

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**IV CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO**  
**TRABALHO**

**BARBARA LEPRETTI DE NADAI**

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA ESPECIALISTA**  
**PARA O DIAGNÓSTICO DE SALUBRIDADE FRENTE AO AGENTE**  
**FÍSICO RUÍDO NO AMBIENTE DE TRABALHO**

**MEDIANEIRA**

**2012**

**BARBARA LEPRETTI DE NADAI**

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA ESPECIALISTA  
PARA O DIAGNÓSTICO DE SALUBRIDADE FRENTE AO AGENTE  
FÍSICO RUÍDO NO AMBIENTE DE TRABALHO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de “Especialista” em Engenharia de Segurança do Trabalho, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profº *M.Sc.* Evandro André Konopatzki

**MEDIANEIRA**

**2012**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Medianeira  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
VI Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho.



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA O  
DIAGNÓSTICO DE SALUBRIDADE FRENTE AO AGENTE FÍSICO RUÍDO NO  
AMBIENTE DE TRABALHO**  
Por

**BARBARA LEPRETTI DE NADAI**

Esta Monografia foi apresentada em 08 de dezembro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. M.Sc. Evandro André Konopatzki  
Orientador

---

Prof. M.Sc. Estor Gnoatto  
Coordenador do Curso  
Membro da Banca

---

Prof. M.Sc. Yuri Ferruzzi  
Membro da Banca

Dedico este trabalho a todos que me incentivaram a traçar um caminho de descobertas.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador professor Evandro André Konopatzki pela inestimável dedicação e compreensão. Agradeço pelo apoio e pelos ensinamentos que levarei durante a minha vida.

Agradeço a minha mãe, Nancy e irmã, Sarah, pelo incentivo e motivação.

Ao meu marido André pelos preciosos ensinamentos e pela compreensão.

A Chris Tibes e ao Laboratório de Bioinformática (LABI), da Unioeste, pela colaboração e confiança.

Aos professores do curso de Especialização em Engenharia de Segurança de Trabalho.

Aos amigos e colegas de curso, em especial à Francielly, pelo companheirismo e pelas palavras de estímulo diante dos momentos de dificuldade.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

NADAI, Barbara Lepretti. **Construção de um Protótipo de Sistema Especialista para o Diagnóstico de Salubridade frente ao Agente Físico Ruído no Ambiente de Trabalho.** 2012. 67 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2012.

O ruído é o agente físico nocivo mais comumente encontrado no ambiente de trabalho e é considerado como agente potencialmente estressor, podendo provocar agravos à saúde do trabalhador. O ruído excessivo também pode provocar acidentes de trabalho, pois pode impedir que sinais sonoros de alerta sejam ouvidos pelos trabalhadores. Desse modo, o diagnóstico da salubridade do ambiente de trabalho frente ao agente ruído é de suma importância, pois permite a adoção de medidas que visem na eliminação ou mitigação desses fatores. Nesse contexto, métodos computacionais, como os Sistemas Especialistas, podem ser utilizados para o auxílio no processo de tomada de decisão frente ao diagnóstico da salubridade em ambientes ocupacionais relacionados ao ruído. O objetivo deste trabalho foi construir um Sistema Especialista capaz de diagnosticar a salubridade do ambiente ocupacional por meio de dados coletados nos locais de trabalho, visando a saúde e a integridade física dos trabalhadores. O sistema mostrou-se uma importante ferramenta de apoio no processo de tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Saúde ocupacional. Especialistas. Inteligência Artificial.

## ABSTRACT

NADAI, Barbara Lepretti. **Construction of a Prototype of Expert System for Diagnosing the Healthiness in Relation with Noise in the Workplace.** 2012. 67 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2012.

Noise is the harmful physical agent most commonly found in the workplace and is considered as an agent potentially stressful and may cause harm to workers' health. Excessive noise can also cause accidents, it can impede that warning beeps are listen by workers. Therefore, the diagnosis of the healthiness of the workplace in relation with noise agent is important, as it allows the adoption of measures aimed at eliminating or mitigating these factors. In this context, computational methods, such as expert systems, can be used to aid in the decision-making process in facing of the diagnosis of healthiness in the occupational environment related to noise. The aim of this work was to build an expert system that can diagnose the healthiness of occupational environment through data collected in workplaces, to driving at the health and physical integrity of workers. The system proved to be an important tool to support the decision-making process.

**Keywords:** Occupational health. Specialists. Artificial Intelligence.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Ruído do Tipo Contínuo .....	15
Figura 2 -	Ruído do Tipo Intermitente .....	15
Figura 3 -	Ruído do Tipo Impacto .....	16
Figura 4 -	Curvas de Ponderação .....	21
Figura 5 -	Decibelímetro .....	23
Figura 6 -	Dosímetro de Ruído .....	24
Figura 7 -	Protetores Auriculares de Inserção .....	31
Figura 8 -	Protetor Auricular Tipo Concha .....	31
Figura 9 -	Estrutura Básica de um Sistema Especialista .....	41
Figura 10 -	Representação da Interface Gráfica do Expert Sinta para a Variável “vRuidolmpato” e seus Respectiveos Valores .....	47
Figura 11 -	Interface Gráfica da Ferramenta Expert Sinta para a Elaboração das Regras de Produção .....	48
Figura 12 -	Interface para o Cadastro e Consulta das Regras de Produção .....	49
Figura 13 -	Interface com a Regra de Produção Implantada no Sistema .....	55
Figura 14 -	Pergunta Feita ao Usuário pelo Sistema .....	55
Figura 15 -	Interface com o Dado Inserido pelo Usuário .....	56
Figura 16 -	Resultado Gerado pelo Sistema Especialista .....	56
Quadro 1-	Comparação entre Protetor Auricular Tipo Concha e de Inserção .....	32
Quadro 2-	Relação das Variáveis Utilizadas no SE e seus Respectiveos Valores .....	51
Quadro 3-	Regras de Produção Geradas para a Construção do SE .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Nível Sonoro das Atividades Humanas .....	13
Tabela 2	- Padrões dos Medidores de Ruído Conforme a Aplicação .....	22
Tabela 3	- Tempo Máximo de Exposição Permissível em Função do Nível de Ruído para Ruído Contínuo ou Intermitente .....	25
Tabela 4	- Níveis de Pico Máximo Admissíveis em Função do Número de Impactos .....	27
Tabela 5	- Recomendações Frente à Dose Diária ou NEN .....	29
Tabela 6	- Descrição dos Casos Encontrados na Literatura .....	44
Tabela 7	- Descrição dos Casos Gerados Artificialmente .....	45
Tabela 8	- Matriz de Confusão .....	50
Tabela 9	- Comparação entre os Resultados dos Casos Extraídos da Literatura e os Resultados Obtidos pelo SE .....	58
Tabela 10	- Comparação entre os Resultados Obtidos pelos Casos Gerados Artificialmente e os Resultados Obtidos pelo SE .....	58
Tabela 11	- Matriz de Confusão Gerada de Acordo com os Casos do Grupo I .....	59
Tabela 12	- Matriz de Confusão Gerada de Acordo com os casos do Grupo II .....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1 SOM .....	12
2.2 RISCOS AMBIENTAIS .....	13
2.3 RUÍDO .....	14
2.4 RUÍDO E A SAÚDE DO TRABALHADOR .....	16
2.4.1 Efeitos do Ruído no Organismo Humano: Efeitos Auditivos .....	17
2.4.2 Efeitos Extra-auditivos do Ruído no Organismo Humano .....	19
2.5 MÉTODOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DO RUÍDO .....	19
2.5.1 Medidores de Ruído .....	21
2.5.1.1 Decibelímetro .....	22
2.5.1.2 Dosímetro de ruído .....	23
2.6 LIMITES DE TOLERÂNCIA AO RUÍDO .....	25
2.6.1 Nível de Ação .....	27
2.7 CRITÉRIOS DE JULGAMENTO E TOMADA DE DECISÃO .....	28
2.8 MEDIDAS DE CONTROLE DO RUÍDO .....	29
2.8.1 Protetores Auriculares .....	30
2.8.1.1 Atenuação dos protetores auriculares .....	32
2.8.1.1.1 Taxa de redução de ruído (NRR) .....	33
2.8.1.1.2 Taxa de redução de ruído, teste subjetivo ( $NRR_{sf}$ ) .....	34
2.9 PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO AUDITIVA – PCA .....	34
2.9.1 Fases de um PCA .....	35
2.10 SISTEMA ESPECIALISTA .....	36
2.10.1 Vantagens do Uso de um Sistema Especialista .....	37
2.11 ELEMENTOS DE UM SISTEMA ESPECIALISTA .....	38
2.11.1 Interface com o Usuário .....	38
2.11.2 Base de Conhecimento .....	39
2.11.3 Máquina de Inferência .....	40
2.12 SHELLS DE SISTEMAS ESPECIALISTAS .....	41
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
3.1 AMOSTRA .....	43

3.1.1 Grupo I – Casos Obtidos na Literatura .....	43
3.1.2 Grupo II – Casos Artificiais .....	44
3.2 MATERIAIS .....	45
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	46
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA .....	54
4.2 AVALIAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA .....	56
4.2.1 Funcionalidade .....	57
4.2.2 Confiabilidade .....	57
4.2.3 Usabilidade .....	60
4.2.4 Manutenibilidade .....	60
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>61</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ruído é um fator de risco ocupacional considerado o agente físico nocivo mais comumente encontrado no ambiente de trabalho. Desse modo, no Brasil, a perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) é apontada como uma das patologias ocupacionais de mais alta ocorrência.

Nesse sentido, existe grande interesse em dispor de ferramentas computacionais que possam auxiliar na identificação de riscos encontrados nos ambientes de trabalho para garantir a saúde e a segurança do trabalhador. Com o avanço tecnológico, técnicas de Inteligência Artificial tem sido cada vez mais utilizadas em sistemas para a resolução de problemas que exigem alto nível de especialização humana.

Uma das ferramentas que tem recebido grande destaque refere-se a métodos computacionais que auxiliam no processo de tomada de decisões. Dentre esses métodos, os Sistemas Especialistas (SEs), têm sido utilizados nas mais diversas áreas, como na medicina, administração, agricultura e engenharia de segurança do trabalho.

Os Sistemas Especialistas representam o conhecimento de peritos humanos e tem o objetivo de auxiliar na tomada de decisão, melhorando a eficiência e produtividade de seus usuários. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é construir um protótipo de Sistema Especialista para diagnosticar o ambiente de trabalho quanto à salubridade em relação ao agente ruído.

### 1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

#### a) Objetivo Geral

Construir um protótipo de Sistema Especialista capaz de diagnosticar a salubridade do ambiente de trabalho em relação ao agente físico ruído.

#### b) Objetivos Específicos

Desenvolver uma base de conhecimento capaz de realizar as seguintes ações:

- Capacidade para qualificar um ambiente de trabalho quanto à salubridade no que se refere a ruídos, por meio da inserção de valores de níveis de pressão sonora, tempo de exposição ao agente ruído, da utilização ou não do protetor auricular, sua atenuação e tempo de uso.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SOM

Pode-se definir som como um fenômeno vibratório resultante de variações da pressão no ar, cujas variações se dão em torno da pressão atmosférica e se propagam longitudinalmente e tridimensionalmente (SALIBA, 2004). Para Gerges, (2000), “o som é uma forma de energia que é transmitida pela colisão das moléculas do meio, uma contra as outras, sucessivamente”. Segundo Maia (2008), som é a energia na forma de ondas mecânicas longitudinais audíveis que se propagam em meio elástico. Desse modo, o estímulo do aparelho auditivo resultante dessa vibração denomina-se vibração sonora (SALIBA, 2004; RUSSO; SANTOS, 1993; FERNANDES, 2005).

O som possui diversas características físicas, e dentre essas, pode-se destacar três variáveis: frequência, intensidade e timbre, que encontram-se descritas a seguir (RAMALHO, FERRARO; SOARES, 2007; FERNANDES, 2005; YOUNG, 2008):

- a) Frequência: é o número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som, e possui como unidade de medida o Hertz (Hz). Desse modo, o ouvido humano é capaz de captar sons de 20 a 20.000 Hz, cujos valores delimitam o intervalo audível. As frequências abaixo de 20 Hz denominam-se infra-sons, enquanto as frequências acima de 20.000 Hz são conhecidas como ultra-sons, que embora não sejam audíveis, elas estão no ambiente e transmitem energia na forma de onda mecânica, podendo provocar reações adversas no organismo do ser humano;
- b) Intensidade: corresponde à quantidade de energia contida no movimento vibratório, sua medição pode ser realizada por meio da pressão do ar resultante da onda sonora. Os níveis de intensidades sonoras, também denominados níveis sonoros, são expressos em decibéis (dB), que não é uma unidade de medida, mas apenas uma escala. Desse modo, utiliza-se uma escala logarítmica para a intensidade sonora e frequência. Na Tabela 1 é apresentado o nível sonoro de algumas atividades humanas;

- c) Timbre: é a forma de onda da vibração sonora, que permite ao homem reconhecer a fonte geradora do som, ou seja, permite diferenciar vários sons de mesmo tom, porém de fontes diferentes.

**Tabela 1 – Nível Sonoro das Atividades Humanas**

<b>Atividade</b>	<b>Nível Sonoro (dB)</b>
Limiar auditivo	0
Estúdio de gravação	20
Biblioteca forrada	30
Sala de descanso	40
Escritório	50
Conversa	60
Datilografia	70
Tráfego	80
Serra Circular	90
Prensas excêntricas	100
Marteletes	110
Aeronaves	130
Limiar da dor	140

**Fonte: Braga et al., 2002**

## 2.2 RISCOS AMBIENTAIS

Riscos ambientais são riscos provenientes do ambiente em que o trabalhador está inserido durante a jornada de trabalho e que podem causar reações adversas à sua saúde. Portanto, para evitar lesões, perdas e danos, faz-se necessário o reconhecimento desses riscos ambientais, assim como sua identificação, avaliação e controle, caso não seja possível sua extinção. Segundo Zocchio (1996), os riscos ambientais deixam de ser agressivos quando encontram-se sob controle, porém podem causar danos e lesões quando extrapolam o controle.

De acordo com a NR-9, consideram-se riscos ambientais os “agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.” No entanto, para a configuração da insalubridade quanto à exposição do trabalhador a esses agentes é necessário a identificação do risco, a avaliação de sua concentração ou intensidade e a

mensuração do tempo de exposição (BOTTAZZINI, 2011). Embora não sejam citados pela NR-9, deve-se levar em consideração os riscos mecânicos e ergonômicos, que também são responsáveis por acidentes ocupacionais.

Os agentes físicos são as diversas formas de energia as quais os trabalhadores estão expostos, podendo provocar danos físicos aos mesmos. Essas formas de energias podem ser expressas por meio da temperatura, pressão atmosférica, vibração, teor de umidade, radiação e ruído, sendo este o objeto deste estudo.

