

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À SÍLICA EM MARMORARIAS DE
BELO HORIZONTE, MG

Marco Antônio dos Santos

Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Mestrado em Recursos Hídricos

Prof. Dr. Mauricio Xavier Coutrim
Orientador – DEQUI/UFOP


Ouro Preto, MG. Brasil.

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

 UFOP <small>Universidade Federal de Ouro Preto</small>	Ministério da Educação Universidade Federal de Ouro Preto Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental ICEB - Campus – Morro do Cruzeiro Ouro Preto – MG – CEP 35.400-000 Fone: (031)3559-1725 E-mail: proagua@iceb.ufop.br
---	--

“Exposição Ocupacional à Sílica em Marmorarias em Belo Horizonte-MG”

Autor: Marco Antônio dos Santos

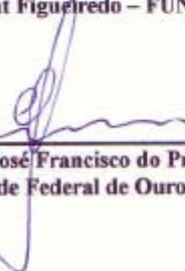
Dissertação defendida em 26 de janeiro de 2007 e aprovada em 03 de abril de 2007, pela banca examinadora constituída pelos professores:



Professor Dr. Mauricio Xavier Coutrim - Orientador
DEQUI/Universidade Federal de Ouro Preto



Dr. Eduardo Algranti
Fundação Jorge Duprat Figueiredo – FUNDACENTRO/SP



Professor Dr. José Francisco do Prado Filho
Universidade Federal de Ouro Preto

“Os rios são caminhos em marcha e que nos levam aonde queremos ir.”

Pascal, Filósofo Francês do Séc. XVII.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela oportunidade de tentar tornar-me um verdadeiro mestre. Muito Obrigado

Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurício Xavier Coutrim, pela paciência de sempre, e pela confiança depositada durante esse curto, longo período. Muito Obrigado

Aos amigos da Gerência de Saúde do Trabalhador, em especial a Cristina Werneck, nossa gerente, e as amigas Jussara Silva, Andréa Belloni, e Carla, apoio importantíssimo. Muito Obrigado.

À FUNDACENTRO na pessoa da Marta de Freitas e do Lênio Sérgio Amaral, que viabilizaram os trabalhos de campo desta dissertação. Muito Obrigado

Ao Dr. Eduardo Algranti, pelo suprimento extra de oxigênio e, por estender a mão amiga. Muito Obrigado.

Aos amigos participantes do Projeto marmorarias de Belo Horizonte pelas informações que alimentaram esta dissertação. Muito Obrigado.

Ao Ronaldo Pedro de Freitas, pelo apoio e pelos constantes debates sobre higiene, que sempre me enriqueceram. Muito Obrigado.

A todos que viabilizaram suas dissertações “on line”, importantíssimas para esse trabalho. Em especial a Ana Bon, Alcinéa e Professor Raul Zanoni. E às informações disponibilizadas pelo Paulo Rogério, do INSS. Muito Obrigado.

Ao Cid Chiodi e a Denize por disponibilizarem inúmeros artigos. Muito Obrigado

Aos colaboradores da reta final, pelo suprimento extra de oxigênio. Muito obrigado

A figura querida de meu velho pai, e de minha grande mãe, pelos ensinamentos. Muito Obrigado. Muito Obrigado. Muito Obrigado

Aos irmãos Eduardo e Giuliano, sempre conselheiros, e Taciano Junior, pela administração de minha vida pessoal e especial paciência. Muito Obrigado.

A todos que torceram pelo meu sucesso. E não são poucas, estas pessoas. Sinto cada um de vocês comemorando junto comigo esta vitória. Muito Obrigado.

A todas as pessoas que abandonei durante essa árdua missão. Mil perdões.

Muito Obrigado a todos

RESUMO

A presente dissertação aborda a avaliação da exposição ocupacional à poeira mineral contendo sílica cristalina no ambiente de trabalho em marmorarias na cidade de Belo Horizonte. Este estudo teve como objetivo principal estimar as concentrações de poeiras minerais contendo sílica cristalina nas marmorarias estudadas, comparando os resultados com os diferentes limites de referência. Foram coletadas 47 amostras de material particulado para determinação das concentrações de poeira em 10 marmorarias de Belo Horizonte, nos meses de setembro e outubro de 2003. Em quase todas as empresas foram feitas cinco avaliações simultâneas, sendo 04 pessoais e 01 amostra ambiental ou de área. Os resultados mostraram uma grande variação nas concentrações de poeira nas amostras coletadas, sendo encontrado desde valores inferiores ao limite de tolerância estabelecido pela legislação brasileira até valores 20 vezes acima desse limite. Com relação ao limite recomendado pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) em 2004 para a sílica, encontrou-se resultado correspondente a uma concentração de sílica equivalente a cerca de quarenta vezes esse limite. Dos principais fatores responsáveis pelas variações das concentrações, podem ser destacados: distância em relação à fonte; tipo de rocha trabalhada; o ritmo de produção; existência ou não de medidas de controle e a sua eficiência. Os resultados mostraram que a situação das marmorarias avaliadas é preocupante, pois praticamente todos os trabalhadores das marmorarias estão expostos aos materiais particulados por elas gerados, independentemente da função desempenhada. Observou-se também que, das medidas de controle existentes, somente no acabamento em que se utiliza água (via úmida), os valores das concentrações ficaram dentro dos limites aceitáveis. Pelas características das demais marmorarias, podem-se estender os resultados para todas as marmorarias de Belo Horizonte, ou mesmo do Brasil. Diante deste quadro, e, considerando o caráter carcinogênico da sílica e o seu alto risco de gerar doenças crônicas progressivas e irreversíveis, medidas de controle urgentes devem ser adotadas no sentido de se buscarem melhorias nas condições de saúde e segurança dos trabalhadores deste ramo de atividade.

SUMMARY

This study is related to the occupational exposure to mineral dust containing crystalline silica, found in ten marble processing sites in the city of Belo Horizonte. The main objective was to determine the crystalline silica concentration encountered in the mineral dust at these sites and compare the results with the occupational reference values. Forty-seven airborne dust samples were collected in these sites in the months of September and October of 2003. Five simultaneous evaluations were performed, of which four were personal and one was environmental. The evaluation results presented great concentration variations. There were values ranging from below-Brazilian-occupational reference values to twenty times more than these values. When compared to the ACGIH recommended occupational reference values, the results were almost 40 times higher. These variations were caused mainly by the distance in relation to the source, the type of rock being processed, the production speed, and the existence or not of control procedures and their efficiency. The results showed that the situation at the appraised sites is worrisome, because almost all the workers, independent of function, are exposed to the crystalline silica. Also, during the control procedures, only the wet process presented acceptable concentration values.

These results can be extended to include other marble processing sites in Belo Horizonte and Brazil, in general, as they present similar characteristics. Therefore, control actions are required, since the silica is carcinogenic and may bring progressive and irreversible chronic diseases to the workers.

ÍNDICE

RESUMO	v
SUMMARY	vi
ÍNDICE	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Panorama Mundial e Nacional de Rochas Ornamentais	6
3.1.1 Relevância Histórica	6
3.1.2 Panorama Nacional.....	6
3.2 Rochas	10
3.2.1 Rochas Silicáticas – Granitos.....	11
3.2.2 Rochas Carbonáticas – Mármore e Calcários	11
3.3 Minerais - Sílica - Quartzo	12
3.4 Poeiras.....	13
3.5 Pneumoconioses	16
3.5.1 Silicose.....	16
3.5.2 Efeitos sobre a saúde.....	18
3.5.3 Dos expostos à sílica no Brasil	19
3.6 Eliminação da Silicose	19
3.6.1 Panorama Mundial	19
3.6.2 Panorama Nacional.....	20
3.7 As Marmorarias	23
3.7.1 Perfil das empresas do município de Belo Horizonte	23
3.7.2 Descrição dos ambientes de trabalho nas marmorarias.....	23
3.7.3 Do processo produtivo	24
3.8 Limites de exposição ocupacional - LEO	30

3.8.1 Limites de tolerância para poeiras minerais e sílica no mundo	30
3.8.2 Limite de Tolerância para poeiras no Brasil.....	32
3.8.3 Efeitos combinados para exposição a misturas de poeiras	34
3.9 Estratégia de Amostragem.....	37
3.9.1 Evolução histórica das avaliações ambientais.....	37
3.9.2 Objetivos de uma avaliação	37
3.9.3 Etapas para a elaboração de uma estratégia de amostragem.....	39
3.9.3.1 Avaliação qualitativa	39
3.9.3.2 Avaliação quantitativa.....	40
3.9.4 Seleção da Estratégia de Amostragem	40
3.9.5 Definição da estratégia de amostragem	43
3.9.5.1 Onde devem ser feitas as avaliações	43
3.9.5.2 Quando e por quanto tempo conduzir as amostragens	44
3.9.5.3 A seleção de trabalhadores - Grupo de Exposição Homogêneo (GEH).....	50
3.9.6 Da amostragem	54
3.9.7 Tomada de decisão e a qualidade das avaliações	54
3.10 Medidas de controle.....	55
3.10.1 Os fatores que devem ser considerados na implantação de controles	56
3.10.2 Controle dos riscos.....	57
3.10.2.1 Medidas de controle na fonte.....	57
3.10.2.2 Medidas de controle na transmissão	59
3.10.2.3 Medidas de controle no trabalhador	65
4 METODOLOGIA	69
4.1 Critérios de seleção de amostras.....	70
4.1.1 Porte das empresas	70
4.1.2 Existência de tecnologias de proteção coletiva	70
4.1.3 Tipos de leiaute.....	71
4.1.4 Segregação da atividade de acabamento	71
4.1.5 Tipo de rocha trabalhada.....	71
4.2 Das empresas selecionadas e das razões da escolha.....	72
4.3 Metodologia de Avaliação – Estratégia de Amostragem Utilizada	74
4.4 Aparelhagem Utilizada.....	76

