GLAUCIA CHRISTINE CORTELINI GABAS

**ANÁLISE CRÍTICA DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE
RESPIRADORES PARA PARTICULADOS EM AMBIENTES DE
MINERAÇÃO**

GLAUCIA CHRISTINE CORTELINI GABAS

**ANÁLISE CRÍTICA DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE
RESPIRADORES PARA PARTICULADOS EM AMBIENTES DE
MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia

São Paulo
2008

GLAUCIA CHRISTINE CORTELINI GABAS

**ANÁLISE CRÍTICA DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE
RESPIRADORES PARA PARTICULADOS EM AMBIENTES DE
MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Área de concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Professor Doutor
Wilson Siguemasa Iramina

São Paulo
2008

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de julho de 2008.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Gabas, Glaucia Christine Cortelini

Análise crítica dos critérios de seleção de respiradores para particulados em ambientes de mineração / G.C.C. Gabas. -- ed. rev. -- São Paulo, 2008.

107 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Segurança em mineração 2.Respiradores mecânicos 3.Medidas de segurança I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que compartilharam os meus ideais e os alimentaram, que incomparavelmente compreenderam meus anseios e me incentivaram para que, com coragem, eu atingisse meus objetivos, fossem quais fossem os obstáculos; aos meus irmãos, que mesmo distantes mantiveram-se ao meu lado, dedico essa minha conquista com a mais profunda admiração e respeito.

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo Osny Camargo, profissional que eu tenho como exemplo e admiro e que, acreditando em meu profissionalismo, me incentivou a conhecer um caminho novo aos meus olhos, mas já brilhantemente trilhado por ele.

Aos queridos Milton Villa e Vladimir Vieira, que me apoiaram desde o início e que me muito têm me ensinado com suas experiências.

Ao meu orientador, Wilson Siguemasa Iramina, por ter incentivado o desenvolvimento do meu trabalho.

À presença marcante do educador, mentor e inspirador Maurício Torloni, que mostrou como moldar o conteúdo deste trabalho. Também o agradeço, com muito respeito e admiração, pelo prazer de ser sua eterna aluna.

RESUMO

Várias etapas dos processos de mineração geram quantidades significativas de materiais particulados, também chamados de aerodispersóides que, dependendo de suas características químicas e físicas, são importantes causadores de doenças ocupacionais denominadas pneumoconioses. Para proteger os trabalhadores desses ambientes, algumas medidas de controle podem ser adotadas. Dentre elas, a medida mais comum é através da utilização de respiradores aprovados. Neste trabalho é apresentada uma análise crítica dos procedimentos de seleção de respiradores para particulados estabelecidos no documento intitulado Programa de Proteção Respiratória (PPR) e proposta a adoção de outros critérios técnicos importantes para trabalhadores de ambientes de mineração. Através do levantamento bibliográfico em acervos nacionais e internacionais, regulamentações vigentes, coleta de dados em minerações e experiência profissional da autora foi possível situar o ambiente de mineração em relação à presença de materiais particulados, analisar a lógica de seleção relacionada com os requisitos legais vigentes no Brasil e identificar os respiradores mais comumente empregados nos ambientes de mineração. Como resultado deste trabalho foi possível discutir sobre o nível de proteção respiratória a que os trabalhadores de minerações brasileiras estão sujeitos e sugerir o uso de tipos de respiradores para algumas situações de exposição.

Palavras-chave: respiradores, mineração, programa de proteção respiratória, materiais particulados, seleção de respiradores.

ABSTRACT

Significant amounts of particulate matter, also called aerosols, are generated in many steps of mining and depending on its chemical and physical characteristics they are important agents that causes occupational diseases, named pneumoconioses. In order to protect the workers of this environment, some controls can be adopted. Among them, the most common control is the use of approved respirators. In this work is presented a critical analysis of particulate respirators selection procedures that are established at Respiratory Protection Program document and indicated the adoption of other important technical criteria for mining workers. Through the national and international bibliographic information, current regulations, data collection in mining industries and author professional expertise it was possible creating a mining workplace overview related to the presence of particulate matter, analyzing the respirator selection logic considering the Brazilian legal requirements and identifying the most common respirators applied at mining workplace. As a result of this work it was possible to discuss about the respiratory protection level that Brazilian mining workers are subjected and to suggest the use of respirators in some exposure situation.

Key words: respirators, mining, respiratory protection program, particulate matter, respirators selection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de lavra subterrânea da região nordeste do Brasil.....	8
Figura 2 - Exemplo de uma lavra a céu aberto da região sudeste do Brasil.	9
Figura 3 - Representação do diâmetro aerodinâmico da partícula.....	12
Figura 4 - Tempo de deposição de partículas no solo partindo de uma altura de 1,65m.....	14
Figura 5 - Representação gráfica do mecanismo de sedimentação da partícula no meio filtrante.....	15
Figura 6 - Representação gráfica do mecanismo de impactação inercial da partícula no meio filtrante.....	16
Figura 7 - Representação gráfica do mecanismo de interceptação da partícula no meio filtrante.....	16
Figura 8 - Representação gráfica do mecanismo de difusão da partícula no meio filtrante.....	17
Figura 9 - Ação eletrostática da superfície coletora atraindo partículas com cargas opostas.....	17
Figura 10 - Variação de penetração com o diâmetro das partículas e da velocidade (V_0) do ar que as transporta.....	18
Figura 11 - Fração de deposição de partículas nos alvéolos por tamanho.....	20
Figura 12 - Deposição de partículas nas três regiões do trato respiratório.....	21
Figura 13 - Representação esquemática das principais regiões do trato respiratório e sua correspondência com as frações inalável, torácica e respirável.....	23
Figura 14 - Pneumoconioses, poeiras causadoras e processos anatomopatológicos.....	26
Figura 15 - Número de internações hospitalares por pneumoconioses no Brasil.....	28
Figura 16 - Máscara contra gases de Stenhouse.....	49
Figura 17 - Máscara para bombeiros de John Tyndall.....	50
Figura 18 - Máscaras de Barton.....	50
Figura 19 - Máscaras de Neally.....	51
Figura 20 - Outros respiradores purificadores de ar.....	52
Figura 21 - Respirador de adução de ar patenteado por Lane	53
Figura 22 - Máscara autônoma de Fleuss.....	53

Figura 23 - Outros respiradores de adução de ar.....	54
Figura 24 - Classificação dos equipamentos de proteção respiratória.....	56
Figura 25 - Respiradores purificadores de tipo peça facial filtrante.....	58
Figura 26 - Respiradores purificadores de tipo peça facial com filtros para particulados.....	58
Figura 27 - Respiradores purificadores de ar do tipo motorizado.....	59
Figura 28 - Componentes de um respirador de adução de ar tipo linha de ar comprimido (1-Mangueira linear, 2-traquéia e regulador de vazão, 3- peça facial inteira, 4-mangueira helicoidal).....	60
Figura 29 - Respiradores autônomos.....	61
Figura 30 - Diagrama para seleção da cobertura das vias respiratórias e do tipo de respirador.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Mão de obra utilizada na mineração (materiais metálicos).....	29
Tabela 2- Mão de obra utilizada na mineração (materiais não-metálicos).....	30
Tabela 3- Principais minerações à céu aberto.....	31
Tabela 4- Principais minerações subterrâneas.....	33
Tabela 5 - Classes e Máxima Concentração de Uso (MCU) dos filtros químicos	62
Tabela 6 - Classificação dos filtros para particulados.....	63
Tabela 7 - Classificação das peças faciais filtrantes.....	64
Tabela 8 - Fatores de proteção atribuídos para EPR.....	65
Tabela 9 - Recomendações de seleção de respiradores para sílica cristalizada.....	81
Tabela 10 – Classificação americana de filtros para particulados.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABHO	–	Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	–	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AIHA	–	American Industrial Hygiene Association
ANSI	–	American National Standards Institute
BEI [®]	–	Biological Exposure Index
CA	–	Certificado de Aprovação
CFR	–	Code of Federal Regulation (Estados Unidos)
CGA	–	Compressed Gas Association
CIPAMIN	–	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração
CLT	–	Consolidação das Leis do Trabalho
dC	-	Depois de Cristo
EPI	–	Equipamento de Proteção Individual
EPR	–	Equipamento de Proteção Respiratória
FPA	–	Fator de Proteção Atribuído
FPE	–	Fator de Proteção Efetivo
FPR	–	Fator de Proteção Requerido
FUNDACENTRO	–	Fundação Jorge Duprat de Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
GA	–	Gás Ácido
IDLH	–	Immediately Dangerous to Life or Health
IN	–	Instrução Normativa
IPVS	–	Imediatamente Perigoso à Vida ou à Saúde
ISO	–	International Organization for Standardization
LEO	–	Limite de Exposição Ocupacional
LO	–	Limiar de Odor
LT	–	Limite de Tolerância
MCU	–	Máxima Concentração de Uso
MSHA	-	Mine Safety and Health Administration
MTE	–	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	–	Norma Brasileira

NIOSH	–	National Institute for Occupational Safety and Health
NR	–	Norma Regulamentadora
OSHA	–	Occupational Safety and Health Association
PCMSO	–	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PEL	–	Permissible Exposure Level
PFF	–	Peça Facial Filtrante
PGR	–	Programa de Gerenciamento de Riscos
PNOS	-	Particulados insolúveis não classificados de outra maneira
PPR	–	Programa de Proteção Respiratória
PPRA	–	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
TC/SC	–	Technical Committee/ Sub Committee
TLV [®]	–	Threshold Limit Value
VO	–	Vapor Orgânico
WPF	–	Workplace Protection Factor

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

mg/m^3	–	miligrama por metro cúbico
g/cm^3	–	grama por centímetro cúbico
μm	–	micrometro
mppdc	–	milhões de partículas por decímetro cúbico
L/min	–	litro por minuto
%	-	porcentagem
h	–	hora
min	-	minuto
seg	-	segundo
μ	–	velocidade
ρ	–	densidade
d	–	diâmetro aerodinâmico
m	-	metro
ton/ano	-	tonelada por ano
ΔS	–	variação de deslocamento
Δt	–	variação de tempo
cm/s	–	centímetro por segundo
m/s	-	metro por segundo
fibras/cm ³	–	fibras por centímetro cúbico

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

1 INTRODUÇÃO, OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	2
2 METODOLOGIA DO TRABALHO.....	4
3 REVISÃO DOS CONCEITOS.....	6
3.1 PROCESSOS DE MINERAÇÃO.....	6
3.1.1 MÉTODOS DE LAVRA.....	6
3.1.1.1 LAVRA SUBTERRÂNEA.....	7
3.1.1.2 LAVRA A CÉU ABERTO.....	8
3.2 MATERIAIS PARTICULADOS.....	10
3.2.1 POEIRAS.....	10
3.2.2 TAMANHO DAS PARTÍCULAS.....	11
3.2.3 DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NO SOLO.....	13
3.2.4 CAPTURA DAS PARTÍCULAS NO MEIO FILTRANTE.....	14
3.2.4.1 EFEITOS SIMULTÂNEOS DOS MECANISMOS DE CAPTURA.....	18
3.2.5 DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NO TRATO RESPIRATÓRIO.....	19
3.2.5.1 LOCAL DE DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NO TRATO RESPIRATÓRIO.....	21
3.3 PARTICULADOS NA MINERAÇÃO E PNEUMOCONIOSES ASSOCIADAS.....	34
3.4 O SISTEMA RESPIRATÓRIO E AS PNEUMOCONIOSES.....	34
3.4.1 AS GRANDES VIAS AÉREAS.....	34
3.4.2 O SISTEMA MUCOCILIAR.....	34
3.4.3 A BARREIRA ALVÉOLO-CAPILAR E O SISTEMA MACROFÁGICO...	35
3.5 ASPECTOS LEGAIS.....	35

3.5.1 NR-6- EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI).....	36
3.5.2 NR-7 - PROGRAMA DE CONTROLE MÉDICO DE SAÚDE OCUPACIONAL (PCMSO).....	36
3.5.3 NR-9 - PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS (PPRA).....	37
3.5.4 NR-15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES.....	37
3.5.5 NR-22 - SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL NA MINERAÇÃO.	38
3.5.6 PROGRAMA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA: RECOMENDAÇÕES, SELEÇÃO E USO DE RESPIRADORES (PPR).....	39
3.6 LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL.....	40
3.6.1 LIMITES DE EXPOSIÇÃO PARA MISTURAS.....	44
3.6.2 LIMITES DE EXPOSIÇÃO IPVS.....	45
3.7 MEDIDAS DE CONTROLE DA EXPOSIÇÃO.....	45
4 TIPOS DE RESPIRADORES.....	47
4.1 HISTÓRICO DA PROTECAO RESPIRATÓRIA.....	47
4.1.1 EVOLUÇÃO DOS RESPIRADORES.....	47
4.1.1.1 PRIMEIROS RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR.....	49
4.1.1.2 PRIMEIROS RESPIRADORES ADUTORES DE AR.....	52
4.1.2 A PRIMEIRA GUERRA MUNDIAL – GUERRA QUÍMICA.....	54
4.2 CONCEITOS ATUAIS DE RESPIRADORES.....	55
4.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESPIRADORES.....	55
4.2.2 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR.....	57
4.2.2.1 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR TIPO PEÇA FACIAL FILTRANTE (PFF).....	57
4.2.2.2 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR TIPO PEÇA FACIAL COM FILTROS SUBSTITUÍVEIS.....	58
4.2.2.3 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR DO TIPO MOTORIZADOS.....	58
4.2.3 RESPIRADORES DE ADUÇÃO DE AR.....	59
4.2.3.1 RESPIRADORES DE ADUÇÃO DE AR DO TIPO LINHA DE AR COMPRIMIDO.....	59

4.2.3.2 RESPIRADORES DE ADUÇÃO DE AR DO TIPO AUTÔNOMO E DO TIPO LINHA DE AR COMPRIMIDO COM CILINDRO AUXILIAR PARA ESCAPE.....	60
4.3 TIPOS DE FILTROS.....	61
4.3.1 FILTROS QUÍMICOS.....	61
4.3.2 FILTROS MECÂNICOS E ELETROSTÁTICOS.....	62
4.4 PROTEÇÃO OFERECIDA PELOS RESPIRADORES.....	64
4.4.1 FATOR DE PROTEÇÃO ATRIBUÍDO (FPA).....	64
4.4.2 FATOR DE PROTEÇÃO EFETIVO (FPE).....	66
4.4.3 ENSAIOS DE VEDAÇÃO NOS RESPIRADORES.....	69
5 SELEÇÃO DE RESPIRADORES.....	71
5.1 ETAPAS PARA SELEÇÃO.....	72
5.1.1 CONHECIMENTO E IDENTIFICAÇÃO DO RISCO.....	72
5.1.2 SELEÇÃO DO RESPIRADOR ADEQUADO.....	73
5.1.2.1 INTERPRETAÇÃO DO DIAGRAMA DE SELEÇÃO DA COBERTURA DAS VIAS RESPIRATÓRIAS E DO TIPO DE RESPIRADOR.....	76
5.2.2 SELEÇÃO DO TIPO DE FILTRO.....	79
5.3 SELEÇÃO E USO DE RESPIRADORES SEGUNDO CRITÉRIO NIOSH.....	83
6 DISCUSSÕES.....	86
6.1 DAS CONCENTRAÇÕES DE EXPOSIÇÃO.....	86
6.2 DAS EXPOSIÇÕES A POEIRAS CONTENDO SÍLICA.....	86
6.3 DA PRESENÇA DE OUTROS MATERIAIS PARTICULADOS.....	88
6.4 DOS PARTICULADOS COM CARACTERÍSTICAS OLEOSAS.....	88
6.5 DOS RESPIRADORES UTILIZADOS EM MINERAÇÃO.....	89
6.6 DA EFICIÊNCIA E DESEMPENHO DOS FILTROS.....	91
6.7 DA VEDAÇÃO DOS RESPIRADORES.....	92
6.8 DO PREÇO UNITÁRIO DOS RESPIRADORES.....	93
6.9 DA SELEÇÃO DE RESPIRADORES PARA GASES E VAPORES.....	94
6.10 DO USO DE RESPIRADORES EM LOCAIS QUENTES E ÚMIDOS.....	95
7 CONCLUSÕES.....	96
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	99

1 INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

1.1 INTRODUÇÃO

A atividade de mineração é um dos setores básicos da economia do país, fundamental para o desenvolvimento da sociedade e contribui de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida. Dependendo de como essa atividade é conduzida, ela pode provocar efeitos não desejados, dentre eles, alterações ambientais, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Além desses efeitos externos à mina, é fato a existência também de efeitos internos (FARIAS, 2002).

Os ambientes de trabalho dessa atividade geralmente encontram-se contaminados com agentes químicos, que podem penetrar no organismo de um trabalhador exposto pela via respiratória ou dérmica, devido à natureza da atividade de exposição, ou por ingestão. O tempo que essas substâncias podem permanecer no ar depende de diversos fatores como, por exemplo, tamanho, peso específico e velocidade de movimentação do ar. Quanto mais tempo os particulados permanecem em suspensão no ar, maior é a chance de entrarem em contato com indivíduo exposto (SANTOS, 2001).

As poeiras estão presentes na maioria das etapas dos processos de mineração, sendo responsáveis por algumas doenças ocupacionais típicas em trabalhadores expostos, denominadas pneumoconioses. As principais são: a silicose, asbestose, pneumoconiose de poeira mista, do carvão, talcose, silicatose, siderose, baritose e estanose. A silicose, doença pulmonar causada pela inalação de poeiras contendo sílica cristalina livre, é a pneumoconiose mais freqüente e relevante entre os trabalhadores no Brasil (CASTRO, 2005).

A proteção à saúde desses trabalhadores expostos e a redução dos riscos inerentes aos ambientes de trabalho são assuntos que fazem parte da esfera legal brasileira, por meio das normas regulamentadoras (NR) referentes à segurança e medicina do trabalho. Dentre as NR, cabe ressaltar a NR-9 (BRASIL, 1994), no item relativo às medidas de controle, que prevê a utilização do equipamento de proteção individual (EPI) como uma dessas medidas, reforçando o princípio norteador da NR-6 (BRASIL, 2006), que dispõe sobre a utilização de EPI, incluindo os respiradores; a

NR-15 (BRASIL, 1978), que apresenta em anexo uma listagem de substâncias químicas e seus respectivos limites de tolerância; a NR-22 (BRASIL, 2003), que dispõe sobre questões de segurança e saúde ocupacional na mineração; e a Instrução normativa (IN) N°1 (TORLONI, 2002), que estabelece o regulamento técnico sobre o uso de respiradores, apresentados por Torloni (2002) no Programa de Proteção Respiratória (PPR).

O uso dos respiradores como a principal medida de controle da exposição dos trabalhadores desse ambiente é uma realidade que merece atenção. A seleção dos respiradores adequados ao risco é um processo que no Brasil segue um critério lógico definido no documento PPR (TORLONI, 2002) que, se mal interpretado, ou se realizado em parte, pode resultar em respiradores que não oferecem a mínima proteção necessária para aquela situação de exposição. Assim, por exemplo, a vedação facial contribui mais significativamente para a proteção eficaz do usuário do respirador do que a preferência por filtros da mais alta classe de aprovação.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise crítica dos critérios técnicos e legais vigentes no Brasil de como selecionar filtros e respiradores para proteção contra materiais particulados presentes em ambientes de mineração, considerando algumas características dos particulados presentes e a proteção oferecida pelos respiradores atualmente utilizados nesses ambientes.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Os contaminantes particulados, especialmente as poeiras, podem ser encontrados ao longo de todas as etapas da mineração, que é uma atividade presente em todo território nacional.

Muitos trabalhadores da mineração em nosso país se encontram expostos a contaminantes particulados, especialmente poeiras contendo sílica e um dos controles dessa exposição é o uso de respiradores aprovados. O processo de seleção desses respiradores no Brasil se dá com base principalmente na eficiência do filtro que o compõe, sendo que, muitas vezes, a seleção recai sobre o filtro de classe mais eficiente, sem que sejam levados em consideração os outros fatores de

extrema importância que influenciam no nível de proteção oferecido pelos equipamentos de proteção respiratória.

Além disso, está previsto na NR-15 uma medição do diâmetro aerodinâmico das poeiras que contêm sílica cristalina no processo de seleção do respirador adequado para este contaminante. Como esta prática geralmente não é realizada, os responsáveis pela seleção acabam, na maioria das vezes, por preferirem filtros e respiradores da classe de aprovação mais alta para compensar a falta da informação sobre o diâmetro.

A relevância deste trabalho justifica-se pela contribuição a ser dada no processo de decisão sobre a classe e tipos de filtros e respiradores a serem utilizados para proteção contra poeiras em ambientes de mineração e, com isso, aumento do nível de proteção oferecida aos trabalhadores deste setor.

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

Para a realização deste trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico na literatura nacional e estrangeira sobre tópicos relacionados à mineração no Brasil, proteção respiratória, seleção e uso de respiradores e outros assuntos pertinentes ao tema. Também fez parte do início deste trabalho uma pesquisa bibliográfica de palavras-chave, como respiradores, mineração, programa de proteção respiratória, materiais particulados e seleção de respiradores. Estes assuntos foram levantados e organizados de acordo com a estrutura e divisão de tópicos deste trabalho.

As fontes básicas foram as bibliotecas do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, biblioteca da FUNDACENTRO e informações disponibilizadas por órgãos nacionais e internacionais competentes das áreas de higiene, saúde e segurança do trabalho citados na bibliografia consultada, tais como o Occupational Safety and Health Association (OSHA), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO), Mine Safety and Health Administration (MSHA), entre outros.

Também foi de extrema importância para a estruturação deste trabalho o entendimento e análise das regulamentações brasileiras e americanas sobre tópicos relacionados à proteção respiratória e uso de respiradores em ambientes industriais, de maneira geral e na mineração, de maneira específica, além de levantamento de publicações e estudos nacionais e internacionais de autores diversos, mas sempre especialistas no assunto. As normas americanas, ao invés de outras normas, foram analisadas por estarem atualizadas e não terem sido base para a elaboração das normas brasileiras.

Os comentários e discussões em alguns tópicos deste trabalho são frutos da experiência profissional de mais de dez anos da autora na área de proteção respiratória, incluindo participação ativa em comitês normativos da ABNT e da International Organization for Standardization (ISO); como membro do Comitê Brasileiro de Equipamentos de Proteção Individual (CB32) na elaboração de normas nacionais de especificações de ensaios para respiradores, como membro

representante da ABNT nas reuniões da ISO para elaboração de normas internacionais do subcomitê de equipamentos de proteção respiratória, além da experiência profissional como engenheira de serviços técnicos de uma empresa multinacional fabricante de respiradores.