### 2.3 RUÍDO

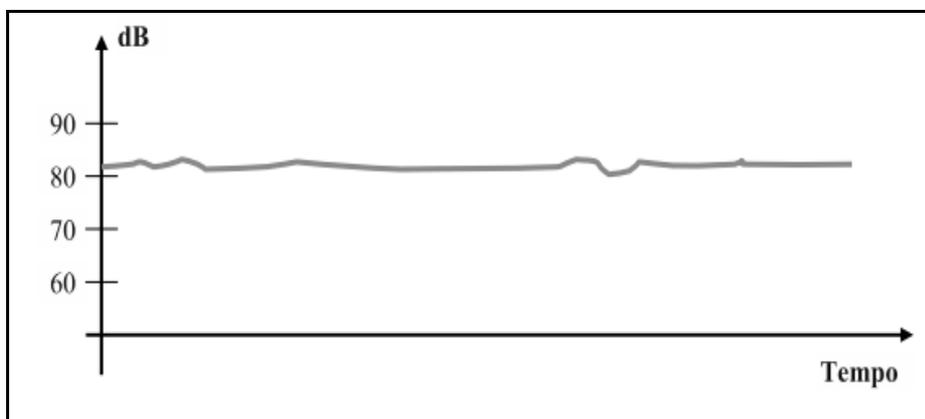
A palavra ruído é originada do latim *rugito* e significa estrondo, pode ser definida de diversas formas pelos mais variados autores, pois trata-se de qualquer som indesejável ou desagradável ao ser humano, o que dá um aspecto de subjetividade a sua definição (PINTO, 2009; BRASIL, 2006).

Segundo Almeida et al. (2000), o ruído é constituído por várias ondas sonoras com relação de amplitude e fase distribuídas desordenadamente, o que provoca uma sensação desagradável ao ouvido humano. Os autores Feldman e Grimes (1985) definem ruído como sendo o resultado da superposição de movimentos de vibração com frequências aleatórias que não apresentam relação entre si. Para Fernandes (2005), ruído é um som complexo, resultante da superposição desarmônica de sons provenientes de diversas fontes.

De acordo com a ISO 2204/1973 e Fernandes (2005), o ruído pode ser classificado em relação ao seu nível de pressão sonora. Maia (2002), define pressão sonora como sendo a “diferença instantânea entre a pressão atmosférica na presença de som e a pressão atmosférica na ausência de som no mesmo ponto do espaço”. Nesse sentido, na análise de segurança do trabalho, podem-se destacar três tipos de ruídos: ruído contínuo, ruído intermitente e ruído de impacto, os quais são apresentados a seguir:

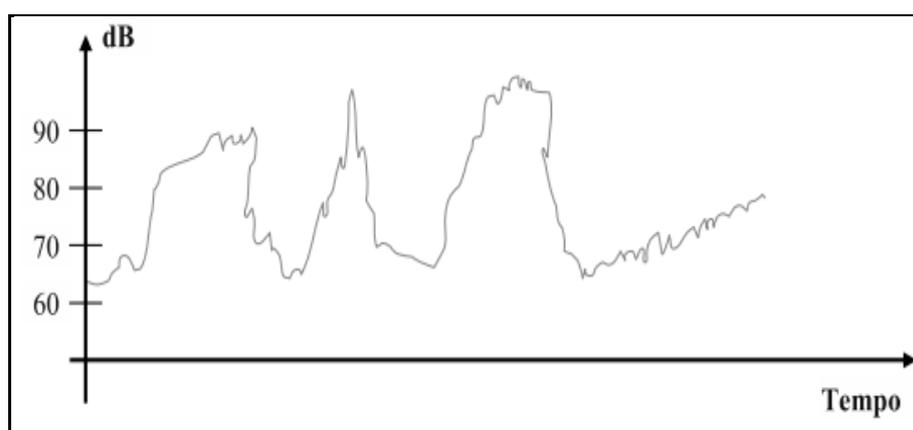
- a) Ruído contínuo: é o ruído cuja variação de nível de intensidade sonora é desprezível em função do tempo (até aproximadamente 3 dB), ou seja, se mantém no tempo. Na Figura 1 é apresentado um gráfico ilustrando o

comportamento de um ruído contínuo ao longo do tempo. Como exemplos desse tipo de ruído citam-se ruídos gerados pela chuva e por aparelhos eletrodomésticos como geladeiras e ventiladores.



**Figura 1 – Ruído do Tipo Contínuo**  
Fonte: Fernandes, 2005

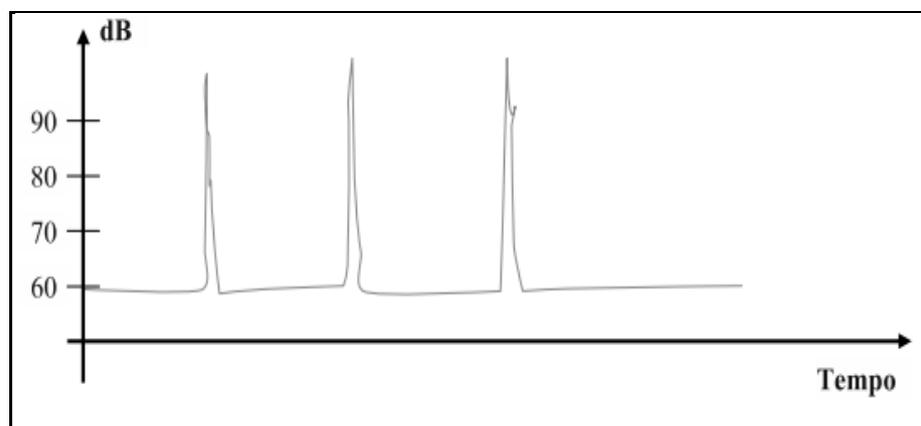
b) Ruído intermitente: esse tipo de ruído apresenta grandes variações de nível de intensidade sonora durante o período observado, geralmente com variação superior a 3 dB. Na Figura 2 é apresentado um gráfico ilustrando um ruído intermitente. Esse tipo de ruído é bastante comum em alguns ambientes de trabalho, principalmente em indústrias, tais como em processos de soldagem, afiação de ferramentas e beneficiamento de madeira.



**Figura 2 – Ruído do Tipo Intermitente**  
Fonte: Fernandes, 2005

c) Ruído de impacto: é o ruído que apresenta altos níveis de intensidade sonora em um pequeno intervalo de tempo. Na Figura 3 é apresentado o gráfico da curva Intensidade vs. Tempo desse tipo de ruído. O ruído de

impacto é considerado um dos tipos mais nocivos à saúde auditiva do homem e é gerado, comumente, por explosões e impactos.



**Figura 3 – Ruído do Tipo Impacto**  
Fonte: Fernandes, 2005

## 2.4 RUÍDO E A SAÚDE DO TRABALHADOR

Estudos apontam que o ruído é o agente físico nocivo mais comumente encontrado no ambiente de trabalho (SELIGMAN, 1997; MIRANDA, 1998). De acordo com Dias et al. (2006), o ruído provoca reações adversas à saúde dos trabalhadores em todo o mundo, devido a alta predominância da exposição a intensidades de ruídos nocivas à audição. Os autores destacam também a possível relação causal entre exposição ocupacional ao ruído e acidentes do trabalho, pois o ruído pode impedir que os sinais sonoros de alerta e outros sons que precedem os acidentes sejam ouvidos pelos trabalhadores.

No entanto, a perda auditiva pode ser mensurada por meio de um exame denominado audiometria, que consiste na determinação dos limiares auditivos em várias frequências de som (MAIA, 2002). Desse modo, a avaliação audiológica periódica permite o acompanhamento da progressão da perda auditiva nos trabalhadores (BRASIL 2006). Nesse sentido, os danos auditivos provocados pelo ruído são passíveis de prevenção por meio do controle audiométrico, sendo o médico do trabalho o responsável por inserir no Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) os procedimentos adequados para a realização de exames com o objetivo de avaliar a eficácia das medidas preventivas adotadas.

Portanto, esse exame deve ser realizado na admissão do trabalhador, bem como na sua demissão, na mudança de função e no exame periódico (com prazo definido pelo médico do trabalho), como forma de diagnosticar e prevenir danos maiores à saúde do trabalhador (SALIBA, 2004).

#### 2.4.1 Efeitos do Ruído no Organismo Humano: Efeitos Auditivos

Indivíduos expostos a altos índices de ruídos podem sofrer reações diversas em todo seu organismo devido a esse estímulo (FERNANDES, 2005). Segundo Menezes e Paulino (2004) e Brasil (2006), os efeitos do ruído no ser humano podem ser divididos em efeitos auditivos e efeitos extra-auditivos.

Os efeitos auditivos do ruído no homem são os únicos reconhecidos pela legislação brasileira e podem ser de diferentes formas, como o trauma acústico, a perda auditiva temporária e a Perda Auditiva Induzida por Ruído (Pair), que são brevemente descritas a seguir:

- a) Trauma acústico: quando a exposição ao ruído ocorre de forma súbita e intensa, o trabalhador pode sofrer um trauma acústico, tendo como consequência uma lesão auditiva temporária ou definitiva. Pode ocorrer também, quando da exposição ao ruído intenso, a mudança transitória de limiar auditivo, que é a diminuição da acuidade auditiva, e que pode retornar ao normal após um período de afastamento do ruído. O zumbido também pode ocorrer como consequência danosa em casos de trauma acústico, podendo haver, inclusive, o rompimento da membrana timpânica (BRASIL, 2006; FERNANDES, 2005).
- b) Perda auditiva temporária: a perda auditiva temporária também conhecida pela literatura inglesa como *Temporary Threshold Shift* (TTS), é uma mudança temporária do limiar auditivo, ou seja, na sensibilidade auditiva, geralmente entre 3000 e 6000 Hz. Desse modo, o mesmo retorna gradualmente à normalidade quando cessada a exposição, tendo um efeito a curto prazo e geralmente recupera-se nas primeiras duas ou três horas. Os efeitos do TTS estão relacionados à suscetibilidade individual, à intensidade do ruído e ao tempo de exposição. A suscetibilidade individual

trata-se das diferentes formas em que os indivíduos percebem o som e pode variar de acordo com a idade, sexo, etnia e exposições anteriores (FERNANDES, 2005).

- c) Perda auditiva induzida por ruído (Pair): estudos relatam que a Pair é considerada a doença ocupacional mais frequente em todo o mundo, e pode estar presente nos mais diversos ramos de atividade, como gráficas, siderurgia, metalurgia, têxteis, construção civil, entre outros (DIAS et al., 2006; BRASIL, 2006; MAIA, 2008). Entende-se por Pair a perda auditiva ocupacional, com diminuição gradual da acuidade auditiva decorrente da exposição continuada a níveis de pressão sonora elevados, podendo ser irreversível (FREITAS; NAKAMURA, 2003; FERNANDES; MORATA, 2002). Porém, uma vez cessada a exposição ao ruído intenso não haverá progressão da redução auditiva (SELIGMAN, 1997).

Araújo (2002) e Brasil (2006), relatam que o portador da Pair pode sofrer danos no processo da comunicação, por meio do comprometimento da inteligibilidade da fala, de acordo com o grau de perda auditiva, além de apresentar intolerâncias a zumbidos e sons intensos. Desse modo, o zumbido é um dos sintomas mais comuns relatados entre os portadores de Pair, que produz no indivíduo um extremo desconforto, cujo tratamento é complexo (DIAS et al., 2006).

Desse modo, a Pair pode interferir na qualidade de vida do trabalhador, devido a fatores psicossociais como isolamento e ansiedade, os quais afetam as relações do indivíduo no trabalho, na família e na sociedade (ARAÚJO, 2002).

De acordo com Fernandes (2005), os fatores que influenciam a Pair são o nível de intensidade sonora, o tempo de exposição do indivíduo, a frequência do ruído e a suscetibilidade individual. Estudos realizados por Araújo (2002), demonstram que o sexo masculino é predominante na incidência e no grau de perda auditiva, e os indivíduos que apresentam maior suscetibilidade à Pair em relação à idade são os mais jovens e os mais idosos.

## 2.4.2 Efeitos Extra-auditivos do Ruído no Organismo Humano

O aparelho auditivo não é o único afetado pelo ruído, os efeitos nocivos do ruído também podem comprometer outros órgãos e funções do organismo, e são denominados efeitos extra-auditivos provocados pelo ruído (TÔRRES et al., 2007). Brasil (2006); Menezes e Paulino (2004); Dani e Garavelli (2001), apontam alguns sinais que vem sendo relacionados à exposição ao ruído, tais como nervosismo, cefaléia, irritabilidade, alterações na visão, alterações no sistema circulatório, alterações gastrointestinais, aumento dos batimentos cardíacos, dificuldade de repouso do corpo, entre outros.

Desse modo, é importante destacar que o ruído é um agente de risco potencialmente estressor, que pode acarretar em sintomas relacionados ao estresse no indivíduo, podendo prejudicar a percepção ambiental, as relações familiares, a comunicação e o sono (BRASIL, 2006).

## 2.5 MÉTODOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DO RUÍDO

Para avaliar o ruído podem ser utilizados diferentes métodos, a seguir encontram-se brevemente descritos alguns deles (FERNANDES, 2005):

- a) Percepção subjetiva do ruído: trata-se de um método que não utiliza equipamento de mediação de ruído, e como o próprio nome indica, é um método subjetivo, pois pode-se avaliar o ruído com a simples verificação da existência de dificuldade de comunicação oral no ambiente, ou a constatação de que os indivíduos, após a permanência prolongada no local, sofreram uma diminuição na sensibilidade auditiva;
- b) Medição de ruídos contínuos: os níveis de ruído contínuo são mensurados por meio do medidor de nível de pressão sonora, com leitura feita diretamente no equipamento. O nível de ruído é medido no posto de trabalho do operário, no sentido de propagação do ruído.
- c) Medição de ruídos intermitentes: dentre os métodos para a medição de ruídos intermitentes, pode-se citar o nível médio de som contínuo

equivalente e a dose de ruído. Os dois métodos objetivam encontrar um valor que represente as variações de pressão sonora. A seguir os dois métodos são brevemente apresentados:

- I. nível médio de som contínuo equivalente: esse método pode expressar as variações de ruídos intermitentes por meio da obtenção de um nível de ruído contínuo que possua a mesma energia acústica que os níveis intermitentes originais, durante um período de tempo. Esse método é considerado preciso para a avaliação do risco auditivo, porém exige um medidor que possua a escala equivalente;
  - II. dose de ruído: é uma variação do nível de som contínuo equivalente, e expressa o ruído como porcentagem da exposição diária permitida para toda a jornada de trabalho, utilizando um equipamento denominado dosímetro. Desse modo, esse método é considerado a forma mais precisa da avaliação do risco ocupacional ao ruído.
- d) Medição de ruídos de impacto: alguns medidores de níveis de ruído possuem a escala “impulso” para a medição desses tipos de ruídos. Há também outra forma de medição de ruídos de impacto, que consiste na determinação do valor máximo atingido pela pressão sonora durante a medição.
- e) Análise de frequência: este método é utilizado quando se deseja realizar um completo programa de controle de ruído ambiental, auxiliando no projeto de atenuação dos níveis sonoros, bem como na escolha das superfícies tratadas acusticamente e dos protetores auriculares.

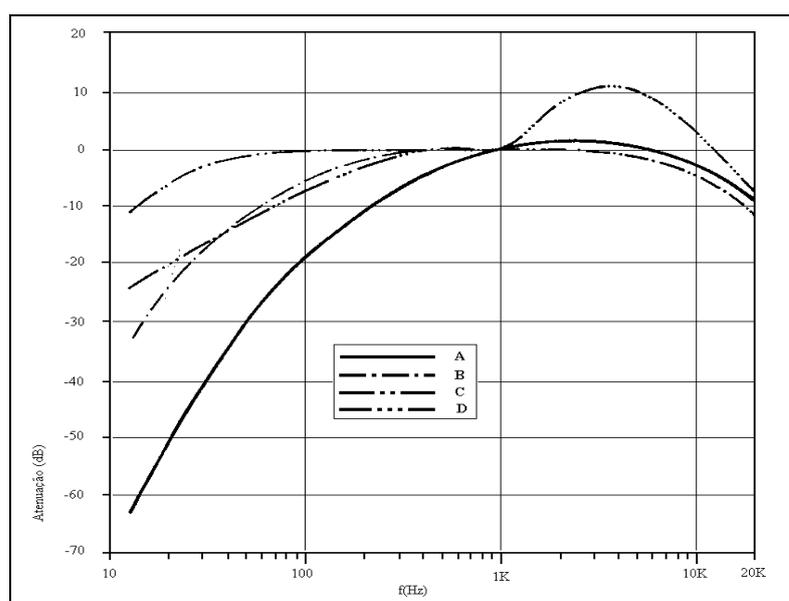
Segundo Fernandes (2005), no Brasil há poucos métodos de avaliação de ruído, podendo ser encontrados nas Normas de Higiene Ocupacional (NHO) da Fundacentro, e na Portaria nº 3.214/1978, por meio da Norma Regulamentadora Nº 15, cuja avaliação dos danos auditivos foram fixados pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), que possui critério legal. Porém há algumas divergências entre a NR-15 e as NHOs, da Fundacentro.