4.5 Procedimentos analíticos.....	78
4.6 Cálculos das concentrações.....	79
4.6.1 Volume de amostragem.....	79
4.6.2 Concentração de poeira.....	79
4.6.3 Limite de tolerância (LT) pela Legislação Brasileira.....	80
4.6.4 Limite de exposição ocupacional (LEO) pela ACGIH.....	80
5 RESULTADOS.....	82
5.1 Resultados por empresas.....	83
5.2 Resultados por função em todas as empresas.....	94
5.2.1 Acabadores.....	94
5.2.2 Serradores.....	95
5.2.3 Ambientais.....	97
5.2.4 Polidores.....	98
5.2.5 Escritório.....	99
5.3 Relação entre a concentração de poeira e os diferentes limites de referência.....	100
6 DISCUSSÕES.....	104
6.1 Das limitações do trabalho.....	104
6.2 Dos resultados alcançados.....	105
6.2.1 Distância em relação à fonte de poeira.....	107
6.2.2 Tipo de rocha trabalhada.....	108
6.2.3 O ritmo de produção.....	109
6.2.4 Existência das medidas de controle e a sua eficiência.....	109
6.2.4.1 Sistemas de acabamento por via úmida.....	110
6.2.4.2 Sistemas de ventilação geral.....	112
6.2.4.3 A combinação das tecnologias de proteção coletivas.....	114
6.2.4.4 A segregação do acabamento em relação às demais áreas de trabalho.....	115
6.2.4.5 As medidas de controle de caráter administrativo.....	116
7 CONCLUSÃO.....	119
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Principais Produtores Mundiais de Rochas Ornamentais e de Revestimentos.....	7
Tabela 3.2 – Quantificação das Diferentes Aplicações de Mármore e Granitos no Brasil - Base 2002.....	9
Tabela 3.3 – Variação da porcentagem de sílica admissível por concentração máxima permitida (CMP).....	30
Tabela 3.4 - Guias e Limites para exposição ocupacional à sílica cristalina.....	32
Tabela 3.5 – Diâmetro aerodinâmico da partícula e a porcentagem de passagem pelo seletor.....	34
Tabela 3.6 - Número de trabalhadores amostrados num GEH com a confiança requerida para selecionar pelo menos um trabalhador do subgrupo dos 10% mais expostos.....	53
Tabela 3.7 - Recomendações de EPR para sílica cristalina.....	68
Tabela 5.1 – Concentração de poeira e concentração de sílica encontrada nas marmorarias de Belo Horizonte.....	82
Tabela 5.2 - Número de vezes em que a concentração de poeira ultrapassou os diferentes níveis de referência.....	102
Tabela 5.3 – Número médio de vezes em que a concentração de poeira nas amostras ultrapassou os diferentes níveis de referência.....	103
Tabela 5.4 – Percentual de amostras que ultrapassaram os diferentes níveis de referência para todas as funções nas marmorarias avaliadas.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Distribuição da Produção Nacional das Rochas Ornamentais	08
Figura 3.2 – Visão Geral de Uma Marmoraria Típica	24
Figura 3.3 – Polimento de Chapas Utilizando Polítriz Manual com Um Cabeçote 26	
Figura 3.4 – Corte de Chapas	27
Figura 3.5 – Acabamento a seco de bordas	28
Figura 3.6 – Acabamento a úmido de bordas.....	28
Figura 3.7 – Diferentes tipos de amostragem, de acordo com a estratégia eleita ...	49
Figura 3.8 – Visualização esquemática de um sistema de ventilação geral.....	62
Figura 3.9 – Efeitos do deslocamento do ar na ventilação para o trabalhador.....	63
Figura 3.10 – Relação entre o fluxo de ar e a distância em relação à face.....	65
Figura 4.1 – Modelo de conjunto amostrador	76
Figura 5.1 – Marmoraria MH - Brasil.....	84
Figura 5.2 – Marmoraria TR - Brasil	85
Figura 5.3 – Marmoraria NO - Brasil.....	86
Figura 5.4 – Marmoraria TX - Brasil	87
Figura 5.5 – Marmoraria PP - Brasil.....	88
Figura 5.6 – Marmoraria PT - Brasil.....	89
Figura 5.7 – Marmoraria RE - Brasil	90
Figura 5.8 – Marmoraria MA - Brasil	91
Figura 5.9 – Marmoraria VI - Brasil	92
Figura 5.10 – Marmoraria BA - Brasil	93
Figura 5.11a – Acabadores - Brasil	95
Figura 5.11b – Acabadores - ACHIH.....	95
Figura 5.12a – Serradores - Brasil.....	96
Figura 5.12b – Serradores – ACGIH	97
Figura 5.13a – Ambientais – Brasil	98
Figura 5.13b – Ambientais - ACGIH	98

Figura 5.14a – Polidores - Brasil	99
Figura 5.14b – Polidores - ACGIH.....	99
Figura 5.15a – Escritório - Brasil	100
Figura 5.15b – Escritório - ACGIH.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
CMP	Concentração Máxima Permitida
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPR	Equipamento de Proteção Respiratória
GEH	Grupo de Exposição Homogêneo
LEO	Limites de Exposição Ocupacional
LT	Limites de Tolerância
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PVC	Policloreto de vinila
TLV	Threshold Limit Value
TWA	Time-Weighted Average

1 INTRODUÇÃO

O trabalho é indispensável para o homem, para sociedade e para o desenvolvimento de nações, porém, doenças profissionais e prejuízos à saúde acontecem diariamente ao longo do mundo, devido à falta ou inadequação de medidas de controle nos ambientes de trabalho (WHO, 1999).

Apesar de toda evolução tecnológica hoje existente, muitos processos de trabalho envolvem operações que se não forem corretamente planejadas, controladas e administradas, poderão causar considerável exposição às poeiras e causar efeitos adversos à saúde, além de danos ao meio ambiente de trabalho (WHO, 1999).

As doenças decorrentes de exposições ocupacionais tornaram-se presentes na prática da clínica de rotina. Dentre elas, as relacionadas ao aparelho respiratório apresentam-se como de grande relevância, tanto pela sua gravidade como pela dificuldade em seu controle e prevenção.

As doenças respiratórias relacionadas ao trabalho constituem-se num dos principais problemas de saúde ocupacional, destacando-se dois grupos principais: as das vias aéreas, tendo como principal exemplo a asma ocupacional, e as do tecido pulmonar onde se destacam as pneumoconioses (Algranti, 2001).

A poluição do ar em ambientes de trabalho associa-se a uma extensa gama de doenças respiratórias. A principal pneumoconiose no Brasil é a silicose, devido ao elevado número de trabalhadores expostos. A silicose é uma doença pulmonar causada pela inalação de poeira contendo sílica livre cristalina (particulado de quartzo liberado no beneficiamento do mármore e granito e em diversas outras atividades produtivas), de desenvolvimento lento, podendo progredir, independentemente do término da exposição, ou seja, de evolução progressiva, que pode levar à incapacidade para o trabalho. É irreversível e não passível de tratamento, podendo cursar com graves transtornos para a saúde do trabalhador, com evidente e grave impacto sócio-econômico (Algranti, 2001).

A maior casuística nacional é proveniente da mineração subterrânea de ouro em Minas Gerais, onde havia cerca de 4000 casos diagnosticados até 1992 (Algranti, 2005).

A escolha do ramo de beneficiamento de rochas e pedras ornamentais, doravante aqui chamadas de marmorarias, para estudo da exposição ocupacional, deveu-se a três

razões principais:

Primeiro, pela importância econômica deste ramo de atividade no país, onde a força do setor de rochas pode ser mensurada ao verificar-se que a produção mundial de suas matérias-primas evoluiu de 1,5 milhões t/ano na década de 20 para o patamar de 75,0 milhões de toneladas em 2003, com previsão de 450 milhões t/ano em 2025 (Chiodi Fo., 2005).

Segundo, para dar continuidade ao Projeto Marmorarias de Belo Horizonte (2004), desenvolvido pelo Serviço de Saúde do Trabalhador, dentro da Secretaria de Saúde de Belo Horizonte, MG. Embora nesse Projeto as atividades em marmorarias tenham sido identificadas como uma das mais importantes em se tratando de exposição à sílica, não se identificavam agravos em seu Sistema de Informação e o mesmo dispunha de poucos dados quantitativos sobre a exposição ocupacional à sílica, e estes, quando existentes, não eram confiáveis, pelas diferentes técnicas de coleta utilizadas.

Também foram observados problemas ambientais causados pelos efluentes líquidos (finos de corte) e pelos resíduos sólidos (entulhos) gerados no processo de produção, pelo ruído ambiental, dentre outros.

No processo produtivo das marmorarias, os problemas mais frequentes e graves encontrados são a geração, emissão e dispersão de poeira no ambiente de trabalho. Pelas características dessas empresas, pode-se observar que as poeiras provenientes dos processos de acabamento de mármore e granitos se espalham por todo o ambiente de trabalho e representam sério risco à saúde de todos que ali trabalham, por apresentarem, na maioria das vezes, concentrações elevadas em ambientes sem qualquer controle ou com controle ineficiente. É a chamada socialização dos riscos.

A socialização dos riscos é um dos fatores mais marcantes das marmorarias onde geralmente ocorre a exposição compartilhada da poeira e dos demais agentes ambientais por todos os setores de trabalho.

Efetivamente, a socialização ocorre por várias razões, dentre as quais se podem citar:

- As pequenas dimensões dos estabelecimentos que, em geral, funcionam em galpões com áreas aproximadas de 360 m², constituindo um ambiente único;
- Acabamento a seco dado às rochas junto das demais áreas de trabalho e

sem medidas de controle;

- Leiaute inadequado da marmoraria obrigando que os trabalhadores circulem por toda a área, por exigência do fluxo de produção.

Terceiro, pelo risco da exposição à poeira contendo sílica ser um dos mais importantes em termos ocupacionais. Dado o caráter carcinogênico da sílica e o seu alto risco de gerar doenças crônicas progressivas e irreversíveis, qualquer nível de exposição requer atenção e demandam políticas de controle e redução da exposição a níveis compatíveis com o pleno desenvolvimento humano.

Nesse sentido, medidas diferenciadas devem ser postas em prática, além daquelas de naturezas individual e coletiva de proteção aos trabalhadores, como estratégias econômicas e sociais capazes de conjugar ações que inibam o uso de tecnologias poluidoras e a adoção de mudanças tecnológicas nos processos produtivos devem ser as bases da prevenção da exposição ocupacional à sílica (Ribeiro, 2004).

No Brasil, a população potencialmente exposta à sílica, na década de 90, foi estimada em 6.600.000 pessoas, das quais 500.000 em mineração e garimpo, 2.300.000 na indústria de transformação e 3.800.000 na construção civil (Algranti, 2001).

Ribeiro (2004) demonstrou que sete setores econômicos concentram a exposição à sílica no Brasil: construção civil, indústria de extração mineral (mineração e pedreira), indústria de mineral não metálico (cerâmica, vidro e cimento), metalurgia (fundição), agricultura e administração de serviços técnico e pessoal.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação selecionou 10 empresas para conhecimento detalhado do processo produtivo e reconhecimento dos riscos. Foram coletadas 47 amostras de material particulado. Em cada uma das empresas avaliadas foram feitas cinco avaliações simultâneas, sendo 04 pessoais e 01 amostra ambiental ou de área para determinação das concentrações de poeira.

Dentre as variáveis que fizeram parte deste estudo, podem-se destacar o tamanho das empresas, a existência de tecnologias de proteção coletiva, os tipos de leiaute, a segregação do acabamento e o tipo de rocha trabalhada.

Também foi feito um estudo comparativo das metodologias de coleta de poeira utilizadas na prática da higiene industrial das micro e pequenas empresas. Nessas empresas geralmente é feita uma única avaliação de poeira e a única função avaliada é a

de acabador. Dessa forma, com este trabalho, se pretendeu verificar a existência de riscos para outras funções nas marmorarias uma vez que, de maneira geral, o ambiente de trabalho é único e os riscos estão socializados.