A partir do levantamento bibliográfico, de visitas técnicas realizadas nos ambientes de trabalho das minas de várias regiões do Brasil, entre os anos 2005 e 2008, acompanhadas pelos Engenheiros e Técnicos de Segurança do Trabalho, para identificar os respiradores utilizados pelos mineiros e reuniões com especialistas, foi possível situar o ambiente de mineração em relação à presença de materiais particulados, conhecer o sistema de seleção e o uso de respiradores e filtros mais empregados no mesmo ambiente e compará-los com os requisitos normativos vigentes no Brasil. Após isso, foi possível analisar o nível de proteção respiratória a que os trabalhadores estão sujeitos e incorporar outras informações relevantes de estudos realizados sobre o desempenho e uso de respiradores em ambientes de mineração que levaram às conclusões apresentadas no final do trabalho.

3 REVISÃO DE CONCEITOS

3.1 PROCESSOS DE MINERAÇÃO

A indústria da mineração possui dois estágios ou setores básicos: a lavra e o beneficiamento. Na lavra, a partir de uma mina, é onde será extraído o minério ou mineral e na usina de beneficiamento é onde são realizados os tratamentos para separação e concentração do minério ou mineral em questão (IRAMINA, 2007).

Cada estágio é caracterizado por diferentes processos e dinâmicas operacionais relacionadas ao tipo de minério e fatores que envolvem os corpos minerais, tais como a localização geográfica, avaliações e custos de materiais auxiliares, energia, potencial humano e mercados, além de considerações ambientais.

Uma das maiores preocupações relacionadas à exposição ocupacional é com a poeira gerada em várias etapas dos processos. Esta pode ter origem tanto nos trabalhos de perfuração e desmonte da rocha e outros processos da lavra como nas etapas de beneficiamento e do transporte da produção. Neste trabalho o foco foi dado na lavra.

As principais fontes de emissão de particulados sólidos na mineração, segundo Kulcsar et al. (1995), são as seguintes:

- Perfuração de rocha para detonações
- Detonações das rochas
- Escavação e carregamento do estéril e do minério
- Britagem e moagem do minério
- Transporte do estéril e do minério
- Deposição do estéril e do minério

3.1.1 MÉTODOS DE LAVRA

A lavra pode ser entendida como um conjunto de operações necessárias à extração industrial de substâncias minerais ou fósseis da jazida (ESTON, 2005). Após a extração dos minérios, os mesmos são transportados para posterior tratamento. A

extração pode ser a céu aberto, subterrânea ou subaquática, sendo que uma jazida em lavra é chamada de mina (ESTON, 2005). A seguir estão destacados os tipos de lavra subterrânea e à céu aberto.

3.1.1.1 LAVRA SUBTERRÂNEA

Segundo IRAMINA (2007), o método de lavra subterrânea pode ser classificado em três grandes grupos: não suportada (deixando vazios os espaços abertos temporários), suportada (suporte sistemático dos espaços abertos) e desabamento. Ainda segundo o mesmo autor, a seleção entre estes tipos de lavra é dependente de diversos parâmetros que estão associados à estabilidade e a natureza tanto do minério quanto da rocha encaixante.

Ainda segundo o mesmo autor, na classe de abertura denominada não suportada, existem quatro técnicas ou métodos que podem ser empregados:

- Pilar e salão ou pilar e câmara
- Stope & pillar
- Shrinkage
- Subníveis

Já na classe de abertura denominada suportada, as técnicas são três:

- Corte e aterro
- Madeiramento em quadros
- Realces esteiados

Para a classe de abertura denominada com desabamento, as técnicas possíveis também são três:

- Longwall (frentes longas)
- Desabamento em subníveis
- Desabamento em blocos

Todos os trabalhadores de uma lavra subterrânea estão potencialmente expostos a diferentes tipos de riscos químicos, como exposição à poeiras e riscos físicos, como exposição a ruídos, além dos riscos mecânicos presentes durante as operações de

desmonte de rochas. A diferença na exposição entre estes trabalhadores está no nível de concentração ou intensidade desses agentes em cada estágio do processo. A figura 1 mostra a entrada típica de uma mina subterrânea da região nordeste do Brasil.

Figura 1 – Exemplo de lavra subterrânea da região nordeste do Brasil

Fonte: Arquivo pessoal

3.1.1.2 LAVRA A CÉU ABERTO

A mineração a céu aberto é geralmente utilizada quando depósitos de mineral ou rocha comercialmente úteis se encontram próximos à superfície. Segundo Medice (2005) o método de lavra a céu aberto pode ser classificado em dois grupos: mecânica (seco) ou aquosa (úmido).

Ainda segundo o mesmo autor, no grupo denominado mecânica, existem cinco técnicas ou métodos que podem ser empregados:

- Em Cava
- Meia encosta
- Em tiras

- Extração a trado
- Poço em fundo de Cava

Já no grupo denominado aquosa, as técnicas são seis:

- Bateamento
- Em calha
- Dragagem
- Desmonte hidráulico
- Técnicas superficiais
- Lixiviação in situ

O processo de lavra a céu aberto oferece praticamente os mesmo tipos de riscos de exposição a agentes químicos e físicos que o processo de lavra subterrânea. Por não se tratar de uma área confinada, como é no caso da subterrânea, os níveis de concentração desses agentes serão diferentes.

A figura 2 mostra, de uma maneira geral, um ambiente de mineração em uma lavra a céu aberto.

Figura 2 – Exemplo de uma lavra a céu aberto da região sudeste do Brasil

Fonte: Arquivo pessoal

3.2 MATERIAIS PARTICULADOS

Os materiais particulados também são chamados de aerodispersóides ou aerossóis e são, por definição, partículas sólidas ou líquidas de tamanho bastante reduzido (entre 0,01 μm a 100 μm), que se encontram suspensas no ar ou em um gás por um tempo suficiente para serem observadas ou medidas (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Eles podem ser originados de processos distintos, tais como processos mecânicos de ruptura e processos físico-químicos de condensação, vaporização, combustão, dando origem, por exemplo, às poeiras, às névoas, aos fumos, neblinas, fumaça, fog e smog, sendo que os dois últimos não são objetos de estudo da proteção respiratória.

Como foco de interesse neste trabalho, destacam-se as poeiras que, segundo definição da norma brasileira NBR 12543 (ABNT, 1999), são aerossóis cuja fase dispersa é originada de um processo de ruptura mecânica de um sólido. As partículas de uma poeira podem variar em tamanho desde submicroscópicas até visíveis ou macroscópicas. As névoas são definidas como aerossóis cuja fase dispersa também é originada de um processo de ruptura mecânica, mas de um líquido. As partículas de névoas geralmente são visíveis, ou de tamanho macroscópico. Os fumos são aerossóis gerados termicamente, constituídos por partículas sólidas, em geral após volatilização de uma substância fundida (por exemplo, solda), frequentemente acompanhada de reação química, tal como a oxidação.

3.2.1 POEIRAS

Uma pessoa com visão normal pode enxergar partículas de poeiras com dimensões acima de 50 μm . As partículas mais perigosas são as que se situam abaixo de 10 μm , visíveis apenas com microscópio. A maior parte das poeiras na indústria é formada por partículas de tamanho muito variado, com prevalência numérica das menores, embora sejam percebidas apenas as de maior tamanho (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Conforme descrito por Santos (2001), uma das maneiras de se classificar as poeiras é através de suas características básicas, que incluem forma, origem e tamanho.

a) Forma da partícula

A forma da partícula é um importante fator que influencia os processos de impactação e deposição inercial no sistema respiratório e os projetos de instrumentos adequados para amostragem e análise de partículas. A variedade de formas dos particulados é muito grande: esféricas, cúbicas, irregulares, com formato de flocos, fibras, cadeias, plaquetas, escamas, etc.

b) Origem da partícula

As partículas podem ser classificadas de acordo com sua origem em:

- Minerais - Ex.: quartzo e misturas que contenham quartzo (carvão, caulim, quartzito, areia, argila); asbesto e misturas que contenham asbesto (asbesto bruto, crisotila, anfibólios; fibrocimento, talco); metais e compostos metálicos (alumínio, ferro, chumbo, manganês, berílio, cromo, cádmio);
- Animais - Ex.: peles, couros, pêlos, plumas, escamas;
- Vegetais - Ex.: madeiras, grãos, cereais, algodão, palha, juta, cânhamo, bagaço, linho, sisal.

c) Tamanho da partícula e distribuição de tamanho

O conhecimento da distribuição de tamanho das partículas é de suma importância para determinar o comportamento de um aerossol. Historicamente, dados individuais de tamanho são analisados para obter a distribuição de tamanho de partículas características. A maioria dos processos envolvendo partículas depende do tamanho da partícula e o estudo do comportamento geral da população de partículas requer o conhecimento do número de partículas que existe em cada faixa de tamanho.

3.2.2 TAMANHO DAS PARTÍCULAS

Segundo Santos (2005), o comportamento das partículas é diretamente dependente do tamanho das mesmas, influenciando os seus mecanismos de deposição, o espalhamento da luz sobre as mesmas e os efeitos ocasionados na saúde dos expostos. Além disso, o tamanho também influencia na escolha dos mecanismos de

controle para a redução das concentrações de partículas no ar e na seleção do instrumento mais adequado para amostragem de faixas de tamanho de interesse, por exemplo, impactadores, precipitadores e filtros.

O tamanho de uma partícula pode ser definido tanto em termos lineares quanto em termos bidimensionais e tridimensionais. A dimensão é usualmente estabelecida utilizando-se da teoria da esfera equivalente. Nesta teoria, a equivalência pode estar fundamentada em uma propriedade física que esteja sendo medida. Deste modo, é possível definir diâmetros para partículas individuais os quais representem o comprimento, a área superficial ou o volume ou a taxa de sedimentação de uma esfera equivalente. Entretanto, a escolha de um determinado diâmetro dependerá da área de aplicação em questão. Um diâmetro fundamentado na área equivalente será mais útil quando associado às partículas de pigmentos utilizadas na fabricação de tintas.

Estudos de deposição de partículas no trato respiratório relacionam-se o mais próximo possível com o diâmetro aerodinâmico da partícula. Já em experimentos onde são apresentados processos de transferência de calor, o diâmetro de área superficial pode ser o mais adequado.

Na maioria das situações de higiene ocupacional é aconselhável a adoção do diâmetro aerodinâmico como representante do tamanho da partícula. Ele é definido como o diâmetro de uma esfera hipotética de densidade 1.0 g/cm^3 , tendo a mesma velocidade terminal de deposição em ar calmo que a partícula em questão, desconsiderando seu tamanho geométrico, forma e densidade verdadeiras, como se observa na figura 3 (SANTOS, 2005).

Figura 3: Representação do diâmetro aerodinâmico da partícula

Fonte: Adaptado de Tannous (2004)

Sendo,

μ = velocidade

ρ = densidade

d = diâmetro aerodinâmico

Existem alguns estudos sobre dimensões de materiais particulados encontrados na mineração como, por exemplo, o de Jones (2003), que observou que durante operação de desmonte de rocha com utilização de explosivo, onde é gerada uma grande quantidade de material particulado composto principalmente por fragmentos de rocha, areia, terra e fuligem, as dimensões dos materiais gerados são variáveis, porém predominam particulados de rocha com dimensões acima de 2 μm e fuligens, com dimensões bem abaixo deste valor.

Através da metodologia de difração laser, foram estudados os tamanhos de partículas provenientes de duas minerações situadas na região da grande São Paulo, sendo uma de pequeno porte e outra de grande porte, onde foi mostrado que menos de 10% dos particulados encontrados estavam associados com a fração respirável (partículas menores que 2,5 μm). O diâmetro médio de particulados encontrados variou de 18,5 μm na mineração de grande porte a 25,1 μm na pedreira. Já o diâmetro médio dos particulados encontrados na área urbana foi de 30 μm . (ALMEIDA, 2005).

Já McDonald et.al. (2002) identificaram partículas finas contendo carbono (elementar e orgânico), íons (sulfato e nitrato) e metais em minas subterrâneas e a maioria desse material apresentou diâmetro médio mássico aerodinâmico abaixo de 1 μm , e uma grande parte estava abaixo de 0,2 μm .

3.2.3 DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NO SOLO

O tempo que as partículas podem permanecer no ar depende do seu tamanho, peso específico (quanto maior, menor o tempo de permanência) e velocidade do ar.

O comportamento das partículas no ambiente com fluxo contínuo de ar pode ser visto na figura 4. Partículas menores permanecem mais tempo suspensas no ar e,

portanto, apresentam maior chance de serem medidas no ambiente ou inaladas pelo trabalhador (ESTADOS UNIDOS, 2007 A).

Figura 4 – Tempo de deposição de partículas no solo partindo de uma altura de 1,65m

(Fonte: Adaptado de: ESTADOS UNIDOS, 2007)

A velocidade de deposição para as partículas nas condições especificadas é dada pela eq. (1):

$$\mu = \frac{\Delta S}{\Delta T} \quad (1)$$

Sendo,

μ = velocidade

ΔS = deslocamento

Δt = tempo

Da situação acima, a velocidade de sedimentação (μ) de uma partícula de 1,0 µm de diâmetro é 0,003 cm/s, conforme apresentado na eq. (2):

$$\mu = \frac{\Delta S}{\Delta T} = \frac{165cm}{12 \times 3600s} = 0,003cm/s \quad (2)$$

3.2.4 CAPTURA DAS PARTÍCULAS NO MEIO FILTRANTE

Os cinco mecanismos mais comuns de captura das partículas em um meio filtrante de um respirador, segundo Santos (2005), são: sedimentação, impactação inercial, interceptação, difusão e deposição eletrostática. Eles atuam simultaneamente em cada partícula, mas serão apresentados individualmente.

a) Sedimentação

Estudos sobre aerodispersóides indicam que partículas com diâmetro aerodinâmico maior que 50 μm não permanecem suspensas no ar por muito tempo, pois tendem a sedimentar-se por influência da gravidade. A taxa de sedimentação dependerá do tamanho, forma, massa e orientação da partícula e da densidade e viscosidade do ar, entretanto, em condições especiais, mesmo partículas maiores que 100 μm podem tornar-se suspensas, mas dificilmente permanecem no ar. A figura 5 representa uma partícula capturada pelo mecanismo de sedimentação em uma fibra do filtro de um respirador.

Figura 5 – Representação gráfica do mecanismo de sedimentação da partícula no meio filtrante (Fonte: Adaptado de: HINDS, 1982)

b) Impactação inercial

A inércia de uma partícula, definida como sua tendência a resistir à mudança em seu movimento, é outro importante mecanismo de deposição. A partícula em movimento através do ar se manterá em linha reta, a menos que atue sobre ela uma força externa. Quando uma partícula é forçada a mudar de direção repentinamente, a inércia da partícula fará com que ela continue na mesma direção, abandonando a trajetória do fluxo de ar. Se houver algum obstáculo nessa trajetória linear, como a bifurcação dos dutos do trato respiratório, ou a presença de fibras formadoras de um filtro de respiradores, a partícula pode ser capturada por impactação sobre a superfície do obstáculo. Em geral, a probabilidade de impactação aumenta com a massa e a velocidade da partícula. A figura 6 representa uma partícula capturada pelo mecanismo de impactação inercial em uma fibra do filtro de um respirador.

Figura 6 - Representação gráfica do mecanismo de impactação inercial da partícula no meio filtrante
(Fonte: Adaptado de: HINDS, 1982)

c) Interceptação

Quando o fluxo de ar passa próximo a uma superfície coletora, pode ocorrer deposição das partículas pelo processo de interceptação: partículas maiores arrastadas podem “tocar” na superfície coletora. Basta que a trajetória até a superfície coletora seja menor que o raio da partícula. A figura 7 representa uma partícula capturada pelo mecanismo de interceptação em uma fibra do filtro de um respirador.

Figura 7 - Representação gráfica do mecanismo de interceptação da partícula no meio filtrante
(Fonte: Adaptado de: HINDS, 1982)

d) Difusão

Neste mecanismo, partículas suspensas em um meio gasoso são bombardeadas por colisões com moléculas individuais do gás, provocando deslocamentos aleatórios das partículas, mostrados na figura 8, conhecidos como difusão, fazendo com que elas permaneçam suspensas no ar por longos períodos de tempo. Para partículas com dimensões consideravelmente menores que $1,0 \mu\text{m}$, a sedimentação é

negligenciável. A velocidade terminal de uma partícula de $1,0\ \mu\text{m}$ é muito baixa ($0,003\ \text{cm/s}$). Assim, o deslocamento dessas partículas, arrastadas pelas moléculas do ar é mais importante que o devido à sedimentação.

Figura 8 - Representação gráfica do mecanismo de difusão da partícula no meio filtrante
(Fonte: Adaptado de: HINDS, 1982)

e) Deposição eletrostática

Este mecanismo de captura mostrado na figura 9 é relevante quando o meio filtrante apresenta cargas eletrostáticas, podendo ocorrer a captura das mesmas por meio da ação eletrostática direta ou por meio de indução elétrica preliminar e posterior atração. A efetividade de deposição dependerá do tamanho e área da partícula, de sua resistividade elétrica e do fluxo do ar ou gás. Este mecanismo atua também, embora contribuindo pouco, nos filtros chamados mecânicos, que não são carregados eletrostaticamente no processo de fabricação.

Figura 9 - Ação eletrostática da superfície coletora atraindo partículas com cargas opostas
(Fonte: Adaptado de: LARSON, 2001)

3.2.4.1 EFEITOS SIMULTÂNEOS DOS MECANISMOS DE CAPTURA

A eficiência de captura das partículas por um meio filtrante depende principalmente do tamanho da partícula, velocidade do ar, diâmetro das fibras do meio filtrante. Considerando que em uma partícula atuam simultaneamente todos os mecanismos de captura, a eficiência resultante apresenta o aspecto mostrado na figura 10. A curva representante da velocidade de 10 cm/s corresponde a que ocorre em um filtro utilizado durante a realização de uma atividade pesada e a de 1,0 cm/s, durante a execução de uma atividade leve.

Figura 10 – Variação de penetração com o diâmetro das partículas e da velocidade (U_0) do ar que as transporta.

(Fonte: adaptado de: TORLONI; VIEIRA, 2003).

O formato desta curva pode ser explicado pelo fato das partículas muito pequenas estarem sujeitas preponderantemente à captura pelo mecanismo da difusão, o qual diminui para as partículas maiores. Por outro lado, partículas maiores são capturadas principalmente por impactação inercial e intercepção, as quais crescem com o diâmetro da partícula.

Existe uma faixa de tamanho intermediário, considerada como as das partículas mais penetrantes. Por esta razão, a eficiência mínima de captura tipicamente ocorre num diâmetro próximo a $0,3\ \mu\text{m}$, lembrando que este número não é fixo, pois depende do elemento filtrante e da velocidade do ar.

Por este motivo, as normas de ensaio de filtros especificam partículas com tamanho das mais penetrantes para a aprovação dos mesmos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

3.2.5 DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NO TRATO RESPIRATÓRIO

Segundo Hinds (1982), é possível considerar que as partículas inaladas são depositadas nas várias regiões do trato respiratório devido à complexa ação de mecanismos diferentes, como acontece na deposição de partículas em meios filtrantes.

A deposição total de partículas, como é mostrada na figura 11, é a combinação da deposição em todas as regiões do trato respiratório e a sua medição geralmente é realizada experimentalmente, medindo-se a concentração de aerossóis de teste monodispersos durante inalação e exalação, sob condições controladas (ESTADOS UNIDOS, 2007).

Os dados indicam que a deposição é próxima de 100% para partículas com diâmetro aerodinâmico maior que $10\ \mu\text{m}$ e que a deposição diminui com a redução do diâmetro abaixo de $10\ \mu\text{m}$. A mínima deposição ocorre na faixa de tamanho entre $0,3$ e $1,0\ \mu\text{m}$. Abaixo desta faixa de tamanho há um aumento gradual da deposição devido à difusão.

Outros fatores que afetam a deposição das partículas no trato respiratório são: a frequência da respiração, o volume inalado e o tempo de pausa entre a inalação e exalação. Partículas com diâmetro aerodinâmico maior que $0,5\ \mu\text{m}$, quanto menor a frequência da respiração (número de respirações por minuto) maior a fração depositada, pois há mais tempo para o mecanismo da deposição gravitacional agir. Partículas maiores que $1,0\ \mu\text{m}$, a deposição aumenta com o fluxo de ar médio, pois o mecanismo predominante para este diâmetro é a impactação inercial, que é dependente da velocidade do ar. A pausa entre a inalação e exalação faz aumentar

a deposição das partículas em todas as faixas de tamanho, particularmente para partículas grandes e longos períodos de pausa (HINDS, 1982).

Figura 11 – Fração de deposição de partículas nos alvéolos por tamanho

(Fonte: Adaptado de: ESTADOS UNIDOS, 2007 B)

A análise da deposição de partículas nas diferentes regiões do trato respiratório pode ser mais interessante para avaliar o potencial de dano das partículas inaladas. As curvas de deposição de partículas nas diferentes regiões do trato respiratório, observadas na figura 12, variam em função do tamanho das mesmas. Os valores de fração de deposição são válidos com frequência respiratória de 15 ciclos/minuto e volume de 1,45 litros. A deposição pode variar em função das condições fisiológicas respiratórias do momento e, portanto, as curvas são apenas retratos de uma determinada situação fisiológica (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Segundo Hinds (1982), partículas maiores que 10 µm geralmente não atingem a região alveolar e partículas entre 2,0 e 10,0 µm alcançam a região alveolar em quantidades atenuadas. Ainda segundo este mesmo autor, o tamanho de partícula que mais se deposita na região alveolar durante a respiração pela boca está ao redor de 3 µm e durante respiração pelo nariz, o tamanho cai para 2,5 µm em média.

Figura 12 – Deposição de partículas nas três regiões do trato respiratório

(Fonte: TORLONI; VIEIRA, 2003)

3.2.5.1 LOCAL DE DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NO TRATO RESPIRATÓRIO

A eficiência com que as partículas inaladas se depositam no trato respiratório humano depende do seu tamanho, forma, densidade e higroscopicidade. Partículas pequenas o suficiente para estarem suspensas no ar podem ser inaladas pelo nariz ou pela boca e a probabilidade de inalação depende do seu diâmetro aerodinâmico, do movimento do ar ao redor da zona respiratória e da taxa de respiração do indivíduo (SANTOS, 2005).

O percurso das partículas nas diferentes regiões do trato respiratório e os locais aonde elas provavelmente irão se depositar são dependentes do diâmetro aerodinâmico, das dimensões das vias aéreas e do padrão de respiração. Partículas depositadas ou nas vias aéreas superiores ou no pulmão, possuem potencial para causar danos à saúde (SANTOS, 2001).