A Fundacentro é um órgão público ligado ao Ministério do Trabalho e Emprego responsável pela realização de estudos e pesquisas pertinentes à higiene ocupacional e pelo assessoramento técnico, dessa forma as NHOs são referências oficiais. Nesse sentido, a Fundacentro apresenta com maior profundidade as questões técnicas relacionadas à metodologia e critério de avaliação em relação à

NR-15 (REGAZZI; ARAÚJO, 2000). Nesse contexto, neste trabalho serão adotados os limites de exposição ao ruído da Fundacentro.

### 2.5.1 Medidores de Ruído

Os equipamentos para medição de ruído simulam a resposta do ouvido humano quando estimulados pelas ondas sonoras, cuja resposta é não-linear em relação à frequência. Desse modo, para compensar tal linearidade de maneira que o aparelho forneça uma leitura de acordo com a sensibilidade do ouvido, os equipamentos possuem circuitos de compensação, padronizados internacionalmente, que alteram a resposta linear do microfone. Essa compensação ocorre devido à atenuação do sinal acústico em algumas frequências, por meio de circuitos projetados conforme curvas isoaudíveis traçadas com dados obtidos em testes subjetivos, denominadas Curvas de Ponderação. Portanto, os sensores dos equipamentos que medem o nível de pressão sonora são estimulados pela variação de pressão no meio, medindo assim o valor eficaz da pressão sonora e cujo valor é expresso em termos de níveis de pressão sonora, por meio de circuitos (MAIA, 2002; FERNANDES, 2005). A Figura 4, a seguir, apresenta as Curvas de Ponderação.



**Figura 4 – Curvas de Ponderação**  
Fonte: Nepomuceno, 1977

Desse modo, para fins de conservação auditiva, o circuito “A” é adotado em avaliações que envolvem ruído contínuo e/ou intermitente e o circuito “C” é utilizado para avaliações que envolvem ruído de impacto. Alguns equipamentos possuem a curva “B” e “D”, indicadas para avaliações de baixas frequências e ruídos especiais de alta frequência, respectivamente. Os medidores também utilizam constantes em relação ao tempo: são os tempos correspondentes às respostas lenta (*slow*), de um segundo e, rápida (*fast*), de 0,125 segundos (FERNANDES, 2005; MAIA, 2002).

É importante destacar que os equipamentos de medição de ruído possuem diferentes graus de precisão, que é indicado conforme cada aplicação, como apresentado na Tabela 2. Nesse sentido, para alcançar resultados de medições confiáveis, é necessário que os equipamentos atendam os padrões da *International Electrotechnical Commission* (IEC) e da *American National Standards Institute* (ANSI), as quais são agências internacionais de regulamentação (FERNANDES, 2005).

**Tabela 2 – Padrões dos Medidores de Ruído Conforme a Aplicação**

<b>Padrão ANSI S1.4/83</b>	<b>Padrão IEC 651</b>	<b>Aplicação</b>
0	0	Referência padrão de Laboratório.
1	1	Uso em Laboratório ou campo em condições controladas.
2	2	Uso geral em campo.
Não existe	3	Inspeções rotineiras, tipo “varredura”, para constatar se os níveis de ruído estão substancialmente acima dos limites de tolerância.

Fonte: Fernandes, 2005

A seguir são apresentados dois equipamentos utilizados para a medição dos níveis de ruído ocupacional: o decibelímetro e o dosímetro de ruído.

#### 2.5.1.1 Decibelímetro

O decibelímetro é um equipamento portátil utilizado para a medição do nível de pressão sonora instantâneo de qualquer natureza, ou seja, ruídos contínuos, intermitentes ou de impacto. Na Figura 5 é apresentado um decibelímetro, que é um equipamento leve e de fácil transporte. Dentre os instrumentos existentes, o

decibelímetro é o instrumento de medição que apresenta maior versatilidade, opções de modelos e com diferentes graus de precisão.



**Figura 5 - Decibelímetro**  
**Fonte: Instrutherm, 2012**

De acordo com a NR-15 e a NHO 01, os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis, nos postos de trabalho, com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (*slow*), orientado no sentido principal da propagação das ondas sonoras, próximo à zona auditiva do trabalhador. Desse modo, os níveis de ruído de impacto deverão ser avaliados com medidor de nível de pressão sonora operando no circuito linear e circuito de resposta para impacto.

#### 2.5.1.2 Dosímetro de ruído

O dosímetro de ruído é um equipamento utilizado para medições de ruídos que variam durante a jornada de trabalho, e possui como princípio operacional a integração dos valores instantâneos ponderados pelo tempo de duração de cada nível em relação ao tempo total (MAIA, 2002). O dosímetro, que também é conhecido como medidor integrador de uso pessoal, é apresentado na Figura 6.



**Figura 6 – Dosímetro de Ruído**  
**Fonte: Instrutherm, 2012**

O dosímetro expressa o ruído como uma porcentagem de energia sonora, tendo como referência o valor máximo desta energia diária permitida. Dessa forma, o limite diário de exposição do trabalhador ao ruído contínuo ou intermitente corresponde a dose diária igual a 100% (NHO 01).

Como mencionado anteriormente, a medição da dose de ruído por meio do dosímetro é o método mais preciso para avaliar os riscos referentes ao ruído ocupacional, pois o equipamento acompanha o trabalhador durante toda a jornada de trabalho (FERNANDES, 2005). Nesse sentido, a NHO 01 recomenda a utilização de dosímetros para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído contínuo ou intermitente, porém na indisponibilidade destes equipamentos, a referida norma sugere a utilização de medidores de leitura instantânea, não fixados no trabalhador.

De acordo com a NHO 01, os dosímetros devem atender às especificações da norma ANSI S 1.25/91, possuir classificação mínima do tipo 2 e estar ajustado da seguinte forma: operar no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (*slow*); ter como critério de referência o valor de 85 dB, que corresponde a dose de 100% para exposição de 8 horas; indicação da ocorrência de níveis superiores a 115 dB e nível limiar de integração 80 dB (A).

## 2.6 LIMITES DE TOLERÂNCIA AO RUÍDO

O ruído pode causar reações adversas à saúde humana, alterar o humor e a capacidade de concentração do trabalhador. Desse modo, é adotada no Brasil, para fins de fiscalização, a CLT, onde encontram-se fixados os métodos de medição do ruído e a avaliação dos seus danos auditivos. A legislação correspondente encontra-se na NR-15, intitulada “Atividades e Operações Insalubres”. Porém, neste trabalho são adotados os limites de exposição diária ao ruído da NHO 01, da Fundacentro, por tratar-se de limites mais rigorosos em relação à NR-15.

Segundo Maia (2002), entende-se por Nível de Exposição Normalizado (NEN) a “energia acústica média que tem o mesmo potencial de lesão auditiva que o conjunto de todos os níveis considerados dentro do período de integração.” Com a finalidade de comparação com as regras técnicas, a jornada de trabalho é normalizada em um período de oito horas por dia. Dessa forma, pode-se comparar as exposições reais dos trabalhadores expressas pelo NEN com limites de tolerância. Nesse contexto, entende-se por Limite de Tolerância ao ruído o nível sonoro acima do qual pode haver dano ou risco de perda auditiva para o trabalhador não protegido exposto por oito horas diárias.

Na Tabela 3 são apresentados os tempos máximos diários de exposição permissíveis em função do nível de ruído para os ruídos contínuos ou intermitentes, segundo a NHO 01.

**Tabela 3 – Tempo Máximo Diário de Exposição Permissível em Função do Nível de Ruído para Ruído Contínuo ou Intermitente**

(continua)

Nível de Ruído – dB(A)	Tempo máximo diário permissível (Tn) em minutos
80	1.523,90
81	1.209,52
82	960,00
83	761,95
84	604,76
85	480,00
86	380,97
87	302,38
88	240,00
89	190,48

**Tabela 3 – Tempo Máximo Diário de Exposição Permissível em Função do Nível de Ruído para Ruído Contínuo ou Intermitente**

<b>(conclusão)</b>	
<b>Nível de Ruído – dB(A)</b>	<b>Tempo máximo diário permissível (Tn) em minutos</b>
90	151,19
91	120,00
92	95,24
93	75,59
94	60,00
95	47,62
96	37,79
97	30,00
98	23,81
99	18,89
100	15,00
101	11,90
102	9,44
103	7,50
104	5,95
105	4,72
106	3,75
107	2,97
108	2,36
109	1,87
110	1,48
111	1,18
112	0,93
113	0,74
114	0,59
115	0,46

**Fonte: NHO 01**

De acordo com a Tabela 3, pode-se observar que o limite de exposição valor teto para o ruído contínuo ou intermitente é 115 dB (A). Desse modo, entende-se por Limite de Exposição Valor Teto como sendo o valor máximo, acima do qual não é permitida a exposição do trabalhador em nenhum momento da jornada de trabalho (NHO 01).

Os efeitos do ruído na saúde humana dependem da duração e do nível de exposição ao ruído. Desse modo, a relação entre tempo e intensidade é denominada incremento de duplicação de dose. A NHO 01 adota como incremento de duplicação de dose o valor igual a 3, ou seja, a energia sonora irá dobrar ou reduzir à metade a cada aumento ou decréscimo de 3 dB, respectivamente.

A referida norma destaca que as atividades que exponham os trabalhadores a níveis de ruído, contínuo ou intermitente, superiores a 115 dB (A), sem proteção adequada, oferecerão risco grave e iminente.

O limite de exposição diária ao ruído de impacto é apresentado na Tabela 4, cujos níveis de pico máximo admissíveis estão correlacionados com o número de impactos ocorridos durante a jornada diária de trabalho (NHO 01).

**Tabela 4 – Níveis de Pico Máximo Admissíveis em Função do Número de Impactos**

<i>Np</i>	<i>n</i>	<i>Np</i>	<i>n</i>	<i>Np</i>	<i>n</i>
120	10000	127	1995	134	398
121	7943	128	1584	135	316
122	6309	129	1258	136	251
123	5011	130	1000	137	199
124	3981	131	794	138	158
125	3162	132	630	139	125
126	2511	133	501	140	100

Fonte: NHO 01

Sendo:

*Np* = nível de pico, em dB (Lin), máximo admissível

*n* = número de impactos ou impulsos ocorridos durante a jornada diária de trabalho

De acordo com a NHO 01, quando o número de impactos ou de impulsos diários exceder a 10000 ( $n > 10000$ ), o ruído deverá ser considerado como contínuo ou intermitente. O limite de tolerância valor teto para ruído de impacto corresponde ao valor de nível de pico de 140 dB (Lin). E, o nível de ação (descrito a seguir) para a exposição ocupacional ao ruído de impacto corresponde ao valor *Np*, subtraído de 3 dB, sendo assim, ( $Np - 3$ ) dB.

### 2.6.1 Nível de Ação

Denomina-se nível de ação o valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas para diminuir a probabilidade de que as exposições ao ruído tenham como consequência reações adversas à saúde do trabalhador e evitar que

ultrapassem os limites de exposição (NR-9; NHO 01). Nesse sentido, os níveis de ação para ruído podem ser mensurados de acordo com a equação (1):

$$NA = 0,5 \times LT \quad (1)$$

Sendo:

$NA$  = nível de ação

$LT$  = limite de tolerância (Tabela 3)

A NHO 01 adota como nível de ação o valor de 82 dB(A), pois o incremento de duplicação de dose é igual a 3, ou seja, quando o nível de pressão sonora atingir 85 dB(A), terá sua energia sonora dobrada. Desse modo, se o valor do nível de pressão sonora superar o valor de 82 dB(A), devem ser tomadas medidas preventivas, com o objetivo de minimizar a probabilidade de prejuízos à saúde auditiva do trabalhador devido à exposição ao ruído, e evitar que o limite de exposição seja ultrapassado. Por sua vez, o nível de 85 dB(A) representa a exposição admissível em ambientes de trabalho. Se forem encontrados valores acima desse nível, torna-se obrigatório a adoção de medidas mais efetivas de controle da exposição ao ruído (MAIA, 2002).

## 2.7 CRITÉRIOS DE JULGAMENTO E TOMADA DE DECISÃO

A NHO 01 recomenda algumas atuações frente à dose diária ou ao nível de exposição normalizado, que são critérios equivalentes de avaliação de ruído, encontrados na condição de exposição avaliada visando à preservação auditiva dos trabalhadores. A Tabela 5 apresenta as medidas recomendadas:

**Tabela 5 – Recomendações Frente à Dose Diária ou NEN**

<b>Dose diária (%)</b>	<b>NEN dB (A)</b>	<b>Consideração técnica</b>	<b>Atuação recomendada</b>
0 a 50	até 82	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
50 a 80	82 a 84	Acima do nível de ação	Adoção de medidas preventivas
80 a 100	84 a 85	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da dose diária
Acima de 100	>85	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

**Fonte: NHO 01**

## 2.8 MEDIDAS DE CONTROLE DO RUÍDO

Como mencionado, os ruídos podem levar a ocorrências de acidentes e/ou doenças ocupacionais, portanto, faz-se necessário o controle dos níveis de ruído por meio de medidas que visam à atenuação dos efeitos do ruído sobre os indivíduos. Desse modo, pode-se observar três formas de medidas de controle do ruído ocupacional: controle do ruído na fonte, no meio de propagação e no receptor (SALIBA, 2004).

Fernandes (2005) descreve a fonte do ruído como sendo a própria causa do mesmo. Nesse contexto, o meio de propagação do ruído é descrito como o elemento transmissor do ruído, podendo ser o ar, o solo ou a estrutura da edificação e o receptor é descrito como sendo o próprio trabalhador. Para a melhoria das condições de trabalho em relação ao ruído, o autor salienta ainda a hierarquização dos três elementos citados acima:

- 1) Controle na fonte do ruído;
- 2) Controle no meio de propagação do ruído;
- 3) Controle do ruído no receptor.

As medidas de controle de ruído na fonte e no meio são descritas brevemente, pois o foco deste trabalho se dará nas medidas de controle no receptor.

O controle do ruído na fonte deve ser adotado na fase de planejamento das instalações, objetivando a escolha de equipamentos que emitam menores níveis de

ruído e a organização do *layout* das instalações. Porém, o ruído na fonte também pode ocorrer devido a fatores mecânicos dos equipamentos e maquinaria utilizados, pela falta de manutenção, destacando-se assim, a importância da manutenção preventiva e corretiva dos mesmos.

Quando não for possível o controle na fonte ou quando a redução obtida for insuficiente, é indicado o controle de ruído no meio de propagação, que tem como finalidade evitar a transmissão de ruídos para outros ambientes ou absorvê-los, de forma a evitar as reflexões. Desse modo, pode-se controlar o ruído pela absorção do som ou pelo isolamento da fonte de ruído ou do receptor (SALIBA, 2004; FERNANDES, 2005).