Estudos com metodologias adequadas, que permitam dimensionar a gravidade da exposição à sílica no Brasil, são poucos e especialmente localizados (Ribeiro, 2004).

Uma abordagem prática sobre os diferentes mecanismos de proteção coletiva utilizados pelas empresas de Belo Horizonte também foram analisados nesta dissertação, dentre os quais se podem destacar: sistemas de acabamento por via úmida, sistema de ventilação geral, a segregação do acabamento em relação às demais áreas de trabalho e a combinação de medidas de proteção coletivas. Medidas de controle de caráter administrativo como o uso dos equipamentos de proteção individual - EPIs e as diferentes práticas de trabalho também foram abordadas, mas de uma forma superficial.

Finalmente, foi feita uma abordagem sobre pontos considerados cruciais para a elaboração de uma adequada metodologia de coleta, envolvendo o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA e o Limite de Exposição Ocupacional – LEO para a sílica.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo principal conhecer os níveis de concentrações de poeiras minerais contendo sílica cristalina no ambiente de trabalho de marmorarias do município de Belo Horizonte, MG, comparando-as com os diferentes limites de referência existentes.

São objetivos secundários:

- Conhecer o processo de trabalho, identificando riscos potenciais à saúde dos trabalhadores relacionados com a exposição às poeiras contendo sílica cristalina;
- Conhecer e estudar a variabilidade espacial das concentrações de sílica ao longo de toda jornada de trabalho;
- Conhecer a influência nas demais atividades produtivas dos contaminantes gerados no acabamento a seco;
- Avaliar a eficiência das medidas de controle já implementadas pelas empresas;
- Propor melhorias nas condições de saúde e segurança no trabalho neste ramo de atividade econômica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama Mundial e Nacional de Rochas Ornamentais

3.1.1 Relevância Histórica

O desenvolvimento das atividades integradas à cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais e de revestimento é relativamente recente no Brasil (Chiodi Fo., 2005). As atividades de lavra foram iniciadas na década de 40, com a descoberta de muitas variedades de mármore e granitos em Cachoeiro de Itapemirim, ES, e nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A partir do fim da década de 60, os granitos começaram a apresentar um aumento de demanda mundial muito superior aos mármore, passando o Brasil a ser conhecido internacionalmente como produtor e exportador de granitos brutos, a partir do início da década de 70. O beneficiamento industrial começou efetivamente na década de 70 e as exportações na década de 90.

A força do setor de rochas ornamentais pode ser mensurada ao verificar-se que a produção mundial de suas matérias-primas evoluiu de 1,5 milhões t/ano na década de 20, para o patamar de 75,0 milhões toneladas em 2003. O vigoroso incremento do mercado internacional caracterizou as décadas de 80 e 90 como “a nova idade da pedra”, destacando-se o setor de rochas como uma importante nova área de negócios minero-industriais (Chiodi Fo., 2005).

As estimativas indicam que estão em operação em todo o mundo 40.000 empresas – a maioria de pequeno e médio porte – empregando diretamente pelo menos 1.500.000 pessoas em extração e processamento de rochas ornamentais (Vale, 1997).

3.1.2 Panorama Nacional

No Brasil, a despeito de enfrentar desafios consideráveis e muito ter a evoluir, já que se trata de segmento da indústria mineral nacional com apenas 30 a 40 anos de atividade mais intensa e disseminada, a atuação do setor produtivo de rochas ornamentais tem possibilitado ao país participar de forma significativa no mercado

mundial, prática favorecida pela singular diversidade e ótima aceitação das matérias-primas brasileiras, especialmente granitos (Mello, 2004).

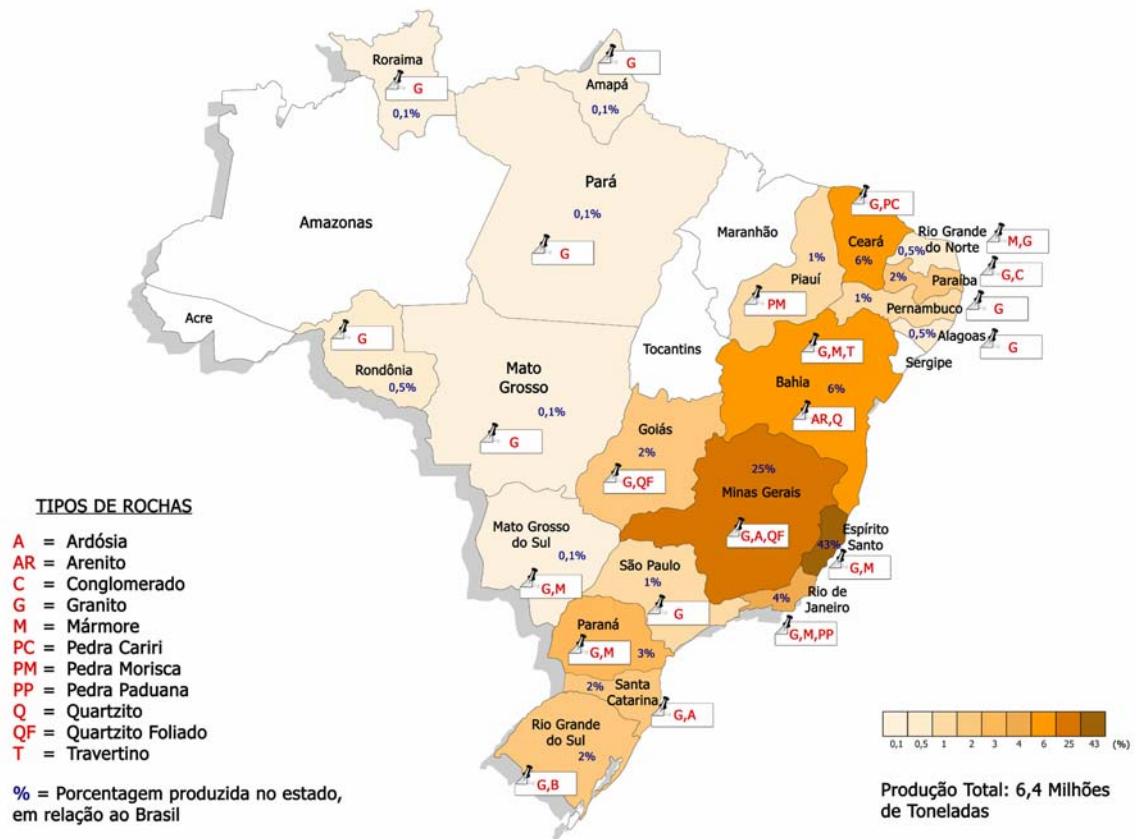
Ao lado da Itália, China, Índia, Espanha e Turquia, o Brasil coloca-se no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais e de revestimento e o mais rico em granitos (Tabela 3.1). Já os mármore não possuem competitividade mundial. A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento foi estimada em 6,45 milhões de toneladas no ano de 2004, abrangendo cerca de 600 variedades comerciais derivadas de 1.500 frentes ativas de lavra (Chiodi Fo., 2005).

Tabela 3.1 - Principais Produtores Mundiais de Rochas Ornamentais e de Revestimentos

Países	2001		2002		2003	
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%
<i>China</i>	11.500	17,6	14.000	20,8	17.500	23,3
<i>Itália</i>	8.400	12,9	8.000	11,9	7.850	11,0
<i>Índia</i>	6.000	9,2	6.500	9,6	8.500	11,3
<i>Espanha</i>	5.500	8,5	5.350	7,9	5.750	7,7
<i>Irã</i>	4.000	6,2	4.250	6,3	4.850	6,5
<i>Brasil</i>	2.500	3,8	2.750	4,1	3.200	4,3
<i>Portugal</i>	2.400	3,7	2.300	3,4	2.250	3,0
<i>Turquia</i>	2.250	3,5	2.500	3,7	3.250	4,3
<i>EUA</i>	1.850	2,8	2.000	3,0	2.250	3,0
<i>Grécia</i>	1.600	2,5	1.500	2,2	1.450	1,9
Outros	19.000	29,2	17.850	26,5	18.150	24,2
Total	65.000	100,0	67.500	100,0	75.000	100,0
Fonte: Chiodi Fo., 2005						

Na Figura 3.1 a seguir, pode ser visto o perfil de produção, por tipo de rocha, e a sua distribuição pelas regiões e estados brasileiros.

DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO NACIONAL DAS ROCHAS ORNAMENTAIS



Fonte: Chiodi Fo., 2005

Figura 3.1 – Distribuição da Produção Nacional de Rochas Ornamentais

No mercado interno é feita a comercialização de insumos pétreos entre os elos centrais da cadeia produtiva. Assim, blocos vão das mineradoras para as serrarias e produtos semi-acabados das serrarias às marmorarias. Marmorarias também podem ser abastecidas por empresas revendedoras de chapas (Mello, 2004).

Marmorarias dedicam-se exclusivamente ao beneficiamento final e sua produção envolve a elaboração, a partir de materiais semiprocessados, de produtos acabados, sejam eles padronizados, sob medida, ou personalizados, dos tipos funcionais

ou decorativos. (Mello, 2004).

Por sua vez, a estrutura de demanda dos produtos comerciais do setor de rochas no mercado interno é segmentada em duas vertentes principais: a das grandes construtoras, que são abastecidas pelas serrarias e responsáveis pela realização de edifícios públicos, comerciais e residenciais; a das pequenas empresas e consumidores particulares, responsáveis por edificações comerciais e residenciais de pequeno porte - obras de construção e reforma (Chiodi Fo., 2005), por vendas sob medida efetuadas diretamente pelas marmorarias, ou ainda por depósitos e *shoppings* de materiais de construção em geral, por venda de produtos prontos para o consumidor final (Mello, 2004).

Na Tabela 3.2, são apresentados as diferentes aplicações de mármore e granitos no Brasil (Chiodi Fo., 2005).

Tabela 3.2 – Quantificação das Diferentes Aplicações de Mármore e Granitos no Brasil - Base 2002

Aplicações	Participação %	Milhões m ²
Pavimentos Internos e Externos (pisos)	37,0	13,0
Revestimentos Externos (fachadas)	10,0	3,5
Degaus	3,0	1,0
Revestimentos Internos (paredes)	10,0	3,5
Trabalhos Especiais (tampos diversos)	20,0	7,0
Subtotal – Chapas	80,0	28,0
Obras Estruturais (colunas, etc.)	5,0	1,8
Arte Funerária (lápides e adornos)	13,0	4,6
Outros Usos (diversos)	2,0	0,7
Subtotal – Outros Usos	20,0	7,0
Total	100,0	35,1

Fonte: Chiodi Fo., 2005.