Para os estudos de higiene ocupacional, as faixas ou frações de tamanho de maior interesse estão divididas de modo a relacioná-las com o local de deposição no trato

respiratório: frações de particulados inaláveis, torácicos e respiráveis, cujas definições são apresentadas (SANTOS, 2007):

a) PARTICULADO INALÁVEL

A fração de particulado inalável é aquela constituída por partículas de diâmetro aerodinâmico menor que 100 μm , capaz de entrar pelas narinas e pela boca, penetrando no trato respiratório durante a inalação, podendo ficar retida em qualquer lugar dele. A concentração da fração de particulado inalável é o parâmetro utilizado para avaliar o risco daqueles materiais que causam efeito adverso quando depositados em qualquer lugar do trato respiratório (SANTOS, 2007).

b) PARTICULADO TORÁCICO

A fração de particulado torácico é aquela constituída por partículas de diâmetro aerodinâmico menor que 25 μm , capaz de passar pela laringe, podendo ficar retida nas regiões traqueobrônquica (vias aéreas dos pulmões) e na região de troca de gases. A concentração da fração de particulado torácico é o parâmetro utilizado para avaliar o risco daqueles materiais que causam efeito adverso quando depositados em qualquer lugar no interior das vias aéreas dos pulmões e na região de troca de gases (SANTOS, 2007).

c) PARTICULADO RESPIRÁVEL

A fração respirável é constituída por partículas de diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm , que penetra e pode ficar retida na região de troca de gases ou região pulmonar. A concentração da fração de particulado respirável é o parâmetro utilizado para avaliar risco daqueles materiais que causam efeito adverso quando depositados na região de troca de gases (SANTOS, 2007).

A figura 13 ilustra as frações de particulados e as respectivas regiões de deposição no trato respiratório.

Figura 13 - Representação esquemática das principais regiões do trato respiratório e sua correspondência com as frações inalável, torácica e respirável.

(Fonte: adaptado de: BON; SANTOS, 2003)

Com base nas informações de que os particulados podem se depositar em diferentes regiões do trato respiratório é possível concluir que as poeiras depositadas nos pulmões, dependendo de suas características, podem induzir os seguintes efeitos (BON; SANTOS, 2003):

- pequena ou nenhuma reação;
- hiperprodução de muco e hipertrofia das células de secreção de muco,
- recrutamento de macrófagos;
- proliferação crônica ou reação inflamatória;
- fibrose;
- câncer.

3.3 PARTICULADOS NA MINERAÇÃO E PNEUMOCONIOSES ASSOCIADAS

As doenças respiratórias ocasionadas pela inalação de poeiras em ambientes de trabalho são genericamente designadas como pneumoconioses (do grego, conion = poeira) (BRASIL, 2006). As poeiras são substâncias difíceis de serem combatidas pelos mecanismos de defesa imunológica e/ou leucocitária do organismo humano.

Para que os materiais particulados inalados atinjam as vias respiratórias inferiores, devem ter a mediana do seu diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm pois, acima deste tamanho, são retidos nas vias aéreas superiores. A fração respirável (<10 µm) tem maior chance de se depositar no trato respiratório inferior (bronquíolos terminais e respiratórios e os alvéolos) e dar início ao processo inflamatório que, se perpetuado pela inalação crônica e/ou em quantidade que supera as defesas, pode levar à instalação de alterações pulmonares. Partículas com diâmetros de 5 µm a 10 µm, embora em menor proporção, também têm condição de se depositar nessas regiões inferiores e produzir doenças.

As reações pulmonares à deposição de poeiras inorgânicas no pulmão vão depender das características físico-químicas do aerossol (como por exemplo: partículas menores e recém-fraturadas de sílica, fibras mais finas e longas, no caso do asbesto, são mais lesivas) da dose (que depende, entre outros fatores, da concentração no ar inalado, do volume/minuto e do tempo de exposição), presença de outras poeiras, de doenças pulmonares prévias, podendo ser moduladas por fatores imunológicos individuais e em muitos casos pelo tabagismo.

Destacando-se a silicose, ela pode ser definida como uma pneumoconiose causada pela inalação de sílica livre cristalina que se manifesta após longo período de exposição, habitualmente superior a dez anos, caracterizada por fibrose progressiva do parênquima pulmonar (BRASIL, 2006).

A figura 14 apresenta algumas pneumoconioses com denominações mais específicas, seus agentes etiológicos e suas alterações anatomopatológicas.

PNEUMOCONIOSES	AGENTES ETIOLÓGICOS	PROCESSOS ANATOMOPATOLÓGICOS
Silicose	Sílica livre	Fibrose nodular
Asbestose	Todas as fibras de asbesto ou amianto	Fibrose difusa
Pneumoconiose do trabalhador do carvão (PTC)	Poeiras contendo carvão mineral e vegetal	Deposição macular sem fibrose ou com diferenciados graus de fibrose
Silicatose	Silicatos variados	Fibrose difusa ou mista
Talcosose	Talco mineral (silicato)	Fibrose nodular e/ou difusa
Pneumoconiose por poeira mista	Poeiras variadas contendo menos que 7,5% de sílica livre	Fibrose nodular estrelada e/ou fibrose difusa
Siderose	Óxidos de ferro	Deposição macular de óxido de ferro associado ou não com fibrose nodular e/ou difusa
Estanose	Óxido de estanho	Deposição macular sem fibrose
Baritose	Sulfato de bário (barita)	Deposição macular sem fibrose
Antimoniose	Óxido de antimônio ou Sb metálico	Deposição macular sem fibrose

continua

continuação da figura14

PNEUMOCONIOSES	AGENTES ETIOLÓGICOS	PROCESSOS ANATOMOPATOLÓGICOS
Pneumoconiose por rocha fosfática	Poeira de rocha fosfática	Deposição macular sem fibrose
Pneumoconiose por abrasivos	Carbeto de silício Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	Fibrose nodular e/ou difusa
Beriliose	Berílio	Granulomatose tipo sarcóide. Fibrose durante evolução crônica
Pneumopatia por metais duros	Poeiras de metais duros (ligas de W, Ti, Ta contendo Co)	Pneumonia intersticial de células gigantes. Fibrose durante evolução
Pneumonites por hipersensibilidade (alveolite alérgica extrínseca)	Poeiras orgânicas contendo fungos, proteínas de penas, pêlos e fezes de animais	Pneumonia intersticial por hipersensibilidade (infiltração linfocitária, eosinofílica e neutrofílica na fase aguda e fibrose difusa na fase crônica)

Figura 14 - Pneumoconioses, poeiras causadoras e processos anatomopatológicos

(Fonte: BRASIL, 2006)

Ainda segundo Brasil (2006), as ocupações que expõem trabalhadores ao risco de inalação de poeiras causadoras de pneumoconioses estão relacionadas a diversos ramos de atividades, como mineração e transformação de minerais em geral, metalurgia, cerâmica, vidros, construção civil (fabricação de materiais construtivos e operações de construção), agricultura e indústria da madeira (poeiras orgânicas), entre outros.

Dados epidemiológicos provindos de vários países mostram que o risco de ocorrência de pneumoconioses ainda é um problema mundial, tanto nos países desenvolvidos, quanto nos em vias de desenvolvimento, embora nestes últimos as condições de trabalho e precariedade do controle ambiental e individual da exposição levem a um risco maior (BRASIL, 2006).

Os dados epidemiológicos sobre pneumoconioses no Brasil são escassos e se referem a alguns ramos de atividades em situações focais. Considerando-se estes ramos de atividade, algumas estimativas de número de expostos foram feitas baseadas em censos recentes. O ramo de mineração e garimpo expõe trabalhadores a poeiras diversas como ferro, bauxita, zinco, manganês, calcário, rochas potássicas e fosfáticas, asbesto, granito, quartzo, quartzito, feldspato, argilas e outros minerais contendo sílica livre (BRASIL, 2006).

Vieira (2004) destacou em seu estudo que nas minerações subterrâneas de ouro dos estados de Minas Gerais e Bahia, de acordo com dados nacionais, está a maior parte dos casos diagnosticados de silicose no Brasil.

Um estudo elaborado por Castro (2005) mostra a soma das frequências das internações hospitalares por pneumoconioses em cada uma das cinco 5 macro-regiões do Brasil, no período entre 1984 e 2003, como mostra a figura 15:

Figura 15 - Número de internações hospitalares por pneumoconioses no Brasil (1984-2003)
(Fonte: adaptado de: CASTRO, 2005)

Uma das contribuições do estudo elaborado por Castro (2005) foi a construção de um panorama epidemiológico descritivo, refletindo a relevância do problema em nosso país.

Alguns setores econômicos e ocupações de risco podem ser considerados prioritários para a prevenção da exposição a poeiras minerais

- Indústria extrativa mineral: mineração subterrânea e de superfície; cavadores de poços.
- Beneficiamento de minerais: corte de pedras; britagem; moagem; lapidação.
- Indústria da construção: perfuração de túneis, polimento de fachadas, assentamento de pisos, corte de pedras.
- Atividades mistas: protéticos; artistas plásticos; operações de jateamento com areia.
- Indústria de transformação: cerâmicas; fundições que utilizam areia no processo; vidro; abrasivos; marmorarias; corte e polimento de granito; cosméticos.

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (BRASIL, 2007), o setor mineral brasileiro empregou 128.131 trabalhadores em 2006, sendo que a região do país com maior emprego foi a Sudeste, representando 46,53% desse total, com destaque para os estados de Minas Gerais e São Paulo.

Porém, Fernandes (2007) alerta sobre o fato de que existe um alto índice de informalidade na atividade de mineração é que esta informalidade é derivada, dentre outros fatores, de procedimentos de legalização inadequados que, muitas vezes, leva a situações socialmente insustentáveis. O mesmo autor também demonstrou que tanto na indústria em geral quanto na indústria extrativa, o setor formal é responsável por cerca de 50% do total da população ocupada.

Como pode ser observado nas tabelas 1 e 2 , os tipos de mineração que mais empregaram mão-de-obra no Brasil foram as de extração de ferro (materiais metálicos) e de extração de rochas e cascalho (materiais não metálicos).

Tabela 1- Mão de obra utilizada na mineração (materiais metálicos)

Classe / Substância	Empregado	Terceirizado	Cooperativado	Total
Ferro	13.808	4.399	1	18.208
Ouro	4.259	1.269	43	5.571
Níquel	2.103	613	-	2.716
Alumínio (Bauxita)	1.932	212	-	2.144

Fonte: Adaptado de Anuário Brasileiro de Mineração 2006 (BRASIL, 2007)

Tabela 2– Mão de obra utilizada na mineração (materiais não-metálicos)

Classe / Substância	Empregado	Terceirizado	Cooperativado	Total
Rochas (Britadas) e Cascalho	13.857	1.289	-	15.229
Água Mineral	11.705	807	27	12.539
Calcário	9.659	2.065	92	11.816
Areia	7.911	1.269	56	9.236

Fonte: Adaptado de Anuário Brasileiro de Mineração 2006 (BRASIL, 2007)

Germani (2002), em seu estudo sobre as minerações no Brasil mostrou que a região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, pode ser considerada a maior concentração de minas do mundo naquela data, movimentando entre minério e estéril cerca de 450 milhões de toneladas nas diversas minas. Somando-se as atividades desta região às atividades de Carajás, no Pará, o autor constatou que o Brasil pode ser considerado atualmente um modelo de aplicação de tecnologias de mineração a céu aberto.

A tabela 3 apresenta um conjunto das principais minerações brasileiras à céu aberto, com produção anual em 2001 superior a 3 milhões de toneladas (GERMANI, 2002).

Tabela 3 – Principais minerações a céu aberto no Brasil em 2002

Mina	Localização	Produto	Produção (1.000 ³ Ton/ano)			Empresa mineradora
			rom	estéril	Total	
CARAJÁS	Carajás / PA	Ferro	61,3	37,2	98,5	Vale do Rio Doce
CAUÊ	Itabira / MG	Ferro	28,8	36,7	65,5	Vale do Rio Doce
CONCEIÇÃO	Itabira / MG	Ferro	25,7	25,2	50,9	Vale do Rio Doce
CONGO SOCO	B. de Cocais / MG	Ferro	7,5	5,9	13,4	Vale do Rio Doce
ALEGRIA 9	Mariana / MG	Ferro	9,4	7,5	16,9	Vale do Rio Doce
TIMBOPEBA	Mariana / MG	Ferro	6,6	19	25,6	Vale do Rio Doce
MORRO AGUDO	Piracicaba / MG	Ferro	4,6	1,4	6,0	Vale do Rio Doce
CAPANEMA	Itabirito / MG	Ferro	5,0	7,6	12,6	Min. Serra Geral
ALEGRIA	Mariana / MG	Ferro	18,0	10,8	28,8	Samarco Min.S.A.
FABRICA	Congonhas / MG	Ferro	15,3	12,2	17,5	Ferteco Mineração S.A.
CÓRREGO DO FEIJÃO	Brumadinho / MG	Ferro	6,4	4,3	10,7	Ferteco Mineração S.A.
PICO	Itabirito / MG	Ferro	15,4	14,5	29,9	Min. Brasileiras Reunidas S.A.
TAMANDUÁ	Nova Lima / MG	Ferro	9,1	10,8	19,9	Min. Brasileiras Reunidas S.A.
CAPITÃO DO MATO	Nova Lima / MG	Ferro	5,8	12,3	18,1	Min. Brasileiras Reunidas S.A.
JANGADA	Nova Lima / MG	Ferro	4,4	2,9	7,3	Min. Brasileiras Reunidas S.A.
CASA DE PEDRA	Congonhas / MG	Ferro	13,8	7,9	21,7	Cia Siderúrgica Nacional S.A.
GUAJÚ	Mataraca / RN	Ilmenita	4,5	-	4,5	Milenium do Brasil Ltda

continua

continuação Tabela 3

Mina	Localização	Produto	Produção (1.000 ³ Ton/ano)			Empresa mineradora
			rom	estéril	Total	
PITINGA	Presidente Figueiredo / AM	Cassiterita	11	-	11	Mineração Taboca S/A
PAU BRANCO	Brumadinho / MG	Ferro	3,3	4,8	8,1	Valloure Com. Min. & Tubes
ENGENHO SECO	Sarzedo / MG	Ferro	11,2	3,2	14,4	Itaminas Com. Minérios S/A
TROMBETAS	Oriximiná / PA	Bauxita	14,9	26,8	41,7	Mineração Rio do Norte S/A
TAPIRA	Tapira	Fosfato	12,8	14,5	27,3	Fertilizantes Fosfatados S/A
CATALÃO	Catalão / GO	Fosfato	5,8	5,4	11,2	Fertilizantes Fosfatados S.A.
OUVIDOR	Ouvidor / GO	Fosfato	4,2	5,3	9,5	Copebras Ltda
APATITA	Cajati / SP	Fosfato	5,2	7,0	12,2	Bungue Fertilizantes S/A
BARREIRO	Araxá / MG	Fosfato	4,2	5,3	9,5	Bungue Fertilizantes S/A
CANABRAVA	Minaçu / GO	Amianto	2,4	1,1	3,5	S/A de Mineração de Amianto
MORRO DO OURO	Paracatu / MG	Ouro	19,7	-	19,7	Rio Paracatu Mineração S.A.
CANDIOTA	Candiota / RS	Carvão	1,6	5,4	7,0	Cia. Riograndense de Min.
RECREIO	Butiá / RS	Carvão	2,2	38,0	40,2	Copelmi Mineração Ltda
BOCAINA	Arcos / MG	Calcário	2,0	1,7	3,7	Cia Siderúrgica Nacional
SAIVÁ/ ITARETA MA	Rio Branco do Sul / PR	Calcário	7,1	1,3	8,4	Cimento Rio Branco S/A

(Fonte: Adaptado de: GERMANI, 2002)

A tabela 4 apresenta um conjunto das principais minerações brasileiras subterrâneas, com produção anual em 2001 superior a 600 mil toneladas (GERMANI, 2002).

Tabela 4 – Principais minerações subterrâneas no Brasil em 2002

Mina	Localização	Produto	Produção (1.000 ³ Ton/ano)			Empresa Mineradora
			rom	estéril	total	
CARAÍBA	Jaguarari, BA	Cobre	1186	-	1186	Mineração Caraíba
CUIABÁ	Sabará, MG	Ouro	685	-	685	AngloGold
FAZENDA BRASILEIRO	Teofilândia, BA	Ouro	1000	500	1500	Cia. Vale do Rio Doce
TAQUARI- VASSOURAS	Rosário do Catete, SE	Potássio	2295	-	2295	Cia. Vale do Rio Doce
CRIXÁS	Crixás, GO	Ouro	471	113	564	AngloGold / TVX
IPUEIRA E MEDRADO	Andorinhas, BA	Cromo	540	240	780	Min. Vale do Jacurici
FORTALEZA DE MINAS	Passos, MG	Níquel	615	115	725	Mineração Serra da Fortaleza S.A
MORRO AGUDO	Paracatu, MG	Zinco, Chumbo	604	250	854	Cia. Mineira de Metais
SÃO BENTO	Santa Bárbara/MG	Ouro	417	154	571	Eldorado
VAZANTE	Vazante/MG	Zinco	531	231	762	Cia. Mineira de Metais
TREVO	Siderópolis/ SC	Carvão	1140	-	1140	Carbonífera Rio Deserto
ESPERANÇA/ FONTENEL E	Treviso/ SC	Carvão	1600	-	1600	Carbonífera Metropolitana S/A
VERDINHO	Forquilha/ SC	Carvão	1275	-	1275	Carbonífera Criciúma S/A

(Fonte: Adaptado de: GERMANI, 2002)

3.4 O SISTEMA RESPIRATÓRIO E AS PNEUMOCONIOSES

Segundo Santos (2005), o sistema respiratório possui um sistema de defesa pulmonar contra as agressões provenientes dos contaminantes ambientais ou do local de trabalho tais como agentes infecciosos, material particulado e gases tóxicos. Fazem parte do sistema de defesa pulmonar as grandes vias aéreas; o sistema mucociliar; as barreiras alvéolo-capilar e o sistema macrofágico.

3.4.1 AS GRANDES VIAS AÉREAS

É nessa zona do trato respiratório que as partículas maiores, com dimensão entre 5 μm e 10 μm , se depositam através do mecanismo de impactação inercial, principalmente nas bifurcações da árvore brônquica. Já na região de fluxo laminar, o mecanismo predominante é o de sedimentação. As partículas menores, com dimensões de vírus e bactérias, também atingem as paredes dessas vias devido ao movimento browniano. As células ciliares, que formam as paredes dos dutos das vias respiratórias, são as propulsoras da camada de muco na direção da zona de deglutição (orofaringe) e constituem um importante mecanismo de remoção de partículas depositadas sobre as vias aéreas (SANTOS, 2005).

3.4.2 O SISTEMA MUCOCILIAR

Este sistema tem capacidade adaptativa limitada e quando a deposição das partículas supera essa capacidade, ocorre sua falência clinicamente manifestada pela retenção das secreções nas vias aérea, que passam a ser eliminadas pelo mecanismo da tosse. A retenção de particulados aumenta a probabilidade de infecções broncopulmonares e o aparecimento de tumores malignos. Também pode ocorrer interferência na função das células ciliadas e mudança da composição do muco, que fica mais viscoso e, portanto, mais difícil de ser eliminado, aumentando a suscetibilidade às infecções. A falha deste sistema de defesa permite o aparecimento das pneumoconioses (SANTOS, 2005).

3.4.3 A BARREIRA ALVÉOLO-CAPILAR E O SISTEMA MACROFÁGICO

A região de troca gasosa é formada por uma grande superfície de membranas que otimizam o processo de troca gasosa. A presença de contaminantes externos, tais como materiais particulados, dificultam este processo de troca gasosa. Partículas muito pequenas, ao atingirem as paredes alveolares, ativam a fagocitose pelos macrófagos pulmonares, que podem ser posteriormente eliminados através do sistema linfático ou os resíduos do ataque podem alterar a estrutura das paredes permeáveis alveolares levando ao aparecimento das pneumoconioses (SANTOS, 2005).

3.5 ASPECTOS LEGAIS

A legislação que dispõe sobre equipamentos de proteção individual (EPI) no âmbito da segurança e saúde do trabalhador, incluindo os equipamentos de proteção respiratória, é estabelecida pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

A Lei 6514 (BRASIL, 1977) estabelece a regulamentação de segurança e medicina no trabalho, destacando-se os artigos 166 e 167:

“Artigo 166 - A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, equipamentos de proteção individual adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento, sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes e danos à saúde dos empregados” (BRASIL, 1977).

“Artigo 167 - O equipamento de proteção só poderá ser posto à venda ou utilizado com a indicação do Certificado de Aprovação do Ministério do Trabalho” (BRASIL, 1977).

Através da Portaria nº 3.214 (BRASIL, 1978), foram aprovadas as Normas Regulamentadoras (NR) referentes à segurança e medicina do trabalho. Dentre as NR, cabe ressaltar algumas delas:

3.5.1 NR-6 – EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Esta norma regulamentadora define EPI como sendo "todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho" (BRASIL, 2006). A aquisição de EPI sem o devido CA, conforme esclarecido anteriormente, não atende ao que está disciplinado nesta NR e a empresa adquirente está sujeita a multas pela fiscalização do trabalho. Essa mesma norma limita o uso do EPI nas seguintes circunstâncias:

- a) sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais e do trabalho;
- b) enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas;
- c) para atender situações de emergência.

Quando a contaminação do ambiente de trabalho se dá por poeiras, quando as medidas de engenharia não são viáveis, ou enquanto estão sendo implantadas ou avaliadas, devem ser usados respiradores adequados, isto é, em conformidade com os requisitos apresentados no documento PPR (TORLONI, 2002).

3.5.2 NR-7 - PROGRAMA DE CONTROLE MÉDICO DE SAÚDE OCUPACIONAL (PCMSO)

Esta norma regulamentadora é parte integrante de um conjunto mais amplo de iniciativas da empresa no que diz respeito à saúde dos trabalhadores. Nela está proposto um programa que tem caráter de prevenção, rastreamento e diagnóstico precoce dos agravos à saúde relacionados ao trabalho. Embora o programa não possua um modelo a ser seguido nem uma estrutura rígida, alguns aspectos devem contemplar o documento, entre eles, programação anual dos exames clínicos e complementares específicos para os riscos detectados, definindo-se quais trabalhadores ou grupos de trabalhadores, quais são os exames e o momento adequado (BRASIL, 1996).

3.5.3 NR-9 - PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS (PPRA)

Esta norma regulamentadora estabelece a obrigatoriedade e implementação do PPRA por parte de todos os empregadores, visando a preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, levando em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais. O programa define uma estrutura mínima contendo:

- a) planejamento anual com estabelecimento de metas, prioridades e cronograma;
- b) estratégia e metodologia de ação;
- c) forma do registro, manutenção e divulgação dos dados;
- d) periodicidade e forma de avaliação do desenvolvimento do PPRA.

