frequência. Uma banda de oitava corresponde a um subconjunto de frequências dentro da faixa audível do espectro (20 a 20.000 Hz).

Cada banda de oitava é nomeada por sua frequência central, seguindo a forma

$$f_c = (f_1 f_2)^{1/2} \quad (1)$$

onde f_c é a frequência central, f_1 e f_2 são as frequências dos seus extremos inferior e superior, respectivamente (BREYSSE; LEES, 2005).

A quantidade de bandas obtidas é função da precisão da análise de frequências — a qual normalmente é definida pelo usuário. Uma análise muito mais precisa pode ser realizada utilizando-se 1/3 de oitavas. Entretanto, usualmente trabalha-se com bandas de 1/1 de oitava: 31,5Hz, 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1KHz, 2KHz, 4KHz, 8KHz e 16KHz.

A figura 2 traz um exemplo da diferença de espectro que dois ruídos industriais podem apresentar. É interessante observar que o barulho de combustão apresenta muito mais componentes de baixas e médias frequências, enquanto que o ruído do vazamento de ar concentra-se nas altas frequências.

Essa análise é importante pois a resposta da orelha humana depende da frequência da onda sonora.

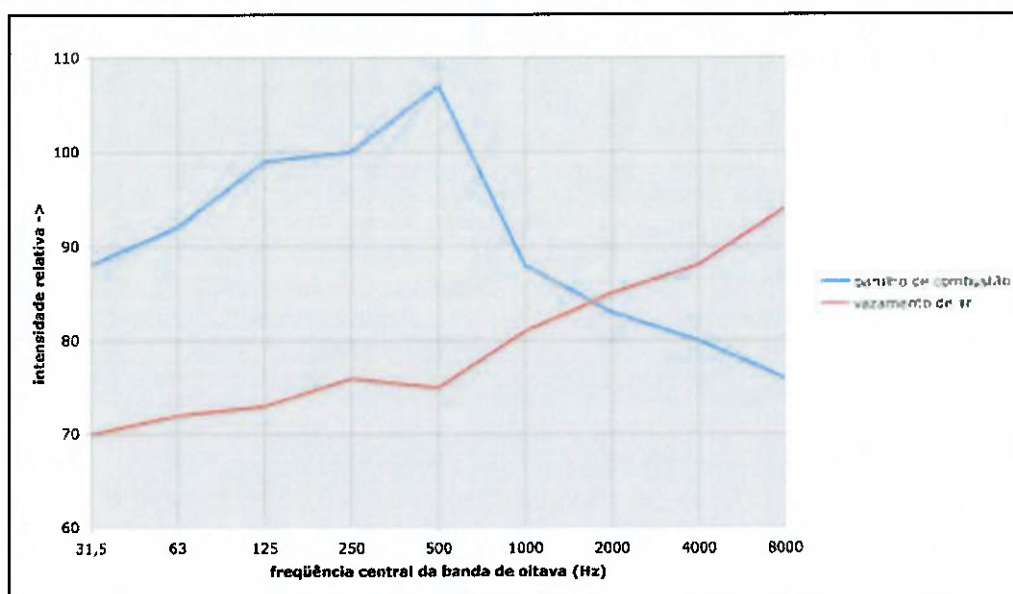


Fig. 2 – Espectro de frequências de dois ruídos industriais comuns.
(JENSEN et al., 1978).

A orelha humana (figura 3) percebe como tendo intensidade diferente sons de frequências diferentes, porém de mesmo nível de pressão sonora. Oferecendo a um observador um tom puro de 1000 Hz a 100 dB como referência, ele interpreta tons de outras frequências de mesma intensidade (100 dB) como tendo volumes diferentes. Um tom de 4000 Hz a 100 dB, por exemplo, será interpretado como mais intenso que o de 1000 Hz. Já um tom de 250 Hz, também a 100 dB, será interpretado como tendo volume menor.

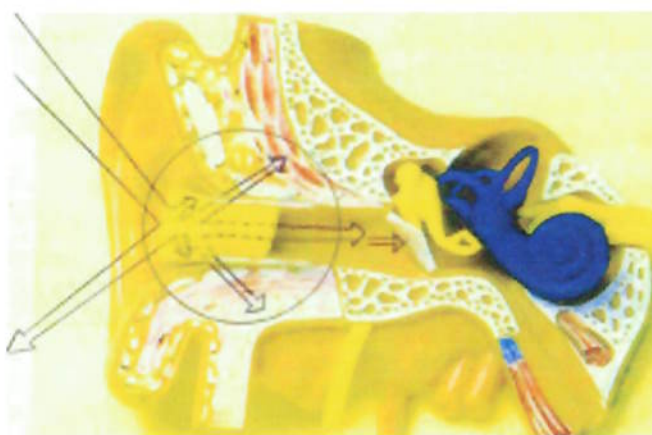


Fig. 3 – A orelha humana. No canal auditivo observa-se protetor auricular. (DIDONÉ, 1999)

Ou seja, a resposta da orelha para sons de mesma intensidade e frequências diferentes é diferente (nível de audibilidade). Pedindo ao observador que varie o volume da frequência oferecida até que ela fique de igual audibilidade ao padrão (referência) pode-se obter as curvas de nível de audibilidade — curvas de Fletcher e Munson (1933) (figura 4). Recentemente essas curvas foram revisadas pela ISO (2003).