Estima-se a existência de 12.000 empresas do setor de rochas atuantes no Brasil, responsáveis pela geração de 125.000 empregos diretos e outros 360 mil indiretos e um parque de beneficiamento com capacidade de serragem e polimento para 50 milhões m²/ano de granitos, mármore e travertinos (Chiodi Fo., 2005).

Cerca de 1.800 empresas atuam nos segmentos de lavra, beneficiamento e marmorarias em Minas Gerais, representando investimentos da ordem de trezentos milhões de dólares (Chiodi Fo., 2005).

A região sudeste do Brasil detém a liderança nacional no setor de rochas ornamentais e de revestimento, respondendo por cerca de 70 % da produção e 80 % do consumo e exportações brasileiras, bem como, concentrando um dos maiores parques mundiais de beneficiamento e comercialização (Chiodi Fo., 2005).

3. 2 Rochas

As rochas são as principais unidades formadoras da crosta terrestre, constituindo materiais consolidados resultantes da união natural de minerais.

Os termos rochas ornamentais e para revestimento ainda não são consensualmente definidos. Simplificadamente pode-se entender como rocha ornamental, os materiais rochosos aproveitados pela sua aparência estética e utilizados como elemento decorativo em trabalhos artísticos e como material para construção (Mello, 2004).

As rochas utilizadas para ornamentação e revestimento, também designadas rochas lapídeas, rochas dimensionais e rochas de cantaria, abrangem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadreamento, polimento, flameamento, etc. (Chiodi Fo., 2005).

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente subdivididas em granitos e mármore. Como granitos enquadram-se, genericamente, as rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam, *lato sensu*, as rochas carbonáticas (Chiodi Fo., 2005).

3.2.1 Rochas Silicáticas – Granitos

A classe mineral mais importante é a dos silicatos, pois aproximadamente 25% dos minerais conhecidos e quase 40% dos comuns são silicatos. Com algumas exceções de menor significação, todos os minerais que formam as rochas ígneas são silicatos, constituindo assim bem mais de 90% da crosta terrestre (Dana, 1974).

Para o setor de rochas ornamentais e de revestimento, o termo granito designa um amplo conjunto de rochas silicáticas, abrangendo monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, diabásios/basaltos e os próprios granitos (Chiodi Fo., 2005).

A composição mineralógica dos “granitos” é assim definida por associações muito variáveis de quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), anfibólios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Os granitos com cores mais claras contêm maiores percentuais de sílica cristalina (25-45%), enquanto que os mais escuros contêm menos (0-15%). Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Quartzo, feldspatos, micas e anfibólios são os minerais dominantes nas rochas graníticas e granitóides (Chiodi Fo., 2005).

O crescimento recente da participação relativa dos granitos foi, pelo menos em parte, determinado por sua maior durabilidade e resistência frente aos mármore, além dos padrões estéticos não tradicionais e possibilidades de paginação em pisos e fachadas.

3.2.2 Rochas Carbonáticas – Mármore e Calcários

As principais rochas carbonáticas abrangem calcários e dolomitos, sendo os mármore, calcários metamórficos. Os mármore são caracterizados pela presença de minerais carbonáticos com graus variados de recristalização metamórfica (Chiodi Fo., 2005).

No setor de rochas ornamentais e de revestimento, a palavra mármore é usada para indicar qualquer rocha constituída de carbonato de cálcio, susceptível de ser polida e, nestas condições, inclui alguns calcários (Dana, 1974).

Os mármore são basicamente constituídos por carbonato de cálcio (calcita) e carbonato de cálcio e magnésio (dolomita), mais raramente por carbonato de magnésio (magnesita) e também por diversos acessórios (principalmente micas, quartzo e piroxênio). Quando puro, o mármore é de cor branca, mas pode apresentar amplo padrão cromático em consequência dos minerais acessórios e das várias impurezas. Impurezas comuns incluem argilas, quartzo, micas, anfibólios, matéria orgânica/grafitosa e sulfetos, caracterizando-se uma ampla variedade de cores, texturas, desenhos, cristalinidade e conteúdo fóssil (Dana, 1974; Chiodi Fo., 2005).

A resistência ao desgaste é normalmente proporcional à dureza, na escala de Mohs, dos minerais constituintes da rocha. Como calcário, um mármore caracteriza-se pela sua dureza baixa e pela sua efervescência com os ácidos (Dana, 1974).

Rochas silicatadas (graníticas) são mais resistentes que as carbonatadas (mármore e travertinos). Entre os granitos, quanto maior a resistência, maior a quantidade de quartzo. Entre os mármore, quanto maior a resistência, maior o caráter dolomítico (magnesiano).

3.3 Minerais - Sílica - Quartzo

Um mineral é um sólido, homogêneo, natural, com uma composição química definida (mas geralmente não fixa) e um arranjo atômico altamente ordenado. É geralmente formado por processos inorgânicos.

O composto químico dióxido de silício, também conhecido como sílica, é o óxido de silício cuja fórmula química é SiO_2 . O quartzo é o mineral mais abundante da crosta terrestre e possui uma grande variedade de formas na natureza. A sílica e seus compostos constituem cerca de 60% em peso ou 97% em volume de toda a crosta terrestre e são importantes formadoras de rochas ígneas, como os granitos, e metamórficas, como os mármore (Cançado, 1996).

O quartzo, que contém em sua composição 46,7% de silício e 53,3% de oxigênio, em peso, possui dureza 7 e densidade em torno de $2,65\text{g/cm}^3$. Entre todos os minerais, o quartzo é um composto químico de pureza quase completa e possui propriedades físicas constantes. Contudo, as análises espectrográficas mostram que

mesmo seus cristais mais perfeitos têm traços de lítio, sódio, potássio, alumínio, ferro, manganês e titânio e pode se observar, com medições precisas, que as propriedades físicas variam com estas impurezas de menor importância. Ele é inerte, solúvel em ácido fluorídrico e insolúvel nos demais ácidos (Dana, 1974).

Existem pelo menos oito modos diferentes segundo os quais os tetraedros de SiO_2 ligados podem compartilhar todos os átomos de oxigênio para construir uma estrutura tridimensional contínua, eletricamente neutra. Estes oito modos de arranjos geométricos correspondem aos oito polimorfos conhecidos de SiO_2 , dos quais apenas dois são substâncias sintéticas. Os principais polimorfos de SiO_2 são o quartzo, tridimita e cristobalita. Cada um destes tipos estruturais pode ser transformado no outro, unicamente mediante o rompimento das ligações silício-oxigênio e o rearranjo dos tetraedros em um novo padrão (Dana, 1974).

O quartzo é reconhecido como o mineral translúcido, incolor ou fumê, muito freqüente nos granitos, onde pode ocorrer com teores variáveis.

3.4 Poeiras

Os Contaminantes no ar podem ocorrer na forma de gases e vapores ou como aerossóis. Em terminologia científica, um aerossol está definido como um sistema de partículas suspenso dentro de um meio gasoso, que normalmente é o ar. Aerossóis podem existir na forma de pós, sprays, névoas, fumaças e fumos (WHO, 1999).

Poeiras são partículas sólidas geradas por ruptura mecânica de um sólido, como conseqüência de uma operação mecânica. No caso das marmorarias, os principais processos mecânicos geradores de poeira são o corte, acabamento e a furação. Variam em tamanho de 1 até 100 μm e podem ou não ficar em suspensão, dependendo da suas características físicas e das condições ambientais.

A poeira industrial pode ser classificada pelo seu tamanho em sedimentáveis, inaláveis, torácicas e respiráveis, pela sua forma em poeiras ou fibras, e pela sua composição em orgânicas ou inorgânicas. A toxicidade da poeira está diretamente relacionada com sua composição.

Em higiene ocupacional, o tamanho de partícula é descrito normalmente em termos do diâmetro aerodinâmico, que é uma medida das propriedades aerodinâmicas

da partícula. O diâmetro aerodinâmico de uma partícula é igual ao diâmetro de uma esfera hipotética de densidade unitária, que cai sob a ação da gravidade com a mesma velocidade terminal que a partícula (WHO, 1999).

Na poeira, geralmente, ocorrem misturas complexas de componentes e tipos de minerais, de tal modo que é difícil avaliar a exposição à poeira de uma maneira significativamente verdadeira, mesmo conhecendo-se a concentração em massa, a distribuição dos tamanhos e a morfologia das partículas presentes na poeira como um todo (Santos, 2005).

Diversos descritores podem ser usados para caracterizar a poeira, como a concentração em massa das partículas, a concentração em massa de uma das espécies químicas constituintes da poeira, o número de partículas ou as propriedades cristalinas das partículas (Santos, 2005).

A dispersão da poeira gerada nos ambientes de trabalho depende de vários fatores, a saber: tamanho, forma e densidade das partículas; higroscopicidade; condições ambientais como as movimentações naturais e artificiais das massas de ar e de suas velocidades, temperatura e umidade; e leiaute, dentre outros fatores. Quanto mais longa a permanência das partículas no ar, maior a probabilidade delas serem inaladas, e conseqüentemente, maior o risco à saúde dos trabalhadores.

Enquanto as partículas de diâmetro superior a 50 μm depositam-se com rapidez, as menores que 5 μm apresentam uma velocidade de sedimentação muito pequena, podendo permanecer em suspensão durante longo tempo no ambiente de trabalho ou serem arrastadas por correntes de ar até pontos distantes do ambiente de origem (WHO, 1999). Porém, dependendo de condições especiais, mesmo partículas maiores que 100 μm podem entrar em suspensão, mas dificilmente permanecem no ar.

Os aerossóis não apresentam composição constante. Tanto a massa como o número de partículas por volume de aerossol varia com o tempo como conseqüência da sedimentação das partículas maiores pela força da gravidade, do movimento Browniano e da aglutinação das partículas menores. Estas têm pequena tendência para se unirem, porém quando há partículas maiores, as mesmas tendem a agir como núcleos de atração das pequenas. Outro fenômeno que acontece é que as partículas freqüentemente se carregam eletricamente devido a contatos íntimos e fricções. Quando as partículas estão carregadas com o mesmo sinal tendem a ser repelidas, a aglutinação torna-se mais

difícil e, por conseguinte, a sedimentação. Pelo contrário, se elas estão carregadas com sinal diferente, o fenômeno que acontece é o inverso, favorecendo desse modo a concentração e a sedimentação das mesmas. A concentração de poeira depende também da quantidade de energia aplicada ao processo

A interação da luz visível com a poeira em suspensão no ar pode ser mal interpretada, dada à natureza complexa das partículas. Quando forem avistadas nuvens de poeira no ambiente, comuns em marmorarias, é quase certo que partículas de tamanhos potencialmente perigosos estarão presentes. Porém, mesmo se nenhuma nuvem de poeira for visível, as mesmas poderão estar presentes em um nível de concentração perigoso, com tamanhos de partículas invisíveis a olho nu, mesmo sob condições de iluminação normais. Para este caso, em geral, imagina-se equivocadamente, que a ausência de uma nuvem visível representa condições “seguras” de trabalho o que efetivamente não é verdadeiro. (WHO, 1999).