Quando as medidas anteriores não forem suficientes para corrigir o problema ou se há a necessidade de complementá-las, deve-se adotar medidas de controle no receptor, ou seja, no trabalhador, que podem ser:

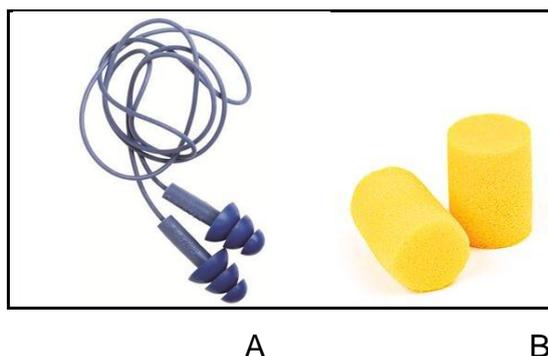
- a) Limitação do tempo de exposição do trabalhador ao ruído: consiste na adoção de medidas que visem à redução do tempo de exposição aos níveis de ruídos superiores aos limites de tolerância, como exemplo pode-se citar a rotação de turnos. Porém, na prática, este método é de difícil aplicação e pode gerar problemas à produtividade se não for estudado detalhadamente (SALIBA, 2004);
- b) Uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI): nesse caso, os EPIs indicados são os protetores auriculares, que são detalhados a seguir.

### 2.8.1 Protetores Auriculares

A NR-6 descreve Equipamento de Proteção Individual como sendo todo dispositivo utilizado individualmente pelo trabalhador com o objetivo de proteção em relação aos riscos que ameaçam a saúde e segurança durante a jornada de trabalho. Nesse sentido, no que se refere a ruído, os EPIs utilizados são os protetores auditivos ou auriculares, que objetivam a redução dos ruídos ocupacionais excessivos a níveis aceitáveis. De acordo com a NIOSH (*National Institute For Occupational Safety and Health*), o protetor auricular deve manter a exposição auditiva do trabalhador abaixo do nível de 85 dB (A). Desse modo os

protetores auditivos mais utilizados são os de inserção (Figura 7) e os circum-auriculares (Figura 8), descritos a seguir (FERNANDES, 2005):

- a) Protetores auriculares de inserção: conhecidos também como *plugs*, são dispositivos que se inserem no canal auditivo do trabalhador, podendo ser pré-moldados ou moldáveis. A Figura 7 apresenta os protetores auriculares de inserção pré-moldado (A) e moldável (B):



**Figura 7 – Protetores Auriculares de Inserção**  
Fonte: 3M, 2012

- b) Protetores circum-auriculares (ou tipo concha): são protetores que recobrem totalmente o pavilhão auditivo do trabalhador, assentando-se no osso temporal, proporcionando boa movimentação do operário. Na Figura 8 é apresentado o protetor tipo concha:



**Figura 8 – Protetor Auricular Tipo Concha**  
Fonte: 3M, 2012

Para garantir maior eficácia, a escolha do protetor auricular é essencial, devendo-se levar em conta as vantagens e desvantagens de cada tipo de protetor, fator de proteção, entre outros. No Quadro 1 encontra-se a comparação entre os protetores auriculares tipo concha e os de inserção.

Concha	Inserção
Eliminam ajustes complexos de colocação. Podem ser colocados perfeitamente por qualquer pessoa.	Devem ser adequados a cada diâmetro e longitude do canal auditivo externo.
São grandes e não podem ser levados facilmente nos bolsos das roupas. Não podem ser guardados junto com as ferramentas, e sim em lugares apropriados.	São fáceis de carregar. Mas são fáceis de esquecer ou perder.
Podem ser observados a grande distância, permitindo tomar providências para realizar a comunicação oral.	Não são vistos ou notados facilmente e criam dificuldades na comunicação oral normal.
Interferem no uso dos óculos pessoais ou EPI's.	Não dificultam o uso dos óculos pessoais ou EPI's.
Podem ajustar-se, mesmo quando se usam luvas.	Deve-se tirar as luvas para poder colocá-los
Podem acarretar problemas de espaço em locais pequenos e confinados.	Não produzem problemas por limitação de espaço.
Podem produzir contágio somente quando usados coletivamente.	Podem infectar ou lesar ouvidos sãos.
Podem ser confortáveis em ambientes frios, mas muito desagradáveis em ambientes quentes.	Não são afetados pela temperatura ambiente.
Sua limpeza deve ser feita em locais apropriados.	Devem ser esterilizados frequentemente.
Podem ser usados por qualquer pessoa, de ouvidos sãos ou enfermos.	Devem ser inseridos somente em ouvidos sãos.
O custo inicial é grande, mas sua vida útil é longa.	O custo inicial é baixo, mas sua vida útil é curta.

**Quadro 1 – Comparação entre protetor auricular tipo concha e de inserção**

**Fonte: Saliba, 2004**

Para Gerges (2000), entre os critérios para a escolha dos diferentes tipos de protetores auriculares deve-se levar em consideração o conforto, necessidade de comunicação do usuário, higiene, atenuação, entre outros.

#### 2.8.1.1 Atenuação dos protetores auriculares

O valor da atenuação dos protetores auriculares deve ser fornecido pelos fabricantes e importadores dos protetores no Brasil. No entanto, para a determinação da atenuação dos protetores auriculares são realizados ensaios em laboratórios credenciados, que são baseados na comparação entre o limiar auditivo de um indivíduo sem protetor auricular e outro indivíduo com protetor. A atenuação do protetor é fornecida pela diferença entre as duas medidas (GERGES, 2000).

Segundo a NIOSH (1998), o uso descontínuo do protetor auricular pelo trabalhador reduz drasticamente sua efetividade. Como exemplo pode-se citar um

protetor com atenuação de 30 dB(A) para uso de oito horas diárias: se durante a jornada de trabalho o trabalhador deixar de usá-lo por um período de 30 minutos, o protetor atenuará apenas 15 dB(A).

Pode-se destacar dois métodos de atenuação dos protetores auriculares vigentes, o que gera dois tipos de produtos disponíveis no mercado: os protetores com taxa de redução “*Noise Reduction Rate*” (NRR) e os protetores com taxa de redução “*Noise Reduction Rate, subject fit*” (NRR<sub>sf</sub>), cujos valores de atenuação são calculados para o uso de oito horas diárias. A seguir são detalhados os dois tipos de taxa de redução.

#### 2.8.1.1.1 Taxa de redução de ruído - NRR

O valor “*Noise Reduction Rate*” (NRR), ou Taxa de Redução de Ruído, é impresso nas embalagens dos protetores e é encontrado também no Certificado de Aprovação (CA) dos mesmos. Esse valor é calculado para dados de ensaios de acordo padrões da norma ANSI S 3.19/74 e é obtido em laboratório sob orientação de especialistas e com os participantes do ensaio (ouvintes) orientados e supervisionados em relação à colocação dos protetores auriculares antes da realização dos ensaios. Desse modo, os resultados dos ensaios por esta norma fornecem a maior atenuação de ruído que o protetor pode fornecer (GERGES, 2000).

De modo geral, os trabalhadores não fazem a correta colocação do protetor auricular, fazendo com que os valores de atenuação dos protetores obtidos em laboratório não sejam alcançados. Portanto, para melhor se aproximar das condições reais de uso, é recomendado que os valores de NRR fornecidos pelos fabricantes sejam reduzidos, conforme indicado abaixo (GERGES,2000):

- a) Protetor tipo circum-auricular: multiplicar o NRR fornecido pelo fabricante por 0,75 (75%);
- b) Protetor tipo *plug* moldável: multiplicar o NRR fornecido pelo fabricante por 0,50 (50%);
- c) Protetor tipo *plug* pré-moldado: multiplicar o NRR fornecido por 0,3 (30%).

#### 2.8.1.1.2 Taxa de redução de ruído, teste subjetivo - $NRR_{sf}$

Os valores “*Noise Reduction Rate, subject fit*” ( $NRR_{sf}$ ), ou Taxa de Redução de Ruído, teste subjetivo, foram obtidos por meio de ensaios da norma ANSI S12.6/97. Nesta norma, para a realização dos ensaios de atenuação dos protetores auriculares, os ouvintes desconheciam o uso dos protetores e não eram orientados quanto à colocação dos mesmos, devendo apenas seguir as instruções apresentadas nas embalagens de comercialização do produto. Desse modo, estudos demonstram que os valores de atenuação obtidos pela referida norma se aproximam mais da atenuação em uso real.

Assim, os novos valores da atenuação dos protetores não refletem alterações nos protetores auriculares, mas uma alteração no método dos ensaios (GERGES, 2000).

### 2.9 PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO AUDITIVA – PCA

O Programa de Conservação Auditiva (PCA) tem o objetivo de estabelecer procedimentos adequados de gerenciamento das medidas de controle da exposição ocupacional ao ruído. Nesse contexto, o PCA envolve a atuação de uma equipe multidisciplinar, e para sua eficiência, é necessário a adesão de todos os membros da organização, desde a alta gerência até os trabalhadores expostos, enfatizando o papel a ser desempenhado por cada membro nos programas preventivos (SALIBA, 2004).

Para Maia (2002), os PCAs tem a finalidade de evitar as perdas auditivas nos indivíduos provocadas pela exposição ocupacional ao ruído, por meio da sensibilização, educação e motivação dos trabalhadores, fazendo com que esses se protejam do ruído mesmo quando não estiverem no ambiente de trabalho. O PCA propicia benefícios para o trabalhador, para as empresas e para a saúde pública. Desse modo, a preservação da capacidade auditiva influencia diretamente na qualidade de vida do trabalhador, por meio da capacidade de comunicação,

detecção de sinais de alerta, redução do estresse e da fadiga relacionados ao ruído, entre outros.

### 2.9.1 Fases de um PCA

Segundo Royster et al. (1998), o PCA pode ser dividido em cinco fases: determinação da exposição ao ruído, controles técnicos e administrativo do ruído, formação e motivação, proteção auditiva e avaliação audiométrica, que encontram-se descritas a seguir.

- a) Determinação da exposição ao ruído: esta fase inicia-se com a medição dos níveis sonoros nos postos de trabalho, para posterior estabelecimento de políticas apropriadas para a proteção dos trabalhadores que são afetados pelo ruído excessivo;
- b) Controles técnicos e administrativos do ruído: o controle do ruído a nível técnico refere-se às modificações efetuadas na fonte, no meio de propagação e no receptor do ruído, com a finalidade de reduzir a exposição dos trabalhadores ao ruído. Fazem parte do controle administrativo do ruído a substituição de equipamentos ruidosos por outros mais silenciosos, a manutenção preventiva e corretiva dos mesmos e a rotação de turnos dos empregados, visando à redução das doses de ruído. No entanto, deve-se salientar o controle administrativo adotado na fase de planejamento, por meio da organização do *layout* das instalações, visando reduzir o ruído a níveis aceitáveis. A importância dos controles técnicos e administrativos do ruído se dá pelo fato de que, se a realização for exitosa, poderá ser eliminada a necessidade de um PCA;
- c) Formação e motivação: nesta fase são realizados os treinamentos e os programas educacionais, visando à formação dos trabalhadores por meio de informações e esclarecimentos que são transmitidos por especialistas, com o objetivo de motivar as ações individuais em relação ao uso de EPIs. As informações tratadas nesta fase devem esclarecer aos trabalhadores o objetivo e os benefícios do PCA, as conseqüências da perda auditiva, a escolha e adaptação dos protetores auriculares, a

importância das avaliações audiométricas para a identificação de mudanças na capacidade auditiva, entre outros;

- d) Proteção auditiva: a proteção auditiva se dá por meio de protetores auriculares fornecidos aos trabalhadores pelo empregador. Os protetores auriculares devem ser escolhidos minuciosamente, de acordo com a atenuação acústica que o mesmo oferece, o tipo, o tempo diário de uso e o grau de adaptação ao trabalhador;
- e) Avaliação audiométrica: todo trabalhador exposto ao ruído ocupacional deve submeter-se a exames audiométricos na admissão, demissão, mudança de função e periodicamente para a avaliação e acompanhamento do estado auditivo, conforme a NR-7, cujos resultados devem ser utilizados para realimentar o PCA e garantir as modificações necessárias. As audiometrias são essenciais para estabelecer as prioridades no PCA e determinar a sua eficácia.

## 2.10 SISTEMA ESPECIALISTA

Com o avanço da tecnologia, ferramentas computacionais são cada vez mais utilizadas para apoiar na resolução de problemas de distintas áreas, tais como medicina, biologia, engenharia e marketing (REZENDE, 2003; BOTTAZZINI, 2001; TIBES, 2011). Nesse contexto, o desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de resolver e/ou apoiar na resolução de tarefas que envolvem alto nível de especialização e conhecimento tem se tornado um tema de interesse e amplamente explorado tanto no meio científico quanto em indústrias.

Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) está sendo cada vez mais utilizada pelo homem, seja na busca de soluções de problemas reais ou no auxílio à tomada de decisão. De modo geral, pode-se dizer que a IA preocupa-se em resolver problemas nos quais o ser humano possui um desempenho superior ao da máquina (REZENDE, 2003).

Os chamados Sistemas Especialistas (SE) utilizam técnicas de IA para procurar reproduzir o raciocínio de um especialista humano, e são de grande valia

para as instituições, pois esses sistemas resguardam, aproveitam e utilizam o talento e a experiência de seus especialistas no processo de tomada de decisões. Em um SE, o conhecimento dos especialistas que foi capturado e organizado é disponibilizado e pode ser utilizado por todos, independentemente de sua capacitação (REZENDE, 2003).

Assim sendo, o conhecimento do perito pode ser representado de distintas maneiras, sendo as Regras de Produção (RP) a maneira mais usual e utilizada por distintas áreas (REZENDE, 2003). Desse modo, para que haja um bom desempenho do SE é necessário que este conheça o maior número possível de formas de resolução de problemas.

Os SEs são sistemas interativos, que auxiliam o usuário, orientando-o no processo de tomada de decisão. Esse processo se dá por meio de inferências, julgamentos e projeção de resultados. Porém, de acordo com Mendes (1997), para que haja sucesso na implementação da tecnologia de um sistema especialista, deve-se realizar uma análise do problema, observando-se a existência das condições descritas abaixo:

- a) Disponibilidade de especialistas com domínio de conhecimentos sobre a área do problema em questão. Esses conhecimentos estão diretamente atribuídos à solução do problema;
- b) Tarefas que exijam equipe multidisciplinar;
- c) Problemas que requeiram conhecimento de particularidades que, se esquecidas, podem prejudicar o desempenho do SE;
- d) Tarefas que apresentem grandes desproporções no desempenho dos melhores e dos piores especialistas;
- e) Escassez de peritos no domínio requerido para a resolução do problema.

As vantagens que um SE pode apresentar na resolução de problemas estão descritas a seguir.

### 2.10.1 Vantagens do Uso de um Sistema Especialista

Segundo Rezende (2003), os sistemas especialistas são dotados de conhecimentos e de processos inteligentes, o que proporciona vantagens diferentes

daquelas obtidas pelos sistemas tradicionais. Mendes (1997) destaca alguns benefícios advindos da utilização de SE, como:

- a) O conhecimento dos peritos pode ser distribuído e, dessa forma, utilizado por um grande número de pessoas;
- b) Melhora no desempenho e na produtividade de seus usuários, pois possuem conhecimentos que demandariam tempo para que outras pessoas possam assimilá-los em condições normais;
- c) Diminuição da vulnerabilidade das organizações em relação às decisões de um especialista;
- d) Os sistemas especialistas são passíveis de portabilidade, e podem ser disponibilizados para a utilização em computadores portáteis, tornando-os amplamente acessíveis.