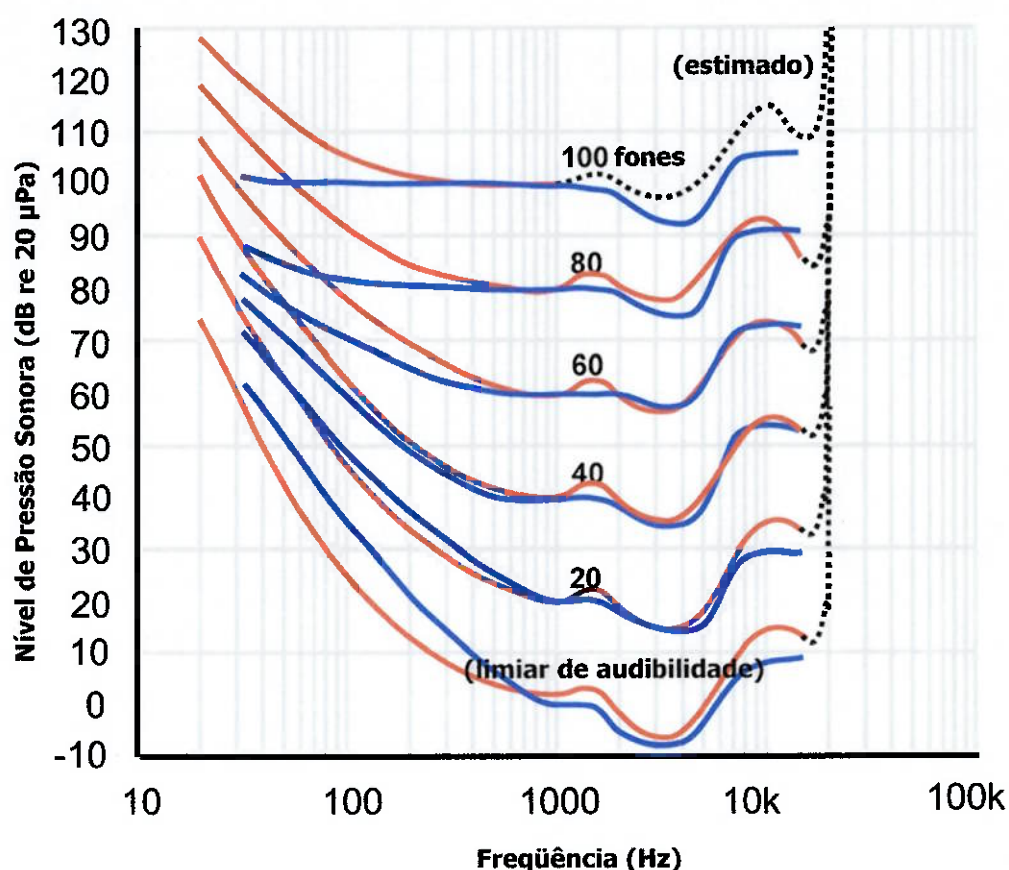


Fig. 4 – Curvas de audibilidade de Fletcher e Munson (1933) (em azul) e da ISO (2003) (em vermelho).

Nos decibelímetros (aparelhos medidores do nível de intensidade sonora) as medições podem ser feitas levando-se em consideração a sensibilidade da orelha humana. Para tanto, eles têm incorporado um filtro que segue as chamadas curvas de ponderação (figura 5). A curva que melhor reproduz o comportamento da orelha é a curva de ponderação “A” (que praticamente se sobrepõe à curva de

audibilidade de 40 fones). Ela funciona como um “fator de correção”, dando muito menos peso aos sons de baixa frequência.

Como a orelha humana é muito mais “sensível” a sons de alta frequência – assim, o limite de tolerância a esses sons deve ser menor que o de sons de baixa frequência.

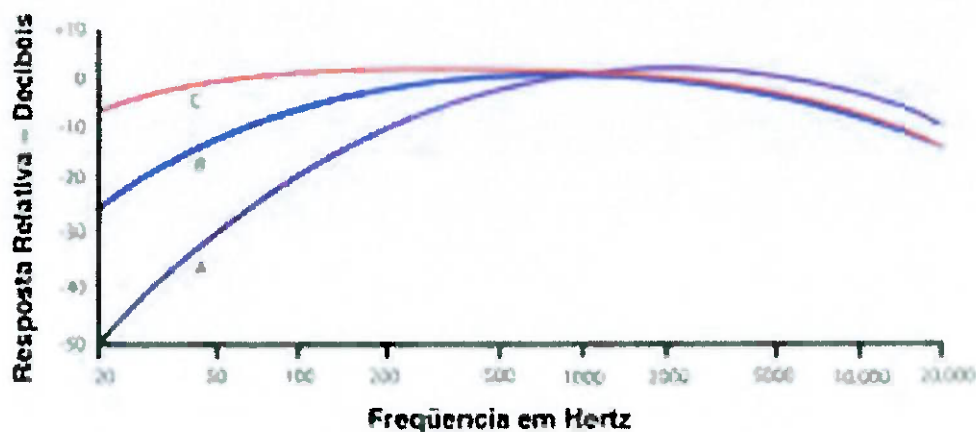


Fig. 5 – Curvas de Ponderação (BREISSE; LEES, 2005).

A figura 6 apresenta o espectro limite máximo recomendado pela *Occupational Safety and Health Agency* (OSHA) (JENSEN et al., 1978) para exposição ocupacional ao ruído.

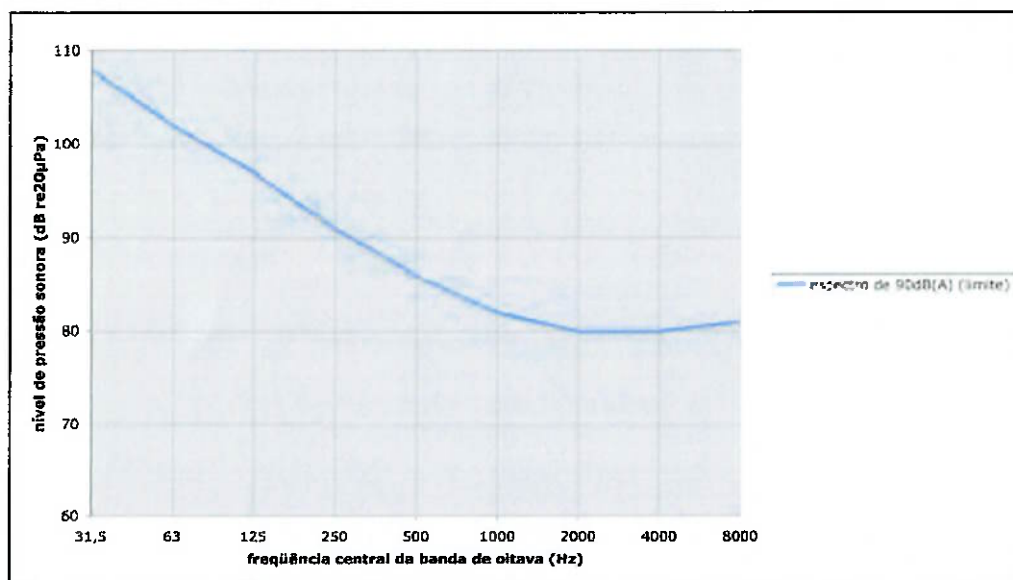


Fig. 6 – Espectro máximo de ruído recomendado pela OSHA. (JENSEN et al., 1978)

Na avaliação do ruído em um ambiente laboral essa informação é importante. Tome-se, como exemplo, um determinado ambiente onde foi feita amostragem do ruído em bandas de oitava e construído um gráfico semelhante (figura 7).