O risco potencial dessas partículas sólidas ou líquidas à saúde depende do tamanho dessas partículas, que definirá o local de deposição das mesmas no interior do trato respiratório. A constituição química dessas partículas também é importante pois muitas substâncias tóxicas fazem parte da sua composição devendo-se a isso a tendência das várias doenças ocupacionais estarem associadas com material depositado em regiões específicas do trato respiratório (ACGIH, 2003).

A influência do tamanho das partículas é de grande importância em higiene industrial, porque dela depende a maior ou menor facilidade da penetração de poeira no organismo.

A ACGIH vem recomendando há anos limites de exposição por seleção de tamanho de partículas para sílica cristalina, em reconhecimento da associação bem estabelecida entre a silicose e as concentrações de massas respiráveis.

Qualquer substância suspensa no ar pode ser inalada, mas para haver penetração de aerossóis líquidos ou sólidos no trato respiratório é necessário que o diâmetro aerodinâmico seja inferior a $10\mu\text{m}$. É denominada “fração respirável¹”. É importante notar que a composição da fração respirável depende do material que a gerou, nem

¹ Definição usada a primeira vez pelo British Medical Research Council (BMRC) em 1952, e internacionalmente adotada em 1959 durante a Johannesburg Pneumoconiosis.

sempre semelhante à composição bruta do mesmo. No caso do granito em que o quartzo representa de 30 a 40 % do material bruto, pode representar apenas 15 a 30% da fração respirável (Algranti, 2005).

Em termos de diâmetro aerodinâmico, apenas 1% das partículas maiores que 10 μm chega a região alveolar, por isso 10 μm é considerado um limite superior prático para deposição nessa região. A máxima deposição na região alveolar ocorre para partículas com diâmetro aerodinâmico aproximado de 2 μm . Partículas com diâmetro maior se depositam mais acima no pulmão, antes de chegar aos alvéolos. Para as partículas menores, a maioria dos mecanismos de deposição torna-se menos eficiente. Então, a deposição é menor para partículas menores que 2 μm , sendo apenas de 10 a 15% para um diâmetro aerodinâmico de 0,5 μm . A maioria dessas partículas é exalada novamente sem serem depositadas. Para partículas ainda menores, a difusão torna-se um efetivo mecanismo. A deposição, então, é mínima para um diâmetro aerodinâmico aproximado de 0,5 μm (Lippmann, 1986; WHO, 1999).

No caso de deposição de partículas nas vias respiratórias humanas, assume-se que os principais mecanismos atuantes são a inércia, sedimentação, difusão (significante apenas para partículas muito pequenas $< 0,5\mu\text{m}$) e a interceptação e, conseqüentemente, diretamente relacionadas às forças de arraste do ar sobre partículas. A sedimentação e impactação são os mecanismos mais importantes (NIOSH, 1978; Hinds, 1982; Lippmann, 1986).

3.5 Pneumoconioses

As pneumoconioses são definidas pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) como doenças pulmonares causadas pelo acúmulo de poeira nos pulmões e reação tissular a presença dessas poeiras. (ILO, 1972).

3.5.1 Silicose

A silicose é uma forma de pneumoconiose conhecida desde a antiguidade causada pela inalação de poeira contendo sílica livre cristalina e caracterizada por inflamação e cicatrização em forma de lesões nodulares nos lóbulos superiores do

pulmão. Provoca, na sua forma aguda, dificuldade respiratórias, febre e cianose. Pode ser confundida como edema pulmonar, pneumonia ou tuberculose.

Estudos mostraram que as aldeias do norte da Tailândia eram chamadas de “aldeias das viúvas” por causa do elevado número de trabalhadores que morriam precocemente em decorrência da silicose. A situação não era muito diferente daquelas ocorridas séculos atrás nas montanhas, e que foram descritas por “Carpathian”, quando escreveu que existiam “sete mulheres para cada homem”, situação ocasionada pelas mortes prematuras sofridas pelos trabalhadores em decorrência da silico-tuberculose (Metadilokul *et al.*, 1988; citados por WHO, 1999).

Segundo Algranti (2005), a principal pneumoconiose no Brasil é a silicose devido ao elevado número de trabalhadores expostos. Algranti (2005) apresenta diversos estudos da literatura sobre o assunto.

Mendes (1978) estimou entre 25 e 30 mil o número de portadores de silicose no Brasil, através de inquérito em hospitais de tisiologia na Região Sudeste.

Minas Gerais é o estado com maior número de casos de silicose, com um registro documentado pelo Ministério da Saúde de 7416 casos (Brasil, 1997; citado por Algranti, 2005).

São poucos os dados estatísticos sobre diagnóstico de silicose e a população de risco. Tal fato pode ser justificado por uma série de razões, dentre as quais se podem citar: o trabalho informal, a subnotificação, dificuldades de diagnóstico e/ou diagnósticos inconclusivos, dentre outros.

A partir de 1994, com a obrigatoriedade por parte das empresas da implantação do Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional – PCMSO (Brasil, 1994), ocorreu um pequeno incremento no número de casos notificados de doenças profissionais. Os poucos que apareceram, são creditados às esparsas pesquisas sobre o assunto espalhadas pelo País e aos serviços ligados à área de saúde do trabalhador, através da busca ativa de casos. São poucos também os estudos produzidos que permitam correlacionar concentrações de poeira no ambiente de trabalho com estudos clínicos, haja vista a ausência de avaliações ambientais representativas das exposições dos trabalhadores.

A silicose representa um sério problema de saúde pública uma vez que, apesar de ser potencialmente evitável, apresenta altos índices de incidência e prevalência, especialmente nos países menos desenvolvidos (Algranti, 2005).

3.5.2 Efeitos sobre a saúde

O risco do desenvolvimento de silicose depende de vários fatores, dentre os quais se destacam a susceptibilidade individual, o tipo de poeira e sua composição química, o diâmetro aerodinâmico das partículas, o tempo de exposição e a concentração de sílica livre cristalina na fração respirável, a quantidade de sílica livre cristalizada inalada e depositada na região dos bronquíolos e alvéolos pulmonares.

Os efeitos sobre a saúde, decorrentes da exposição ocupacional à sílica, são bem conhecidos. A *International Agency for Research on Cancer* (IARC,1997) da Organização Mundial de Saúde reconheceu, em 1997, a sílica como cancerígeno para humanos. Os dados disponíveis na literatura permitem estimar que, o risco cumulativo de silicose (categoria radiológica da Organização Internacional do Trabalho 1/1 ou maior) sob exposição a um nível de $0,1 \text{ mg/m}^3$ por mais de 30 anos, seria de 5 a 10%, enquanto o risco de câncer de pulmão nesta situação de exposição aumentaria mais de 30% (Finkelstein, 2000 citado por Ribeiro, 2004).

O risco de formação de nódulos silicóticos está relacionado às poeiras respiráveis que contenham mais de 7,5% de quartzo na fração respirável. Porém, é necessário lembrar que a presença de outros minerais pode aumentar ou diminuir a toxicidade da sílica. Portanto o raciocínio deve estar embasado, preferencialmente, em medições qualitativas e quantitativas de poeira respirável (Algranti, 2005).

Como a silicose é, em geral, uma doença de desenvolvimento lento e pode progredir independentemente do término da exposição, boa parte dos casos somente será diagnosticada anos após o trabalhador estar afastado da exposição (Algranti, 2005).

O reconhecimento da relação entre a pneumopatia e o ambiente de trabalho é importante, pois o afastamento da exposição pode influir no curso da doença. A relação com o ambiente de trabalho pode ainda alertar para a possível existência de outros casos entre trabalhadores igualmente expostos, devendo levar à adoção de medidas

preventivas coletivas e de controle médico mais eficientes. Importantes também são as consequências legais e trabalhistas decorrentes de tal diagnóstico (Algranti, 2005).

A última revisão realizada pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* em 2002 (NIOSH, 2002) discutiu as relações da sílica não apenas com a silicose, mas também com as doenças auto-imunes e o câncer. A silicose predispõe o organismo a uma série de co-morbidades pulmonares e extrapulmonares como a tuberculose, enfisema e a limitação crônica ao fluxo aéreo, sendo que a associação com a tuberculose é a mais comum delas. A questão da associação entre exposição à sílica e/ou silicose e o câncer de pulmão é polêmica. (Algranti, 2005).

3.5.3 Dos expostos à sílica no Brasil

Ribeiro (2004) estimou a frequência da exposição à sílica e o número de trabalhadores expostos, a partir do Código Brasileiro de Ocupação, em distintos setores econômicos. A situação constatada no estudo da autora reitera que os setores clássicos de exposição à sílica concentraram 98% dos expostos: extração mineral, construção civil, metalurgia, indústria de minerais não metálicos, administração de serviços técnico e pessoal, agricultura e indústria da borracha. As estimativas deste estudo demonstraram que, em média, 14% dos trabalhadores no mercado formal da economia estiveram expostos à sílica em algum nível de frequência entre os anos de 1985 e 2001.

Todavia, as peculiaridades nacionais relacionadas com a precarização do emprego, falta de controle adequado das exposições nos ambientes de trabalho, a convivência próxima de setores com níveis de exposição distintos, bem como a falta de cultura de gestão de risco ambiental e ocupacional sugerem que a situação da exposição à sílica no Brasil pode ser ainda mais preocupante (Ribeiro, 2004).

3.6 Eliminação da Silicose

3.6.1 Panorama Mundial

A prevenção da silicose vem recebendo um tratamento especial por parte da Organização Mundial de Saúde e de seus colaboradores ligados à higiene industrial. Tendo em vista a importância da exposição à sílica como um problema de saúde

pública, a Organização Mundial do Trabalho e a Organização Mundial da Saúde (OMS) lançaram, em 1995, um programa conjunto para reduzir drasticamente a prevalência da silicose no mundo até 2010, e para eliminá-la até o ano de 2030 (ILO, 1995).

Este programa inclui a formulação de políticas nacionais e regionais, com mobilização de recursos financeiros e humanos exigidos para o estabelecimento de um eficiente programa, envolvendo as prevenções primária e secundária, vigilância epidemiológica, monitoramento e avaliação de resultados, que conta com a cooperação entre os governos, diversas instituições e diferentes organizações.

3.6.2 Panorama Nacional

O Brasil difundiu, em junho de 2002, o Programa Nacional de Eliminação da Silicose – PNEs tendo como uma das prioridades promover campanha nacional de difusão da informação sobre os riscos da sílica à saúde dos trabalhadores e as medidas adequadas de prevenção e controle da sua utilização. A Campanha pretende atingir os trabalhadores e empregadores dos setores que fazem utilização da sílica em seus processos de trabalho, elaborando documentos educativos e de esclarecimentos sobre os riscos e a doença, bem como os meios e estratégias que devem ser adotados para prevenção. As pequenas e médias empresas foram priorizadas nesta campanha, devido ao elevado número de casos graves identificados e ao baixo poder de investimento nas questões de segurança e saúde no trabalho (Fundacentro, 2002).