A NR-9 (BRASIL, 1994) também estabelece:

- 1- a avaliação quantitativa dos riscos deverá ser realizada sempre que necessário comprovar o controle da exposição ou a inexistência dos riscos identificados na etapa de reconhecimento; para dimensionar a exposição dos trabalhadores; ou para subsidiar o equacionamento das medidas de controle.
- 2- os registros dos dados deverão ser mantidos, pela empresa, por um período mínimo de vinte anos
- 3- deverão ser registrados os critérios e as metodologias utilizadas, bem como as alterações organizacionais e técnicas ocorridas para que os dados registrados possam ser comparáveis, possibilitando a identificação das causas ou justificativas para as eventuais discrepâncias observadas.

3.5.4 NR-15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

De acordo com a NR-15 (BRASIL, 1978), são consideradas operações insalubres aquelas que se desenvolvem acima dos limites de tolerância previstos nesse documento. A eliminação ou neutralização da insalubridade deverá ocorrer com a adoção de medidas de ordem geral que conservem o ambiente de trabalho dentro dos limites de tolerância ou com a utilização de equipamento de proteção individual.

Esta norma define no item 15.1.5 o termo limite de tolerância (LT) como sendo "a concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral" e apresenta no seu anexo 11 uma listagem de substâncias químicas e seus respectivos limites de tolerância e em seu anexo 12 os limites de tolerância para três poeiras minerais: o amianto; o manganês e seus compostos; e os limites de tolerância de poeiras contendo sílica livre cristalina.

3.5.5 NR-22 - SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL NA MINERAÇÃO

Esta norma regulamentadora tem por objetivo disciplinar os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho para que o planejamento e o desenvolvimento da atividade mineira sejam compatíveis com a busca permanente da segurança e saúde dos trabalhadores. Se aplica a minerações subterrâneas, minerações a céu aberto, garimpos, no que couber a beneficiamentos minerais e pesquisa mineral.

De acordo com esta norma, cabe à empresa ou permissionário de lavra garimpeira elaborar e implementar o programa de gerenciamento de riscos (PGR) incluindo, entre outros, os relacionados a riscos físicos, químicos e biológicos, atmosferas explosivas, ventilação, proteção respiratória, ergonomia e organização do trabalho, riscos decorrentes do trabalho em altura, em profundidade e em espaços confinados, riscos decorrentes da utilização de energia elétrica, equipamento de proteção individual de uso obrigatório, plano de emergência e outros riscos resultantes de modificações e introduções de novas tecnologias. Isto é, devem ser obedecidas as NR (BRASIL, 1978) relativas a esses riscos citados.

As etapas básicas para o desenvolvimento do PGR incluem:

- a) antecipação e identificação dos riscos;
- b) avaliação da exposição dos trabalhadores;
- c) estabelecimento de prioridades, metas e cronograma;
- d) acompanhamento das medidas de controle implementadas;
- e) monitorização dos riscos;
- f) registro dos dados e
- g) avaliação periódica do programa.

O PGR estabelece que as alterações e complementações deverão ser apresentadas e discutidas na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração (CIPAMIN) para acompanhamento das medidas preventivas.

Outro aspecto que merece destaque na NR-22 (BRASIL, 2003) é relativo à prevenção da silicose, através da determinação de que as operações de perfuração ou corte devem ser realizados por processos umidificados para evitar a dispersão da poeira no ambiente de trabalho. Quanto à estratégia de amostragem, esta norma também estabelece um número mínimo de amostras a serem tomadas de um grupo de trabalhadores expostos a poeiras minerais.

3.5.6 PROGRAMA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA: RECOMENDAÇÕES, SELEÇÃO E USO DE RESPIRADORES (PPR)

O PPR (TORLONI, 2002) publicado pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO) é um documento cuja Instrução Normativa nº 1 (IN 1) (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1994 apud TORLONI, 2002) tornou o seu conteúdo obrigatório. O mesmo apresenta um conjunto de práticas aceitáveis para os usuários de respiradores e fornece informações e orientação sobre o modo apropriado de como selecionar, usar e cuidar dos respiradores, além de conter os requisitos para o estabelecimento e melhoria do programa. As recomendações abrangem o uso de equipamento de proteção respiratória (EPR) cuja finalidade é a de dar proteção contra a inalação de contaminantes nocivos do ar e contra a deficiência de oxigênio na atmosfera do ambiente de trabalho.

A IN 1 (TORLONI, 2002) estabelece o regulamento técnico sobre o uso de equipamentos para proteção respiratória. De acordo com este regulamento, “todo empregador deverá adotar um conjunto de medidas com a finalidade de adequar a utilização de equipamentos de proteção respiratória, quando necessário para complementar as medidas de proteção coletivas implementadas, ou com a finalidade de garantir uma completa proteção ao trabalhador contra os riscos existentes nos ambientes de trabalho”. Ainda segundo a IN 1 (TORLONI, 2002), para a adequada observância do que está previsto neste regulamento, o empregador deverá seguir o

que está disposto nas NR (BRASIL, 1978) e nas recomendações do PPR (TORLONI, 2002).

Os requisitos mínimos para a implementação, administração e execução de um PPR são os seguintes:

- a) Política da empresa
- b) Objetivos e alcance
- c) Definição das responsabilidades
- d) Procedimentos (rotina/emergência) escritos
- e) Avaliação da exposição
- f) Critérios para seleção dos equipamentos
- g) Avaliação médica dos usuários
- h) Ensaio de vedação
- i) Capacitação e treinamento dos envolvidos
- j) Inspeção, manutenção, guarda dos equipamentos
- k) Registros dos dados
- l) Auditorias

3.6 LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Em 1971, a Occupational Safety and Health Administration (OSHA), órgão governamental norte americano criado em 1970, responsável pela fiscalização do cumprimento dos limites de exposição ocupacional naquele país, promulgou a primeira lista de Limites de Exposição Permissíveis (PEL) a partir de uma série de limites de exposição, denominados Threshold Limit Values (TLVs[®]), propostos em 1968 pela American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) (ESTADOS UNIDOS, 2006 A).

A ACGIH é uma entidade científica não governamental, sem fins lucrativos, cujos membros são profissionais da área de higiene, saúde e segurança ocupacional. Ela desenvolve e publica os TLVs[®] para centenas de substâncias químicas e agentes físicos anualmente, desde o início da década de 40, além de publicar os índices biológicos de exposição, denominados Biological Exposure Indices (BEIs[®]) (ESTADOS UNIDOS, 2006 A).

Esta publicação de TLVs[®] e BEIs[®] possui uma tradução anual para o português autorizada à Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO), criada em agosto de 1994. A ABHO congrega pessoas físicas e jurídicas com interesses relacionados à área de higiene ocupacional, tendo sido constituída para fins de estudos e ações relativas à higiene ocupacional e representação de interesses individuais ou coletivos dos higienistas (ABHO, 2006).

“Os TLVs[®] e os BEIs[®] representam as condições às quais a ACGIH acredita que a maioria dos trabalhadores possa estar repetidamente exposta sem sofrer efeitos adversos à saúde” (ABHO, 2006).

No Brasil, o termo Limite de Tolerância (LT) previsto na NR-15 (Brasil, 1978) refere-se à “concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral”.

Tecnicamente, os limites de exposição ocupacional levam em consideração as diferenças entre os indivíduos. Por este motivo, eles não devem ser aplicados para todos os trabalhadores e sim, para uma maioria, devido à variação da suscetibilidade individual em que uma parcela poderá apresentar até uma determinada doença em concentrações iguais ou inferiores aos TLVs[®] (ABHO, 2006).

Os limites de exposição não podem ser entendidos como uma barreira, que separa uma condição segura de uma condição insegura e, por isso, devem ser compreendidas todas as situações que não são contempladas por estes valores estabelecidos. A utilização desses valores requer julgamento técnico para a tomada de decisões adequadas de gerenciamento de risco (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Para o estabelecimento dos valores de limites de exposição, a ACGIH se baseia em informações disponíveis provenientes de experiências industriais, experiências em humanos ou estudos em animais e, sempre que possível, uma combinação destas três. Assim, existem várias fontes de informação sobre toxicidade das substâncias químicas e da relação risco-segurança. Também é importante ressaltar que a ACGIH deixa bem claro que os limites por ela propostos não devem ser utilizados

como padrão de qualidade do meio ambiente em relação aos poluentes atmosféricos, que geralmente são bem menores dos que as concentrações limitantes estabelecidas para os ambientes de trabalho (ABHO, 2006).

O estabelecimento dos valores TLVs[®] pode variar de substância para substância. A proteção contra danos à saúde pode ser o fator base para algumas, enquanto a facilidade de causar irritação, narcose, incômodo ou outras formas de estresse pode ser a base para outras. Os danos à saúde considerados incluem aqueles em que possa haver uma redução da expectativa de vida, um comprometimento de alguma função fisiológica, a redução da capacidade de resistência a outras substâncias tóxicas ou à instalação de doenças, ou, ainda, que tragam efeitos adversos à reprodução ou ao processo de desenvolvimento do ser humano (ABHO, 2006).

Devido a restrições de uso dos limites de exposição e ao fato dos mesmos não serem uma linha divisória entre concentrações seguras e inseguras, existe um outro parâmetro estabelecido para a prevenção dos riscos no ambiente de trabalho, também regulamentado em lei, denominado Nível de Ação. Conforme definido na NR-9 (BRASIL, 1994), é um valor de concentração que corresponde à metade do LT para os agentes químicos. Ou seja, é um valor acima do qual deverão ser adotadas ações preventivas que, no mínimo, assegurem a manutenção das condições existentes de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições ultrapassem os limites de exposição. Estatisticamente, o nível de ação representa um valor de concentração abaixo do qual pode-se garantir, com 95% de confiança, que o limite de exposição não será ultrapassado em 95% dos dias de trabalho, durante o ano (Gruenzner, 2003).

No caso de exposições a poeiras minerais, a NR-15 (BRASIL, 1978) estabelece limites de exposição para apenas três agentes: asbesto, sílica livre cristalizada, manganês e seus compostos, como visto no capítulo anterior. Para os casos de poeiras minerais e outras substâncias que não tenham limites estabelecidos nesta norma, a NR-9 (BRASIL, 1994) torna legal o uso dos limites de exposição correspondentes adotado pela ACGIH ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos.

A NR-15, em seu anexo 12 (BRASIL, 1992) estabelece três limites de tolerância distintos para as exposições a poeiras minerais que contenham sílica livre cristalizada, os quais não são fixos, pois variam em função da porcentagem de quartzo contida na amostra. Um desses limites foi estabelecido quando a técnica escolhida para a amostragem utiliza um impinger e o resultado da avaliação é expresso em milhões de partículas por decímetro cúbico (mppdc). Essa técnica foi muito útil no passado, mas é considerada obsoleta hoje em dia.

Outro limite, a ser calculado pela eq. (3), para poeira contendo sílica leva em consideração as concentrações de poeiras respiráveis e é expresso em mg/m³:

$$LT \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{8}{(\% \text{ quartzo} + 2)} \quad (3)$$

Quando se optar pelo limite de tolerância expresso em termos dos valores de concentração de poeira total (respirável e não respirável), deve-se utilizar a eq. (4):

$$LT \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{24}{(\% \text{ quartzo} + 3)} \quad (4)$$

Há muitos anos, a ACGIH recomenda para sílica cristalina limites de exposição por seleção de tamanho de partículas como reconhecimento da associação bem estabelecida entre a silicose e as concentrações de massa respiráveis. Outros materiais particulados também estão em fase de estudos para que sejam definidos limites para a fração de tamanho mais estreitamente associada com os efeitos negativos à saúde do trabalhador (ABHO, 2006).

Em 1974, o limite de exposição recomendado pelo National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) para poeira respirável de sílica cristalina era de 0,05 mg/m³ para concentrações médias ponderadas de jornadas até 10 horas por dia durante 40 horas semanais.

Em 1983, a fim de uniformizar o limite para sílica com o padrão utilizado para as demais poeiras e para simplificar o cálculo do TLV[®] nas misturas contendo quartzo, cristobalita e tridimita, a ACGIH propôs a alteração do limite de exposição da sílica para TLV[®] 0,1 mg/m³ e adotou essa alteração somente em 1986.

A ACGIH, em 2000, em virtude da sílica cristalina na forma de quartzo ser considerada cancerígena, diminuiu o TLV[®] de 0,1 mg/m³ para 0,05 mg/m³. Em 2004, colocou em nota a intenção de alterar o valor do TLV[®] da sílica cristalina na forma de quartzo e cristobalita, reduzindo-o para 0,025 mg/m³, confirmando esta redução em sua publicação de 2006 (ACGIH, 2006).

O LT brasileiro para poeira respirável contendo sílica cristalina, na forma de quartzo está vigente desde 1978, conforme Anexo 12 da NR-15 (BRASIL, 1992) e foi baseado na recomendação da ACGIH de 1974, mas adaptado para a jornada de trabalho 48 horas semanais. Na época, a jornada de trabalho no Brasil era de 48 horas semanais enquanto a recomendação da ACGIH era e ainda é para uma jornada de trabalho de 40 horas semanais.

A eq. (3) apresentada anteriormente para o cálculo do LT foi estabelecida considerando a poeira contendo sílica como uma mistura de sílica pura com poeira incômoda, hoje conhecida como PNOS – particulados insolúveis não classificados de outra maneira. A dedução desta equação é mostrada em Grueznier (2003), que considerou os efeitos aditivos e adotou os TLVs[®] válidos da época.

3.6.1 LIMITES DE EXPOSIÇÃO PARA MISTURAS

No caso de exposição a mais de um tipo de contaminante ao mesmo tempo, o limite de exposição para esta situação deve ser calculado de uma maneira diferente. De acordo com a ABHO (2006), “quando duas ou mais substâncias perigosas tiverem efeitos toxicológicos similares sobre o mesmo sistema orgânico ou órgão, deverão ser considerados, principalmente, os seus efeitos combinados, e não os efeitos que teriam individualmente. Na ausência de informações contrárias, substâncias diferentes que produzem o mesmo efeito sobre a saúde e atingem o mesmo órgão ou sistema devem ser consideradas como aditivas”. Isto significa que se a soma das

frações da eq. (5) exceder a unidade, então o limite de exposição da mistura deve ser considerado excedido:

$$\frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \dots + \frac{C_n}{TLV_n} \quad (5)$$

Com:

C_n = concentração do agente n

TLV_n = TLV[®] do agente n

3.6.2 LIMITES DE EXPOSIÇÃO IPVS

O termo imediatamente perigoso à vida e à saúde (IPVS) refere-se a qualquer condição de exposição respiratória aguda que supõe uma ameaça direta de morte ou conseqüências adversas irreversíveis à saúde, imediatas ou retardadas, ou exposições agudas aos olhos que impeçam a fuga da atmosfera perigosa (TORLONI, 2002). Os Limites IPVS, publicados pelo NIOSH sob o título IDLH (Immediately Dangerous to Health and Life) em meados de 1970, foram referendados posteriormente pela OSHA (ESTADOS UNIDOS, 1994).

No caso da sílica cristalina, os dados toxicológicos mostram que não há evidências de que exposições agudas a altas concentrações impeçam a fuga da atmosfera perigosa ou que causem conseqüências adversas irreversíveis à saúde, num período de 30 minutos de exposição. No entanto, o IDLH para sílica cristalina é de 25 mg/m³, para cristobalita e tridimita, e de 50 mg/m³, para quartzo e trípoli. Esses valores representam 500 vezes o limite de exposição PEL da OSHA estabelecidos em 1989 de 0.05 mg/m³ e 0.1 mg/m³, respectivamente. O NIOSH recomenda que respiradores com o maior fator de proteção sejam utilizados para exposições aos vários tipos de sílica cristalina em concentrações acima de 25 mg/m³ (ESTADOS UNIDOS, 1996 B).

3.7 MEDIDAS DE CONTROLE DA EXPOSIÇÃO

A engenharia ambiental aplicada à mineração pode contornar o problema de exposição dos trabalhadores às poeiras e controlar o surgimento de doenças ocupacionais ocasionadas pela inalação de ar contaminado no local de trabalho.

Um exemplo é o desenvolvimento, quando possível, de medidas de controle coletivo tais como os enclausuramentos, confinamentos das operações, ventilações locais ou gerais, substituição de substâncias perigosas presentes por outras menos tóxicas (SANTOS, 2001).

Se os resultados obtidos na avaliação dos agentes químicos indicarem valores de concentrações preocupantes quando comparadas com valores cientificamente aceitos, deve ser estudada e implantada uma ou mais medidas de controle para reduzi-los a valores considerados seguros.

No controle das doenças ocupacionais provocadas por inalação de ar contaminado com poeiras, o objetivo principal deve ser minimizar a contaminação do local de trabalho, ou ambiente de trabalho e isso deve ser alcançado, tanto quanto possível, pelas medidas de controle coletivo. No entanto, quando essas medidas de controle não são viáveis, ou enquanto estão sendo implementadas ou avaliadas, devem ser utilizadas medidas de controle individual, ou seja, relativas ao trabalhador (BRASIL, 1994).

Dentre essas medidas secundárias, podem ser citados: a utilização de equipamento de proteção individual (EPI); educação e treinamento; controle médico; limitação da exposição.

Uma medida de controle muito comumente empregada na indústria da mineração no Brasil para evitar que os trabalhadores se contaminem pela inalação de poeiras é a utilização de equipamentos de proteção respiratória aprovados.

4 TIPOS DE RESPIRADORES

4.1 HISTÓRICO DA PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA

Desde a antiguidade são relatados os agravos à saúde do trabalhador e a necessidade de protegê-los contra a inalação de agentes químicos. Na obra *História Naturalis*, de Plínio, o Velho (23 - 79 d.C.), é relatado pela primeira vez no mundo ocidental o uso do EPI por trabalhadores que, para se protegerem contra poeiras, utilizavam na frente do rosto panos ou membranas de bexiga de carneiro para atenuar a inalação destas como se fossem máscaras. No ano de 1700, através de obras escritas pelo médico Bernardino Ramazzini (1633 - 1714), o meio ambiente laboral foi introduzido no contexto como uma variável importante para a caracterização donexo causal do agravo à saúde do trabalhador (TORLONI; VIEIRA, 2003). No livro intitulado "As doenças dos Trabalhadores" (RAMAZZINI, 2000), reeditado pela Fundacentro, Ramazzini identificou doenças típicas descrevendo os riscos dos irritantes químicos, poeiras, metais e outros agentes abrasivos encontrados nos trabalhadores em 52 ocupações e realizou diagnósticos por perfil de atividade, focando na prevenção de doenças do trabalho, estabelecendo um marco na área de saúde naquele século.

4.1.1 EVOLUÇÃO DOS RESPIRADORES

A primeira Guerra Mundial foi um marco na história da evolução dos respiradores. Antes disso, as chamadas máscaras eram do tipo "feitas em casa". Tiras de tecidos e outros dispositivos considerados, na época, filtrantes foram utilizados para proteção em indústrias durante operações que geravam poeiras e fumaça, em minerações e para combate a incêndios. Os desenvolvimentos desses tipos de máscaras caseiras em combinação com outros equipamentos vindos da Europa se encontravam comercialmente disponíveis e lideraram o uso e aceitação de dispositivos de proteção respiratória nos Estados Unidos (HELD, 1970).

A história também conta que as primeiras preocupações quanto à proteção dos pulmões nos Estados Unidos foram originadas nos serviços de combate a incêndios.

Tanto naquele país quanto na Europa, durante os séculos XVIII e XIX, o primeiro respirador para proteção contra a inalação de fumaça foi a barba dos bombeiros. Um dos requisitos exigidos para se tornar bombeiro era apresentar um par de bigodes bem crescido, os quais eram imersos em água e presos entre os dentes. Mesmo sabendo hoje que tal prática não oferecia efetiva proteção, é possível que essas barbas e bigodes retivessem parte das partículas maiores de fumaça que entrariam pela boca dos bombeiros (HELD, 1970).

Ainda em 1910, os dispositivos de proteção respiratória não eram bem aceitos nem pelos departamentos de combate a incêndios nos Estados Unidos, que além de os tratarem com desdém, não conheciam nada sobre proteção respiratória, como descreve um deles sobre um método que utilizavam para evitar que a fumaça fosse inalada: através da utilização de tarugos de tabaco mascarados e seguros na boca como se fossem filtros e que, para limparem posteriormente seus pulmões, tomavam grande quantidade de bebida alcoólica (HELD, 1970).

Outro tipo de proteção bastante utilizado na época era um filtro perfurado e preenchido com esponja natural, ou por algum outro tipo de material poroso, saturado com água para purificar o ar quando mesmo passasse por esse meio, retraindo a fumaça e outros vapores nocivos e irritantes. Também foi utilizada uma bolsa de borracha presa no peito através de tiras que passavam pelos ombros que apresentavam tubos conectados aos filtros mencionados anteriormente. Quando esta bolsa era pressionada, uma quantidade de água era forçada a passar pelos filtros, permitindo ao usuário manter as esponjas sempre umedecidas (HELD, 1970).

Naquela época, não existiam leis de compensação do trabalho que englobassem doenças ocupacionais e por isso, as indústrias não eram obrigadas a proteger seus trabalhadores. Além disso, muitas das doenças não eram reconhecidas como sendo originadas do trabalho e nem chamavam tanto a atenção quanto um engolfamento de um trabalhador por fumaça de incêndio ou a morte por falta de oxigênio em uma mina. Ao contrário, as degradações insidiosas do corpo por toxicantes provenientes da indústria aconteciam lentamente e não eram reconhecidas como as reais causas de mortes e sim, como parte do jogo da vida (HELD, 1970).

4.1.1.1 PRIMEIROS RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR

A primeira patente americana de um respirador purificador de ar foi atribuída em 1848 a Lewis P. Haslett. O equipamento filtrava a poeira do ar utilizando válvulas e filtros feitos de lã umedecida ou outros materiais porosos similares. Em sequência a Haslett, uma grande quantidade de patentes de purificadores de ar foram emitidas por todo o mundo e dentre as matérias-primas, incluíam-se fibras, cal e carvão como absorvedores de vapores venenosos (TAGGART, 2007). John Stenhouse, em 1854, investigou sobre o carvão em pó em suas diversas formas como retentor de grandes quantidades de gases. Através desses estudos científicos, construiu um dos primeiros respiradores, em 1854, com esta capacidade (figura 16), sendo pioneiro e abrindo o caminho para o carvão ativado se tornar o meio filtrante mais utilizado hoje em dia em respiradores para este fim.

Figura 16 - Máscara contra gases de Stenhouse

(Fonte: TAGGART, 2007)

O físico inglês John Tyndall, em 1871, adicionou à idéia inicial de Stenhouse um filtro de algodão saturado com cal, glicerina e carvão, dando origem a um respirador para bombeiros, possuindo também um capuz, como mostra a figura 17.