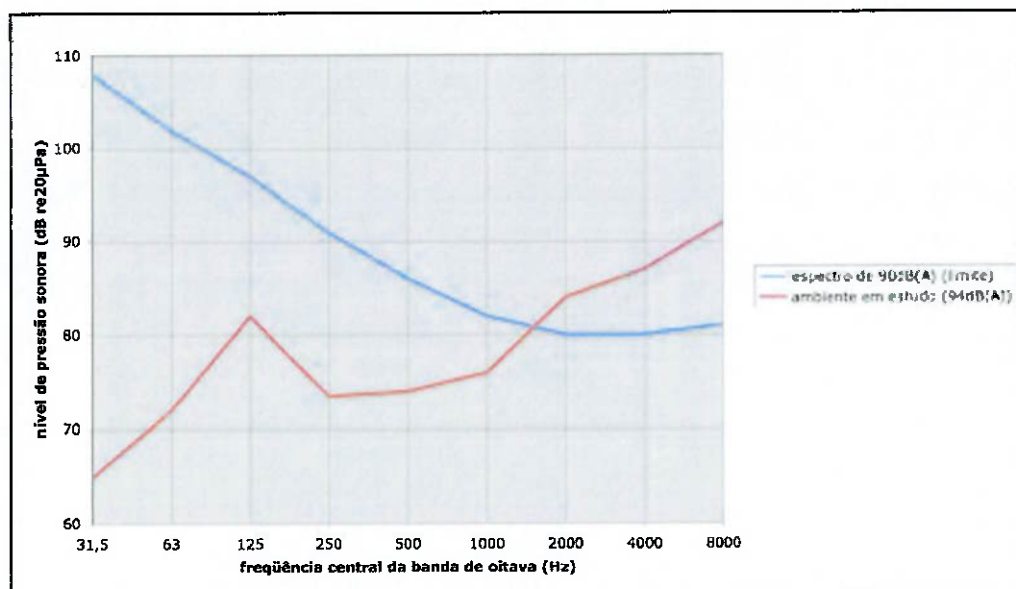


Fig. 7 – Determinação da redução de ruído necessária para um dado ambiente utilizando o espectro recomendado pela OSHA. (JENSEN et al., 1978)

É interessante observar na figura 7 que, embora o ambiente em estudo (linha vermelha) tenha NPS menores que o limite recomendado em diversas bandas de frequência (até 1 KHz), quando se calcula o nível médio utilizando a curva de ponderação “A” obtém-se um valor maior (94 dB(A)), resultado do peso menor atribuído às baixas frequências nessa ponderação.

Além disso, o predomínio de ruído de altas frequências ultrapassando o limite orienta as medidas para redução de ruído que serão implementadas.

O objetivo principal dos protetores auditivos é reduzir a um nível aceitável o ruído excessivo, ao qual o usuário está exposto. Os plugs, em geral, são menos eficazes que os protetores em concha.

Para comparar a redução do ruído com tipos diferentes de protetores, os ensaios de atenuação de ruído devem ser feitos de acordo com as

normas nacionais ou internacionais. Os fabricantes devem relatar as técnicas de ensaio utilizadas e os laboratórios onde os ensaios foram feitos. Além dos níveis de atenuação, também deve ser relatado o desvio-padrão dos resultados dos ensaios.

Os limites inferiores de atenuação podem ser determinados, subtraindo uma ou duas vezes o desvio-padrão da atenuação média do protetor considerado – neste caso, a confiabilidade estatística atingida será respectivamente 84 % e 98 % (pode-se garantir com confiança estatística de 84 % que o protetor auricular em estudo vai fornecer a atenuação menos um desvio-padrão (DP); para uma confiança estatística maior (98 %), utiliza-se a atenuação menos dois desvios-padrões).

Já a transformação dos dados da atenuação média e desvios em um único número, possibilita uma maneira quantitativa simples e rápida para comparação e seleção dos protetores auditivos.

Um número simples sobre atenuação global — como o NRR (nível de redução de ruído) ou o NRR_{sf} (nível de redução de ruído *subject fit* (quando a colocação do protetor auricular, no ensaio, é feita pelo ouvinte)), por exemplo — é apenas uma redução das informações de atenuação média e desvio-padrão em 7 bandas de frequência (14 números) (NIOSH, 1998). Os cálculos desses índices são baseados num espectro de ruído rosa (ruído de mesma intensidade nas várias frequências) como ambiente padrão.

O NRR_{sf} é usado para cálculo do nível de pressão sonora protegido (isto é, nível de pressão sonora na orelha do trabalhador usando o protetor auditivo) submetido a um nível médio de pressão sonora ambiente, conforme a equação

$$NPS_p = NM - NRR_{sf} \quad (2)$$

onde NPS_p é o nível de pressão sonora protegido (em dB(A)) e NM o nível médio de pressão sonora ambiente (também em dB(A)).

Berger (2000a); Berger (2000b); Arezes; Miguel (2002); Frank et al. (2003) alertam em seus trabalhos que se deve tomar muito cuidado ao trabalhar com valores obtidos em laboratório. Estudos de campo têm reiteradamente observado níveis de atenuação menores (e desvios padrões maiores) que os observados em ambiente controlado (laboratório).

Quando se obtém (em laboratório) a atenuação proporcionada por um determinado protetor auricular, utiliza-se um ruído padronizado — ruído rosa — quem tem comportamento diferente das condições encontradas nos ambientes laborais, dado que seus espectros são diferentes (GERGES, 1992).

Assim, quando dois protetores auriculares têm seu NRR comparado, deve-se levar em consideração que esse valor considera a atenuação de um ruído rosa (e não das condições específicas encontradas na prática). Dois protetores auriculares de NRR iguais atenuam as diferentes frequências do espectro em intensidades diferentes.

Cada protetor auricular tem um perfil particular e específico de atenuação. Ou seja, a capacidade de um dado protetor atenuar o som depende da frequência considerada. Assim, dois protetores auriculares de mesmos níveis de atenuação padronizados (NRR) podem agir de maneiras completamente diferentes dependendo do espectro de ruído considerado.