Dois importantes projetos foram desenvolvidos no Brasil nos últimos anos para diagnosticar a situação da exposição à poeira contendo sílica, dentre outros objetivos. Esses projetos, ligados às marmorarias, são apresentados de forma concisa, a seguir.

3.6.2.1 Projeto Marmoristas da cidade de São Paulo

O Projeto Marmoristas foi iniciado em 1999 por iniciativa do Ministério Público do Estado de São Paulo, por meio do Setor de Meio Ambiente e Prevenção de Acidentes, da Promotoria de Justiça de Acidentes de Trabalho da cidade de São Paulo e da Prefeitura de São Paulo. O projeto conta com a cooperação técnica-operacional dos Centros de Referência em Saúde do Trabalhador - CRST da Secretaria Municipal da

Saúde de São Paulo – SMS/SP, com a assessoria técnica da Fundação Jorge Duprat de Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO, e com a participação do Departamento de Pneumologia do Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - INCOR/FMUSP (Santos, 2005).

Tratou-se de um procedimento piloto instaurado no Setor de Meio Ambiente de Trabalho da cidade de São Paulo, com a finalidade de identificar e estabelecer estratégias de ação institucional em relação aos riscos à saúde ocupacional presentes nas marmorarias. À época, observou-se que os riscos de acidentes e doenças do trabalho (especialmente perda auditiva, problemas de coluna vertebral e silicose) presentes nas marmorarias eram, em tese, comuns a praticamente todas as empresas do ramo.

3.6.2.2 O Projeto Especial Marmorarias de Belo Horizonte

A Gerência de Saúde do Trabalhador, órgão da Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte, responsável pelo planejamento e coordenação de ações de saúde do trabalhador no Sistema Único de Saúde – SUS, considerando a contraditória inexistência de registros de dados no seu Sistema de Informação de Acidente do Trabalho - SIAT, elegeu o ramo de atividade das empresas de beneficiamento de mármores e granitos como sendo um dos prioritários para ações de vigilância (Werneck *et al.*, 2004).

Para desenvolvimento destas ações, entre os anos de 2000 e 2003, foi criado o Projeto Especial Marmorarias com o objetivo de detectar precocemente a silicose e perda auditiva, bem como minimizar acidentes diversos e problemas ergonômicos nos trabalhadores ligados a esse ramo de atividade (Werneck *et al.*, 2004).

O trabalho desenvolvido pelo Projeto Especial Marmorarias adotou metodologia própria envolvendo vários critérios, podendo-se destacar:

- Criação de 42 indicadores de saúde e ambientais, para avaliação dos resultados em 4 momentos distintos (M1 a M4), agrupados em 6 categorias: exames médicos, avaliações ambientais, condições de trabalho, instalações elétricas/proteção de máquinas, instalações sanitárias e de conforto, equipamentos de proteção individual;

- Avaliação dos indicadores em todas as marmorarias atuantes no município de Belo Horizonte.

O Projeto Especial Marmorarias, objetivando concretizar uma abordagem intra e interinstitucional, foi discutido com representantes do Sindicato das Indústrias de Mármore e Granito do Estado de Minas Gerais – SIMAGRAN-MG, Confederação Nacional dos Trabalhadores do Setor Mineral, Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Saneamento Urbano - SMMAS, Secretaria Municipal de Regulação Urbana - SMRU, Superintendência de Limpeza Urbana - SLU e Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA (Werneck *et al.*, 2004).

A contaminação ambiental encontrada nos efluentes líquidos (finos de corte) e nos resíduos sólidos (entulhos) gerados no processo de produção, na atmosfera (ruído e poeira) e, a condição de irregularidade das empresas (regularidade jurídico-fiscal, relações de trabalho, etc.) motivaram essa abordagem intra e interinstitucional, sempre buscando ações conjuntas (Werneck *et al.*, 2004).

Dentre as empresas vistoriadas pelas equipes, no período compreendido entre janeiro de 2000 a março de 2003, foram selecionados e encaminhados alguns trabalhadores para avaliação clínica, segundo critérios previamente definidos, dada especial atenção aos acabadores com mais de três anos na função (Werneck *et al.*, 2004).

Segundo dados divulgados por este Projeto no início de 2005, quanto à monitoração biológica um total de 39 trabalhadores fora atendido pelo serviço médico da SMSA, sendo realizadas 28 audiometrias, com 6 alteradas, sugestivas de Perda Auditiva Induzida por Ruído - PAIR (21,4%); 19 Raios X de tórax, com 6 alterados (31,6%), de padrão não relacionado ao diagnóstico de silicose; 19 espirometrias, com 5 alteradas (26.3%), também sem indicação de relação com silicose. Apenas um diagnóstico de silicose foi confirmado (Werneck *et al.*, 2004).

3.7 As Marmorarias

3.7.1 Perfil das empresas do município de Belo Horizonte

A maioria das marmorarias do município de Belo Horizonte é constituída por micro e pequenas empresas, num setor da economia que empregava aproximadamente 1.027 trabalhadores, em condições precárias de trabalho (Werneck *et al.*, 2004).

A média de trabalhadores, incluídos os informais, é de 5 por estabelecimento (mínimo de 1 e máximo de 37), sendo que 88% deles possuem até 3 trabalhadores (Werneck *et al.*, 2004).

Cerca de 95% dos trabalhadores é do sexo masculino, com faixa etária média entre 18 e 45 anos. As mulheres ocupam postos de trabalhos relacionados às funções administrativas e de serviços gerais. A jornada de trabalho é de 44 horas semanais e o salário varia entre 2 e 4 salários mínimos (Werneck *et al.*, 2004).

Uma característica marcante das marmorarias é a predominância de empreendimentos essencialmente familiares, em que há a presença de vários membros da família trabalhando lado a lado no processo produtivo, sob as mesmas condições de trabalho que os seus empregados.

Nestas empresas observam-se grandes diferenças entre os estágios tecnológicos e as estruturas organizativas, embora haja a predominância de pequena incorporação tecnológica e escassos investimentos em saúde e segurança do trabalho.

3.7.2 Descrição dos ambientes de trabalho nas marmorarias

As marmorarias possuem um aspecto geral bastante semelhante e comum. Na maioria dos casos, as instalações físicas compreendem: escritório; área de produção onde são realizados corte, polimento e acabamento de pedras; copa/cozinha; sanitários/vestiários para empregados; almoxarifado e área livre descoberta para estoque de matéria-prima e rejeitos (Figura 3.2).



Figura 3.2 – Visão Geral de uma Marmoraria Típica

De modo geral, as bancadas de trabalho são de alvenaria, embora seja comum a utilização de mesas de apoio improvisadas sobre cavaletes de madeira, de ferro ou sobre tambores de aço. Os tampos das bancadas são geralmente constituídos por chapas de mármore, granito ou ardósia.

O maquinário utilizado pelas marmorarias de Belo Horizonte tem, em geral, muitos anos de funcionamento. Predominam máquinas e equipamentos nacionais, característica ligada à tradicional fabricação de produtos a partir de acabamento manual ou semimecanizado. Por outro lado, à medida que se objetiva a produção em maior escala, são buscadas formas mais sofisticada de acabamento automatizado e a fabricação de produtos padronizados, passando-se a utilizar, até pela falta de opções no mercado nacional, maquinário importado (Mello, 2004).

3.7.3 Do processo produtivo

A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento gira em torno da

extração de matérias-primas em pedreiras, seu desdobramento por serragem em produtos semi-acabados e o beneficiamento final em marmorarias.

Os blocos, com dimensões normalmente variáveis entre 5m³ e 10m³, extraídos nas pedreiras são desdobrados, sobretudo através da serragem em chapas, com tamanho médio de 2,00 x 1,40 m e peso entre 130 e 250 kg. Processa-se a serragem através de teares e talha-blocos, visando à obtenção de chapas com 1 cm, 2 cm e 3 cm de espessura. Em função do uso especificado, pode-se, no entanto, atingir 6 cm de espessura das chapas.

3.7.3.1 Recepção e estocagem de chapas

O processo de beneficiamento final das rochas inicia-se com a descarga manual de chapas das carrocerias dos caminhões. Geralmente a tarefa envolve 4 ou 5 trabalhadores. Em algumas empresas existe a descarga mecanizada de chapas. Cabe ressaltar que menos de 5% das marmorarias de Belo Horizonte, MG, utilizam esse processo.

Descidas para o solo, as chapas são colocadas, individualmente, sobre um "carrinho" com rodízios, transportadas verticalmente ou horizontalmente para o pátio, onde são estocadas para apresentação à clientela.

3.7.3.2 Acabamento final de chapas

Após o corte, o passo seguinte do beneficiamento é o acabamento final das chapas, através de levigamento, polimento e lustro, ou apicoamento e flameamento. O levigamento ou desbaste representa o desengrossamento das chapas, com a criação de superfícies planares e paralelas. O polimento produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos grãos minerais, criando uma superfície lisa, opaca e mais impermeável que a de uma face natural da mesma rocha. O lustro é aplicado no sentido de se imprimir brilho à superfície da chapa, produzido pelo espelhamento das faces dos cristais constituintes da rocha (Chiodi Fo.,2005).

A maioria das chapas de mármore e granito é adquirida previamente polida. As poucas empresas que optam pela aquisição da chapa bruta, em função do seu menor custo, realizam o polimento em suas próprias instalações.

O levigamento, polimento e lustro são efetuados por rebolos abrasivos, à base de carbureto de silício e diamante, em diferentes granulometrias (mais grossos para o levigamento e cada vez mais finos para o polimento e lustro final). Os rebolos, fixados em cabeçotes rotativos, circulam sobre a superfície da chapa, utilizando-se um fluxo constante de água para eliminação de resíduos e refrigeração da face tratada (Chiodi Fo., 2005).

Os resultados do polimento e lustro são definidos pelo brilho, fechamento e espelhamento das chapas, podendo-se aferir o brilho através da acuidade visual ou com uso de aparelhos (Chiodi Fo.,2005).

Os equipamentos mais utilizados para polimento de rochas são as politrizes manuais com um cabeçote, politrizes de ponte com um a dois cabeçotes e politrizes multicabeçotes com cinco a vinte cabeçotes. As politrizes manuais (cabritas) (Figura. 3.3) são ultrapassadas, determinando baixo rendimento e grande variação na qualidade dos produtos obtidos (Chiodi Fo.,2005).