Devido a essas características, os SE proporcionam um significativo aumento de produtividade quando relacionados à resolução de tarefas especializadas.

## 2.11 ELEMENTOS DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

A estrutura básica dos sistemas especialistas é composta por três elementos fundamentais: a interface com o usuário; a base de conhecimento e a máquina de inferência, os quais são apresentados na Figura 9, e encontram-se descritos a seguir.

### 2.11.1 Interface com o Usuário

A interface é a responsável pela interação entre o sistema e o usuário e deve ser desenvolvida de modo que sua utilização se torne fácil e agradável. Essa interface deve ser apresentada ao usuário de forma clara e de fácil compreensão, com explicações necessárias para sua utilização (GIARRATANO; RILEY, 1998).

Uma importante característica do SE é que permite ao usuário saber o processo pelo qual o sistema percorreu para alcançar uma determinada conclusão, ou seja, os SEs devem ser capazes de explicar seu raciocínio, e essas informações são fornecidas pela interface com o usuário. Esse aspecto é importante, pois permite ao usuário julgar se adota ou não a solução apresentada pelo sistema (NIELSEN, 1993; REZENDE, 2003; BOTTAZZINI, 2001).

### 2.11.2 Base de Conhecimento

A base de conhecimento é responsável por armazenar os conhecimentos fornecidos pelo especialista e que serão utilizados para a resolução de um problema específico. Essas informações devem estar organizadas de forma adequada à interpretação da máquina de inferência. Para isso existem distintas técnicas aplicadas à representação do conhecimento como Frames, Redes Semânticas, Orientação a Objetos e Regras de Produção (BITTENCOURT, 1998). No entanto, Regras de Produção (RP) tem sido amplamente utilizada, pois possuem como principais características:

- a) Modularidade: permite com que a tarefa de incremento ou remoção do conhecimento seja menos trabalhosa;
- b) Facilidade de explicação: a estrutura de uma regra de produção é bastante simples e conhecida em diversas áreas, permitindo com que o resultado apresentado pelo SE possa ser interpretado e entendido pelo usuário;
- c) Similaridade com o processo cognitivo humano: possui uma associação direta com o processo de tomada de decisão humano, o qual, geralmente, pode ser modelado por um conjunto de condições que se forem verdadeiras geram uma conclusão ou tomada de uma ação. As RP possuem o seguinte formato:

***Se** < condições > **então** < conclusões e ações >*

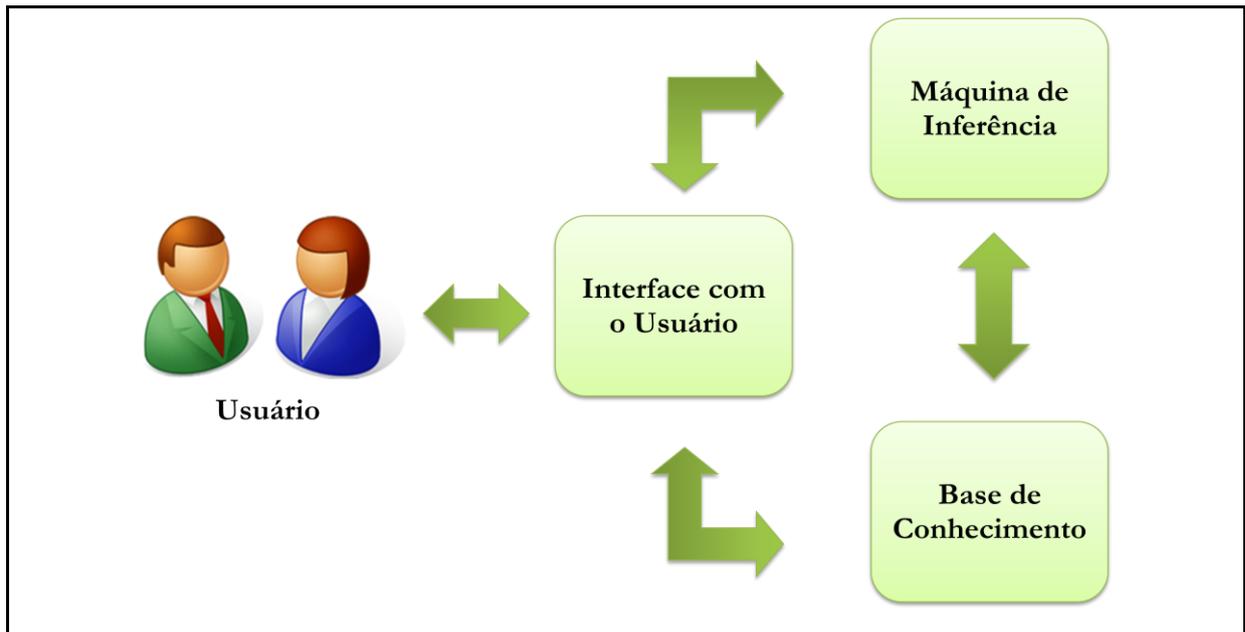
O processo de construção da base de conhecimento geralmente é realizado de maneira explícita, isto é, mediante a interação com especialistas e imersão na literatura. Caracteriza-se como a tarefa de maior importância, pois o sucesso do SE dependerá da qualidade do conhecimento adquirido e representado na base de conhecimento (REZENDE, 2003; BOTTAZZINI, 2001).

### 2.11.3 Máquina de Inferência

A máquina de inferência é responsável pela aplicação do conhecimento disponível na Base de Conhecimento aos dados fornecidos pelo usuário por meio de sua interface (ABEL, 1998). A máquina de inferência é responsável pelo desenvolvimento do raciocínio baseado nas informações fornecidas pelo usuário e nas regras, contidas na Base de Conhecimento, que deverão ser aplicadas até se alcançar uma conclusão. Em SE baseado em regras de produção podem ser aplicadas duas modalidades de raciocínio: o encadeamento progressivo (*forward chaining*) e o encadeamento regressivo (*backward chaining*). No *forward chaining* uma conclusão é alcançada partindo-se das informações fornecidas pelo usuário, isto é, parte-se dos fatos até se chegar a uma conclusão. Desse modo, consiste em perguntar “O que é possível concluir a partir dos dados que temos?”. Já na abordagem *backward chaining* parte-se de uma hipótese qualquer e tenta-se por meio de informações fornecidas pelo usuário comprovar a hipótese. É equivalente a perguntar “É possível provar as hipóteses a partir dos dados que temos?”.

Outra característica do Motor de Inferência refere-se à resolução de conflitos. Conflitos acontecem quando um conjunto de regras satisfaz o problema atual. Essa situação requer selecionar quais regras serão executadas e em que ordem. Distintas abordagens podem ser utilizadas desde seleção ao acaso até a análise de complexidade, simplicidade e especificidade da regra.

Adicionalmente, tem-se situações nas quais há a ausência de informação para tomar decisões devido tanto a falta de conhecimento quanto por complexidade de quantificar conceitos de forma absoluta. Para tratar de tais situações pode-se recorrer a métodos estatísticos e à teoria de conjuntos nebulosos (RUSSEL; NORVIG, 1995).



**Figura 9 – Estrutura Básica de um Sistema Especialista**  
 Fonte: Modificado de Honorato (2004)

## 2.12 SHELLS DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

A representação do conhecimento por meio de regras de produção é o método mais utilizado na construção de SEs, e a definição do tipo de software que deve ser adotado é uma importante tarefa nesta fase (BOTTAZZINI, 2001). Desse modo, pode-se utilizar softwares denominados *shells*, que tem como finalidade representar o conhecimento, aplicar algum raciocínio por meio do mecanismo de inferência para a resolução do problema considerando as informações fornecidas pelo usuário por meio das interfaces de comunicação (DURKIN, 1994; LEMOS, 1996).

Atualmente, existem distintas *Shells* para o desenvolvimento de sistemas especialistas. Dentre as quais destaca-se a *Shell Expert Sinta*, que é uma ferramenta para o desenvolvimento de sistemas especialistas desenvolvida pelo Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Essa ferramenta permite que a construção de um SE possa ser realizada por profissionais que possuem conhecimentos restritos quanto ao desenvolvimento de sistemas computacionais e fazendo com que

todo o foco esteja na construção da base de conhecimento. O Expert Sinta possuiu também como características:

- a) Motor de inferência com encadeamento para trás;
- b) Permite a configuração de fatores de confiança;
- c) Recurso de depuração;
- d) Possibilidade de incluir mecanismo de ajuda.

Em (HONORATO, 2004) é apresentada uma descrição com as principais características de outras *shells* existentes, dentre as quais a *Shell* CLIPS (GIARRATANO; RILEY, 1998), JESS (FRIEDMAN-HILL, 1995) e RT-EXPERTS (RTIS, 1994).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 AMOSTRA

As amostras utilizadas neste trabalho consistem de casos retirados da literatura e de casos gerados artificialmente. Desse modo, as amostras utilizadas neste trabalho foram divididas em dois grupos, os quais são apresentados a seguir.

##### 3.1.1 Grupo I – Casos Obtidos da Literatura

Este grupo está composto por amostras referentes a dados de medições de nível de pressão sonora, medidos com o uso de decibelímetros, obtidos de distintos trabalhos da literatura. Para compor a amostra do Grupo I foram utilizados os seguintes trabalhos da literatura:

- a) Trabalho I – abrange um estudo realizado com componentes da Banda Municipal de Indaial, cidade localizada no Estado de Santa Catarina, no ano de 2005. As medições foram realizadas durante ensaio da banda, totalizando dezoito pontos de amostragem, e cujos valores demonstraram elevados níveis de pressão sonora (MENDES; MORATA; MARQUES, 2007);
- b) Trabalho II – Neves e Soalheiro (2010), mediram o ruído de impacto produzido por fuzil durante as atividades de tiro de instrução básico no Exército Brasileiro, no Rio de Janeiro. De acordo com os autores, o protetor auricular de inserção utilizado pela maioria dos militares que participaram do estudo, cujo valor de atenuação auditiva corresponde a  $NRR_{sf}$  de 12 dB, não é efetivo para a proteção auditiva, caracterizando insalubridade no ambiente de trabalho;
- c) Trabalho III – em estudos realizados em um Hospital Público de São Paulo, Leme (2001) avaliou o ruído ocupacional em quatro setores do hospital, durante os anos de 1996 e 1997. Os níveis de pressão sonora

elevados demonstraram que os trabalhadores dos setores avaliados encontravam-se expostos a ruídos intensos, provenientes de maquinários localizados em cada setor de estudo;

d) Trabalho IV – Lacerda, Morata e Fiorini (2001), avaliaram os níveis de pressão sonora nas aulas de ginástica com música em três academias localizadas na cidade de Curitiba. Os autores concluíram que os níveis de pressão sonora observados no estudo encontravam-se elevados, podendo prejudicar a audição dos professores.

A partir desses trabalhos foram gerados 30 casos, os quais serão utilizados na avaliação do sistema especialista proposto neste trabalho. A descrição de cada caso é apresentada na Tabela 6.

**Tabela 6 – Descrição dos Casos Encontrados na Literatura**

Trabalho	Qual o tipo de ruído? Se o ruído for de impacto, qual o nº de impactos ocorridos durante a jornada de trabalho (n)?	NPS(dB)* (média) para cada Ponto de Medição (P <sub>x</sub> )	Há o uso de protetor auricular? Se sim, qual a atenuação, o tipo de protetor e o nº de uso de horas diário?	Salubridade do ambiente
I	Contínuo ou intermitente	P <sub>1</sub> =103,6 P <sub>2</sub> =103,6 P <sub>3</sub> =103,6 P <sub>4</sub> =101,6 P <sub>5</sub> =103,3 P <sub>6</sub> =104,3 P <sub>7</sub> =106,9 P <sub>8</sub> =104,3 P <sub>9</sub> =101,5 P <sub>10</sub> =102,1 P <sub>11</sub> =100,1 P <sub>12</sub> =96,4 P <sub>13</sub> =98,1 P <sub>14</sub> =102,2 P <sub>15</sub> =98,7 P <sub>16</sub> =101,4 P <sub>17</sub> =101,3 P <sub>18</sub> =98,7	Não	Insalubre
II	Impacto, n=2900	P <sub>1</sub> =146,1 P <sub>2</sub> =147,2	Sim, NRR <sub>af</sub> de 12 dB, protetor auricular de inserção, uso de 8 horas/dia	Insalubre
III	Contínuo ou intermitente	P <sub>1</sub> =94,65 P <sub>2</sub> =94,65 P <sub>3</sub> =97,6 P <sub>4</sub> =85,5	Não	Insalubre
IV	Contínuo ou Intermitente	P <sub>1</sub> =77,4 P <sub>2</sub> =73,9	Não	Salubre
		P <sub>3</sub> =90,1 P <sub>4</sub> =87,4 P <sub>5</sub> =92,4 P <sub>6</sub> =94,2		Insalubre

\* NPS(dB) = Nível de Pressão Sonora (Decibéis)

### 3.1.2 Grupo II – Casos Artificiais

Para a complementação do conjunto de casos e com o intuito de avaliar situações adversas, alguns casos foram gerados artificialmente. Esses casos foram elaborados em conjunto com o especialista de domínio da área de Engenharia e Segurança no Trabalho. Neste trabalho foram gerados e utilizados 20 casos

artificiais, com o intuito de abranger situações diversas, de acordo com as características apresentadas na Tabela 7:

**Tabela 7 – Descrição dos Casos Gerados Artificialmente**

Caso	Qual o tipo de ruído? Se o ruído for de impacto, qual o nº de impactos ocorridos durante a jornada de trabalho (n)?	NPS(dB)* (média) para cada Ponto de Medição ( $P_x$ )	Há o uso de protetor auricular? Se sim, qual a atenuação, o tipo de protetor e o nº de uso de horas diário?	Salubridade do ambiente
I	Contínuo ou intermitente	$P_1=90$	Sim, NRR=30 dB, protetor tipo concha, uso de 7 horas/dia	Salubre
II	Contínuo ou intermitente	$P_1=104$	Sim, NRR=30 dB, protetor pré-moldado, uso de 7 horas/dia	Insalubre
III	Contínuo ou intermitente	$P_1=104$	Sim, NRR=30 dB, protetor moldável, uso de 7 horas/dia	Insalubre
IV	Contínuo ou intermitente	$P_1=104$	Sim, NRR=30 dB, protetor tipo concha, uso de 7 horas/dia	Insalubre
V	Contínuo ou Intermitente	$P_1=90$	Sim, NRR <sub>sf</sub> =25 dB, protetor tipo concha, uso de 4 horas/dia	Salubre
VI	Contínuo ou Intermitente	$P_1=99$	Sim, NRR <sub>sf</sub> =25 dB, protetor tipo concha, uso de 6 horas/dia	Insalubre
VII	Contínuo ou Intermitente	$P_1=90$	Sim, NRR <sub>sf</sub> =25 dB, protetor tipo concha, uso de 6 horas/dia	Salubre
VIII	Contínuo ou Intermitente	$P_1=90$	Sim, NRR <sub>sf</sub> =25 dB, protetor tipo concha, uso de 8 horas/dia	Salubre
IX	Contínuo ou Intermitente	$P_1=95$	Sim, NRR=20 dB, protetor tipo moldável, uso de 5 horas/dia	Insalubre
X	Contínuo ou Intermitente	$P_1=95$	Sim, NRR=25 dB, protetor tipo pré-moldado, uso de 6 horas/dia	Insalubre
XI	Contínuo ou Intermitente	$P_1=90$	Sim, NRR=25 dB, protetor tipo concha, uso de 8 horas/dia	Salubre
XII	Contínuo ou Intermitente	$P_1=100$	Sim, NRR <sub>sf</sub> =25 dB, protetor tipo concha, uso de 8 horas/dia	Salubre
XIII	Contínuo ou Intermitente	$P_1=105$	Sim, NRR <sub>sf</sub> =25 dB, protetor tipo concha, uso de 8 horas/dia	Salubre
XIV	Impacto, n=150	$P_1=139$	Não	Insalubre
XV	Impacto, n=632	$P_1=131$	Não	Salubre
XVI	Impacto, n=8000	$P_1=120$	Não	Salubre
XVII	Impacto, n=6550	$P_1=122$	Não	Insalubre
XVIII	Impacto, n=100	$P_1=140$	Não	Salubre
XIX	Impacto, n=1001	$P_1=130$	Não	Insalubre
XX	Impacto, n=600	$P_1=131$	Não	Salubre

\* NPS(dB) = Nível de Pressão Sonora (Decibéis)

### 3.2 MATERIAIS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Notebook Acer AMD Turion™, 1.80 GHz, 1.5 GB de RAM e sistema operacional Microsoft Windows XP, Versão 2002;
- BrOffice Writer – Editor de textos;
- Sistema Expert Sinta.