Quando se utiliza um número único (seja ele NRR ou NRR_{sf}) obtém-se a facilidade de cálculo e um menor custo de avaliação ambiental. Entretanto, ao trabalhar com valores que, por si só, já trazem um “arredondamento” metodológico embutido, como acreditar na eficácia em campo?

A tentativa de tornar as medidas mais precisas seguramente dá mais segurança ao higienista de estar realmente protegendo os trabalhadores sob seus cuidados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidos para o estudo dois setores da área fabril de uma empresa metalúrgica, situada na região do Grajaú, cidade de São Paulo. Os setores escolhidos foram a forjaria (figuras 8 e 9) e o setor de corte (figuras 10 e 11). A escolha destes dois setores deveu-se a diversos motivos:

- ambos apresentarem níveis elevados de pressão sonora;
- não haver grande variação nos NPS ao longo da jornada;
- cada setor apresentar seus próprios funcionários;
- os funcionários permanecerem no setor durante toda a jornada;
- as atividades dos dois setores serem bem diferentes (o que sugeria que o espectro de ruído também fosse diferente).



Fig. 8 – Forjaria.



Fig. 9 – Forjaria.



Fig. 10 – Corte.



Fig. 11 – Corte.

Para a medida dos níveis de pressão sonora foram utilizados um decibelímetro Extech modelo 407790 (IEC 60651 tipo 2, 60804 tipo 2, ANSI S1.4 tipo 2, IEC 1260 (1995)) (figura 12), aferido pelo fabricante havia 10 meses, e um calibrador acústico Extech modelo 407744, aferido e calibrado pelo fabricante havia também 10 meses.



Fig. 12 – Decibelímetro Extech, modelo 407790.

Foram utilizados os procedimentos descritos na Norma de Higiene Ocupacional 01 (NHO 01) da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO). O decibelímetro foi ajustado para operar no circuito de ponderação “A”, em resposta lenta (*slow*), cobrindo uma faixa de medição de 50 a 120 dB. Foram obtidas 200 leituras seqüenciais, com intervalo “At” de 15 segundos entre elas — ao invés do observador observar o mostrador do decibelímetro e anotar o valor imediatamente mostrado, optou-se pela utilização do recurso de *data-logger*: através dele o próprio decibelímetro gravou os NPS nas diversas bandas de oitavas a cada 15 segundos cobrindo, assim, o intervalo total de 3000 segundos.

A partir das 200 leituras de níveis de pressão sonora NPS_i obtidas, foi calculado o nível médio (NM), utilizando a equação

$$NM = 10 \log \left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{200} 10^{0,1 NPS_i} \right) \right) \quad (3)$$

para o conjunto de frequências do espectro, bem como para cada banda de oitava isoladamente.

Após a obtenção das medições ambientais, foram estudadas as atenuações fornecidas por 16 protetores auriculares disponíveis no Brasil (figura 13).



Fig. 13 – Alguns protetores auriculares em estudo.

Tomou-se o cuidado de escolher protetores auriculares de NRR_{sf} semelhantes, a fim de permitir sua comparação. Os perfis de atenuação por banda de frequência foram obtidos dos Certificados de Aprovação (CA) junto ao sítio do Ministério do Trabalho e do Emprego (MTE) (2005) onde constam as informações dos laudos fornecidas pelos fabricantes (tabelas 1 a 16). Nestas tabelas foram adicionados os valores de atenuação corrigidos para 84 % e 98 % de proteção.

Tabela 1 – Atenuação do protetor auricular CA 8670 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR_{sf}
	Atenuação (dB(A))	14,8	14,3	12,8	17,9	29,6	35,0	34,4	
CA	Desvio Padrão	05,8	06,2	05,2	05,7	05,2	05,9	07,9	11,0
8670	Atenuação – 1 DP	09,0	08,1	07,6	12,2	24,4	29,1	26,5	
	Atenuação – 2 DP	03,2	01,9	02,4	06,5	19,2	23,2	18,6	

Tabela 2 – Atenuação do protetor auricular CA 9145 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR_{sf}
	Atenuação (dB(A))	21,7	20,3	20,3	19,4	25,9	29,8	34,6	
CA	Desvio Padrão	07,0	08,6	08,7	07,9	08,3	12,3	09,9	11,0
9145	Atenuação – 1 DP	14,7	11,7	11,6	11,5	17,6	17,5	24,7	
	Atenuação – 2 DP	07,7	03,1	02,9	03,6	09,3	05,2	14,8	

Tabela 3 – Atenuação do protetor auricular CA 11970 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR_{sf}
	Atenuação (dB(A))	12,8	14,8	15,7	19,4	28,8	34,6	35,6	
CA	Desvio Padrão	06,7	06,6	06,4	06,2	06,0	07,4	08,0	12,0
11970	Atenuação – 1 DP	06,1	08,2	09,3	13,2	22,8	27,2	27,6	
	Atenuação – 2 DP	0,0	01,6	02,9	07,0	16,8	19,8	19,6	

Tabela 4 – Atenuação do protetor auricular CA 9584 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		19,3	20,4	20,9	22,3	28,0	27,5	35,2	15,0
CA	Desvio Padrão	07,0	06,6	06,3	05,5	05,1	08,5	08,9	
9584	Atenuação – 1 DP	12,3	13,8	14,6	16,8	22,9	19,0	26,3	
	Atenuação – 2 DP	05,3	07,2	08,3	11,3	17,8	10,5	17,4	

Tabela 5 – Atenuação do protetor auricular CA 2271 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		21,9	23,3	25,2	25,1	29,5	31,1	38,0	16,0
CA	Desvio Padrão	07,6	08,0	08,8	07,8	07,1	11,6	11,6	
2271	Atenuação – 1 DP	14,3	15,3	16,4	17,3	22,4	19,5	26,4	
	Atenuação – 2 DP	06,7	07,3	07,6	09,5	15,3	07,9	14,8	

Tabela 6 – Atenuação do protetor auricular CA 10370 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		21,3	20,5	21,3	21,7	27,5	29,4	35,7	16,0
CA	Desvio Padrão	05,6	06,8	06,1	05,1	05,7	05,5	07,5	
10370	Atenuação – 1 DP	15,7	13,7	15,2	16,6	21,8	23,9	28,2	
	Atenuação – 2 DP	10,1	06,9	09,1	11,5	16,1	18,4	20,7	