Figura 17 - Máscara para bombeiros de John Tyndall

(Fonte: TAGGART, 2007)

Em 1874, o inglês Samuel Barton desenhou um respirador composto por um capuz de borracha e metal com proteção aos olhos de vidro, válvulas para inalação e exalação e um cartucho metálico frontal, composto por camadas de material filtrante que incluía carvão, cal e algodão ensopado com glicerina. Este dispositivo, mostrado na figura 18, foi descrito em sua patente como sendo um dispositivo que permitia a respiração em atmosferas carregadas com gases tóxicos ou vapores, fumaças ou outras impurezas.

Figura 18 - Máscaras de Barton

(Fonte: TAGGART, 2007)

George Nelly patenteou, em 1877, uma máscara para bombeiros que retinha a fumaça, composta por uma cobertura facial bem ajustada e com protetores de olhos feitos em mica ou vidro. O ar respirável vinha através de um par de tubos de borracha conectados a um filtro que era apoiado no peito do usuário (figura 19). Uma outra versão patenteada por ele dois anos depois já incluía os filtros na própria cobertura facial (figura 19).

Figura 19 - Máscaras de Neally

(Fonte: TAGGART, 2007)

Diversos outros respiradores purificadores de ar foram inventados, conforme mostrado na figura 20.

Figura 20 - Outros respiradores purificadores de ar

(Fonte: adaptado de: HELD, 1970)

4.1.1.2 PRIMEIROS RESPIRADORES ADUTORES DE AR

Um tipo de respirador que não necessita de purificação do ar inalado por possuir uma fonte de ar puro externo é chamado de respirador de adução de ar. Um exemplo desse tipo de equipamento é a patente concedida a Benjamin Lane, em 1850, para seu primeiro respirador com suprimento de ar comprimido, conforme mostra a figura 21 (HELD, 1970).

Figura 21 - Respirador de adução de ar patenteado por Lane

(Fonte: TAGGART, 2007)

Em 1878, Henry Fleuss desenhou para a empresa inglesa Siebe Gorman & Co. Ltda, mais conhecida na época como fabricante de equipamentos para mergulho, o que é chamado hoje de máscara autônoma de circuito fechado: um respirador composto por uma máscara de borracha, que cobria toda a face, conectada via tubos a uma bolsa respiradora e a um cilindro com oxigênio comprimido. O conjunto, conforme figura 22, era composto por uma câmara que, através de reação química, retinha o dióxido de carbono permitindo que os gases expirados fossem purificados e recirculados.

Figura 22 - Máscara autônoma de Fleuss

(Fonte: TAGGART, 2007)

Outros exemplos de respiradores de adução de ar são apresentados na figura 23.

Figura 23 - Outros respiradores de adução de ar

(Fonte: TAGGART, 2007)

4.1.2 A PRIMEIRA GUERRA MUNDIAL – GUERRA QUÍMICA

Em 22 de abril de 1915, as forças armadas da Alemanha lançaram 150 toneladas de gás cloro nas tropas francesas. Naquele momento, a era moderna da guerra química havia começado e com isso, a necessidade imediata por um respirador novo, portátil e confiável. Respondendo inicialmente ao ultraje moral e percebendo que não poderiam permitir superioridade da Alemanha na guerra química, os britânicos enviaram à França substâncias químicas para serem utilizadas contra o inimigo, mas que ofereciam efeitos tóxicos mais amenos e autorizaram o início dos trabalhos com seus cientistas para o desenvolvimento de novos respiradores (HELD, 1970).

O químico John Scott Haldane desenhou um respirador feito do mesmo tecido utilizado nos véus de mulheres. Voluntários montaram milhares de unidades que

possuíam um formato que cobria o nariz e a boca e enviaram à França, de navio, não sabendo que os mesmos eram perigosos: enquanto secos, eram incapazes de filtrar o gás cloro e quando molhados, nem mesmo o ar passava através deles sendo impossível utilizá-los. Várias outras soluções foram buscadas pelos britânicos naquela época (HELD, 1970).

A adesão dos Estados Unidos à guerra em 1917 foi o que impulsionou o desenvolvimento de respiradores para uso militar. Inicialmente, os americanos se encontravam despreparados e dependeram dos equipamentos vindos da Europa. O primeiro respirador realmente americano e os subseqüentes respiradores para uso industrial vieram depois disso (HELD, 1970).

4.2 CONCEITOS ATUAIS DE RESPIRADORES

Um respirador é um dispositivo para uso individual, posicionado próximo à zona respiratória do usuário. A maneira através da qual esses equipamentos eliminam ou diminuem o risco de exposição indevida a agentes químicos baseia-se fundamentalmente na utilização de uma cobertura das vias respiratórias ou peça facial que isola o usuário do ar contaminado e de um sistema de purificação composto por filtros, ou de suprimento de ar respirável externo ao ambiente contaminado.

4.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESPIRADORES

A classificação geral dos respiradores no Brasil está detalhada na norma NBR12543 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999). Existem, resumidamente, duas grandes classes: os purificadores de ar, que dependem do ar ambiente e os de adução de ar, que são independentes do ar ambiente. Cada uma dessas classes possui uma diversidade de respiradores que oferece aos usuários níveis de proteção e conforto diferenciados. A classificação detalhada presente na norma NBR12543 (ABNT, 1999) está apresentada na figura 24.

Figura 24 - Classificação dos equipamentos de proteção respiratória

(Fonte: adaptado de: ABNT, 1999)

Alguns dos tipos de respiradores classificados nesta norma são largamente utilizados na mineração, tais como os purificadores de ar. Outros são mais utilizados em determinados processos que envolvem manutenção ou emergência, tais como os de adução de ar.

4.2.2 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR

São constituídos por coberturas das vias respiratórias que podem se apresentar em diversos formatos e materiais e por um sistema de purificação de ar, que consiste basicamente de um elemento filtrante que retém o contaminante e permite a passagem do ar purificado. Na exalação, o ar sai da cobertura das vias respiratórias através da válvula de exalação porque a pressão interna é superior à pressão do ambiente. Nos respiradores purificadores de ar não motorizados, o ar purificado entra devido à ação pulmonar do usuário que cria uma pressão negativa no interior da cobertura das vias respiratórias durante a inalação (TORLONI; VIEIRA, 2003). Os denominados motorizados apresentam pressão positiva dentro da cobertura das vias respiratórias, devido à passagem de ar forçado por uma ventoinha.

Os equipamentos purificadores de ar possuem algumas restrições quanto ao uso, dentre as quais podem ser destacados:

- não se aplicam a ambientes com deficiência de oxigênio ($\%O_2 < 18$ em ambientes em geral e $\%O_2 < 19,5$ em espaços confinados);
- filtros possuem limitações de uso e de durabilidade;
- não devem ser utilizados em atmosferas consideradas imediatamente perigosas à vida e à saúde (IPVS), pois o filtro pode saturar durante o uso, colocando em risco a vida do usuário.

4.2.2.1 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR TIPO PEÇA FACIAL FILTRANTE (PFF)

Os respiradores purificadores de ar denominados peças faciais filtrantes (PFF) não necessitam de nenhum tipo de manutenção e, por este motivo, são também conhecidos como respiradores descartáveis. São constituídos essencialmente de material filtrante e com diversos níveis de eficiência do filtro. O meio filtrante pode conter também uma camada de microfibras impregnadas com carvão ativado, alumina ou outro adsorvente químico destinado a reter alguns gases ou vapores em baixas concentrações. Este tipo de filtro combinado é chamado filtro de baixa capacidade (FBC). Um exemplo de uma PFF é apresentado na figura 25.

Figura 25 - Respiradores purificadores de tipo peça facial filtrante

Fonte: Cedido por 3M do Brasil

4.2.2.2 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR TIPO PEÇA FACIAL COM FILTROS SUBSTITUÍVEIS

Esses respiradores são constituídos por uma peça semifacial ou facial inteira de material plástico, à qual são acoplados filtros substituíveis, aos pares ou único, conforme figura 26. Este tipo de respirador permite manutenção, pois seus componentes podem ser substituídos quando danificados e os filtros trocados quando saturados.

As peças faciais podem ser utilizadas com filtros para partículas e para gases e vapores.

Figura 26 - Respiradores purificadores de tipo peça facial com filtros para particulados

Fonte: Cedido por 3M do Brasil

4.2.2.3 RESPIRADORES PURIFICADORES DE AR DO TIPO MOTORIZADOS

Os respiradores purificadores de ar motorizados, mostrados na figura 27, são equipados com bateria, motor e ventoinha, transportados junto ao corpo do usuário. A ventoinha obriga o ar ambiente a passar pelo elemento filtrante e o ar purificado é

então conduzido até a cobertura das vias respiratórias através de uma traquéia. A cobertura das vias respiratórias pode ser do tipo peça facial, capuz, capacete, touca ou protetor facial. Os filtros podem ser para particulados, para gases e vapores ou combinados (para remoção simultânea de particulados, gases e vapores). Se utilizados em atmosferas que apresentem risco de explosão, a bateria e demais componentes elétricos devem ser classificados como intrinsecamente seguros. As baterias devem ser recarregadas periodicamente, conforme recomendações do fabricante.

Figura 27 - Respiradores purificadores de ar do tipo motorizado

Fonte: Cedido por 3M do Brasil

4.2.3 RESPIRADORES DE ADUÇÃO DE AR

Esse tipo de respirador fornece ar respirável a partir de uma fonte externa, independente da atmosfera contaminada. Normalmente, são constituídos por conjuntos autônomos portáteis ou linhas de ar comprimido que fornecem o ar necessário ao usuário proveniente de uma fonte externa ou compressor.

4.2.3.1 RESPIRADORES DE ADUÇÃO DE AR DO TIPO LINHA DE AR COMPRIMIDO

Os respiradores de linha de ar comprimido, exemplificados na figura 28, são compostos por uma peça facial, capuz ou capacete conectados por uma mangueira de suprimento de ar através de um engate rápido que liga uma das extremidades da mangueira a um compressor, ou uma bateria de cilindros com ar a alta pressão, e a outra extremidade é conectada a um regulador de vazão preso ao cinturão.

Dependendo do modo como se regula a vazão de ar para o usuário e da pressão dentro da cobertura facial, os respiradores podem ser de fluxo contínuo, de demanda sem pressão positiva e de demanda com pressão positiva. No de fluxo contínuo, o ar chega constantemente à cobertura das vias respiratórias; nos de demanda, somente durante a inalação. Nos de pressão positiva, a pressão interna é sempre superior à externa, mesmo durante a inalação.

Figura 28 – Componentes de um respirador de adução de ar tipo linha de ar comprimido (1-Mangueira linear, 2-traquéia e regulador de vazão, 3-peça facial inteira, 4-mangueira helicoidal)

Fonte: Cedido por 3M do Brasil

4.2.3.2 RESPIRADORES DE ADUÇÃO DE AR DO TIPO AUTÔNOMO E DO TIPO LINHA DE AR COMPRIMIDO COM CILINDRO AUXILIAR PARA ESCAPE

É um equipamento que o usuário transporta junto ao corpo o próprio suprimento de ar armazenado em cilindro, como mostra a figura 29. A pressão positiva dos respiradores de demanda é obtida por uma válvula de exalação com mola, que retém certo volume de ar dentro da peça facial mesmo durante a inalação.

Os componentes mínimos que as máscaras autônomas devem incorporar dependem da autonomia e do uso a que se destinam (TORLONI; VIEIRA, 2003).

O respirador de linha de ar comprimido com cilindro auxiliar para escape é uma combinação de dois respiradores: o de linha de ar comprimido e a máscara autônoma. O ar do cilindro só começa a fluir para a peça facial quando o ar comprimido da mangueira de suprimento deixa de chegar.

Figura 29 - Respiradores autônomos

Fonte: Cedido por 3M do Brasil

4.3 TIPOS DE FILTROS

Os filtros dos respiradores purificadores de ar são constituídos por materiais apropriados à remoção de contaminantes específicos. Os filtros podem ser do tipo químico ou do tipo mecânico (com ou sem tratamento eletrostático) e do tipo combinado, este último apresentando materiais e características de ambos os filtros.

4.3.1 FILTROS QUÍMICOS

Como mostra a tabela 5, existem quatro classes de filtros químicos que podem ser utilizadas para proteção contra certos gases e vapores. A máxima concentração de uso (MCU) de cada classe e tipo também está indicada, bem como a compatibilidade com o tipo de peça facial.

A MCU do filtro representa a concentração máxima do contaminante no ambiente em que uma dada classe de filtro para gases ou vapores pode ser utilizada, desde que não exceda o limite IPVS do contaminante (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Tabela 5 – Classes e Máxima Concentração de Uso (MCU) dos filtros químicos

	Filtro	Tipo	MCU (ppm)	Tipo de peça facial compatível
Classe FBC	FBC-1	Vapor orgânico	50	Semifacial filtrante, quarto facial, semifacial
		Cloro	10	
	FBC-2	Vapor orgânico	1000	Semifacial filtrante, semifacial, facial inteira ou conjunto bocal
Classe 1	Cartucho pequeno	Vapor orgânico	1000	Quarto facial semifacial facial inteira ou conjunto bocal
		Amônia	300	
		Metilamina	100	
		Gases ácidos	1000	
		Ácido clorídrico	50	
Classe 2	Cartucho médio	Cloro	10	
		Vapor orgânico	5000	Facial inteira
		Amônia	5000	
		Gases ácidos	5000	
Classe 3	Cartucho grande	Vapor orgânico	10000	Facial inteira
		Amônia	10000	
		Gases ácidos	10000	

(Fonte: ABNT, 1996 A)

4.3.2 FILTROS MECÂNICOS E ELETROSTÁTICOS

Esses filtros são constituídos por fibras de diversos materiais dispostos ao acaso para que ocorra a retenção dos contaminantes e permitindo a passagem do ar

respirável. São indicados para a proteção contra poeiras, névoas e fumos, não sendo um meio filtrante de gases e vapores.

Quando em um filtro para particulados o mecanismo de captura preponderante é o eletrostático, ele é denominado filtro eletrostático. Quando a ação eletrostática não é importante (filtros de lã de vidro, celulose, polímeros sem carga elétrica), os filtros denominam-se filtros mecânicos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Ambos os filtros possuem a mesma classificação segundo norma NBR 13697 (ABNT, 1996) e NBR 13698 (ABNT, 1996) e mesmas indicações de uso e limitações.

Como mostra a tabela 6, os filtros para particulados são classificados de acordo com a penetração do aerossol de teste e resistência à respiração em P1, P2 e P3 e deverão cumprir com os dois requisitos simultaneamente para que se enquadrem em suas classes.

Tabela 6 - Classificação dos filtros para particulados

Classe do filtro	Resistência máxima (Pa)		Penetração inicial máxima do aerossol de ensaio (%)	
	30 l/min ^(A)	95 l/min ^(A)	Cloreto de sódio 95 l/min ^(A)	Óleo de parafina 95 l/min ^(A)
P1	60	210	20	-
P2	70	240	6	2
P3	120	420	0,05	0,01

(A): Fluxo de ar contínuo

(Fonte: ABNT, 1996 B)

Analogamente, as peças faciais filtrantes mostradas na tabela 7 são classificadas de acordo com a penetração e resistência à respiração em PFF-1, PFF-2 e PFF-3 e deverão cumprir com os dois requisitos simultaneamente para que se enquadrem em suas classes.

Tabela 7 - Classificação das peças faciais filtrantes

Classe	Máxima resistência permitida (Pa)			Penetração inicial máxima do aerossol de ensaio (%)	
	Inalação		Exalação	Cloreto de sódio 95 l/min ^(A)	Óleo de parafina 95 l/min ^(A)
	30 l/min ^(A)	95 l/min ^(A)	160 l/min ^(A)		
PFF-1	60	210	300	20 %	-
PFF-2	70	240	300	6 %	2 %
PFF-3	100	300	300	3 %	1 %

(A): Fluxo de ar contínuo.

(Fonte: ABNT, 1996 C)

4.4 PROTEÇÃO OFERECIDA PELOS RESPIRADORES

Os diversos tipos e classes de respiradores apresentados na NBR 12543 (ABNT, 1999) oferecem níveis de proteção diferenciados entre si. Estes níveis de proteção são definidos como fator de proteção atribuído (FPA) (TORLONI, 2002).

4.4.1 FATOR DE PROTEÇÃO ATRIBUÍDO (FPA)

Entende-se por fator de proteção atribuído (FPA) dos equipamentos de proteção respiratória (EPR) o nível mínimo de proteção respiratória que se espera alcançar no local de trabalho, para uma percentagem especificada de usuários treinados, proporcionado por um respirador apropriado (ou classe de respirador), em bom estado e ajustado corretamente no rosto (ABNT, 1999). Os FPA são apresentados na tabela 8, onde os respiradores são classificados de acordo com o tipo de cobertura das vias respiratórias e tipo de respirador selecionado.

Tabela 8 - Fatores de proteção atribuídos para EPR

Tipo de respirador	Tipos de coberturas das vias respiratórias			
	Com vedação facial		Sem vedação facial ^(f)	
	Peça semifacial	Peça facial inteira	Capuz e capacete	Outros
A – Purificador de ar				
-Não motorizado	10	100	–	–
-Motorizado	50	1000	1000	25
B – De adução de ar				
B1 – Linha de ar comprimido				
-demanda sem pressão positiva	10	100	–	–
-demanda com pressão positiva	50	1000	–	–
-fluxo contínuo	50	1000	1000	25
B2 – Máscara autônoma (circuito aberto ou fechado)				
-demanda sem pressão positiva	10	100	–	–
-demanda com pressão positiva	–	10000	–	–

(Fonte: Adaptado de: TORLONI, 2002)

Segundo Nelson (1996), os FPA foram originalmente estabelecidos a partir de informações sobre os fatores de vedação disponíveis em várias agências de governo e laboratórios nos Estados Unidos e em outros países. O fator de vedação é a medida quantitativa da vedação obtida no uso de um respirador por um indivíduo, dada pelo quociente entre a concentração do aerossol de ensaio fora do respirador e concentração do aerossol de ensaio dentro do respirador, segundo procedimentos especificados.

Após a publicação dos fatores de vedação, alguns laboratórios independentes e alguns fabricantes conduziram estudos sobre Fator de Proteção em Ambientes de

Trabalho (WPF). Os resultados obtidos nestes estudos deram significativo embasamento para a elaboração da tabela de FPA. Os estudos demonstraram que os valores de FPA expressos pela American National Standards Institute (ANSI) (ESTADOS UNIDOS, 1992) podem ser utilizados com um grande grau de confiabilidade, assim como os FPA estabelecidos legalmente no Brasil (TORLONI, 2002).

De uma maneira geral, pode-se afirmar que o FPA de um equipamento de proteção respiratória depende essencialmente do tipo de cobertura facial utilizada e da forma como o ar chega ao interior desta cobertura e não da classe de filtro selecionada, no caso de respiradores purificadores de ar. A exceção é para os respiradores motorizados, cujo filtro deve ser no mínimo de classe P3 para que seu FPA seja considerado 1000 (TORLONI; VIEIRA, 2003). Nos demais casos, presume-se que os filtros tenham sido selecionados de acordo com a natureza, composição e forma do agente químico presente no ambiente, sendo os mais adequados para cada situação de exposição.

4.4.2 FATOR DE PROTEÇÃO EFETIVO (FPE)

Convém notar a diferença entre os termos eficiência dos respiradores e sua eficácia. A eficiência está relacionada à capacidade que os respiradores têm de amenizar as exposições aos agentes químicos, conforme o fator de proteção atribuído (FPA), ou seja, poder de redução ou amenização da concentração de contaminante inalada pelo usuário. No entanto, a eficácia do respirador está relacionada ao seu fator de proteção efetivo (FPE), que pode ser entendido como sendo a real proteção oferecida durante o tempo em que o mesmo foi utilizado no ambiente contaminado (TORLONI; VIEIRA, 2003). Vale lembrar que um respirador somente proporcionará ao seu usuário o nível de proteção respiratória previsto pelo FPA se forem obedecidos todos os requisitos do documento Programa de Proteção Respiratória (PPR) (TORLONI, 2002), a saber:

- 1) se o respirador for aprovado para a finalidade de uso pretendido;
- 2) se o respirador for adequado ao risco, isto é, selecionado de acordo com os critérios definidos;

- 3) se o respirador tiver tamanho e formato adequado ao rosto de cada usuário, o que deve ser verificado através de um dos ensaios de vedação facial no respirador selecionado;
- 4) se o respirador estiver bem ajustado no rosto, o que deve ser confirmado pela verificação de vedação facial;
- 5) se o respirador for utilizado corretamente;
- 6) se o usuário não omitir o uso enquanto permanecer na área contaminada;
- 7) se o usuário estiver bem treinado;
- 8) se o respirador estiver em perfeitas condições de uso;
- 9) se o usuário tiver condições de saúde adequadas;
- 10) se o uso for monitorado continuamente;

Conforme Torloni e Vieira (2003), o parâmetro FPE leva em conta o efeito do tempo durante o qual o usuário do respirador omite o uso do mesmo enquanto permanece na área de risco. As omissões de uso, por menores que sejam, comprometem significativamente o nível de proteção efetivo proporcionado por um equipamento de proteção respiratória e, conseqüentemente, sua eficácia. Por meio da eq. (6) apresentada, é possível fazer uma espécie de correção no valor do Fator de Proteção Atribuído (FPA) ao EPR de modo a refletir esta situação indesejável. Entretanto, o objetivo permanente deve ser o de investir no treinamento, conscientização e educação continuada dos usuários para que a omissão do uso do EPR não ocorra em momento algum da jornada de trabalho.

$$FPE = \frac{T}{\frac{T_u}{FPA} + T_o} \quad (6)$$

Onde,

T = Tempo de exposição = $T_u + T_o$

T_u = Tempo que o respirador foi utilizado

T_o = Tempo de omissão de uso do respirador

FPA = Fator de Proteção Atribuído do respirador

Exemplificando na eq. (7), um trabalhador de mineração utilizando um respirador do tipo peça semifacial filtrante cujo fator de proteção atribuído (FPA) é igual a 10, se

omitir o uso por 50 minutos ($T_o = 50$ min) em uma jornada total de trabalho de oito horas ($T = 480$ min), o fator de proteção cai de 10 para 5,16 (FPE):

$$FPE = \frac{480}{\frac{430}{10} + 50} = 5,16 \quad (7)$$

Isto é, uma omissão de 10% no tempo de uso acarreta uma queda de quase 50% no nível de proteção oferecida pelo respirador. Estes números ilustram a importância da conscientização do trabalhador sobre os riscos e efeitos da exposição inadequada, treinamento sobre a correta utilização e da sua participação na escolha do respirador mais confortável para uso contínuo.