### 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O modelo de desenvolvimento do SE descrito neste trabalho foi fundamentado na associação dos preceitos básicos dos processos de desenvolvimento de software, como análise de requisitos, modelagem e codificação do sistema, testes e validação com o processo de execução específico para a construção de SEs (GIARRATANO; RILEY, 1998). Nesse sentido, o método utilizado neste trabalho está composto de cinco etapas: análise dos requisitos, definição do conhecimento; representação computacional do conhecimento, codificação do protótipo do sistema e, avaliação e validação (REZENDE, 2004).

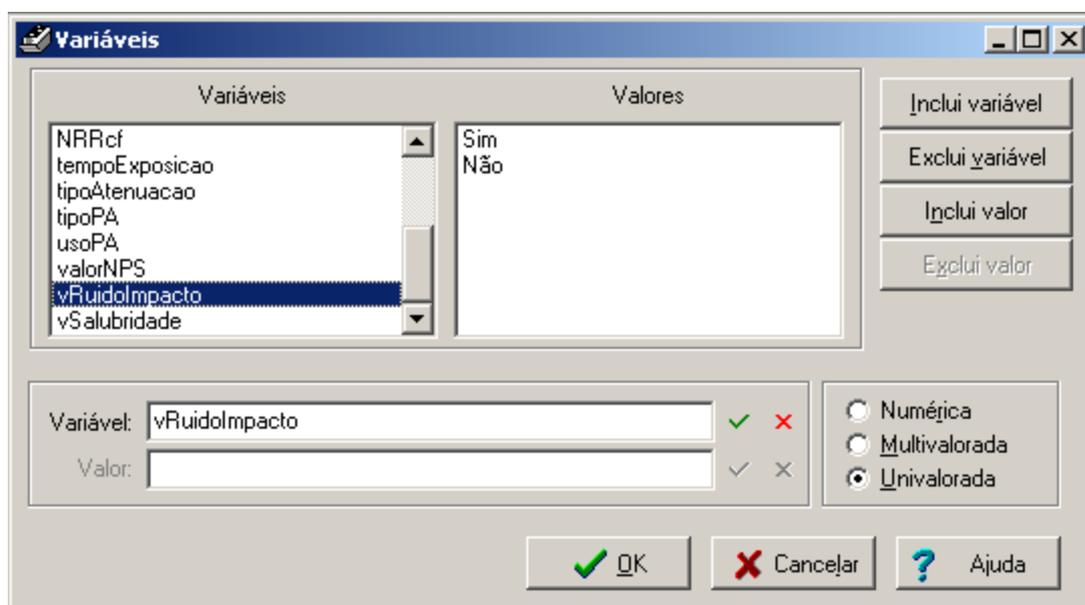
O sistema é desenvolvido de forma que haja a possibilidade de regressar a qualquer fase anterior quando da necessidade de aperfeiçoamento no processo de desenvolvimento do sistema.

As etapas do modelo de desenvolvimento utilizado neste trabalho encontram-se descritas a seguir.

- a) Primeira etapa: planejamento do SE. Nesta etapa foram definidos o domínio de conhecimento relacionado ao sistema e os seus principais objetivos, com a finalidade de facilitar a compreensão dos indivíduos que atuarão no processo de desenvolvimento do SE;
- b) Segunda etapa: definição do conhecimento. Nesta etapa o conhecimento foi identificado, conceituado e formalizado. Desse modo, esta etapa consistiu na identificação e seleção da fonte de conhecimento, por meio de estudos bibliográficos e entrevistas com o perito, com o objetivo de discutir a tarefa e o tipo de dados necessários para a resolução do problema em questão;
- c) Terceira etapa: representação computacional do conhecimento. Nesta etapa o conhecimento adquirido foi representado formalmente, ou seja, o sistema foi codificado por uma ferramenta adequada para a resolução do problema em questão. Desse modo, o método de representação do conhecimento utilizado neste trabalho constituiu-se da formação das regras de produção, por se tratar de um método intuitivo e amplamente utilizado;

d) Quarta etapa: Codificação do protótipo do sistema. Na quarta etapa, o conhecimento formalizado na etapa anterior foi codificado computacionalmente. Nesse sentido, para a codificação do conhecimento foi utilizado um *software* de apoio denominado Expert Sinta, que é uma ferramenta que se sobressai no auxílio da construção de Sistemas Especialistas por meio de regras de produção. O processo de implementação das regras de produção por meio do Expert Sinta ocorreu em duas fases:

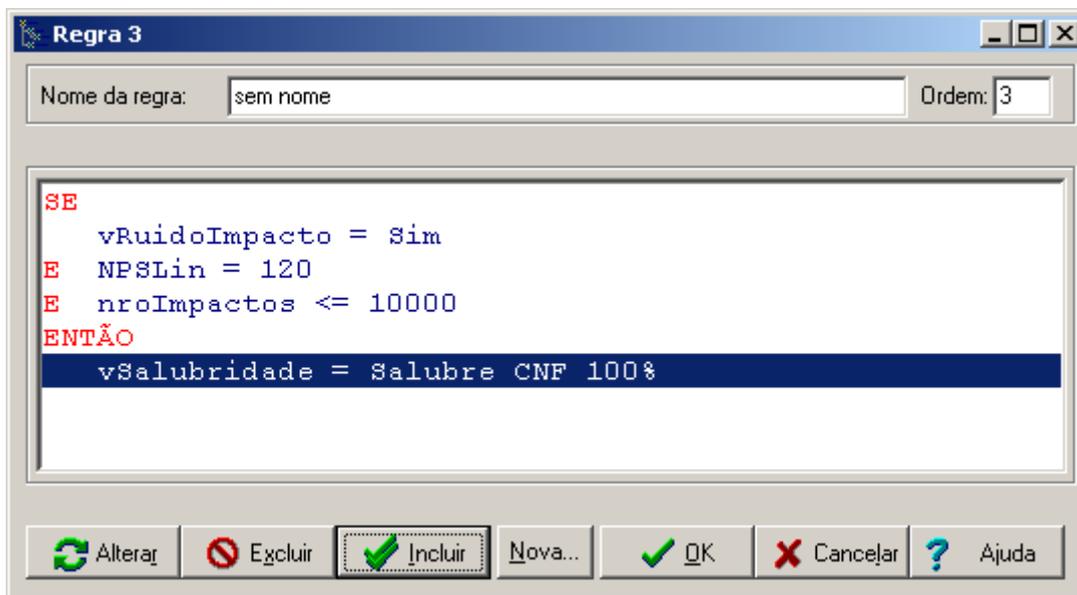
1. Definição das variáveis e valores envolvidos: nesta fase foram definidas as variáveis que representavam as características do problema e seus respectivos valores. Como exemplo, pode-se citar o cenário onde “vRuidoImpacto” representa uma variável ao sistema, e os valores que essa variável assume podem ser definidos com “Sim” e “Não”. Desse modo, as variáveis e os valores definidos nesta fase foram utilizados para a definição das regras de produção. Na Figura 10 é representada a interface gráfica do Expert Sinta para a variável “vRuidoImpacto” e seus respectivos valores.



**Figura 10 - Representação da Interface Gráfica do Expert Sinta para a Variável “vRuidoImpacto” e seus Respetivos Valores**

2. Definição das regras envolvidas: nesta fase foram desenvolvidas as regras de produção no sistema, como descrito na fase anterior. Para isso, foram definidas as variáveis e seus respectivos valores, seja para as

condições ou para a conclusão. Na Figura 11 é ilustrada uma regra de produção em relação à salubridade do ambiente de trabalho.



**Figura 11 - Interface Gráfica da Ferramenta Expert Sinta para a Elaboração das Regras de Produção**

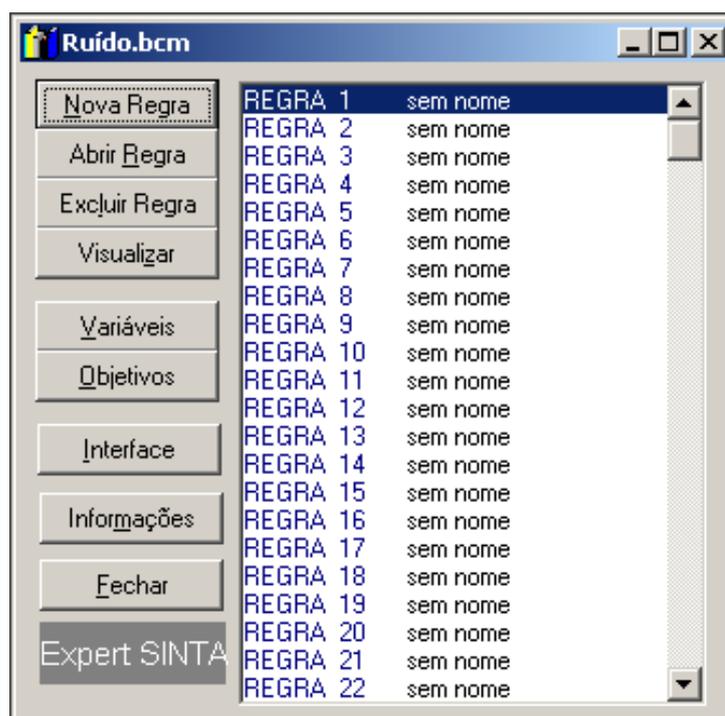
Como pode ser observado, as condições desta regra são “vRuidoImpacto” com o valor “Sim”; “NPSLin” com o valor “=120” e “nroImpactos” com o valor “<=10000”. A conclusão da regra envolve a variável “vSalubridade” com o valor “Salubre”.

Definidas as variáveis e as regras de produção a serem utilizadas pelo sistema, a ferramenta desenvolve de modo automático, telas e menus para a interação com o usuário, cuja comunicação se dá por questionamentos e as respostas são fornecidas pelo sistema, ajustando-se nas especificações apontadas pelo usuário.

Na Figura 12 é apresentada a interface para o cadastro e consulta das regras de produção. Assim sendo, podem-se observar os botões que permitem realizar as seguintes operações:

- Botão “Nova Regra”: utilizado para inserir novas regras;
- Botão “Abrir Regra”: utilizado para consultar a regra selecionada;
- Botão “Excluir Regra”: exclui a regra selecionada;
- Botão “Visualizar”: permite visualizar as regras em conjunto e imprimi-las;
- Botão “Variáveis”: permite a visualização e a modificação das variáveis utilizadas;

- Botão “Objetivos”: é utilizado para definir as variáveis objetivo;
- Botão “Interface”: é utilizado para descrever as perguntas feitas ao usuário;
- Botão “Informações”: permite definir a tela de abertura do sistema especialista;
- Botão “Fechar”: fecha a interface de cadastro e consulta.



**Figura 12 - Interface para o Cadastro e Consulta das Regras de Produção**

e) Quinta etapa: Avaliação e validação. Nesta etapa foram realizadas a validação e verificação do SE com o intuito de certificar-se de seu correto funcionamento, do fornecimento de resultados verdadeiros, ou seja, corretos, bem como a satisfação do usuário final. Desse modo, os atributos analisados e validados pelos especialistas da área da Engenharia de Segurança de Trabalho foram: funcionalidade, confiabilidade, usabilidade e manutenibilidade, cujos resultados encontram-se descritos no próximo capítulo.

Nesse contexto, como citado anteriormente, para a avaliação do SE quanto ao atributo confiabilidade, foram selecionados casos reais e casos criados artificialmente, nos quais a resposta correta é conhecida, com o objetivo de submetê-los ao sistema. Nesse sentido, pode-se comparar os resultados para a

verificação da quantidade de acertos do SE. Assim sendo, a tarefa de avaliar a confiabilidade pode ser tratada como um problema classificação, no qual o SE deverá indicar corretamente a condição de cada ambiente, descritos nos casos do Grupo I e II, como sendo salubre ou insalubre.

Para realizar a avaliação do atributo confiabilidade foi construída uma Matriz de Confusão (MC). A MC é um artifício estatístico amplamente explorado para avaliar sistemas computacionais que apresentem características de decisão, isto é, sistemas que, dada a entrada de um conjunto de informações, devem realizar uma decisão. Neste trabalho, a decisão em questão refere-se a salubridade ou insalubridade de um ambiente, considerando como entrada informações relacionadas ao agente físico ruído. Na Tabela 8 é apresentada a MC para o problema em questão.

**Tabela 8 - Matriz de Confusão**

<b>Ambiente Conhecido</b>	<b>Diagnosticado pelo SE como Salubre</b>	<b>Diagnosticado pelo SE como Insalubre</b>	<b>Taxa de Erro para cada Tipo de Ambiente</b>	<b>Taxa de Erro Total</b>
<b>Salubre</b>	Verdadeiros Positivos (VP)	Falsos Negativos (FN)	$\frac{FN}{VP + FN}$	$\frac{FP + FN}{VP + VN + FP + FN}$
<b>Insalubre</b>	Falsos Positivos (FP)	Verdadeiros Negativos (VN)	$\frac{FP}{FP + VN}$	

Fonte: REZENDE, 2003.

Portanto, se um determinado caso pertencente ao Grupo I ou II for salubre e o SE indicar como insalubre, será contabilizado no quadrante FN. Caso contrário, será contabilizado no quadrante VP, indicando um verdadeiro positivo, pois SE corrobora com caso controle.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente definiu-se como domínio de conhecimento do sistema especialista a salubridade em relação ao ruído no ambiente ocupacional. Após, foram identificadas as principais variáveis que determinam a salubridade do ambiente de trabalho frente às condições de ruído. Dentre as variáveis selecionadas estão o tipo de ruído encontrado no local de trabalho (impacto, intermitente ou contínuo), o nível de pressão sonora, a utilização de protetores auriculares, bem como os diferentes tipos de protetores. Essas variáveis em conjunto com o tempo de exposição do trabalhador e o número de horas que o trabalhador utiliza os equipamentos de proteção individual constituem as principais informações para a determinação das condições de trabalho de um determinado ambiente.

No Quadro 2 é apresentada a relação das variáveis identificadas e utilizadas para a construção do SE, bem como seus respectivos valores.