Tabela 7 – Atenuação do protetor auricular CA 11882 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		18,4	21,6	23,4	23,7	27,2	25,4	40,4	16,0
CA	Desvio Padrão	07,1	06,1	06,8	05,3	05,2	06,5	06,2	
11882	Atenuação – 1 DP	11,3	15,5	16,6	18,4	22,0	18,9	34,2	
	Atenuação – 2 DP	04,2	09,4	09,8	13,1	16,8	12,4	28,0	

Tabela 8 – Atenuação do protetor auricular CA 5445 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		22,1	21,5	23,9	23,5	28,1	29,2	38,4	17,0
CA	Desvio Padrão	06,3	07,3	06,8	05,9	05,0	06,9	08,5	
5745	Atenuação – 1 DP	15,8	14,2	17,1	17,6	23,1	22,3	29,9	
	Atenuação – 2 DP	09,5	06,9	10,3	11,7	18,1	15,4	21,4	

Tabela 9 – Atenuação do protetor auricular CA 13027 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		21,3	22,3	22,6	22,9	29,2	31,5	38,9	18,0
CA	Desvio Padrão	05,7	05,2	06,4	04,3	04,2	07,9	07,3	
13027	Atenuação – 1 DP	15,6	17,1	16,2	18,6	25,0	23,6	31,6	
	Atenuação – 2 DP	09,9	11,9	09,8	14,3	20,8	15,7	24,3	

Tabela 10 – Atenuação do protetor auricular CA 13314 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		09,3	18,7	30,5	35,6	33,7	32,2	34,1	22,0
CA	Desvio Padrão	03,3	02,4	02,8	03,6	03,4	02,0	02,9	
13314	Atenuação – 1 DP	06,0	16,3	27,7	32,0	30,3	30,2	31,2	
	Atenuação – 2 DP	02,7	13,9	24,9	28,4	26,9	28,2	28,3	

Tabela 11 – Atenuação do protetor auricular CA 13325 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		08,7	17,5	29,1	34,3	32,4	35,9	36,7	22,0
CA	Desvio Padrão	03,2	02,6	02,8	02,7	02,3	02,5	04,3	
13325	Atenuação – 1 DP	05,5	14,9	26,3	31,6	30,1	33,4	32,4	
	Atenuação – 2 DP	02,3	12,3	23,5	28,9	27,8	30,9	28,1	

Tabela 12 – Atenuação do protetor auricular CA 14235 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))	08,7	19,2	26,6	37,8	34,9	33,7	34,4	
CA Desvio Padrão	02,2	03,1	03,1	03,2	02,0	03,0	04,4	22,0
14235 Atenuação – 1 DP	06,5	16,1	23,5	34,6	32,9	30,7	30,0	
Atenuação – 2 DP	04,3	13,0	20,4	31,4	30,9	27,7	25,6	

Tabela 13 – Atenuação do protetor auricular CA 15624 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))	13,6	19,3	26,7	30,4	32,1	36,3	37,0	
CA Desvio Padrão	06,0	04,6	03,7	03,7	02,8	02,0	03,7	22,0
15624 Atenuação – 1 DP	07,6	14,7	23,0	26,7	29,3	34,3	33,3	
Atenuação – 2 DP	01,6	10,1	19,3	23,0	26,5	32,3	29,6	

Tabela 14 – Atenuação do protetor auricular CA 15625 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))	09,3	18,6	27,1	29,9	32,8	36,9	38,2	
CA Desvio Padrão	01,6	02,1	03,5	02,2	02,7	02,4	03,4	22,0
15625 Atenuação – 1 DP	07,7	16,5	23,6	27,7	30,1	34,5	34,8	
Atenuação – 2 DP	06,1	14,4	20,1	25,5	27,4	32,1	31,4	

Tabela 15 – Atenuação do protetor auricular CA 12255 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))	19,8	23,4	27,4	31,7	31,9	38,4	36,6	
CA Desvio Padrão	04,1	04,0	03,6	02,7	04,3	03,9	05,0	24,0
12255 Atenuação – 1 DP	15,7	19,4	23,8	29,0	27,6	34,5	31,6	
Atenuação – 2 DP	11,6	15,4	20,2	26,3	23,3	30,6	26,6	

Tabela 16 – Atenuação do protetor auricular CA 15623 (MTE, 2005).

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRR _{sf}
Atenuação (dB(A))		15,9	21,2	27,7	29,2	32,3	35,8	37,1	
CA	Desvio Padrão	04,1	02,7	03,3	02,7	02,9	03,0	03,6	24,0
15623	Atenuação – 1 DP	11,8	18,5	24,4	26,5	29,4	32,8	33,5	
	Atenuação – 2 DP	07,7	15,8	21,1	23,8	26,5	29,8	29,9	

Foi optado, para fins de padronização, denominar os protetores pelo seu número de CA.

A partir dos perfis de atenuação e do NRR_{sf} foram calculados os NPS atenuados (pelo NRR_{sf} ($NPS_P = NM - NRR_{sf}$) e pelo método longo (NPS_{ML})) aos quais estaria exposto o trabalhador se estivesse naqueles ambientes (forjaria e corte) usando aqueles protetores auriculares.

Deu-se especial atenção aos valores que ultrapassaram o limite de tolerância legal brasileiro (85 dB(A)) e os que ultrapassaram o nível de ação (80 dB(A), para o fator multiplicador de dose $q = 5$).

Optou-se por essa estratégia por dois motivos:

- a NR 15 – que estabelece o limite de tolerância legal para exposição ao ruído no Brasil – utiliza $q = 5$;
- caso fosse utilizado $q = 3$ (aceito pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) e pela FUNDACENTRO) o nível de ação (dose = 50%) seria atingido somente aos 82 dB(A); utilizando $q = 5$, o nível de ação é atingido aos 80 dB(A), valor menor, escolhido para privilegiar a segurança.

4. RESULTADOS

Da avaliação ambiental com decibelímetro foram obtidos os seguintes valores:

Tabela 17 – Níveis médios de pressão sonora (dB(A)) obtidos, por banda de oitava.