Considerando a definição geral de fator de proteção efetivo (FPE) e considerando que C_o é a concentração relativa à exposição do usuário do lado de fora do respirador e que C_i é a concentração relativa à exposição do usuário do lado de dentro do respirador, a eq. (8) é dada:

$$FPE = \frac{C_o}{C_i} \quad (8)$$

A eficiência (E) do respirador é definida como a medida da proteção oferecida por um respirador utilizado no ambiente de trabalho, estando o mesmo bem ajustado e tendo sido corretamente selecionado de acordo com o risco existente. A eficiência (E) do respirador em percentagem é dada pela eq. (9):

$$E(\%) = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

C_o = concentração relativa à exposição do usuário do lado de fora do respirador

C_i = concentração relativa à exposição do usuário do lado de dentro do respirador

A relação entre a eficiência (E) do respirador e fator de proteção efetivo (FPE) é dada pela eq. (10):

$$E(\%) = 100 - \frac{100}{FPE} \quad (10)$$

Com as definições anteriores, pode ser dito que a eficiência (E) esperada para um respirador do tipo peça semifacial filtrante (PFF) que possui um FPA de 10 é de 90%, independentemente da eficiência dos filtros que o compõe.

Por exemplo: o FPA de uma PFF-2 é igual a 10. Isso significa que este respirador é capaz de reduzir em 10 vezes a concentração de partículas presentes no ar inalado, conforme mostrado nas eq. (11) e eq. (12):

$$FPA = 10 = \frac{C_o}{C_i} \Rightarrow \frac{C_i}{C_o} = \frac{1}{10} \quad (11)$$

$$E(\%) = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100 \Rightarrow E(\%) = \left(1 - \frac{C_i}{C_o}\right) \times 100 \Rightarrow E(\%) = \left(1 - \frac{1}{10}\right) \times 100 = 90\% \quad (12)$$

4.4.3 ENSAIOS DE VEDAÇÃO NOS RESPIRADORES

O ensaio de vedação tem como objetivos escolher modelo e tamanho de cobertura das vias respiratórias adequados ao formato do rosto do usuário e também verificar se o mesmo está treinado e sabe realizar a colocação do respirador de forma eficaz. Conforme o documento PPR (TORLONI, 2002), os respiradores de pressão positiva ou negativa, compostos por coberturas das vias respiratórias cujo desempenho depende da vedação entre a área de selagem do respirador e o rosto do usuário, necessitam também passar por um ensaio de vedação individual como procedimento obrigatório para a seleção do respirador adequado ao risco.

Existem dois tipos de ensaios de vedação previstos: o ensaio quantitativo e o ensaio qualitativo. A diferença entre estes métodos é que o resultado do ensaio quantitativo é uma medida objetiva, ou seja, não depende da resposta do usuário submetido ao teste quanto à vedação. O equipamento utilizado, neste caso, mede a eficiência da vedação alcançada pelo uso de uma cobertura das vias respiratórias através da

apresentação numérica do quociente entre a concentração de partículas presentes fora e dentro da cobertura das vias respiratórias. Já o ensaio de vedação qualitativo é uma medida subjetiva da eficiência de vedação, cujo resultado é do tipo aprova/reprova, baseado na resposta sensorial do usuário ao agente de ensaio que pode ser a sacarina, o bitrex, o acetato de isoamila, ou os fumos irritantes.

Todos os envolvidos devem ser orientados sobre a necessidade e importância do procedimento de ensaio e devem ter ciência de que uma proteção respiratória eficaz depende diretamente do resultado do ensaio de vedação. Um respirador cuja cobertura facial não é submetida ao ensaio de vedação, ou que é reprovado no mesmo, não é capaz de garantir ao usuário que, em condições reais de uso, o FPA será alcançado.

5 SELEÇÃO DE RESPIRADORES

A seleção de respiradores no Brasil para uso em situações rotineiras, não rotineiras e para situações de emergência obedece a um processo lógico descrito no documento PPR (TORLONI, 2002), onde também estão contidas instruções técnicas para um profissional habilitado implementar e administrar um Programa de Proteção Respiratória. Esse documento foi elaborado com base no processo de seleção de respiradores da ANSI Z88.2 -1992 (ESTADOS UNIDOS, 1992), no Code of Federal Regulations (CFR), Title 29: Part 1910.1001 App C (ESTADOS UNIDOS, 1998) e Part 1910.134 App A (ESTADOS UNIDOS, 1998).

O risco de exposição varia com o ambiente de trabalho, com as tarefas executadas, contaminantes presentes e com o perfil da exposição. Os critérios de seleção de respiradores para uso rotineiro devem ser seguidos nas situações onde exista exposição contínua a agentes químicos e conseqüente necessidade de uso de um equipamento de proteção respiratória (EPR). Nesta situação, deve ser considerado o nível de conforto proporcionado pelo equipamento selecionado ao trabalhador.

Muitas vezes o trabalhador não está exposto a agentes químicos perigosos durante toda a jornada de trabalho. Em outras situações, o uso de respiradores limita-se a atendimento ou fuga durante emergências. Para estes casos, existem referências brasileiras estabelecidas no PPR (TORLONI, 2002), porém, de maneira vaga e com resultado prático praticamente nulo. Neste estudo serão abordados os critérios de seleção para uso em situações rotineiras.

São fatores que influenciam na seleção de um respirador: o tipo de atividade exercida pelo usuário, as condições em que o respirador será utilizado (uso contínuo, emergência, fuga), a localização da área de risco, características e limitações dos respiradores e características da tarefa executada (necessidade de mobilidade, por exemplo).

No caso de seleção de respiradores para proteção contra poeiras com presença de sílica cristalizada é necessário seguir o estabelecido no Anexo 7 do mesmo documento, que leva em consideração, além da concentração do contaminante no ambiente, o diâmetro aerodinâmico médio mássico da sílica, ou seja, o tamanho da partícula.

5.1 ETAPAS PARA SELEÇÃO

Para a seleção de um equipamento de proteção respiratória adequado para situações rotineiras, deve-se obedecer ao conteúdo descrito nos itens 4.2.1 e 4.2.2 do documento PPR (TORLONI, 2002) que apresenta inicialmente algumas considerações práticas:

- Seleção apenas de respiradores que possuem Certificado de Aprovação (C.A.) emitido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE);
- Conhecimento e identificação dos riscos existentes;

Após essas considerações práticas iniciais, o item 4.2.2.2 do mesmo documento apresenta um roteiro para seleção do respirador e filtros adequados ao risco, sendo sempre necessário em cada etapa do roteiro levar em consideração os conhecimentos técnicos e o julgamento profissional para as tomadas de decisão.

5.1.1 CONHECIMENTO/IDENTIFICAÇÃO DO RISCO

Vários agentes químicos podem estar presentes na atmosfera contaminada na qual se faz necessário o uso de um respirador. Cabe ao profissional responsável por higiene, ou segurança, ou medicina do trabalho identificar os mais relevantes sob os pontos de vista qualitativo (aspectos toxicológicos) e quantitativo (concentração de exposição). O item 4.2.2.1 do documento (TORLONI, 2002, p.22) disponibiliza algumas etapas a serem seguidas como ajuda para identificação dos riscos existentes:

A natureza do risco respiratório deve ser determinada do seguinte modo:

- a) determinar o(s) contaminante(s) que pode(m) estar presente(s) no ambiente de trabalho;
- b) verificar se existe limite de tolerância, ou qualquer outro limite de exposição, ou estimar a toxidez dos contaminante(s). Verificar se existe a concentração IPVS (ver definição no Anexo 1) para os contaminantes;
- c) verificar se existem regulamentos ou legislação específica para o(s) contaminante(s) (exs: asbesto, sílica, etc.). Se existir, a seleção do respirador dependerá dessas indicações;
- d) se existir o risco potencial de deficiência de oxigênio, medir o teor de oxigênio no ambiente;
- e) medir ou estimar a concentração do(s) contaminante(s) no ambiente;

- f) determinar o estado físico do contaminante. Verificar se a pressão de vapor da partícula é significativa na máxima temperatura prevista no ambiente de trabalho;
- g) verificar se o contaminante presente é absorvido pela pele, produz sensibilização da pele, se é irritante ou corrosivo para os olhos ou pele;
- h) se o contaminante é vapor ou gás, verificar se é conhecido o limiar de odor, de paladar ou de irritação da pele.

5.1.2 SELEÇÃO DO RESPIRADOR ADEQUADO

No item 4.2.2.2 do documento PPR (TORLONI, 2002) estão indicadas as etapas de (a) a (m) para a seleção do respirador. Para facilitar o entendimento e realizar a seleção por partes, estas etapas podem ser separadas em dois grupos:

- de (a) a (f) => seleção da cobertura das vias respiratórias e do tipo de respirador (purificador de ar ou de adução de ar), sem que estejam definidos os filtros.
- de (g) a (m) => seleção do tipo e classe de filtro, caso o respirador selecionado seja um purificador de ar.

4.2.2.2. Etapas para seleção do respirador

O respirador apropriado deve ser selecionado conforme o seguinte procedimento:

- a)** se não for possível determinar qual o contaminante tóxico potencialmente presente no ambiente, ou a sua concentração, considerar a atmosfera IPVS. Continuar no item 4.3; Se não for IPVS, continuar no Item (b);
- b)** se não existir limite de exposição ou valores de orientação disponíveis, e se não puder ser feita a estimativa da toxidez, considerar a atmosfera IPVS. Continuar no item 4.3; Se não for IPVS, continuar no Item ^a;
- c)** se existir regulamento ou legislação específica para seleção de respirador para um contaminante específico, siga-^a; Se não existir, continuar no Item (d);
- d)** se a atmosfera for deficiente de oxigênio, o respirador selecionado dependerá da pressão parcial de oxigênio: se a concentração de oxigênio for menor que 12,5%, ao nível do mar (95 mmHg), continuar no Item 4.3.4.2; se a concentração de oxigênio for maior que 18%, ao nível do mar (137 mmHg), continuar no Item (e);
- e)** se a concentração medida ou estimada do contaminante for considerada IPVS, continuar no item 4.3; Se não for IPVS, continuar no Item (f);

f) dividir a concentração medida ou estimada de cada contaminante pelo limite de exposição ou valor de orientação para obter o Fator de proteção Requerido. Se mais de uma substância estiver presente, considerar os efeitos sinérgicos ou efeitos combinados ao invés de considerar o efeito isolado de cada substância. Com base na tabela 1, selecionar um respirador ou tipo de respirador que possua Fator de Proteção Atribuído maior que o Fator de Proteção Requerido. Se o respirador selecionado for do tipo purificador de ar, continuar no Item (g);

g) se o contaminante for somente um gás ou um vapor, escolher filtro químico apropriado. As seguintes condições devem ser satisfeitas simultaneamente: 1) a concentração do contaminante no ambiente deve ser menor que sua concentração IPVS; 2) a concentração do contaminante no ambiente deve ser menor que a MCU do filtro, conforme Tabela 2; 3) o filtro químico deve ser compatível com a peça facial do respirador selecionado no Item f); 4) para algumas substâncias ver também o Item (m). Se estiver presente também contaminante do tipo aerossol, continuar no Item (h);

h) se o contaminante for base de tinta, esmalte ou verniz, contendo solvente orgânico, escolher filtro combinado: filtro químico contra vapores orgânicos e filtro mecânico classe P1* (ou filtro químico de baixa capacidade FBC1 para vapor orgânico combinado com peça semifacial filtrante para partículas PFF1*, se o Fator de Proteção Requerido for menor que 10). Se não for, continuar no Item (i); ;

i) se o contaminante for um agrotóxico, e veículo orgânico, usar filtro combinado: filtro químico contra vapores orgânicos e filtro mecânico classe P2 (ou filtro químico de baixa capacidade FBC1 para vapor orgânico combinado com peça semifacial filtrante para partículas PFF2*, se o Fator de Proteção Requerido for menor que 10). Se não for, continuar no Item (j);

j) se o contaminante for um aerossol mecanicamente gerado (por exemplo, poeiras e névoas), usar filtro classe P1*, (ou peça semifacial filtrante para partículas PFF1*, se o Fator de Proteção Requerido for menor que 10). Se não for, continuar no Item (k);

k) se o contaminante for um aerossol termicamente gerado (por exemplo, fumos metálicos), usar filtro classe P2* (ou peça semifacial filtrante para partículas PFF2*, se o Fator de Proteção Requerido for menor que 10). Se não for, continuar no Item (l);

l) se o contaminante for um aerossol que contenha sílica cristalizada ou asbestos, a seleção deve ser feita de acordo com as Tabelas 3 e 4, respectivamente, adaptadas do Anexo 7;

m) se o contaminante for um gás ou vapor com fracas propriedades de alerta, é recomendado, de modo geral, o uso de respiradores de adução de

ar. Se estes não puderem ser usados por causa da inexistência de uma fonte de ar respirável, ou por causa da necessidade de mobilidade do trabalhador, o respirador purificador de ar poderá ser usado, somente quando:

- o filtro químico possuir um indicador confiável de fim de vida útil que alerte o usuário antes de o contaminante começar a atravessar o filtro;
- existir um plano de troca de filtro que leve em conta a vida útil do filtro, bem como a desorção (a não ser que a substituição seja diária), a concentração esperada, o modo de usar e o tempo de exposição forem estabelecidos, e que o contaminante não possua um Limite de Tolerância Valor Teto.

(*)Se o aerossol for de substância altamente tóxica ou de toxidez desconhecida, deverá ser selecionado filtro classe P3 (ou peça semifacial filtrante para partículas PFF3*, se o Fator de Proteção Requerido for menor que 10).

O diagrama (figura 30) resume as etapas de (a) a (f) do item 4.2.2.2 para seleção do tipo de cobertura das vias respiratórias e do tipo de respirador a ser utilizado.

Figura 30 - Diagrama para seleção da cobertura das vias respiratórias e do tipo de respirador

(Fonte: adaptado de: TORLONI; VIEIRA 2003)

5.1.2.1 INTERPRETAÇÃO DO DIAGRAMA PARA SELEÇÃO DO TIPO DE COBERTURA DAS VIAS RESPIRATÓRIAS E DO TIPO DE RESPIRADOR

O diagrama mostrado na figura 30, com a seqüência lógica de seleção, deve ser interpretado criteriosamente, pois cada opção oferecida exige análise cuidadosa do profissional, como pode ser observado pelos comentários apresentados:

-(1) Identificar quais são os contaminantes presentes no ambiente de trabalho é o primeiro passo deste processo. Os contaminantes podem se apresentar em diversas formas diferentes, como aerodispersóides (poeiras, névoas, fumos ou fumaças) ou como gasosos (gases ou vapores).

-(2) Além da forma e composição presente no ambiente de trabalho, é também fundamental saber em que concentrações estes contaminantes estão presentes. A quantificação dos contaminantes talvez seja o processo mais complexo na seleção de um respirador, pois a medida da concentração deve ser aquela que efetivamente represente a exposição do trabalhador ao agente químico durante sua jornada. O tipo de equipamento de proteção respiratória a ser utilizado dependerá da caracterização do risco em termos de médias ponderadas pelo período das exposições e também de exposições instantâneas a concentrações consideradas perigosas para o trabalhador.

-(3) Se as informações sobre concentração forem desconhecidas, se não houver limite de exposição ocupacional (LEO) estabelecido, ou caso não seja possível estimar sua toxidez, considerar a atmosfera como Imediatamente Perigosa à Vida e à Saúde (IPVS). Situações como estas são muito comuns em emergências ou entrada em espaços confinados, mesmo que ventilados. Nesse caso, não deve ser selecionado respirador com filtro, e sim, máscara autônoma.

-(4) A quantificação da porcentagem de oxigênio no ambiente é importante porque quando a mesma atinge valores inferiores a 19,5%, a atmosfera pode ser perigosa para o trabalhador. Atmosferas com deficiência de oxigênio requerem procedimentos específicos para entrada e permanência no ambiente, com uso de máscaras autônomas.

-(5) Concentrações de exposição que se encontram acima daquelas definidas como IPVS podem dificultar a fuga do trabalhador do ambiente contaminado, serem uma ameaça à vida ou ocasionarem danos irreversíveis à saúde. Neste caso, é indicado o uso de um respirador autônomo ou linha de ar com cilindro auxiliar para escape por possuírem o maior fator de proteção atribuído.

-(6) O mesmo respirador autônomo ou linha de ar com cilindro auxiliar para escape é recomendado caso a concentração do contaminante seja maior que 1000 vezes o limite de exposição ocupacional (LEO).

-(7) Concentrações de exposição abaixo do valor IPVS devem ser comparadas com o LEO, porém esses limites não estão disponíveis para todos os agentes químicos. Nestes casos, é necessário encontrar maneiras de estimar a toxidez do composto químico por meio de outras informações toxicológicas disponíveis. A principal fonte para informações sobre LEO é a publicação dos TLV[®]s editada e revista pela ACGIH anualmente, com tradução para o português, na mesma frequência, pela ABHO.

Para alguns compostos químicos, existem legislações específicas quanto a limites de exposição e/ou seleção de respiradores. No Brasil, existem regras específicas aplicáveis à seleção de respiradores para sílica e asbesto no anexo 12 da NR-15 (BRASIL, 1992). Para concentrações de exposição acima de 1000 vezes o TLV[®] ou LT é indicado o uso de um respirador do tipo máscara autônoma ou linha de ar com cilindro para fuga.

-(8) Caso esta concentração medida ou estimada seja inferior a 1000 vezes o LT e superior a 100 vezes o LT ou TLV[®] (valor que for menor), pode ser utilizado um respirador do tipo Linha de ar comprimido ou do tipo motorizado com uma cobertura das vias respiratórias do tipo peça facial inteira, capuz ou capacete.

-(9) Caso a concentração que representa a exposição do trabalhador seja inferior a 100 vezes o LT e superior a 10 vezes o LT, uma cobertura das vias respiratórias do tipo peça facial inteira pode ser utilizada. Este respirador deve ser equipado com filtros que sejam adequados para retenção dos contaminantes presentes no ambiente de trabalho.

-(10) Caso o valor da exposição do trabalhador supere o limite de exposição ocupacional, porém seja inferior a 10 vezes este Limite, pode ser utilizado um respirador do tipo peça semifacial ou peça facial filtrante (PFF) com filtro apropriado.

-(A) Caso a concentração seja menor que o LT ou TLV[®], não é necessário o uso de Equipamento de Proteção Respiratória. É recomendável o uso de um respirador do tipo peça semifacial ou peça facial filtrante, caso a concentração do contaminante seja superior à metade do valor do respectivo limite de exposição.

5.2.2 SELEÇÃO DO TIPO DE FILTRO

Após primeira etapa de seleção finalizada no Item (f) no roteiro do item 4.2.2.2 do documento PPR (TORLONI, 2002), é necessário iniciar a seleção do tipo de filtro, conforme Itens de (g) a (m), caso o respirador escolhido seja do tipo purificador de ar. Também é necessária a seleção adequada dos filtros para que a tabela de fator de proteção atribuído (FPA) dos respiradores seja validada. O ponto inicial dessa seleção dependerá das características químicas do contaminante em questão, do seu estado físico e da maneira como o mesmo foi gerado:

-Item (g): Quando esses tipos de filtro são selecionados, é preciso muita atenção quanto às limitações de uso do conjunto, o que inclui, entre outros, a sua MCU, a proibição da utilização desses filtros em ambientes com concentrações que excedam o limite IPVS do contaminante e em concentrações de oxigênio menores que 19,5% e respeito de sua vida útil, definida por fatores tais como a concentração dos gases e vapores na atmosfera, características físico-químicas destes agentes, umidade relativa do ar e o consumo de ar por minuto pelo usuário.

-Item (h): Quando se realiza pintura em spray utilizando tintas dissolvidas em solventes orgânicos, vários agentes químicos em estados físicos diferentes (sólidos de pigmentos e outros componentes da tinta, além dos gasosos vindos dos vapores de solvente) se dispersam no ar; assim, é necessário para proteção contra contaminantes à base de tinta, esmalte ou verniz, o uso de filtro combinado para vapores orgânicos (VO) e para particulados na forma de névoas (P1).

-Item (i): O termo agrotóxico abrange também os inseticidas, praguicidas, fungicidas, raticidas, que podem eventualmente ser utilizados na mineração.

Grande parte dos agrotóxicos utilizados é composta por matérias orgânicas sólidas com pressão de vapor muito baixa. Assim, estes materiais dificilmente se volatilizam durante a aplicação. Por esta razão, é indicado o uso de filtros para particulados da classe P2 apenas, caso o agente fitossanitário esteja emulsificado em água.

Cuidados devem ser tomados com outras substâncias químicas que são misturadas nestes produtos e que podem volatilizar-se, por exemplo: solventes orgânicos utilizados na fabricação do concentrado e substâncias adicionadas para dar cheiro a produtos inodoros. Nos dois casos pode ser necessário o uso de filtros combinados para particulados P2 e vapores orgânicos (VO). Atenção deve ser dada ao fato de que o produto mais perigoso dessa mistura é o princípio ativo do agrotóxico e o mesmo será retido pelo filtro para particulados P2.

-Item (j): As poeiras são originadas quando materiais na forma sólida são submetidos a processamento mecânico, como moagem, lixamento, britagem, corte, desbaste, usinagem, entre outros. As névoas são constituídas por particulados líquidos na forma de gotículas em suspensão na atmosfera e são também geradas por processo mecânico, como ruptura física de um líquido durante pulverização, nebulização ou borbulhamento.

Os processos mecânicos de formação de partículas geram particulados com diâmetro médio mássico aerodinâmico geralmente superior a 2,0 μm . Particulados com dimensões superiores a 2,0 μm são mais facilmente retidos que particulados com dimensões entre 0,1 μm e 1,0 μm . Por esta razão, filtros da classe P1, que são aqueles de menor eficiência no ensaio de desempenho, podem ser utilizados para aerodispersóides mecanicamente gerados (poeiras e névoas). Vale ressaltar que nenhum processo de geração de particulados é tão seletivo que gere partículas de um tamanho único, portanto, mesmo entre poeiras e névoas, existirão particulados com diâmetros aerodinâmicos inferiores a 1,0 μm , porém a maioria será de dimensões acima de 2,0 μm .

-Item (k): Os fumos, assim como as poeiras, são particulados originados a partir de materiais sólidos metálicos ou plásticos, aquecidos até sua fusão. Através deste processamento térmico, os sólidos fundidos são volatilizados e condensados na atmosfera devido a diferenças bruscas de temperatura. Os fumos metálicos e plásticos envolvem alta quantidade de energia em suas formações (processo térmico) e são particulados que têm o diâmetro médio mássico aerodinâmico bem reduzido, entre 0,1 μm e 1,0 μm e, por isso, requerem um filtro com eficiência da classe P2 ou PFF-2, mais que o necessário para se proteger contra as poeiras e névoas.