**(continua)**

<b>Variáveis</b>	<b>Valores</b>	<b>Tipo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Interface</b>
vSalubridade	- Salubre - Insalubre	Multivalorada	Salubridade	
vRuídoImpacto	- Sim - Não	Univalorada		O trabalhador está exposto ao ruído de impacto?
NPSLin		Numérica		Insira o valor de nível de pressão sonora medido.
nroImpactos		Numérica		Qual o valor do número de impactos que o trabalhador está exposto?
usoPA	- Sim - Não	Univalorada		O trabalhador usa protetor auricular?
valorNPS		Numérica		Insira o valor do nível de pressão sonora.
tempoExposição		Numérica		Qual o tempo de exposição do trabalhador (em min)?

**Quadro 2 - Relação das Variáveis Utilizadas no SE e seus Respective Valores**

(conclusão)

Variáveis	Valores	Tipo	Objetivo	Interface
nroHorasUsoPA	07h59m – 07h57m 07h56m – 07h55m 07h54m – 07h50m 07h49m – 07h30m 07h29m – 07h00m 06h59m – 06h00m 05h59m – 04h00m 08h00m	Multivalorada		Qual o número de horas que o trabalhador utiliza protetor auricular por dia?
tipoAtenuação	- NRR - NRR <sub>sf</sub>	Univalorada		Qual a taxa de atenuação fornecida pelo protetor auricular utilizado pelo trabalhador?
atenuaçãoPA		Numérica		Qual é o valor de atenuação fornecida pelo protetor auricular?
NPS <sub>o</sub> NRR		Numérica		
NPS <sub>o</sub> NRR <sub>sf</sub>		Numérica		
NRRc		Numérica		
NRRcf		Numérica		
tipoPA	- Pré-moldado - Moldável - Concha	Multivalorada		Qual o tipo de protetor auricular utilizado pelo trabalhador?

**Quadro 2 - Relação das Variáveis Utilizadas no SE e seus Respectivos Valores**

A partir das variáveis definidas no Quadro 2, foram geradas 243 regras de produção, cujas condições descrevem as distintas combinações de valores para cada variável, sendo a conclusão o indicativo de salubridade ou insalubridade do ambiente. Optou-se pelo uso de regras de produção devido a sua simplicidade e inteligibilidade, além de se aproximar ao modo de raciocínio do ser humano.

No Quadro 3 estão apresentadas parte das regras construídas considerando as variáveis *vRuídoImpacto*, *NPSLin*, *nroImpactos* e *usoPA*. Assim sendo, a regra 1 do Quadro 3 pode ser lida como:

*Se vRuídoImpacto = Sim e NPSLin > 140 dB(Lin) então vSalubridade = Insalubre*

(continua)

Variáveis	Valores atribuídos	Regras	Salubridade
vRuídoImpacto	1 – Sim 2 – Não	1. 1+3 2. 1+5+26	1. Insalubre 2. Insalubre
NPSLin	3 – > 140 dB(Lin) 4 – < 120 dB(Lin) 5 – = 120 dB(Lin) 6 – $121 \geq \text{NPS(Lin)} > 120$ 7 – $122 \geq \text{NPS(Lin)} > 121$ 8 – $123 \geq \text{NPS(Lin)} > 122$ 9 – $124 \geq \text{NPS(Lin)} > 123$ 10 – $125 \geq \text{NPS(Lin)} > 124$ 11 – $126 \geq \text{NPS(Lin)} > 125$ 12 – $127 \geq \text{NPS(Lin)} > 126$ 13 – $128 \geq \text{NPS(Lin)} > 127$ 14 – $129 \geq \text{NPS(Lin)} > 128$ 15 – $130 \geq \text{NPS(Lin)} > 129$ 16 – $131 \geq \text{NPS(Lin)} > 130$ 17 – $132 \geq \text{NPS(Lin)} > 131$ 18 – $133 \geq \text{NPS(Lin)} > 132$ 19 – $134 \geq \text{NPS(Lin)} > 133$ 20 – $135 \geq \text{NPS(Lin)} > 134$ 21 – $136 \geq \text{NPS(Lin)} > 135$ 22 – $137 \geq \text{NPS(Lin)} > 136$ 23 – $138 \geq \text{NPS(Lin)} > 137$ 24 – $139 \geq \text{NPS(Lin)} > 138$ 25 – $140 \geq \text{NPS(Lin)} > 139$	3. 1+5+27 4. 1+6+28 5. 1+6+29 6. 1+7+30 7. 1+7+31 8. 1+8+32 9. 1+8+33 10. 1+9+34 11. 1+9+35 12. 1+10+36 13. 1+10+37 14. 1+11+38 15. 1+11+39 16. 1+12+40 17. 1+12+41 18. 1+13+42 19. 1+13+43 20. 1+14+44 21. 1+14+45 22. 1+15+46 23. 1+15+47 24. 1+16+48 25. 1+16+49 26. 1+17+50 27. 1+17+51 28. 1+18+52 29. 1+18+53 30. 1+19+54 31. 1+19+55 32. 1+20+56 33. 1+20+57 34. 1+21+58 35. 1+21+59 36. 1+22+60 37. 1+22+61 38. 1+23+62 39. 1+23+63 40. 1+24+64 41. 1+24+65 42. 1+25+66 43. 1+25+67	3. Salubre 4. Salubre 5. Insalubre 6. Salubre 7. Insalubre 8. Salubre 9. Insalubre 10. Salubre 11. Insalubre 12. Salubre 13. Insalubre 14. Salubre 15. Insalubre 16. Salubre 17. Insalubre 18. Salubre 19. Insalubre 20. Salubre 21. Insalubre 22. Salubre 23. Insalubre 24. Salubre 25. Insalubre 26. Salubre 27. Insalubre 28. Salubre 29. Insalubre 30. Salubre 31. Insalubre 32. Salubre 33. Insalubre 34. Salubre 35. Insalubre 36. Salubre 37. Insalubre 38. Salubre 39. Insalubre 40. Salubre 41. Insalubre 42. Salubre 43. Insalubre

Quadro 3 – Regras de Produção Geradas para a Construção do SE

		(conclusão)		
nroImpactos	26 - > 10000			
	27 - ≤ 10000			
	28 - ≤ 7943			
	29 - > 7943			
	30 - ≤ 6309			
	31 - > 6309			
	32 - ≤ 5011			
	33 - > 5011			
	34 - ≤ 3981			
	35 - > 3981			
	36 - ≤ 3162			
	37 - > 3162			
	38 - ≤ 2511			
	39 - > 2511			
	40 - ≤ 1995			
	41 - > 1995			
	42 - ≤ 1584			
	43 - > 1584			
	44 - ≤ 1258			
	45 - > 1258			
	46 - ≤ 1000			
	47 - > 1000			
	48 - ≤ 794			
	49 - > 794			
	50 - ≤ 630			
	51 - > 630			
	52 - ≤ 501			
	53 - > 501			
	54 - ≤ 398			
	55 - > 398			
	56 - ≤ 316			
	57 - > 316			
	58 - ≤ 251			
	59 - > 251			
	60 - ≤ 199			
	61 - > 199			
	62 - ≤ 158			
	63 - > 158			
	64 - ≤ 125			
	65 - > 125			
	66 - ≤ 100			
	67 - > 100			
	usoPA	68 - Sim		
		69 - Não		

**Quadro 3 – Regras de Produção Geradas para a Construção do SE**

#### 4.1 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA

O SE foi construído por meio da ferramenta Expert Sinta, a qual conta com uma tela de abertura e interface para o cadastro das regras de produção definidas anteriormente. Na Figura 13 é apresentada a interface com a regra demonstrada

anteriormente (Quadro 3), onde são utilizadas as variáveis vRuídoImpacto, NPSLin e vSalubridade.

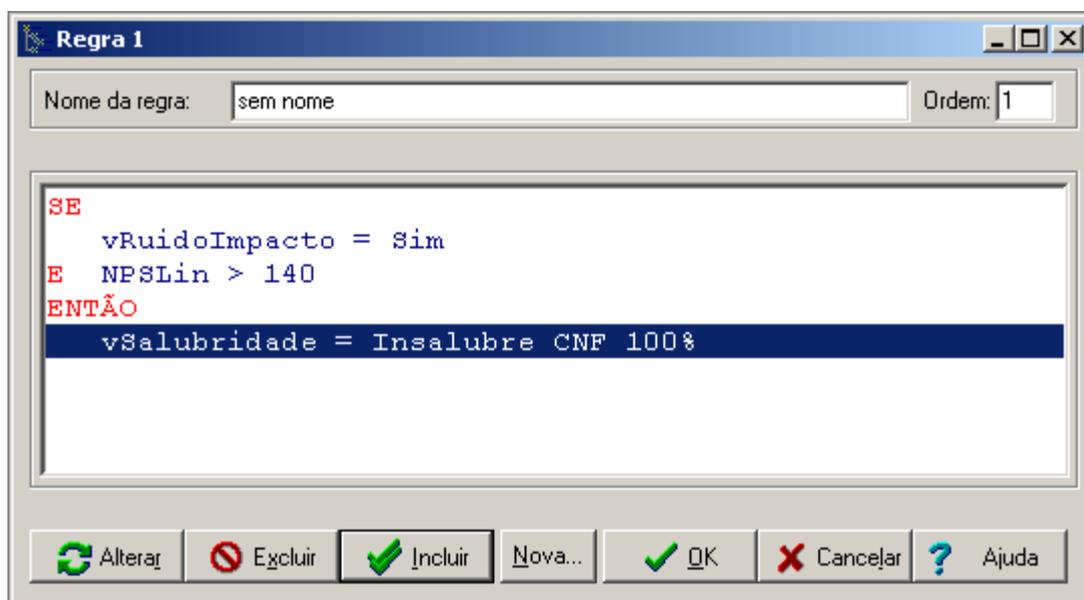


Figura 13 - Interface com a Regra de Produção Implementada no Sistema

Na Figura 14 é apresentada a interface com a pergunta realizada pelo sistema ao usuário.

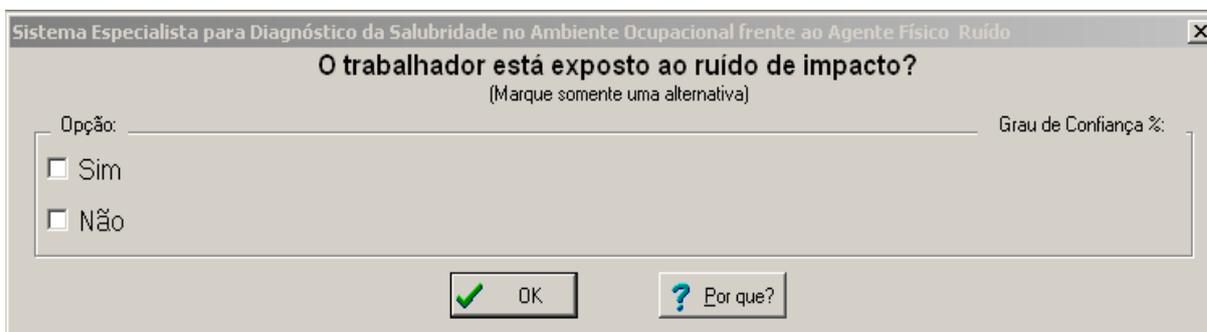
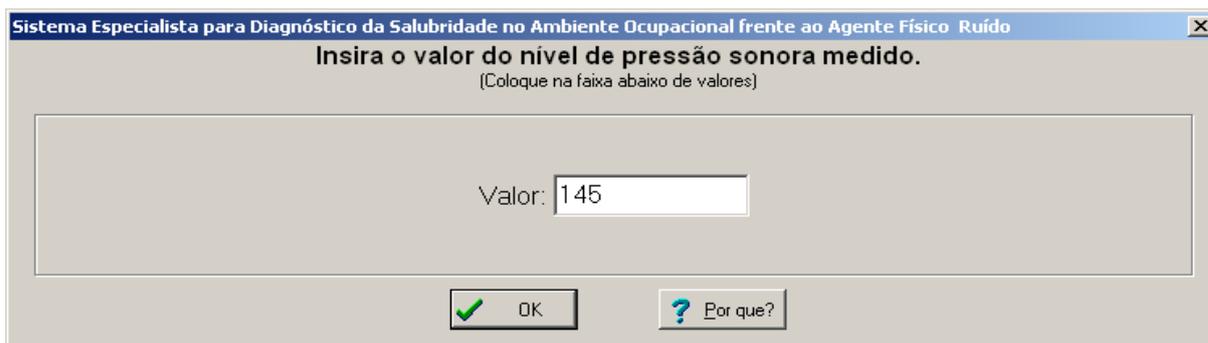


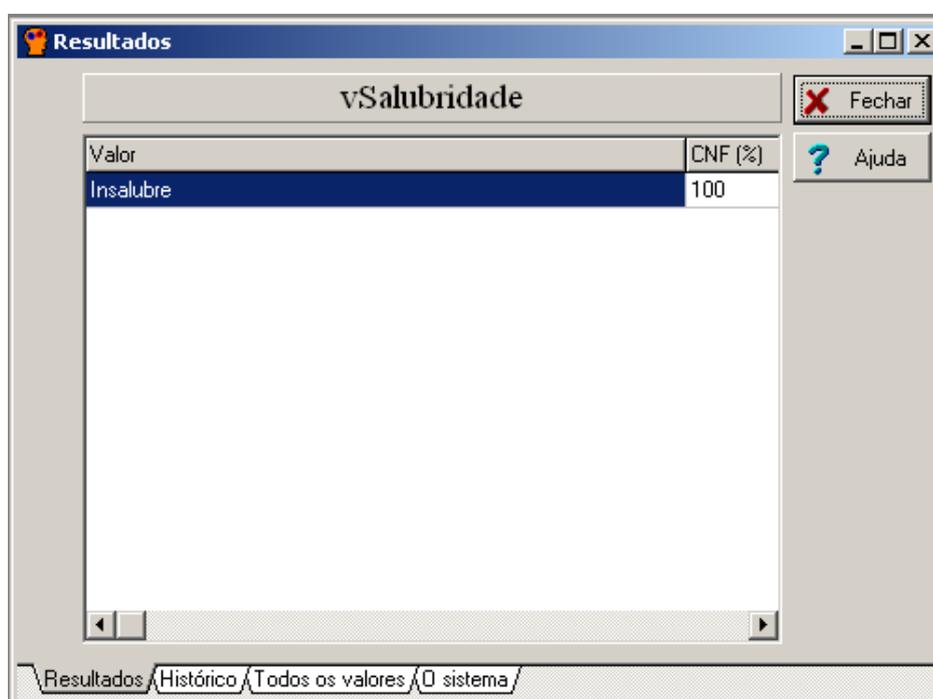
Figura 14 - Pergunta Feita ao Usuário pelo Sistema

Se a opção escolhida pelo usuário for “Sim”, o SE irá solicitar a inserção de novos dados. Na Figura 15 pode-se observar que o sistema pede que usuário insira o valor do nível de pressão sonora medido, desse modo, o dado inserido pelo usuário em resposta ao pedido realizado pelo sistema é “145”.



**Figura 15 - Interface com o Dado Inserido pelo Usuário**

Na Figura 16 é apresentado o resultado encontrado pelo Sistema Especialista, cujo valor é “Insalubre”.



**Figura 16 - Resultado Gerado pelo Sistema Especialista**

## 4.2 AVALIAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA

Para a avaliação do sistema foram considerados os parâmetros funcionalidade, confiabilidade, usabilidade e manutenibilidade, para a verificação de seu correto funcionamento e a satisfação do usuário final.

#### 4.2.1 Funcionalidade

O objetivo deste parâmetro é verificar se o sistema construído alcançou o objetivo proposto e se houve a satisfação por parte dos usuários finais. Desse modo, observou-se que o sistema especialista desenvolvido atendeu ao objetivo e às expectativas dos especialistas, pois permitiu o correto diagnóstico da salubridade do ambiente de trabalho em relação ao agente ruído.