Figura 3.3 – Polimento de Chapas Utilizando Politriz Manual Com Um Cabeçote

O tipo de acabamento aplicado às superfícies também determina variabilidade

nas feições estéticas até de uma mesma rocha. O polimento e lustro, por exemplo, produzem uma superfície lisa e brilhante pelo espelhamento dos cristais. O flameamento exercido pela ação conjunta de água e chama de acetileno produz crepitação dos minerais claros (félsicos), sobretudo do quartzo, criando uma superfície rugosa, que por vezes realça o padrão cromático natural. O apicoamento, aplicado através do impacto de pontas metálicas, exerce o mesmo tipo de acabamento rugoso na superfície da rocha tratada (Chiodi Fo.,2005).

3.7.3.3 Corte de Chapas

No caso dos mármore e granitos em geral, a chapa é transportada manualmente até a serra de corte a úmido (Figura 3.4), onde é esquadrejada na dimensão exata do projeto. Outra forma de se cortar parte da placa é através de um processo conhecido como "roçar a rocha", que consiste no esquadrejamento manual.



Figura 3.4 – Corte de Chapas

3.7.3.4 Acabamento de borda

O acabamento final é feito por esmerilhamento e desbaste (Figura 3.5 e Figura 3.6) que consiste no lixamento e polimento das bordas das peças individualizadas, etapa feita geralmente a seco, usando-se lixadeiras elétricas manuais, em um movimento de

vai-vem, em diferentes eixos. É o principal momento da formação de poeira contendo sílica e geração de ruído. Geralmente utiliza diversos tipos de rebolos e lixas, chegando-se até o feltro. Quanto maior o tamanho do grão do abrasivo, maior a quantidade da poeira gerada.



Figura 3.5 – Acabamento a seco de bordas



Figura 3.6 – Acabamento a úmido de bordas

Após o lixamento fino, muitas vezes são aplicados produtos químicos como resinas, ceras, solventes, impermeabilizantes e agentes protetores, empregados para limpeza final da peça e correção de imperfeições do acabamento, eliminando riscos, trincas e microfissuras e para realçar a cor natural.

A massa plástica é usada para correção de imperfeições nas peças e para colagem de bordas e bojos em lavatórios e pias e contém em sua composição resina de poliéster, monômero de estireno, dióxido de titânio, talco industrial e metil etil cetona.

Inúmeros são os acabamentos de borda, porém os mais comuns são o bizotado, boleado, boleadão, com espelho de 45°, chanfrado, fresado, dentre outros.

3.7.3.5 Furação

Ainda como parte do acabamento, para elaboração de bancadas de lavatórios e pias, a peça cortada é levada para o furador vertical a úmido, onde são confeccionados os furos circulares para elaboração da parte curva do bojo. O corte reto é feito com auxílio de serra elétrica manual.

3.7.3.6 Incorporação de novas Tecnologias de Processo

As etapas de produção anteriormente descritas representam o perfil da maioria das marmorarias de Belo Horizonte, a exceção da extração de matérias – primas em pedreiras. Algumas delas, já mais estruturadas, começam a alterar o processo produtivo, incorporando máquinas e equipamentos de última geração disponíveis no mercado ou adaptadas pelos próprios empresários, visando uma melhoria da qualidade do produto final, a fim de agregar valor econômico. Esses avanços, indiretamente, acabam reduzindo sobremaneira, os riscos presentes no ambiente de trabalho, em especial, a poeira no acabamento, os riscos de natureza ergonômica, como o levantamento e transporte de cargas, os riscos de acidentes e os níveis de ruído (Werneck *et al.*, 2004).

3.8 Limites de exposição ocupacional - LEO

3.8.1 Limites de tolerância para poeiras minerais e sílica no mundo

Um dos primeiros limites admissíveis para exposição à poeira era de 8,5 mpppc (milhões de partículas por pé cúbico) para poeira contendo de 80% a 90% de quartzo, e baseavam-se na exposição dos trabalhadores das minas de ouro na África do Sul, onde a poeira gerada pelas operações de perfuração tinha um elevado conteúdo de sílica livre cristalina (Cook, 1986).

Um dos primeiros limites de exposição ocupacional recomendado pela ACGIH, para a poeira contendo sílica livre, foi obtido com base nos estudos da indústria de granito em Vermont nos Estados Unidos, que serviram de base para os atuais limites de exposição à sílica. O limite máximo recomendado para quartzo foi de 353 mppm³ (milhões de partículas por metro cúbico) de poeira contendo 25% a 35% de quartzo, em massa.

Os valores de TLV- *Threshold Limit Value* para sílica (Tabela 3.3) foram publicados pela primeira vez em 1946, sendo denominados de concentração máxima permitida (CMP), quando foram consideradas as seguintes faixas para a porcentagem de sílica, em massa.

Tabela 3.3 – Variação da porcentagem de sílica admissível por concentração máxima permitida (CMP) em milhões de partículas por metro cúbico (mppm³)

% de SiO ₂	CMP – (mppm ³)
Alta (acima de 50% de SiO ₂)	176,55
Média (5 - 50% de SiO ₂)	706,2
Baixa (abaixo de 5% de SiO ₂)	1765,5

Fonte: NIOSH, 1974

Nos anos seguintes a ACGIH publicou vários limites para a sílica, a saber:

$$TLV = \frac{250}{\%quartzo + 5} mpppc \text{ (ano de 1962)}$$

$$TLV = \frac{10}{\%quartzo + 2} mg / m^3 \text{ (ano de 1970) – poeira respirável contendo sílica}$$

$$TLV = \frac{300}{\%quartzo + 10} mpppc \text{ - (revisado em 1970)}$$

Em 1974, o NIOSH já recomendava o limite de exposição para poeira respirável de sílica cristalina e cristobalita - “REL” de $0,05 \text{ mg} / \text{m}^3$ (*Recommended Exposure Limit*), para concentrações médias ponderadas de jornadas até 10 horas por dia durante 40 horas semanais.

Em 1983, a ACGIH propôs a alteração do limite de exposição da sílica (TLV) e adotou essa alteração somente no período de 1986 a 1999, quando recomendou os seguintes limites de exposição para sílica cristalina respirável: TLV-TWA = $0,1 \text{ mg} / \text{m}^3$ para quartzo e $0,05 \text{ mg} / \text{m}^3$ para cristobalita. A mudança foi recomendada com o objetivo de padronizar o TLV para sílica, semelhante às demais poeiras, e para simplificar o cálculo do TLV nas misturas contendo quartzo, cristobalita e tridimita. Em 2000, esses limites de exposição passaram para $0,05 \text{ mg} / \text{m}^3$ (com indicação de potencial carcinogênico) para quartzo, cristobalita e tridimita. Atualmente, já existem estudos dentro da ACGIH recomendando o valor de TLV-TWA (*Time-Weighted Average*) = $0,025 \text{ mg} / \text{m}^3$ para quartzo e para cristobalita.

Os TLVs propostos pela ACGIH são revisados anualmente e atualizados, quando necessário, dentro dos conhecimentos técnico-científicos disponíveis à época (ACGIH, 2003). A Tabela 3.4 apresenta os principais limites de exposição para sílica cristalina, utilizada por diferentes entidades americanas.

Tabela 3.4 - Guias e Limites para exposição ocupacional à sílica cristalina

Referência	Substância	Limite ou Guia (mg/m ³)
NIOSH* [1974]	Sílica cristalina respirável, quartzo, cristobalita e tridimita como poeira respirável	REL [†] = 0,05 (para até 10 horas por dia durante 40 horas semanais)
OSHA*	Sílica cristalina respirável, quartzo Sílica cristalina respirável, cristobalita Sílica cristalina respirável, tridimita	PEL = 10 ÷ (% quartzo + 2) (8-hr TWA) PEL = Metade do valor calculado para a sílica PEL = Metade do valor calculado para a sílica
MSHA [1978]	Quartzo respirável em mineração Sílica cristalina respirável presente em concentração > 5% em minerações de carvão	PEL = 10 ÷ (% quartzo + 2) (8-hr TWA) RDS [†] = 10 ÷ % quartzo (8-hr TWA)
ACGIH [2001]	Sílica cristalina respirável, quartzo Sílica cristalina respirável, cristobalita Sílica cristalina respirável, tridimita	TLV = 0.05 (8-hr TWA) TLV = 0.05 (8-hr TWA) TLV = 0.05 (8-hr TWA)
* Os LEOs do NIOSH e da OSHA permanecem os mesmos até o hoje. † Abreviaturas: REL = <i>recommended exposure limit</i> ; PEL = <i>permissible exposure limit</i> ; RDS = <i>respirable dust standard</i> .		

Fonte: Adaptado de Hearl (1996)

3.8.2 Limite de Tolerância para poeiras no Brasil

No Brasil, os limites de tolerância fixados para sílica livre cristalizada - SiO₂ foram estabelecidos pela Norma Regulamentadora NR-15 - Anexo 12: “Limites de Tolerância para Poeiras Mineraias”, da Portaria N° 3214/78 (Brasil, 1978).

De acordo com o Anexo N° 12 da referida NR-15, o limite de tolerância, expresso em milhões de partículas por decímetro cúbico-mppdc, para poeiras mineraias

contendo sílica livre cristalizada é dado pela seguinte fórmula:

$$LT = \frac{8,5}{\%quartzo + 10} \text{ mppdc} \quad (3.1)$$

Essa fórmula é válida para amostras tomadas com impactador (*impinger*) no nível da zona respiratória. A percentagem de quartzo é a quantidade determinada através de amostras em suspensão aérea.

O limite de tolerância para poeira respirável, expresso em mg/m³, é dado pela seguinte fórmula:

$$LT = \frac{8}{\%quartzo + 2} \text{ mg/m}^3 \quad (3.2)$$

Embora não exista, de forma expressa, limite de tolerância para SiO₂ na legislação nacional, este pode ser deduzido. Considerando uma amostra de poeira com 100% de sílica, esse valor de LT para poeira respirável será de 0,078 mg/m³, que corresponde a aproximadamente 1,5 vezes ao atual valor do TLV da ACGIH (0,05 mg/m³).

Se considerarmos uma amostra de poeira com 0% de sílica, o valor de LT para poeira respirável no Brasil será de 4 mg/m³. Para um Particulado Não-Classificado de Outra Maneira - PNOC, que são aquelas poeiras que devem ter menos de 1% de sílica e que não devem conter asbesto, o limite estabelecido é de 10 mg/m³ - para particulado inalável total, e um limite de exposição TLV – TWA de 3 mg/m³ - para particulado respirável. No caso da poeira de mármore (carbonato de cálcio), o limite estabelecido pela ACGIH é também de 10 mg/m³ (ACGIH, 2003).

Uma vez que o maior valor estabelecido para o limite de exposição ocupacional para poeiras na fração respirável é de 3 mg/m³ (ACGIH, 2003), ou 4 mg/m³ (Brasil, 1978), considera-se que, independente da composição da poeira, a concentração não deve ultrapassar esse valor nessa fração em nenhum ambiente de trabalho (Santos, 2005).