-Item (I): Para identificar qual o respirador mais indicado para uso contra sílica cristalina, é necessário comparar a concentração de exposição com o LT para poeiras contendo sílica, calculado conforme anexo 12 da NR-15 (BRASIL, 1992) e utilizar o Quadro II do Anexo 7 do documento PPR (TORLONI, 2002), conforme esclarecido no item 2.2 LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL deste trabalho. Segundo Torloni (2002), a seleção do filtro para poeiras contendo sílica e da cobertura das vias respiratórias depende do nível de exposição e do tamanho da partícula de sílica. Por exemplo, para exposições de até 10 vezes o LT, pode ser utilizado um filtro da classe P1, P2 ou P3, quando o tamanho da partícula é maior que 2,0 μm , e um filtro classe P3, quando menor que 2,0 μm , conforme tabela 9:

Tabela 9 - Recomendações de seleção de respiradores para sílica cristalizada

CONCENTRAÇÃO AMBIENTAL	EQUIPAMENTO
Até 10 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça semifacial ou peça facial filtrante (PFF) Filtros P1, P2 ou P3, de acordo com o diâmetro aerodinâmico das partículas ⁽¹⁾
Até 50 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça facial inteira com filtro P2 ou P3 ⁽¹⁾ Respirador motorizado com peça semifacial e filtro P2 Linha de ar fluxo contínuo e peça semifacial Linha de ar de demanda e peça semifacial com pressão positiva
Até 100 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça facial inteira com filtro P2 ou P3 ⁽¹⁾ Linha de ar de demanda com peça facial inteira Máscara autônoma de demanda
Até 1000 vezes o limite de tolerância	Respirador motorizado com peça facial inteira e filtro P3 Capuz ou capacete motorizado e filtro P3 Linha de ar fluxo contínuo e peça facial inteira Linha de ar de demanda e peça facial inteira com pressão positiva Máscara autônoma de pressão positiva
Maior que 1000 vezes o limite de tolerância	Linha de ar de demanda e peça facial inteira com pressão positiva e cilindro de fuga Máscara autônoma de pressão positiva

(1) Para diâmetro aerodinâmico médio mássico maior ou igual a 2,0 μm podem ser utilizados filtros classe P1, P2 ou P3. Para diâmetro menor que 2,0 μm , deve ser utilizado o de classe P3.

(Fonte: adaptado de: TORLONI, 2002)

No caso do amianto, a seleção do tipo de filtro e cobertura das vias respiratórias está relacionada com a quantidade de fibras por cm^3 encontradas na amostra do ar inalado e segundo estabelecido por Torloni (2002), deve ser utilizado um filtro de eficiência mínima P2 ou uma PFF-2 para concentrações de amianto até 2,0 fibras/ cm^3 . Se considerarmos a lógica para seleção de respiradores e o menor valor de limite de exposição ocupacional estabelecido atualmente para o amianto, que é o TLV[®] da ACGIH igual a 0,1 fibras/ cm^3 , o uso de respiradores semifaciais para amianto seria limitado à concentração de 1,0 fibras/ cm^3 . Acima deste valor, deveria ser selecionado sempre um respirador do tipo peça facial inteira.

-Item (m): Apesar do foco do trabalho ser material particulado, é importante mencionar que agentes químicos na forma de gases e vapores também podem ser encontrados em ambientes de mineração. Um exemplo típico é o que ocorre principalmente nas lavras subterrâneas, onde os escapamentos dos veículos e máquinas que circulam naquele ambiente liberam quantidades significativas de gases e particulados da combustão de diesel (CAMARGO, 2007). Também nas etapas posteriores à extração, como por exemplo, no refino metalúrgico, alguns gases e vapores podem estar presentes durante os tratamentos químicos recebidos pelos minérios após extração e beneficiamento.

Os gases e vapores, por suas características físico-químicas, são adsorvidos no meio filtrante, que geralmente é constituído por carvão ativado, de forma que, quando saturados, permitem a passagem total destes contaminantes. Por esta razão, é muito importante saber se os gases e vapores contaminantes do ambiente de trabalho podem ser identificados pelo odor, gosto ou pela irritação causada, características conhecidas como propriedades de alerta da substância química.

Para ser considerado de fácil percepção (boas propriedades de alerta), o Limiar de Odor (LO) de um agente químico deve ser significativamente inferior ao seu limite de

exposição, ou o contaminante deve apresentar gosto característico ou provocar algum tipo de irritação.

Para substâncias com fracas propriedades de alerta, é recomendável o uso de equipamentos de proteção respiratória de adução de ar. O uso de respiradores purificadores de ar (isto é, compostos por filtros) só é recomendado se existir um plano de troca programada estabelecida para os filtros químicos com base em dados objetivos.

Observa-se que este roteiro de seleção de filtros não leva em consideração se o aerossol é oleoso ou não oleoso. Esta pode ser uma característica importante dos particulados presentes em atividades de mineração subterrânea, conforme mostrado no trabalho de Camargo (2007).

5.3 SELEÇÃO E USO DE RESPIRADORES SEGUNDO CRITÉRIO NIOSH

O NIOSH realizou alterações nos procedimentos de ensaio para aprovação de filtros e equipamentos de proteção respiratória conforme a regulamentação 42 CFR 84 (ESTADOS UNIDOS, 1995) e, com isto, ocorreram posteriormente algumas mudanças nos critérios de seleção estabelecidos pela OSHA, conforme regulamentação 29 CFR 1910.134 (ESTADOS UNIDOS, 1998). Atualmente, no guia para seleção de respiradores do NIOSH (ESTADOS UNIDOS, 2004) não há qualquer referência a tamanho de partículas para seleção de respiradores ou filtros para contaminantes particulados. Qualquer respirador ou filtro aprovado pode ser utilizado para poeiras, névoas ou fumos, independentemente do seu tamanho.

No processo de seleção de filtros para particulados, segundo lógica de decisão do NIOSH, é necessário determinar se o aerossol é de origem oleosa, o que não acontece no Brasil. Esta preocupação existe para garantir que os filtros, durante o uso, não percam as cargas eletrostáticas e com isso, parte de sua eficiência. Segundo Camargo (2007), pelo fato dos filtros atuais para particulados serem fabricados com fibras poliolefínicas, que possuem boa afinidade com substâncias oleosas, quando estas ficam retidas na superfície da fibra, elas tendem a se

espalhar sobre a mesma prejudicando a ação da carga eletrostática e comprometendo o desempenho dos filtros. Este mesmo autor afirma que, em minerações subterrâneas, as concentrações de partículas oleosas podem atingir valores próximos a 2 mg/m^3 , sendo que a carga eletrostática de filtros para particulados que não possuem resistência à partículas oleosas pode ser degradada em tempo de uso inferior a 8 horas de trabalho.

O NIOSH adota o sistema de aprovação de filtros para particulados que os enquadram em três categorias: N (Não resistente a névoas oleosas), R (Resistente a névoas oleosas) e P (à Prova de névoas oleosas) (ESTADOS UNIDOS, 1995). A diferença entre as categorias (R) e (P) é que na primeira, o filtro pode ser utilizado para proteção contra aerossóis oleosos, porém, com limitação do tempo de uso e a segunda categoria (P) pode ser utilizada para aerossóis oleosos até sua saturação, que é percebida pela dificuldade respiratória ou através do estabelecimento de um plano de substituição de filtros. Neste mesmo sistema de aprovação, acompanhando essas letras, existem números que se referem à porcentagem de eficiência mínima dos filtros, podendo ser 95%, 99% ou 99,97%.

Considerando o tipo e o nível de eficiência, resultam 9 classes de filtros para particulados, conforme tabela 10:

Tabela 10 – Classificação americana de filtros para particulados

42 CFR 84	Aerossol de teste utilizado para classificação		
Eficiência	NaCl	DOP	DOP
mínima	Substâncias não	Inclui aerossóis	Inclui aerossóis
	oleosas	oleosos *	oleosos
95%	N95	R95	P95
99%	N99	R99	P99
99,97%	N100	R100	P100

* Pode haver restrição de tempo de uso, se houver presença de aerossol oleoso.

(Fonte: ESTADOS UNIDOS, 1995)

Para seleção do tipo de cobertura facial e tipo de respirador segundo critério NIOSH, deve ser considerada a Tabela de Fator de Proteção Atribuído (FPA), similarmente ao procedimento válido atualmente no Brasil.

O respirador que o NIOSH recomenda para utilização para proteção contra sílica cristalina é qualquer respirador com filtro para particulados N95, R95 ou P95, caso a exposição seja de até 10 vezes o LEO. Acima dessa concentração, quando utilizado respiradores purificadores de ar do tipo peça facial inteira ou motorizados, o NIOSH recomenda que seja utilizado um filtro com maior eficiência, ou seja, um N100, R100 ou P100.

A equivalência entre a classificação Brasileira e a classificação Americana para a aprovação dos filtros contra particulados é a seguinte:

- P1 ⇔ não há equivalência
- P2 ⇔ N95
- P3 ⇔ N100

Não existe equivalência entre as classificações Brasileira e Americana quando se trata de aprovações de filtros para uso em atmosferas com partículas oleosas.

6 DISCUSSÕES

O uso de respiradores para proteção dos trabalhadores em atividades de mineração é uma realidade tanto no Brasil quanto em outros países. Para que o responsável pela seleção de respiradores decida por um tipo, classe ou modelo mais adequado é necessário que seja seguido o direcionamento contido no documento PPR (TORLONI, 2002). Mas, além de seguir o que está disposto neste documento, é necessário um conhecimento específico sobre proteção respiratória e desempenho dos diferentes respiradores existentes, acompanhado de julgamento profissional para as adequações necessárias ao procedimento de seleção de respiradores para estes ambientes.

6.1 DAS CONCENTRAÇÕES DE EXPOSIÇÃO

Nos casos em que se dá exposição a poeiras minerais, o respirador que geralmente é selecionado para uso em ambientes de mineração é algum modelo do tipo peça semifacial filtrante ou semifacial com filtros acoplados para particulados. Quando a concentração de particulados é alta, geralmente são selecionados filtros da classe P3 ou PFF3, que é a mais alta classe de proteção entre os filtros para particulados. Essa linha de raciocínio para a seleção do respirador adequado ao risco é muito comum, não sendo, na maioria das vezes, a mais adequada, pois a maneira de reduzir altas concentrações de exposição dos trabalhadores a níveis considerados seguros é oferecendo um respirador que possua um FPA mais alto e não um filtro de classe mais alta. Porém, nem sempre é conveniente em ambientes de mineração a utilização de respiradores com peça facial inteira, que na maioria das vezes se tornam incômodos em ambientes quentes e úmidos.

6.2 DAS EXPOSIÇÕES A POEIRAS CONTENDO SÍLICA

Conforme estabelecido no PPR (TORLONI, 2002), para seleção da proteção adequada para sílica cristalina é necessário que seja realizada uma medição do diâmetro aerodinâmico médio mássico das partículas sílica, indicando o uso do filtro P3 ou PFF-3 quando encontrados resultados menores que 2,0 μm .

A técnica de medição do diâmetro aerodinâmico da sílica é bastante complexa, conforme esclarecida por Almeida (2005) e deve ser realizada em laboratório especializado em higiene ocupacional. Por estes motivos, esta prática geralmente não é realizada e os responsáveis pela seleção assumem, na maioria das vezes, que o diâmetro das partículas de sílica é menor que 2,0 μm e selecionam filtros e respiradores da classe de aprovação mais alta como forma de compensar a falta da informação.

Entretanto, a especificação de um filtro P3 trará benefícios significativos e se justifica se houver também uma preocupação em se utilizar coberturas das vias respiratórias com FPA maiores, juntamente com o cuidado de avaliar a vedação ao rosto do usuário, pois o aumento da resistência à respiração que será ocasionada pelo filtro pode ser significativo e afetar a proteção total oferecida. Por exemplo, pode ser observado um benefício no caso do uso de um filtro P3 com um respirador do tipo peça facial inteira ou em um respirador do tipo motorizado, ambos com FPA > 10, que raramente são utilizados em ambientes de mineração.

O conceito de seleção de respirador envolvido neste caso orientado pelo PPR (TORLONI, 2002), nem sempre sendo o mais adequado, é o de que quanto mais tóxico ou perigoso for o contaminante (como no caso da sílica cristalina), mais altas devem ser as classes dos filtros selecionados (P3 ou PFF-3). O conceito de seleção de classe de filtro dependente do diâmetro médio das partículas vigente no Brasil está baseado na legislação americana 30 CFR 11 (ESTADOS UNIDOS, 1972) que, em 1995, foi substituída pela norma 42 CFR 84 (ESTADOS UNIDOS, 1995). Esta legislação mais recente foi estabelecida após realização de novas pesquisas, modificações nos ensaios de desempenho e desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação de filtros, considerando, ao invés do tamanho das partículas, a presença de partículas com características oleosas.

Além disso, segundo as mais recentes recomendações da ACGIH, o limite de exposição para sílica cristalina foi reduzido, confirmando a necessidade de

selecionar coberturas das vias respiratórias com FPA mais alto, e não um filtro da classe mais alta. Esta proteção poderia ser alcançada substituindo uma peça semifacial filtrante por uma peça facial inteira, por um respirador motorizado ou por um respirador de adução de ar.

Além disso, no item 4.2.2.2 do PPR (TORLONI, 2002), os itens c e l podem ser considerados redundantes no que se referem à seleção de respiradores para proteção contra sílica.

Por estes motivos apresentados, uma revisão no PPR (TORLONI, 2002) pode ser considerada.

6.3 DA PRESENÇA DE OUTROS MATERIAIS PARTICULADOS

Outro fator que precisa ser considerado durante cálculo de LT para sílica é o conceito de mistura envolvido na fórmula e a maneira como ele é interpretado na maioria das vezes.

A eq. (5) apresentada para o cálculo do LT foi estabelecida considerando a poeira contendo sílica como uma mistura de sílica pura com poeira incômoda, hoje conhecida como PNOS (particulados insolúveis não classificados de outra maneira). A dedução desta equação é mostrada em Grueznier (2003), que considerou os efeitos aditivos e adotou os TLVs[®] válidos da época para sílica e poeiras incômodas que eram, respectivamente, 0,1 mg/m³ e 5,0 mg/m³.

Mas, existe a probabilidade em ambientes de mineração da poeira contendo sílica cristalina não estar misturada apenas com PNOS e sim, estar associada com poeiras de outros minerais que também têm o potencial de causar danos à saúde. Neste caso é necessário recalcular a exposição total do trabalhador considerando o conceito de mistura de substâncias que possuem pelo menos um efeito crítico em comum.

Sendo assim, a concentração da exposição seria mais elevada, havendo a necessidade da utilização de respiradores com FPA mais altos.

6.4 DOS PARTICULADOS COM CARACTERÍSTICAS OLEOSAS

Materiais particulados com características oleosas estão presentes em ambientes de mineração, devido principalmente à presença de particulados de diesel. No Brasil,

essas informações são praticamente desconhecidas pelos responsáveis pela seleção dos respiradores, sendo necessária uma atualização no PPR (TORLONI, 2002) que considere a necessidade de proteção respiratória diferenciada em relação aos filtros.

Esses particulados, além de serem perigosos à saúde do trabalhador, podem afetar a vida útil dos filtros para particulados utilizados em respiradores e em PFF. Na presença de aerossóis oleosos, as cargas eletrostáticas dos meios filtrantes podem ser degradadas em tempos de uso inferiores a 8 horas de trabalho. Por este motivo, é recomendado para esses ambientes o uso de filtros que tenham sido avaliados e aprovados em ensaios que incluam partículas oleosas como um agente de teste.

No Brasil, os métodos de ensaio dos filtros para particulados utilizados em respiradores e em PFFs estão descritos na NBR 13697 (ABNT, 1996). Apesar de estar previsto na NBR citada a aprovação de filtros para aerossóis oleosos, os mesmos não são realizados, principalmente por uma deficiência de recursos técnicos e humanos do laboratório de ensaios. Seria necessário uma revisão desta NBR por parte da Comissão de Estudos responsável por atualizações de normas brasileiras, de modo a adequar os requisitos de ensaio de resistência a óleo dos filtros, possibilitando sua execução por parte do laboratório.

Enquanto as atualizações necessárias nas normas brasileiras não são realizadas, exemplos de filtros que poderiam ser adequadamente empregados para proteção dos trabalhadores de mineração na presença de aerossóis oleosos são os da classe americana de aprovação R ou P, mostrados na tabela 10 deste trabalho.

6.5 DOS RESPIRADORES UTILIZADOS EM MINERAÇÃO

Segundo NIOSH (2003), os respiradores que são mais amplamente utilizados em ambientes de mineração são: tipo peça semifacial com filtros acoplados (Figura 26), peça semifacial filtrante (Figura 26) ou capacetes motorizados equipados com filtros para particulados (Figura 27). Os dois primeiros tipos, que possuem FPA = 10, são os mais facilmente encontrados e preferidos entre os trabalhadores de mineração, principalmente em áreas com restrições de espaço físico. Esta também é uma realidade brasileira.

Os capacetes motorizados com filtros P3 (Figura 27), que possuem FPA = 25, são utilizados em locais que não apresentam restrições de espaço, porém são raramente encontrados em uso nas minerações do Brasil, conforme constatado em visitas realizadas pela autora deste trabalho em diversas minas no Brasil, entre os anos 2005 e 2008.

A utilização de capacetes motorizados na mineração depende, em parte, da velocidade do ar da mina que circula fora do capacete e de sua direção de impactação no capacete. Altas velocidades do ar empurram partículas de poeiras para dentro da cobertura das vias respiratórias. Por exemplo, em galerias de minas subterrâneas com velocidade do ar menor que 2,2 m/s, esses capacetes motorizados reduzem as poeiras respiráveis numa média de 84%. No entanto, em uma outra galeria de mina subterrânea com velocidade do ar de 6,6 m/s, o mesmo capacete não foi efetivo, com uma redução de poeiras respiráveis de 49% apenas (NIOSH, 2003).

Segundo informações obtidas através de visitas da autora deste trabalho em algumas minas de grande porte das regiões sudeste e nordeste do Brasil, os tipos de respiradores e filtros para proteção contra partículas mais comumente utilizados em lavras à céu aberto e subterrâneas são os do tipo semifacial com filtros acoplados da classe P2 e/ou P3 e os do tipo peça semifacial filtrante classe PFF-2 e/ou PFF-3, conforme as situações exemplificadas:

-Em uma mina a céu aberto de extração de nióbio, tanto no processo de extração e separação quanto no processo de fundição do metal, são utilizados respiradores do tipo peça semifacial filtrante PFF-2.

-Em uma mina a céu aberto de extração de fosfato, durante a extração e no processo de separação são utilizados respiradores do tipo peça semifacial filtrante PFF-2 e PFF-3. A classe mais alta do filtro é utilizada para concentrações maiores de poeiras minerais ou para proteção contra sílica.

-Em uma mina a céu aberto de extração de níquel, tanto no processo de extração, separação quanto no processo de fundição são utilizados respiradores do tipo peça semifacial filtrante PFF-1 e PFF-2. A classe mais alta do filtro é utilizada principalmente no processo de fundição.

-Em uma mina subterrânea de extração de ouro, a maior parte dos respiradores utilizados é peça do tipo semifacial com filtros acoplados classe P3.

-Já nos casos das minerações onde existam procedimentos de limpeza de filtros manga, geralmente são utilizados respiradores motorizados constituídos por capacetes com filtro para partículas classe P3.

Nos Estados Unidos, segundo informações do NIOSH (2003), a decisão pela seleção não é muito diferente. Os preferidos e mais comumente adquiridos são os semifaciais com filtros da classe N95 e N100.

6.6 DA EFICIÊNCIA E DESEMPENHO DOS FILTROS

Os filtros para particulados são submetidos aos ensaios para aprovação em condições bem mais rigorosas do que as que realmente são expostos em situações de trabalho. Um exemplo disso é o ilustrado por Camargo (2007) ao comparar as concentrações e tamanhos de partículas que entram em contato com o filtro durante os ensaios de laboratório, segundo metodologias da Europa e Estados Unidos, com as situações tipicamente encontradas em ambientes de mineração a céu aberto. No procedimento de ensaio para avaliação da eficiência dos filtros é utilizado um aerossol de cloreto de sódio cujo tamanho das partículas se encontra numa faixa considerada mais penetrante no meio filtrante (diâmetro aproximado de $0,3\ \mu\text{m}$), num fluxo de ar muito elevado, diferente das condições de trabalho rotineiras. A maior parte das poeiras respiráveis dos ambientes de trabalho são maiores que este tamanho de $0,3\ \mu\text{m}$ e conseqüentemente, mais fáceis de serem filtradas e retidas.

Mas, ao mesmo tempo em que a eficiência dos filtros para partículas é bastante alta (CAMARGO, 2007), isto não significa que o usuário estará necessariamente protegido com o mesmo nível alto de eficiência em que o filtro foi classificado. Isso acontece devido ao fato de que os respiradores podem não estar perfeitamente vedados ao rosto do usuário e ocorrer algum vazamento de contaminante para dentro da cobertura das vias respiratórias na região de selagem.

Segundo NIOSH (2003), a eficiência que se espera alcançar quando da utilização de um respirador tipo peça semifacial com filtro N95 (filtro 95% eficiente quanto a penetração), que proporcione uma boa vedação ao rosto, é de 90%. A eficiência alcançada é menor que a própria eficiência do filtro porque geralmente ocorre algum vazamento para dentro da cobertura das vias respiratórias na região de selagem na face do usuário do respirador.

Durante uma avaliação de um programa de proteção respiratória em uma mina (NIOSH, 2003), respiradores tipo peça semifacial elastomérica com filtros para partículas acoplados foram testados em quatro setores de uma mina subterrânea. A exposição a poeiras dos trabalhadores foi reduzida a 92%. Como resultado desse estudo, a certificação dos respiradores segundo eficiência não é garantia de que o mesmo irá funcionar bem. Já num estudo recente de respiradores do tipo PFF para poeiras também realizado por NIOSH (2003), a redução média para este tipo de respirador foi de apenas 67%. Também foi informado neste mesmo estudo que esta porcentagem melhorava quando os usuários passavam por um ensaio de vedação no respirador selecionado.

6.7 DA VEDAÇÃO DOS RESPIRADORES

A capacidade do respirador selecionado em vedar o rosto do usuário não é uma característica avaliada no Brasil para conferir ao determinado modelo o certificado de aprovação (C.A.), que valida sua comercialização, por não fazer parte dos requisitos de ensaio nas NBRs.

No entanto, um dos fatores mais críticos na seleção de um respirador é a capacidade do mesmo em oferecer vedação adequada ao rosto do usuário. Uma vedação pode ser considerada adequada quando o usuário do respirador consistentemente alcança um Fator de Proteção maior ou igual ao Fator de Proteção Atribuído para a determinada cobertura das vias respiratórias (CAMPBELL et. al., 2001).

Neste mesmo estudo realizado por Campbell et.al. (2001), foi mostrado que a capacidade intrínseca de um respirador tipo peça semifacial filtrante em oferecer boa vedação nos diferentes formatos e tamanhos de rosto varia de acordo com o modelo, desenho e com o fabricante do respirador e que, portanto, é necessário que

o responsável pela seleção opte por modelos que tenham essa característica de boa vedação.