Setor	Frequência (Hz):							NM global
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
forjaria	71,3	81,5	84,3	84,6	81,2	74,8	65,3	89,4
corte	72,4	73,2	74,5	77,3	81,2	90,0	85,0	92,0

Após a obtenção dos resultados da avaliação ambiental, foram calculados os níveis de pressão sonora protegido pelo método longo (NPS_{ML}) e pelo NRR_{sf}, conforme as tabelas 18 a 33. Nelas, os valores que ultrapassaram o limite de tolerância legal brasileiro (85 dB(A)) foram assinalados em vermelho e os que ultrapassaram o nível de ação (80 dB(A)) foram assinalados em amarelo.

Tabela 18 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 8670.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM-NRR _{sf}
forjaria	84% conf.	62,3	73,5	76,7	72,4	56,8	45,7	38,8	79,5	78,4
	98% conf.	68,1	79,7	81,9	78,1	62,0	51,6	46,7	85,1	78,4
corte	84% conf.	63,4	65,2	66,9	65,1	56,8	60,9	58,5	72,0	81,0
	98% conf.	69,2	71,4	72,1	70,8	62,0	66,8	66,4	77,8	81,0

Tabela 19 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 9145.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM-NRR _{sf}
forjaria	84% conf.	56,6	69,8	72,7	73,1	63,6	57,3	40,6	77,2	78,4
	98% conf.	63,6	78,4	81,4	81,0	71,9	69,6	50,5	85,6	78,4
corte	84% conf.	57,7	61,5	62,9	65,8	63,6	72,5	60,3	74,6	81,0
	98% conf.	64,7	70,1	71,6	73,7	71,9	84,8	70,2	85,8	81,0

Tabela 20 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 11970.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	65,2	73,3	75,0	71,4	58,4	47,6	37,7	78,5	77,4
	98% conf.	71,3	79,9	81,4	77,6	64,4	55,0	45,7	84,9	77,4
corte	84% conf.	66,3	65,0	65,2	64,1	58,4	62,8	57,4	72,2	80,0
	98% conf.	72,4	71,6	71,6	70,3	64,4	70,2	65,4	78,7	80,0

Tabela 21 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 9584.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	59,0	67,7	69,7	67,8	58,3	55,8	39,0	73,6	74,4
	98% conf.	66,0	74,3	76,0	73,3	63,4	64,3	47,9	79,9	74,4
corte	84% conf.	60,1	59,4	59,9	60,5	58,3	71,0	58,7	72,6	77,0
	98% conf.	67,1	66,0	66,2	66,0	63,4	79,5	67,6	80,6	77,0

Tabela 22 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 2271.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	57,0	66,2	67,9	67,3	58,8	55,3	38,9	72,4	73,4
	98% conf.	64,6	74,2	76,7	75,1	65,9	66,9	50,5	80,7	73,4
corte	84% conf.	58,1	57,9	58,1	60,0	58,8	70,5	58,6	71,9	76,0
	98% conf.	65,7	65,9	66,9	67,8	65,9	82,1	70,2	82,9	76,0

Tabela 23 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 10370.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	55,6	67,8	69,1	68,0	59,4	50,9	37,1	73,4	73,4
	98% conf.	61,2	74,6	75,2	73,1	65,1	56,4	44,6	79,4	73,4
corte	84% conf.	56,7	59,5	59,3	60,7	59,4	66,1	56,8	69,4	76,0
	98% conf.	62,3	66,3	65,4	65,8	65,1	71,6	64,3	75,3	76,0

Tabela 24 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 11882.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	60,0	66,0	67,7	66,2	59,2	55,9	31,1	72,1	73,4
	98% conf.	67,1	72,1	74,5	71,5	64,4	62,4	37,3	78,3	73,4
corte	84% conf.	61,1	57,7	57,9	58,9	59,2	71,1	50,8	72,3	76,0
	98% conf.	68,2	63,8	64,7	64,2	64,4	77,6	57,0	78,8	76,0

Tabela 25 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 5745.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	55,5	67,3	67,2	67,0	58,1	52,5	35,4	72,3	72,4
	98% conf.	61,8	74,6	74,0	72,9	63,1	59,4	43,9	78,9	72,4
corte	84% conf.	56,6	59,0	57,4	59,7	58,1	67,7	55,1	69,8	75,0
	98% conf.	62,9	66,3	64,2	65,6	63,1	74,6	63,6	76,6	75,0

Tabela 26 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 13027.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	55,7	64,4	68,1	66,0	56,2	51,2	33,7	71,5	71,4
	98% conf.	61,4	69,6	74,5	70,3	60,4	59,1	41,0	77,1	71,4
corte	84% conf.	56,8	56,1	58,3	58,7	56,2	66,4	53,4	68,6	74,0
	98% conf.	62,5	61,3	64,7	63,0	60,4	74,3	60,7	75,7	74,0

Tabela 27 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 13314.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	65,3	65,2	56,6	52,6	50,9	44,6	34,1	68,7	67,4
	98% conf.	68,6	67,6	59,4	56,2	54,3	46,6	37,0	71,6	67,4
corte	84% conf.	66,4	56,9	46,8	45,3	50,9	59,8	53,8	68,0	70,0
	98% conf.	69,7	59,3	49,6	48,9	54,3	61,8	56,7	71,0	70,0

Tabela 28 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 13325.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	65,8	66,6	58,0	53,0	51,1	41,4	32,9	69,7	67,4
	98% conf.	69,0	69,2	60,8	55,7	53,4	43,9	37,2	72,6	67,4
corte	84% conf.	66,9	58,3	48,2	45,7	51,1	56,6	52,6	68,1	70,0
	98% conf.	70,1	60,9	51,0	48,4	53,4	59,1	56,9	71,2	70,0

Tabela 29 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 14235.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	64,8	65,4	60,8	50,0	48,3	44,1	35,3	69,0	67,4
	98% conf.	67,0	68,5	63,9	53,2	50,3	47,1	39,7	71,7	67,4
corte	84% conf.	65,9	57,1	51,0	42,7	48,3	59,3	55,0	67,6	70,0
	98% conf.	68,1	60,2	54,1	45,9	50,3	62,3	59,4	70,2	70,0

Tabela 30 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 15624.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	63,7	66,8	61,3	57,9	51,9	40,5	32,0	69,7	67,4
	98% conf.	69,7	71,4	65,0	61,6	54,7	42,5	35,7	74,5	67,4
corte	84% conf.	64,8	58,5	51,5	50,6	51,9	55,7	51,7	66,7	70,0
	98% conf.	70,8	63,1	55,2	54,3	54,7	57,7	55,4	72,0	70,0