#### 4.2.2 Confiabilidade

Este parâmetro foi considerado na análise das respostas corretas fornecidas pelo SE. Para isso, foram realizadas duas avaliações, considerando as amostras descritas na Seção 3.1. Assim, a primeira avaliação corresponde a casos extraídos da literatura e compõem o Grupo I.

A segunda avaliação corresponde aos casos do Grupo II, os quais foram gerados artificialmente por especialistas. Desse modo, para avaliar a confiabilidade do SE desenvolvido, os casos, tanto do Grupo I quanto do Grupo II, foram considerados como casos controle.

Desse modo, o Sistema Especialista foi submetido à realização do diagnóstico de cada caso. A comparação dos resultados encontrados nos casos extraídos da literatura e os resultados obtidos pelo SE encontram-se na Tabela 9.

**Tabela 9 – Comparação entre os Resultados dos Casos Extraídos da Literatura e os Resultados Obtidos pelo SE**

Trabalhos	Pontos de Medição ( $P_x$ )	Salubridade do ambiente (resultados encontrados nos estudos)	Salubridade do ambiente (resultados obtidos pelo SE)
I	P <sub>1</sub> P <sub>10</sub> P <sub>2</sub> P <sub>11</sub> P <sub>3</sub> P <sub>12</sub> P <sub>4</sub> P <sub>13</sub> P <sub>5</sub> P <sub>14</sub> P <sub>6</sub> P <sub>15</sub> P <sub>7</sub> P <sub>16</sub> P <sub>8</sub> P <sub>17</sub> P <sub>9</sub> P <sub>18</sub>	Insalubre	Insalubre
II	P <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	Insalubre	Insalubre
III	P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>4</sub>	Insalubre	Insalubre
IV	P <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	Salubre	Salubre
	P <sub>3</sub> P <sub>5</sub> P <sub>4</sub> P <sub>6</sub>	Insalubre	Insalubre

Na Tabela 10, encontra-se o comparativo entre os resultados obtidos pelos casos gerados artificialmente e os resultados obtidos pelo SE.

**Tabela 10 – Comparação entre os Resultados Obtidos pelos Casos Gerados Artificialmente e os Resultados Obtidos pelo SE**

(continua)

Caso	Pontos de Medição ( $P_y$ )	Salubridade do ambiente (resultados obtidos pelos casos gerados artificialmente)	Salubridade do ambiente (resultados obtidos pelo SE)
I	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
II	P <sub>1</sub>	Insalubre	Insalubre
III	P <sub>1</sub>	Insalubre	Insalubre
IV	P <sub>1</sub>	Insalubre	Insalubre
V	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
VI	P <sub>1</sub>	Insalubre	Insalubre
VII	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
VIII	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
IX	P <sub>1</sub>	Insalubre	Insalubre
X	P <sub>1</sub>	Insalubre	Insalubre
XI	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
XII	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
XIII	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
XIV	P <sub>1</sub>	Insalubre	Insalubre
XV	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre
XVI	P <sub>1</sub>	Salubre	Salubre

**Tabela 10 – Comparação entre os Resultados Obtidos pelos Casos Gerados Artificialmente e os Resultados Obtidos pelo SE**

**(conclusão)**

Caso	Pontos de Medição ( $P_y$ )	Salubridade do ambiente (resultados obtidos pelos casos gerados artificialmente)	Salubridade do ambiente (resultados obtidos pelo SE)
XVII	$P_1$	Insalubre	Insalubre
XVIII	$P_1$	Salubre	Salubre
XIX	$P_1$	Insalubre	Insalubre
XX	$P_1$	Salubre	Salubre

Os resultados foram avaliados mediante a avaliação da taxa de erro total obtida pelo SE. Na Tabela 11 é apresentada a Matriz de Confusão com as respectivas taxas de erro considerando os casos do Grupo I, descritos na Tabela 6 da Seção 3.1.1.

**Tabela 11 - Matriz de Confusão Gerada de Acordo com os Casos do Grupo I**

Ambiente Conhecido	Diagnosticado pelo SE como Salubre	Diagnosticado pelo SE como Insalubre	Taxa de Erro para cada Tipo de Ambiente (%)	Taxa de Erro Total
Salubre	2	0	0.0%	0.0%
Insalubre	0	28	0.0%	

Já na Tabela 12 é apresentada a Matriz de Confusão referente aos casos do Grupo II, descritos na Tabela 7 da Seção 3.1.2.

**Tabela 12 - Matriz de Confusão Gerada de Acordo com os Casos do Grupo II**

Ambiente Conhecido	Diagnosticado pelo SE como Salubre	Diagnosticado pelo SE como Insalubre	Taxa de Erro para cada Tipo de Ambiente (%)	Taxa de Erro Total
Salubre	11	0	0.0%	0.0%
Insalubre	0	9	0.0%	

Os resultados para ambos os grupos foram considerados satisfatórios, pois o SE desenvolvido apresentou uma taxa de erro de 0.0% e, com isso, elucidou sua eficiência e precisão frente às mais diversas situações. Isto é, em todos os casos o SE realizou o correto diagnóstico da salubridade frente ao agente ruído no ambiente de trabalho.

### 4.2.3 Usabilidade

Este parâmetro refere-se à facilidade com que o usuário utiliza e compreende o sistema, uma vez que o SE deve interagir de forma fácil e agradável com o usuário. Este parâmetro obteve bom desempenho devido às características do Expert Sinta, o qual, diferentemente de outras *Shells*, gera automaticamente, a partir da definição das regras, uma interface interativa e de simples uso. Essa característica foi considerada como fundamental para o uso efetivo do sistema especialista desenvolvido. Para a avaliação deste parâmetro foram consideradas as opiniões de usuários. Todos os usuários consultados consideraram o SE de fácil utilização e compreensão.

### 4.2.4 Manutenibilidade

Este parâmetro refere-se à facilidade de manutenção do sistema, ou seja, a facilidade na identificação de problemas referentes às regras de produção, sua remoção, correção ou adaptação. Este parâmetro inclui também a facilidade para a realização de testes quando necessário. Os resultados demonstraram-se satisfatórios, pois permitiram gerenciar a base de conhecimento de forma fácil.

Adicionalmente, a ferramenta selecionada para o desenvolvimento do sistema especialista também contribuiu positivamente para com o parâmetro manutenibilidade, pois o Expert Sinta além de fornecer suporte à utilização de regras de produção apresenta uma interface simples e interativa para a criação, alteração, visualização e exclusão de regras.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização do Sistema Especialista por meio da ferramenta Expert Sinta mostrou-se apropriada para o diagnóstico da salubridade em relação ao agente ruído, pois forneceu resultados corretos, de acordo com os conhecimentos do domínio.

Desse modo, espera-se que o estudo, bem como o sistema apresentado neste trabalho possam servir como base para o desenvolvimento de um sistema mais robusto, de modo que possa ser utilizado pela comunidade.

Assim sendo, como trabalhos futuros citam-se a complementação da base de conhecimento de modo que mais variáveis possam ser consideradas, bem como a disponibilização do SE desenvolvido por meio da internet.

## 6 REFERÊNCIAS

ABEL, M. **Sistemas Especialistas**. Porto Alegre: UFRGS – Instituto de Informática, 1998.

ALFONSO, A. L.; ARANDA, A. T.; BARAZA, A. P. G., et al. **Manual de Seguridad en el Trabajo**. Madrid: Ed. Mapfre, 1992.

ALMEIDA, S. I. C.; et al. História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído. **Rev. Ass. Med.**, v. 46, n. 2, p. 143-158, 2000.

ARAÚJO, S. A. Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores de metalúrgica. **Rev. Brasileira de Otorrinolaringologia**, v. 68, n. 1, p 47-52, jan./fev. 2002.

BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias**. Florianópolis, Ed. da UFSC, 1998.

BOTTAZZINI, M. C. **Sistema Inteligente de monitoramento de riscos em ambientes de trabalho**. 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L., et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education, 2002.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Perda auditiva induzida por ruído (Pair)** / Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Brasília: Ed. do Ministério da Saúde, 2006.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora Nº 6 – Equipamento de Proteção Individual - EPI**.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Norma Regulamentadora Nº 7 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional**.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Norma Regulamentadora Nº 9 – Programa de Prevenção de Riscos ambientais**.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Norma Regulamentadora Nº 15 – Atividades e Operações Insalubres.**

COSTA, E. A.; MORATA, T. C.; KITAMURA, S. **Patologia do ouvido relacionada com o trabalho.** In: Mendes R. Patologia do trabalho. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2003. p.1253-82.

COSTA, F. O.; BERTON, R. S. Sistema Especialista como uma ferramenta para o uso de lodo de esgoto na agricultura no Estado de São Paulo. **Rev. Brasileira de Agroinformática**, v. 6, n. 1, p.1-13, 2004.

DANI, A.; GARAVELLI, S. L. Principais impactos da poluição sonora nos seres humanos. **Rev. Universa**, v. 9, n. 4, p. 659-678, 2001.

DIAS, A.; et al. Associação entre perda auditiva induzida pelo ruído e zumbidos. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 63-68, jan. 2006.

DURKIN, J. **Expert System: Design and Development.** New Jersey: Prentice Hall, 1994.

ELISEI, J. L.; OSTELLINO, R. **Um Sistema Especialista em orçamento para uma empresa de fundição de aço.** 2003. 77 f. Monografia (Especialização em Informática Empresarial) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2003.

FELDMAN, A. S.; GRIMES, C. T. **Hearing conservation in industry.** Baltimore: The Williams & Wilkins, 1985.

FERNANDES, J. C. **Apostila Acústica e Ruídos.** UNESP - Campus de Bauru - Faculdade de Engenharia, 2005.

FERNANDES, M.; MORATA, T. C. Estudos dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, v. 68, n. 5, p. 705-713, set./out. 2002.

FREITAS, R., G. F.; NAKAMURA, H., Y. Perda auditiva induzida por ruído em motoristas de ônibus com motor dianteiro. **Revista Saúde**, Piracicaba, v. 5, n. 10, p. 13-19, 2003.

FRIEDMAN-HILL, E. **Online jess documentation**, 1995. Acesso em: 10 jul. 2012.

EXPERT SINTA. Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Inteligência Artificial. Disponível em: <<http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta.html>>. Acesso em 15 fev. 2012.

GABAS G. Escute bem e proteja-se. **Revista Proteção**, v. 181, p. 54-61, 2007.

GERGES, S. N. Y. **Ruído**: Fundamentos e Controle. 2. ed. NR editora, 2000.

GIARRATANO, J.; RILEY, G. **Expert Systems**: Principles and Programming. Boston: *PWS Publishing Company*, 1998.

HONORATO, D. F. **Construção de um protótipo de Sistema Baseado em Conhecimento para predição da bactéria *Helicobacter pylori* em Doenças Pépticas utilizando Descoberta de Conhecimento de Bases de Dados**. 2004. 71 f. Monografia (Graduação) – Curso de Ciência da Computação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2004.

INSTRUTHERM. **Decibelímetro e dosímetro de ruído**. 2012. 2 fotografias, color. Disponível em: <<http://www.instrutherm.com.br.html>>. Acesso em: 21 jun. 2012.

LACERDA, A. B. M.; MORATA, T. C.; FIORINI, A. C. Caracterização dos níveis de pressão sonora em academias de ginástica e queixas apresentadas por seus professores. **Rev. Bras. Otorrinolaringol.**, v. 67, n. 5, set. 2001.

LEME, O. L. S. Estudo audiométrico comparativo entre trabalhadores de área hospitalar expostos e não expostos a ruído. **Rev. Bras. Otorrinolaringol.**, v. 67, n. 6, p. 837-43, nov./dez. 2001.

LEMOS, D. **A Utilização de Sistemas Especialistas para o Diagnóstico do Uso do Solo e seus Limites de Ocupação**. 1996. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

MAIA, P. A. **Estimativas de exposições não contínuas a ruído**. São Paulo : Fundacentro, 2002.

\_\_\_\_\_. **O ruído nas obras da construção civil e o risco de surdez ocupacional**. São Paulo : Fundacentro, 2008.

MENDES, M. H.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M. Aceitação de protetores auditivos pelos componentes de banda instrumental e vocal. **Rev Bras Otorrinolaringol**, v. 73, n. 6, nov./dez. 2007.

MENDES, R. D. Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no gerenciamento da informação. **Ci. Inf.**, Brasília, v. 26, n. 1, jan. 1997.

MENEZES, J. S. R.; PAULINO, N. J. A. **Efeitos do Ruído no organismo**. In: Saliba, T. M. Manual prático de avaliação e controle do ruído: PPRA. 3. ed. São Paulo, LTr, 2004.

MIRANDA, C. R. **Introdução à saúde no trabalho**. São Paulo: Atheneu, 1998.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

NEVES, E. B.; SOALHEIRO, M. A proteção auditiva utilizada pelos militares do Exército brasileiro: há efetividade? **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, n. 3, p. 889-898, 2010.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH – NIOSH. **Criteria for a Recommended Standard Occupational Noise Exposure Revised Criterion**. U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio, 1998.

PINTO, J. T. **Avaliação da poluição sonora no centro comercial do município de São Carlos**. 2009. 58 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

RAMALHO, F. Jr.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da física**. 9. ed. São Paulo: Moderna, 2007.

REGAZZI, R. D.; ARAÚJO, G. M. **Crítérios para avaliação do ruído**: Divergências entre a NR-15 e a NHO 01 (Fundacentro), 2000.

REZENDE, S. O. **Sistemas Inteligentes**: fundamentos e aplicações. Barueri: Manole, 2003.

RTIS. **Rt-expert tutorial: Writing rule subroutines in rt-expert**, 1994. Disponível em: <[http://files.danen.org/h/prg/c\\_kits.html](http://files.danen.org/h/prg/c_kits.html)>. Acesso em: 10 ago. 2012.

ROYSTER, L. H.; ROYSTER, J. D.; THOMAS, N. G. **Hearing Conservation Programs**. In: Encyclopedia of Occupational Health and Safety. 4 th. ed. Geneva: International Labour Office, v. 2, 1998.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. Prentice Hall, 1995.

RUSSO, I. C. P.; SANTOS, T. M. M. **A prática de audiologia clínica**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 1993.

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle do ruído: PPRA**. 3. ed. São Paulo: LTr, 2004.

SELIGMAN, J. **Sintomas e sinais na Pair**. In: Nudelmann A. A. (Org.) et al. Pair: perda auditiva induzida pelo ruído. Porto Alegre: Baggagem, 1997, pg. 143-51.

TÔRRES, B. O.; FERNANDES, M. J. M.; FÉLIX, S. S. S.; et al. A Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (Pair) na formação acadêmica: conhecimentos e medidas de prevenção. **Revista Odontologia Clín.-Científ.**, Recife, v. 6, n. 2, p. 151-154, abr/jun. 2007.

TIBES, C. M. S. **Estudo e desenvolvimento multidisciplinar de um protótipo de Sistema Especialista para auxílio ao diagnóstico de apendicite aguda**. 2011. 84 f. Monografia (Graduação) - Curso de Enfermagem. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Occupational and community noise**. Geneva: World Health Organization, 2001.

YUNG, H. D. **Física II, Termodinâmica e Ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ZOCCHIO, A. **Prática da prevenção de acidentes: ABC da segurança do trabalho**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

**3M. Potetores auriculares de inserção e tipo concha.** 2012. 3 fotografias, color. Disponível em: <[http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt\\_BR/PPE\\_Safety\\_Solutions\\_LA/Safety/Products.html](http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/PPE_Safety_Solutions_LA/Safety/Products.html)>. Acesso em: 17 Ago. 2012.