Segundo McKay (2008), um estudo recente realizado pelo NIOSH em quinze modelos diferentes de respiradores do tipo peça semifacial filtrante classe N95 mostrou que quando o usuário é submetido ao ensaio de vedação no respirador escolhido, o mesmo alcança um nível de proteção respiratória maior do que aqueles que não se submeteram ao ensaio. O motivo para tal diferença está embutido no conceito do ensaio de vedação, que não checa apenas a compatibilidade do formato do rosto com o respirador e sim, avalia e treina o usuário quanto a colocação e uso corretos do respirador.

Um estudo realizado por Hinds e Kraske (1987) mostrou que a penetração de partículas através de respiradores tipo peças semifaciais com filtros acoplados e semifaciais filtrantes que apresentavam uma falha na vedação provocada intencionalmente por um tubo de 1,0 mm de diâmetro por 10 mm de comprimento, foi de praticamente 100% para partículas com diâmetros aerodinâmicos entre 0,1 μm e 1,0 μm . Para diâmetros aerodinâmicos entre 1,0 μm e 12 μm , a penetração foi bastante reduzida.

Este resultado indica que a penetração de partículas muito pequenas é mais influenciada pela qualidade da vedação do que pela classe do filtro utilizado.

No Brasil, todo usuário de respirador com vedação facial deve necessariamente passar por um ensaio de vedação para determinar se o respirador selecionado se ajusta bem ao rosto, se enquadrando, desta maneira, aos requisitos do item 4.2.2.2 do documento PPR (TORLONI, 2002). Porém, por constatação da autora deste trabalho em visitas realizadas em minas até o ano de 2008, é possível afirmar que apesar da extrema importância desse ensaio, de ser mandatório no documento mencionado e de realmente aumentar a proteção oferecida ao usuário (MCKAY, 2008), os mesmos nem sempre são realizados, ou são realizados sem que sejam seguidos completamente os protocolos determinados, tornando os resultados obtidos inválidos ou alterados.

6.8 DO PREÇO UNITÁRIO DOS RESPIRADORES

O preço praticado pelo mercado dos respiradores aprovados pelo MTE varia principalmente de acordo com o tipo, classe, modelo e fabricante. Os respiradores sem manutenção tipo peça semifacial filtrante são os mais baratos, sendo que os modelos PFF-1, sem válvula de exalação, são os que possuem os mais baixos preços entre as classes. Em seqüência crescente estão os da classe PFF-2 e PFF-3, respectivamente, sendo que o acréscimo de preço acontece devido à presença de válvula de exalação em cada uma dessas classes e outros itens de conforto, tais como espumas diferenciadas na área de vedação. Com preços praticados mais altos estão os respiradores elastoméricos semifaciais com filtros acoplados. A variação do preço total, neste caso, acontece devido ao preço unitário dos filtros e cartuchos e ao material de que é constituída a peça facial. Peças faciais com mais características de conforto ao usuário são mais caras que peças mais simples. Em seqüência crescente se encontram os respiradores com peças faciais inteiras (VILLA, 2008).

A classe mais cara é a composta pelos respiradores de pressão positiva. Dentre eles, os respiradores motorizados ainda são mais baratos que os respiradores de adução de ar e máscaras autônomas, respectivamente (VILLA, 2008).

6.9 DA SELEÇÃO DE RESPIRADORES PARA GASES E VAPORES

O item 4.2.2.2 do PPR (TORLONI, 2002) apresenta um roteiro para seleção do respirador e filtros adequados ao risco. No caso de seleção de filtros para proteção contra gases e vapores, a etapa g do roteiro atenta para as limitações de uso do conjunto, o que inclui respeitar a máxima concentração de uso (MCU) da classe selecionada.

Os filtros da classe FBC-1, utilizados em ambientes de mineração subterrânea para amenizarem o cheiro de óleo ou odores emanados durante perfuração de rochas, por exemplo, possuem MCU de 50 ppm para vapores orgânicos (TORLONI, 2002).

Apesar de estar contido na NBR 13696 (ABNT, 2006), é sabido, através de ensaios de laboratório, que os filtros FBC-1 existentes no mercado não atendem ao parâmetro MCU especificado. Esta informação já foi difundida entre os membros integrantes da Comissão de Estudos de Respiradores da ABNT, confirmada em ata de reunião (ABNT, 2006) e atualmente a FUNDACENTRO não reconhece esta

classe de filtro em seus laudos de ensaio utilizados para a obtenção do Certificado de Aprovação. O que foi sugerido e ficou decidido por aquela comissão é que os filtros FBC-1 devem ser utilizados, quando presentes em peças semifaciais, para situações onde as concentrações de vapores orgânicos não ultrapassem o seu Nível de Ação (metade do Limite de Exposição Ocupacional), e não até 50 ppm, como recomenda o PPR (TORLONI, 2002).

6.10 DO USO DE RESPIRADORES EM LOCAIS QUENTES E ÚMIDOS

Segundo PINTO (2006), em minerações subterrâneas, principalmente nos casos onde existe deficiência nos controles de ventilação afetando a vazão volumétrica de ar fresco, os altos valores de temperatura, umidade, concentração de gases e particulados são uma realidade que prejudicam os aspectos ambientais.

Quanto ao prejuízo no desempenho ou na vida útil dos filtros e cartuchos para proteção respiratória utilizados nestes ambientes, alguns estudos indicam que os filtros feitos em não-tecido de polipropileno com tratamento eletrostático praticamente não são afetados quando submetidos a estas condições, continuando com suas propriedades de eficiência à penetração e resistência à respiração inalterados (MOTYL; LOWKIS, 2006).

Já os cartuchos químicos para retenção vapores orgânicos sofrem uma queda acentuada em sua vida útil quando a umidade relativa do ambiente de trabalho é maior que 50%, especialmente quando maior que 65% e em altas temperaturas (ESTADOS UNIDOS, 2008).

7 CONCLUSÕES

As recomendações contidas no documento PPR (TORLONI, 2002) para seleção e uso de respiradores adequados ao risco são essenciais, porém, são necessárias algumas outras considerações e julgamentos profissionais discutidos neste estudo para que o respirador selecionado cumpra seu papel de amenizar a exposição em ambientes de mineração. Também foi evidenciado que é comum ocorrerem falhas na interpretação do conteúdo do documento.

Para que altas concentrações de exposição dos trabalhadores a materiais particulados (maiores que 10x LEO) sejam reduzidas, são necessários respiradores compostos, por exemplo, por peça facial inteira, respiradores motorizados ou respiradores de adução de ar. As peças faciais inteiras podem se tornarem desconfortáveis em ambientes muito quentes e úmidos, os respiradores de adução de ar podem restringir os movimentos do usuário e a utilização dos motorizados, podendo ser compostos por capacetes e filtros P3, parecem ser a melhor opção para o ambiente em questão, porém, muitas vezes não se enquadram na realidade brasileira de gastos direcionados para aquisição de respiradores.

Com isso, são oferecidas as seguintes sugestões de seleção de respiradores para uso em ambientes de mineração:

- Proteção contra materiais particulados para exposições de até 10xLEO a poeiras minerais que não contém sílica cristalina:
 - peça semifacial filtrante PFF-1 ou PFF-2;
 - peça semifacial com filtros acoplados P1 ou P2, acrescentando as classificações NIOSH P95 ou R95 no caso da presença de aerossóis oleosos;
- Proteção contra poeiras minerais que contém sílica cristalina:
 - considerar a utilização do TLV para poeiras respiráveis de sílica de 0,025 mg/m³, que são mais restritivos que os brasileiros

-utilizar a tabela de FPA válida no Brasil para selecionar a cobertura das vias respiratórias

-selecionar filtros da classe P2, no caso da seleção de purificadores de ar

As opções de respiradores oferecidas se justificam pelos custos mais baixos de aquisição e menor resistência à respiração proporcionada pelos filtros, aumentando o conforto ao usuário, minimizando as chances de omissão de uso.

Em todos os casos, devem ser realizados ensaios de vedação nos respiradores selecionados, conforme protocolo do PPR, além dos treinamentos ao usuário quanto à colocação e uso corretos, manutenção, higienização e guarda dos equipamentos.

Também devem ser avaliadas as possibilidades de estabelecimentos de controles coletivos para reduzir os níveis de exposição e validar a seleção no caso de respiradores semifaciais.

Dificuldades encontradas para a realização da pesquisa:

- As normas brasileiras quanto a desempenho de filtros estão defasadas quando comparadas as normas americanas e européias, não existindo, desta maneira, um histórico quanto ao comportamento dos diversos filtros e respiradores existentes quando submetidos a ensaios de carregamento com partículas oleosas e não oleosas, simulando o processo de saturação dos mesmos.
- Não é muito comum a realização de avaliações quantitativas estatisticamente válidas quanto à exposição ocupacional a poeiras contendo ou não sílica cristalina nas minerações brasileiras para serem utilizadas nos processos de seleção dos respiradores.
- Praticamente não são encontradas informações válidas sobre medições dos diâmetros aerodinâmicos médios mássicos das partículas de sílica cristalina.
- As informações disponíveis sobre características físico-químicas dos particulados presentes em ambientes de mineração no Brasil são bastante restritas e não englobam estudos mais detalhados sobre toxicologia e epidemiologia dos particulados e outros agentes químicos presentes.
- São praticamente desconhecidas no Brasil informações sobre material particulado com características oleosas gerados pela combustão incompleta

de óleo diesel ou por outro processo utilizado em minerações, indicando a falta de preocupação com o tema.

Propostas para futuros trabalhos:

- Elaboração de um guia de seleção de respiradores para contaminantes químicos presentes em ambientes de mineração, considerando, no mínimo, as características dos particulados, as concentrações de exposição e tipo de atividade exercida.
- Análise dos métodos de controle coletivos empregado nas minerações do Brasil para a redução dos níveis de exposição a agentes químicos e validação das informações através de avaliações quantitativas.
- Avaliação do nível de conforto oferecido pelos respiradores disponíveis no mercado brasileiro e comparação com a omissão de uso dos mesmos nesses ambientes.
- Avaliação da capacidade intrínseca de vedação oferecida pelos diversos modelos de cobertura das vias respiratórias nos diferentes tamanhos e formatos de faces brasileiras.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA I.T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto.** 1999. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ALMEIDA, I.T. **Comparação de técnicas de análise de tamanho de partículas coletadas em ambiente de mineração.** 2005. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS. **Limites de exposição ocupacional (TLV[®]s) para substâncias químicas e agentes físicos & Índices biológicos de exposição (BEI[®]s).** São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12543: Equipamentos de proteção respiratória – Terminologia.** Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR 13696: Equipamentos de proteção respiratória – Filtros químicos e combinados.** Rio de Janeiro, 1996 A.

_____. **NBR 13697: Equipamentos de proteção respiratória – Filtros mecânicos.** Rio de Janeiro, 1996 B.

_____. **NBR 13698: Equipamentos de proteção respiratória – Peça semifacial filtrante para partículas.** Rio de Janeiro, 1996 C.

_____. **Ata da 259ª Reunião: Comissão de Estudos de Equipamento de Proteção Respiratória para Profissionais da Indústria.** São Paulo, 01 de jun. 2006.

BALLANTYNE, B.; SKCHWABE, P.H. **Respiratory Protection - Principles and Applications**. Chapman and Hall, New York, 1981.

BARRETT, L.W.; ROUSSEAU, A.D.; **Aerosol Loading Performance of Electret Filter Media**. American Industrial Hygiene Association Journal 59. USA, 1998.

BON, A.M.T.; SANTOS, A.M.A. **Sílica**. São Paulo: Fundacentro, 2003. Disponível em: http://www.fundacentro.gov.br/SES/silica_base_2.asp?D=SES
Acesso em: maio, 2007.

BRASIL. República Federativa. **Lei 6.514 de 22 de abril de 1977**, alterando o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho: Da segurança e da medicina do trabalho. 1977. Disponível em: <http://www.lei.adv.br/6514-77.htm>.
Acesso em: maio 2007.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria GM nº 3214, de 8 de junho de 1978. **NR-6-Equipamento de proteção individual - EPI**. Normas regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. Apresenta varias atualizações, sendo a ultima a Portaria nº. 194, de 22 de dezembro de 2006. Disponível em:
http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_06_.pdf.
Acesso em: maio 2007.

_____. **NR-15 - Atividades e operações insalubres**: Normas regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. 1978 A. Disponível em:
http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf. Acesso em:
maio 2007.

_____. Portaria GM nº 8, de 5 de outubro de 1992. **Alteração dos Anexos 12 e 13 da NR-15 - Atividades e operações insalubres**. 1992. Normas regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. Disponível em:
http://www.mte.gov.br/legislacao/portarias/1992/p_19921005_08.pdf.
Acesso em: maio 2007.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº. 25, de 29 de dezembro de 1994, dando a redação final a Portaria GM nº. 3214. **NR-9 – Programa de prevenção de riscos ambientais.** Normas regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. Disponível em:

http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_09.pdf

Acesso em: maio 2007.

_____. **NR-7- Programa de controle médico de saúde ocupacional - PCMSO.**

Normas regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. Apresenta atualizações, sendo a última a Portaria nº 8, de 8 de maio de 1996. Disponível em:

http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_07_.pdf

Acesso em: maio 2007.

_____. **NR-22 - Segurança e saúde ocupacional na mineração.** Normas regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. Apresenta várias atualizações, sendo a última a Portaria nº. 63 de 02 de dezembro de 2003. Disponível em:

http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_22.pdf

Acesso em: maio 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Pneumoconioses.** Normas e Manuais Técnicos. Brasília, 2006. Disponível em:

http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/06_0443_M.pdf

Acesso em maio, 2007.

BRASIL. Ministério da Previdência Social. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho 2005.** Brasília, 2007 A. Disponível em:

http://www.previdenciasocial.gov.br/anuarios/aeat-2005/14_08_01_01_02.asp

Acesso em setembro, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro 2006.** Brasília, 2007 B. Disponível em:

<http://www.dnrm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=789>

Acesso em setembro, 2007.

CAMPBELL, D.L. et al. **Respiratory protection as a function of respirator fitting characteristics and fit test accuracy.** 2001. American Industrial Hygienists Association Journal (62) January/February 2001.

CAMARGO, O.F. **Estudo de desempenho de filtros para particulados e seleção de respiradores para uso em mineradoras.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CASTRO, H. A. et al. **Estudo das internações hospitalares por pneumoconioses no Brasil, 1984-2003.** Revista Brasileira de Epidemiologia. v.8 n.2. São Paulo, 2005.

CHEN, C.C.; HUANG, S.H. **The Effect of Particle Charge on the Performance of an Electret Filtering Facepiece.** AIHA journal 59. 1998. p.227-233.

ESTADOS UNIDOS. Mine Safety and Health Administration. Code of Federal Regulations. **30 CFR Part 11.** 1972

ESTADOS UNIDOS. American National Standards Institute. ANSI Z88.2- **Practices for Respiratory Protection.** 1992.

ESTADOS UNIDOS. Centers of Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. **Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health Considerations (IDLH).** Cincinnati, 1994. Publication No. PB-94-195047. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/idlh-1.html>. Acesso em: junho 2007.

ESTADOS UNIDOS. Occupational Safety & Health Administration. Code of Federal Regulations. **42 CFR Part 84. Subpart K: Non powered air-purifying particulate respirator.** 1995.

ESTADOS UNIDOS. Centers of Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. **Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH):** NIOSH Chemical Listing and Documentation of Revised IDLH Values. Cincinnati, 1996 A. Publication No. PB-94-195047.

Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/14808607.html>. Acesso em: junho 2007.

_____. National Institute for Occupational Safety and Health. **Guide to the selection and use of particulate respirators certified 42 CFR- 84**. Cincinnati, 1996 B. Disponível em: www.cdc.gov/NIOSH/userguid.html. Acesso em: junho 2007. ESTADOS UNIDOS. Occupational Safety & Health Administration. Code of Federal Regulations. **29 CFR Part 1910.134 - Respiratory Protection**. 1998 A.

_____. Code of Federal Regulations. **29 CFR Part 1910.134 App A - Fit Testing Procedures - Mandatory**. 1998 B.

_____. Code of Federal Regulations. **29 CFR Part 1910.1001 App C - Qualitative and Quantitative Fit Testing Procedures – Mandatory**. 1998 C.

ESTADOS UNIDOS. Centers of Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. **Health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica**. Cincinnati, 2002. Publication n. 2002-129. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/02-129A.html>. Acesso em: junho 2007.

_____. National Institute for Occupational Safety and Health. **Handbook for Dust Control in Mining**. Information Circular 9465. Pittsburgh, 2003. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/2003-147.pdf>. Acesso em: maio, 2007.

_____. National Institute for Occupational Safety and Health. **NIOSH Respirator Selection Logic 2004**. Publication No. 2005-100. Cincinnati, 2004. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/chapter1.html>. Acesso em: maio, 2007.

ESTADOS UNIDOS. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®) to Chemical Substances and Physical Agents**. 2006 A.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Basic Concepts in Environmental Sciences: Module 3- Characteristics of Particles**. 2006 B. Disponível em: <http://www.epa.gov/eogapti1/module3/collect/collect.htm#intro>

Acesso em: maio, 2007.

ESTADOS UNIDOS. Centers of Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. **Aerosols: Generation and behavior of airborne particles** Cincinatti, 2007 A. Disponível em:
http://www.cdc.gov/niosh/topics/aerosols/pdfs/Aerosol_101.pdf. Acesso em: maio 2007.

_____. **National Institute for Occupational Safety and Health . Aerosol Science & Engineering: Respiratory deposition.** Cincinatti, 2007 B. Disponível em:
<http://aerosol.ees.ufl.edu/index.html>. Acesso em: maio, 2007.

ESTADOS UNIDOS. Mine Safety and Health Administration **A Guide to Work Safely with Silica.** 2007 C. Disponível em:
<http://www.msha.gov/S&HINFO/SILICO/SILICAX.pdf>. Acesso em: maio, 2007

ESTADOS UNIDOS. Occupational Safety & Health Administration. **Factors that can Reduce Cartridge Service Life.** Washington, DC, 2008. Disponível em:
<http://www.osha.gov/SLTC/etools/respiratory/factors/factors.html>. Acesso em: junho 2008

ESTON, S.M. **Introdução à mineração.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Textos de aula; disciplina de nivelamento; Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo -PMI 2995 Introdução à Mineração.

FARIAS, C.E.G. **Mineração e meio ambiente no Brasil.** Relatório Preparado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e patrocinado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Brasil, 2002. Disponível em:
www.cgEE.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf. Acesso em: maio 2007.

FERNANDES, F.R.C. et al. **Tendências tecnológicas Brasil 2015:** geociências e tecnologia mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. Disponível em:
http://www.cetem.gov.br/tendencias/livro/livro_arquivo%20completo.pdf.
 Acesso em: Janeiro 2008

GERMANI, D.J. **A mineração no Brasil**. Relatório final. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:

http://www.cgee.org.br/prospeccao/doc_arq/prod/registro/pdf/regdoc1023.pdf

Acesso em: maio 2007.

GRUEZNER, G. **Avaliação de poeira de sílica**: um estudo de caso em uma pedreira na região metropolitana de São Paulo. 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

HELD, B.J. **History of respiratory protective devices in U.S.** California. 1970.

HINDS, W. C. **Aerosol Technology**: Properties, behavior, and measurement of airborne particles, New York, 1982.

HINDS, W.C.; KRASKE, G. **Performance of Dust Respirators with Facial seal Leaks: I. Experimental**. American Industrial Hygiene Association Journal 48(10). USA, 1987.

IRAMINA, W.S. **Considerações sobre a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica na elaboração do EIA de uma mina de nefelina-sienito**. 2007. Tese (Livre-docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

JONES, T; MORGAN, A; RICHARDS, R. **Primary blasting in a limestone quarry: physicochemical characterization of the dust clouds**. Mineralogical Magazine; April 2003; v. 67; no. 2; p. 153-162. Britain and Ireland 2003.

KULCSAR, F. et al. **Sílica: Manual do Trabalhador**. Fundacentro: São Paulo, 1995.

LARSON, S. **Respiratory Protection**. Global Technical Conference: USA, 2001. Apresentação eletrônica realizada para treinamento durante conferência de técnicos da 3M Company.

MCDONALD, J.D. et.al. **Characterization of Fine Particle Material in Ambient Air and Personal Samples from an Underground Mine.** Aerosol Science and Technology, volume 36, issue 11, p. 1033-1044. USA 2002.

MCKAY, R. **Respiratory Protection Newsletter from Dr. Mckay.** January 2008 edition. Cincinnati. 2008.

MOTYL, E.; LOWKIS, B. **Effect of Air Humidity on Charge Decay and Lifetime of PP Electret Nonwovens.** FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, v. 14; nº. 5 (59). Poland, 2006. Disponível em: <http://zet10.ipee.pwr.wroc.pl/record/17/files/>
Acesso em: junho 2008.

NELSON, T.J. **The assigned protection factor according to ANSI.** American Industrial Hygiene Association Journal n. 57:735-740. 1996.

PINTO, P.C. **Avaliação das condições ambientais na mineração em subsolo.** Revista Escola de Minas n. 59 (3): 311-316. Ouro Preto. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v59n3/v59n3a10.pdf>. Acesso em: junho 2008.

RAMAZZINI, B. **As doenças dos trabalhadores.** São Paulo: Fundacentro, 2000.

RIBEIRO, F.S.N. **Exposição ocupacional à sílica no Brasil: tendência temporal, 1985 a 2001.** 2004. Tese (Doutorado). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

SANTOS, A.M.A. **O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho.** São Paulo: FUNDACENTRO, 2001.

SANTOS, A.M.A. **Exposição Ocupacional a Poeiras em Marmorarias: Tamanhos de Partículas Característicos.** 2005. Tese (Doutorado) - Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SANTOS, A.M.A. et al. **Norma de Higiene Ocupacional – Procedimento técnico – Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho.** NHO 08. São Paulo: FUNDACENTRO, 2007. No prelo.

TAGGARD, I. **The invention of the gas mask**. 2007. Disponível em:

<http://www33.brinkster.com/iiii/gasmask/page.html>. Acesso em: maio 2007.

TANNOUS, K. **Tecnologia da fluidização**: caracterização de partículas. 2004. Laboratório de tecnologia de partículas e processos multifásicos, Universidade de Campinas, 2004. Disponível em: <http://www.fluidizacao.com.br/>. Acesso: maio 2007

TORLONI, M. (Coord.). **Programa de proteção respiratória**: recomendações, seleção e uso de respiradores. São Paulo: FUNDACENTRO, 2002.

TORLONI, M; VIEIRA, A.V. **Manual de proteção respiratória**. São Paulo, 2003.

VIEIRA, A.V. **Avaliação do programa de proteção respiratória em uma mina subterrânea de ouro**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Villa, M.M.M. **Tabela de preços de respiradores atualizada**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <gcgabas@mmm.com> em 30 de jun.2008.