Tabela 31 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 15625.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS _{ML}	NM- NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	63,6	65,0	60,7	56,9	51,1	40,3	30,5	68,6	67,4
	98% conf.	65,2	67,1	64,2	59,1	53,8	42,7	33,9	70,8	67,4
corte	84% conf.	64,7	56,7	50,9	49,6	51,1	55,5	50,2	66,3	70,0
	98% conf.	66,3	58,8	54,4	51,8	53,8	57,9	53,6	68,2	70,0

Tabela 32 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 12255.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS_{ML}	NM-NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	55,6	62,1	60,5	55,6	53,6	40,3	33,7	65,7	65,4
	98% conf.	59,7	66,1	64,1	58,3	57,9	44,2	38,7	69,5	65,4
corte	84% conf.	56,7	53,8	50,7	48,3	53,6	55,5	53,4	62,3	68,0
	98% conf.	60,8	57,8	54,3	51,0	57,9	59,4	58,4	66,4	68,0

Tabela 33 – níveis de pressão sonora protegidos (dB(A)), pelo método longo e pelo NRR_{sf} para o protetor CA 15623.

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS_{ML}	NM-NRR_{sf}
forjaria	84% conf.	59,5	63,0	59,9	58,1	51,8	42,0	31,8	66,7	65,4
	98% conf.	63,6	65,7	63,2	60,8	54,7	45,0	35,4	69,8	65,4
corte	84% conf.	60,6	54,7	50,1	50,8	51,8	57,2	51,5	64,0	68,0
	98% conf.	64,7	57,4	53,4	53,5	54,7	60,2	55,1	67,5	68,0

5. DISCUSSÃO

Para os níveis de pressão sonora observados na empresa em estudo seriam necessárias atenuações de 9,4 dB(A) na forjaria e 12 dB(A) no setor de corte para atingir o nível de ação (80 dB(A)) proposto pela legislação de Saúde e Segurança do Trabalho no Brasil (NR 9 e NR 15 (MTE, 2005)).

Pelos valores de NRR_{sf} , houve apenas dois casos em que não haveria atenuação suficiente para alcançar o nível de ação. Seria o uso dos protetores CA 8670 e CA 9145 ($NRR_{sf} = 11,0$ dB) no setor de corte ($NPS_p = 81,0$ dB(A)).

No entanto, ao se utilizar o método longo, foram encontradas algumas diferenças significativas utilizando os protetores citados (CA 8670 e CA 9145, $NRR_{sf} = 11,0$ dB). Quando assumido um intervalo de confiança de 84 %, todos os níveis protegidos ficaram abaixo do nível de ação ($NPS_{ML} = 72,0$ a $79,5$ dB(A)). Porém, ao aumentar o intervalo de confiança para 98 %, o limite de tolerância foi ultrapassado ($NPS_{ML} = 85,1$ a $85,8$ dB(A)) em três situações. Somente no uso do CA 8670 no setor de corte ele não foi ultrapassado ($NPS_{ML} = 77,8$ dB(A)). Aqui cabem algumas considerações.

Em primeiro lugar, fica claro que, quanto maior a confiança estatística exigida para a eficácia da atenuação, maior o valor do nível de pressão sonora protegido. Ou seja, quando o NPS_p obtido for muito próximo do nível de ação, deve-se:

- fazer avaliação por bandas de oitava e proceder a análise pelo método longo; ou
- optar por outro protetor auricular de NRR_{sf} maior.

Além disso, ao examinar o uso do CA 8670 no setor de corte, percebe-se que a atenuação obtida com o cálculo pelo método longo foi maior que a obtida com o NRR_{sf} ($NPS_{ML} = 77,8$ dB(A) < $NPS_p = 81,0$ dB(A)). Esse resultado foi decorrente da maior atenuação nas altas frequências (que foram as predominantes no setor de corte) fornecida por esse protetor.

Já para os demais protetores auriculares estudados ($NRR_{sf} \geq 12$ dB) não houve nenhum caso em que o limite de tolerância tenha sido ultrapassado.

Porém, o nível de ação foi ultrapassado em outras quatro situações, considerando-se o método longo e 98 % de confiança:

- CA 11970 ($NRR_{sf} = 12,0$ dB) na forjaria ($NPS_{ML} = 84,9$ dB(A));
- CA 9584 ($NRR_{sf} = 15,0$ dB) no corte ($NPS_{ML} = 80,6$ dB(A));
- CA 2271 ($NRR_{sf} = 16,0$ dB) na forjaria ($NPS_{ML} = 80,7$ dB(A));
- CA 2271 ($NRR_{sf} = 16,0$ dB) no corte ($NPS_{ML} = 82,9$ dB(A)).

Nessas quatro situações, a diferença entre o valor obtido pelo cálculo com cada método foi considerável (3,6 a 7,5 dB(A)). Levando-se em conta que o NRR_{sf} do CA 11970 é de 12,0 dB e o valor efetivamente atenuado foi de apenas 4,5 dB(A) (37,5 % do NRR_{sf}) fica clara a necessidade de cuidado ao utilizar esse valor para decisão de uso.

Nos demais casos ($NRR_{sf} \geq 16$ dB), não foram encontradas situações em que os valores atingissem o nível de ação. Ou seja, apesar da necessidade de uma atenuação de apenas 9,4 dB(A) para reduzir o NPS do setor de corte abaixo do nível de ação, só se obteve segurança da proteção com protetores auriculares de NRR_{sf} superior a 16 dB.

Levando-se em conta que os valores obtidos em laboratório não são diretamente comparáveis à prática (via de regra, a atenuação em laboratório é maior que a observada em campo (BERGER, 2000a); (BERGER, 2000b); (AREZES; MIGUEL, 2002); (FRANK, 2003)) pode-se inferir que só haveria real segurança com protetores auriculares de NRR_{sf} ainda maior.

6. CONCLUSÕES

O uso do nível de redução de ruído *subject fit*, embora mais prático, é limitado para garantir atenuação suficiente do ruído em ambiente industrial porque o nível de pressão sonora protegido calculado precisa estar bem abaixo do nível de ação.

A análise do espectro do ruído em bandas de frequências possibilita o cálculo do nível de pressão sonora protegido pelo método longo e provê uma segurança muito maior na escolha dos protetores auriculares a serem utilizados, dependendo da faixa do espectro onde se concentram os maiores níveis de pressão sonora.

Seguramente há outras características que devem ser levadas em consideração na escolha do protetor auricular (conforto (AREZES; MIGUEL, 2002), durabilidade, disponibilidade, custo, entre outros). Além disso, é fundamental minimizar outras condições que possam diminuir a atenuação fornecida (tamanho adequado, treinamento do uso (TOIVONEN et al., 2002), etc...).

Entretanto, o processo decisório deve estar embasado, antes de tudo, numa correta avaliação ambiental. E a análise do espectro sonoro em bandas de oitava coloca-se com uma ferramenta importante nessa avaliação.

LISTA DE REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI S12.6-97**: methods for measuring the real-ear attenuation of hearing protectors. Nova Iorque: ANSI, 1997.
- AREZES, P. M.; MIGUEL, A. S. Hearing Protectors Acceptability in Noisy Environments. **Annals of Occupational Hygiene**, v.46, p.531-536, 2002.
- BERGER, E. H. Does Loud Music During Exercise Affect Hearing? **E-A-R 03-17/HP**. Indianapolis: E•A•R / Aearo Company, 2003.
- BERGER, E. H. Hearing Protector Testing – Let's Get Real [Using the new ANSI Method-B Data and the NRR(sf)] **E•A•RLog**, v.21. Indianapolis: E•A•R / Aearo Company, 2000.
- BERGER, E. H. The Naked Truth About NRRs **E•A•RLog**, v.21. Indianapolis: E•A•R / Aearo Company, 2000.
- BRANDOLT, P. R. M. **Análise das Características Acústico/Mecânico dos Protetores Auditivos**. Florianópolis: UFSC, 2001. 138p.
- BREYSSE, P. N.; LEES, P. S. J. Noise. In: JOHNS HOPKINS BLOOMBERG SCHOOL OF PUBLIC HEALTH OPEN COURSEWARE. **Principles of Industrial Hygiene**. Disponível em: <<http://ocw.jhsph.edu/courses/PrinciplesIndustrialHygiene/PDFs/Lecture6.pdf>>. Acesso em: 9 de maio de 2006.
- BRÜEL & KJÆR SOUND AND VIBRATION MEASUREMENT A/S. **Basic Frequency Analysis of Sound**. Disponível em: <<http://www.bksv.com/lectures/BA766911.pdf>>. Acesso em: 16 de novembro de 2005.
- FLETCHER, H. F.; MUNSON, W. A. Loudness: its definition, measurement and calculation. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v.5, p.82-108, Oct. 1933.
- FRANK, J. R. et al. Alternative Field Methods for Measuring Hearing Protector Performance. **AIHA Journal**, v.64, p.501-9, July 2003.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: NR Consultoria e Treinamento, 1992. 600p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 226/2003: Acoustics – Normal equal-loudness-level contours**. Genebra: ISO, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4869-1/1990: Acoustics – Hearing Protectors – Part 1: Subjective Method for the Measurement of Sound Attenuation**. Genebra: ISO, 1990.

JENSEN, P.; JOKEL, C. R.; MILLER, L. N. **NIOSH Technical Report: Industrial Noise Control Manual**. Cambridge: NIOSH, 1978.

KITAMURA, S.; COSTA, E. A. **Orgão dos Sentidos: Audição**. In: MENDES, R. **Patologia do Trabalho**. Rio de Janeiro: Atheneu, 1995.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **Ministério do Trabalho e do Emprego**. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 10 de novembro de 2005.

NIOSH: THE NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Method for Calculating and Using the Noise Reduction Rating and the Subject-Fit Noise Reduction Rating**. Disponível em: <<http://www2a.cdc.gov/hp-devices/pdfs/calculation.pdf>>. Acesso em: 16 de novembro de 2005.

NIOSH: THE NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure – Revised Criteria** 1998. Cincinnati: NIOSH, June 1998. 105p.

RIFFEL, G. **Desenvolvimento de um Sistema para Medição e Avaliação da Atenuação dos Protetores Auditivos: estudo de caso comparativo em laboratório e em campo**. Florianópolis: UFSC, 2001. 250p.

TOIVONEN, M. et al. Noise Attenuation and Proper Insertion of Earplugs into Ear Canals. **Annals of Occupational Hygiene**, v.46, p.527-530, 2002.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BERGER, E. H. **Preferred Methods for Measuring Hearing Protector Attenuation**. In: INTERNOISE ENVIRONMENTAL NOISE CONTROL, Rio de Janeiro, 2005.

BERGER, E. H.; Kieper, R. W.; Gauger, D. Hearing protection: Surpassing the limits to attenuation imposed by the bone-conduction pathways. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v.114, p.1955-1967, Oct. 2003.

BERGER, E. H. et al. **The Noise Manual**. Fairfax: American Industrial Higiene Association, 2000. 796p.

DIDONÉ, J. A. **Perda Auditiva dos Motoristas de Ônibus por Exposição ao Ruído: Medição, Análise e Proposta de Prevenção**. Florianópolis: UFSC, 2004. 173p.

DIDONÉ, J. A. **Conforto Oferecido por Diferentes Protetores Auditivos**. Florianópolis: UFSC, 1999. 186p.

FLIGOR, B. J.; COX, L. C. Output Levels of Commercially Available Portable Compact Disc Players and the Potential Risk to Hearing. **Ear & Hearing**, v.25, p.513-527, 2004.

FRANCISCO, L. L. **Avaliação de Protetores Auditivos em Campo**. Florianópolis: UFSC, 2001. 86p.

KARDOUS, C. A. et al. Noise Exposure Assessment and Abatement Strategies at an Indoor Firing Range. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**, v.18, p.629-636, 2003.

MAIA, P. A. **Estimativa de Exposições Não Contínuas a Ruído: Desenvolvimento de um método e validação na Construção Civil**. Campinas: UNICAMP, 2001. 201p.

MERRY, C. J.; SIZEMORE, C. W.; FRANKS, J. R. The Effect of Fitting Procedure on Hearing Protector Attenuation. **Ear and Hearing**, v.13, n.1, p.11-18, 1992.

MURPHY, J. W. et al. Development of a new standard laboratory protocol for estimation of the field attenuation of hearing protection devices: Sample size necessary to provide acceptable reproducibility. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v.115, n.1, p.311-323, Jan. 2004.

SMITH, R. C. et al. Insert Hearing Protector Effects. **Ear and Hearing**, v.1, n.1, p.26-32, 1980.