Tanto a concentração como a percentagem do quartzo, para a aplicação desse limite, deve ser determinada a partir da porção que passa por um seletor com as características da Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Diâmetro aerodinâmico da partícula e a porcentagem de passagem pelo seletor

Diâmetro aerodinâmico (μm) (esfera de densidade unitária)²	% passagem pelo seletor
menor ou igual a 2	90
2,5	75
3,5	50
5,0	25
10,0	0 (zero)

Fonte: Brasil (1978)

Para conseguir a seleção de tamanho apropriada, a bomba de amostragem do ar deve ser calibrada para operar na vazão de 1,7 L/min. Se a bomba não for calibrada corretamente, a seleção estará deslocada para diâmetros aerodinâmicos maiores (para baixa vazão) ou menores (para fluxos elevados).

O limite de tolerância para poeira total (respirável e não respirável), expresso em mg/m^3 , é dado pela seguinte fórmula:

$$LT = \frac{24}{\% \text{quartzo} + 3} \text{ mg}/\text{m}^3 \quad (3.3)$$

Sempre será entendido que "quartzo" significa sílica livre cristalizada.

Os limites de tolerância fixados são válidos para jornadas de trabalho de até 48 (quarenta e oito) horas por semana, inclusive.

3.8.3 Efeitos combinados para exposição a misturas de poeiras

De acordo com o Anexo C, "Limites de Exposição (TLVs) para misturas" (ACGIH, 2003), quando duas ou mais substâncias que atuam sobre o mesmo sistema

² O diâmetro aerodinâmico de uma partícula é igual ao diâmetro de uma esfera de densidade unitária que cai sob a ação da gravidade, com a mesma velocidade terminal que a partícula.

orgânico ou órgão estiverem presentes, devem ser considerados fundamentalmente os seus efeitos combinados, mais do que os individuais. Na falta de informações contrárias, os efeitos de diferentes riscos devem ser considerados como aditivos. Isto é, se a soma das seguintes frações, conforme equação (3.4), exceder a unidade então, o limite de exposição da mistura deve ser considerado excedido, sendo que C_1 indica a concentração atmosférica observada e TLV_1 o limite de exposição correspondente:

$$\frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \dots + \frac{C_n}{TLV_n} \quad (3.4)$$

Hearl (1996) demonstrou a equação matemática para calcular o LT para sílica:

Considerando C_q a concentração corresponde a quartzo (100% quartzo) com TLV de 0,1 mg/m³;

Considerando C_p a concentração de poeira respirável (0% quartzo) com TLV igual a 5,0 mg/m³;

Considerando a sílica e outras poeiras respiráveis como uma mistura;

Aplicando a fórmula para misturas obtém-se:

$$\frac{C_q}{TLV_q} + \frac{C_p}{TLV_p} = 1 \quad (3.5)$$

$$\left(\frac{C_q}{0,1}\right) + \left(\frac{C_p}{5,0}\right) = 1 \quad (3.6)$$

O percentual de quartzo pode ser obtido por:

$C_p \Rightarrow 100\%$

$C_q \Rightarrow \% \text{ quartzo}$

Assim:

$$\% \text{ quartzo} = \left(\frac{C_q}{C_p}\right) \times 100 \quad (3.7)$$

Multiplicando-se a equação (3.6) por $\left(\frac{10}{C_p}\right)$ temos:

$$\left(\frac{C_q}{0,1}\right) \cdot \left(\frac{10}{C_p}\right) + \left(\frac{C_p}{5,0}\right) \cdot \left(\frac{10}{C_p}\right) = \left(\frac{10}{C_p}\right) \quad (3.8)$$

$$\left(\frac{C_q}{0,1}\right) \cdot \left(\frac{10}{C_p}\right) + \left(\frac{C_p}{5,0}\right) \cdot \left(\frac{10}{C_p}\right) = \left(\frac{10}{C_p}\right) \quad (3.9)$$

Simplificado temos:

$$\left\{ \left(\frac{C_q}{C_p}\right) \times 100 \right\} + 2 = \left(\frac{10}{C_p}\right) \quad (3.10)$$

Substituindo % quartzo da equação (3.7) dentro dos colchetes da equação (3.10) temos:

$$\% \text{ quartzo} + 2 = \left(\frac{10}{C_p}\right) \quad (3.11)$$

Rearranjando a equação (3.11) temos que:

$$C_p = \frac{10}{\% \text{quartzo} + 2} \text{ mg} / \text{m}^3 \quad (3.12)$$

Este é o TLV para poeira de sílica e outras poeiras respiráveis, tratadas como uma mistura, considerando o TLV de 0,1 mg/m³ para o quartzo e o TLV de 5,0 mg/m³ para poeira respirável.

Multiplicando-se a equação (3.12) pelo fator de correção (FR= 0,8) para jornada de trabalho de 48 h semanais (Brasil, 1978), de acordo com o modelo desenvolvido por Brief & Scala (Brief; Scala, 1975) tem-se:

$$C_p = \frac{10}{\% \text{quartzo} + 2} \text{ mg} / \text{m}^3 \times 0,8 \quad (3.13)$$

$$C_p = \frac{8}{\% \text{quartzo} + 2} \text{ mg} / \text{m}^3 \quad (3.14)$$

Que é exatamente a equação (3.2) do limite de tolerância para poeira respirável, adotado pela legislação brasileira.

Apesar dos efeitos sobre a saúde decorrente da exposição ocupacional à sílica serem muito bem conhecidos, nenhuma revisão dos limites de exposição foi feita desde a publicação da Portaria 3214 em 1978. Já os limites da ACGIH passam pela segunda revisão em 5 anos. Assim, considerando o caráter carcinogênico da sílica, qualquer nível de exposição requer atenção e novos limites de exposição deverão ser estabelecidos na legislação brasileira o mais breve possível.

3.9 Estratégia de Amostragem

3.9.1 Evolução histórica das avaliações ambientais

Na prática inicial da avaliação de riscos, o que havia era a avaliação qualitativa por identificação pelos sentidos (visão, olfato, paladar). Em 1917, Harvard desenvolveu um dos primeiros métodos, que era o tubo detetor colorimétrico (dispositivo de indicação colorimétrica) para a avaliação ambiental de monóxido de carbono. Em 1922, Greenber e Smith desenvolveram o *impinger*. Em 1938, Littlefield e Schrenk modificaram o projeto e desenvolveram o *impinger* miniaturizado (*midget impinger*). Com uso de bombas manuais, os *impingers* criaram as primeiras avaliações ambientais de zona respiratória. O filtro de membrana para a avaliação de partículas foi usado pela primeira vez em 1953, permitindo a avaliação em massa/volume, e não em contagem de partículas (Fantazzini, 2003).

3.9.2 Objetivos de uma avaliação

Os principais objetivos das avaliações de exposição aos riscos ocupacionais são os seguintes (Goelzer, 1993):

- A) Conhecer as efetivas exposições dos trabalhadores durante um determinado período de tempo e comparar os resultados com um padrão adotado, e assim,

determinar se existe um risco para a saúde do trabalhador por exposição à contaminantes atmosféricos (WHO, 1999).

Os fatores que determinam o grau de risco oferecido por um agente são a capacidade de causar danos à saúde e a dose realmente recebida pelo trabalhador, que depende do grau de exposição e de características individuais do trabalhador.

Cabe ressaltar que, para uma mesma situação de exposição (em termos de concentração no ar e tempo), a real dose pode diferir grandemente de um trabalhador a outro, se, por exemplo, um deles tem um nível muito mais alto de atividade laboral, embora ambos estejam no mesmo ambiente físico (Goelzer, 1992). Pessoas diferentes respiram com taxas diferentes e de modos diferentes e isso afeta a quantidade inalada e a proporção depositada em cada região do pulmão (WHO, 1999).

O grau de exposição é determinado a partir da concentração do agente no ar que depende de diversos fatores: da duração da exposição, das possíveis vias de entrada no organismo humano e das medidas de controle individuais e coletivas existentes.

B) Determinar se há a necessidade de controlar e, em caso positivo, determinar que tipo de medidas de controle devam ser adotadas, ou para avaliar a efetividade das já implementadas verificando se são satisfatórias.

As estratégias de amostragem devem ser realizadas de forma a originar resultados que permitam direcionar as medidas de controle, indicando os locais, períodos e atividades em que devem ser realizadas intervenções.

C) Realizar estudos epidemiológicos para estabelecer a relação entre exposição e os efeitos na saúde.

Cabe ressaltar que o objetivo da avaliação é que influenciará nas várias decisões relativas à estratégia e procedimentos de amostragem.

Porém, o que se observa hoje, na prática da higiene industrial, é que os dois principais objetivos das avaliações de exposição aos riscos ocupacionais são: 1- A caracterização de insalubridade, para pagamento de adicional (Brasil, 1978). Isso ocorre tanto dentro das empresas, através da elaboração do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA, quanto em perícias judiciais. 2 - A elaboração do Laudo Técnico

de Condições Ambientais de Trabalho - LTCAT e do Perfil Profissiográfico Previdenciário - PPP para fins previdenciários - Aposentadoria Especial.

3.9.3 Etapas para a elaboração de uma estratégia de amostragem

As exposições a agentes ambientais podem ser estimadas de forma qualitativa ou quantitativa. A estimativa quantitativa da exposição somente se aplica a agentes para os quais existe padrão quantitativo ou valor limite de exposição, legalmente estabelecido (NR-15) ou recomendado tecnicamente por alguma organização como os TLVs da ACGIH. (Trivellato, 2003). No Brasil, para o caso da poeira mineral contendo sílica livre cristalizada a estimativa é quantitativa.

3.9.3.1 Avaliação qualitativa

A prática clássica é de que, uma vez reconhecido o risco, procede-se à sua avaliação quantitativa e, se necessário, o seu controle, isto é, a sua eliminação ou redução para níveis aceitáveis (Goelzer, 1992).

Sempre que os riscos são evidentes e sérios, nos casos em que há uma necessidade inquestionável de controle, por exemplo, em operações de corte de granito a seco sem os controles requeridos, e se esperam concentrações muito altas em relação ao limite de exposição profissional, a avaliação qualitativa do risco, feita durante a etapa de reconhecimento, deverá ser suficiente para indicar a necessidade de implantação das medidas de controle (WHO, 1999).

Porém, até mesmo nessas situações, a menos que se descarte claramente toda e qualquer probabilidade de exposição, é provável que, após uma avaliação qualitativa, uma avaliação quantitativa seja necessária por exigência legal. Mas, nesse caso, a confiança exigida não será tão crítica (Goelzer, 1992).

Por outro lado, se exposições parecem ser controladas, mas há dúvidas sobre a qualidade do sistema de controle, ou, se houver suspeita de riscos escondidos, então um exame mais detalhado para fontes menos óbvias poderá ser necessário posteriormente (WHO, 1999).

3.9.3.2 Avaliação quantitativa

Tradicionalmente, as amostragens realizadas com fins regulamentares consistem em breves campanhas (um ou dois dias), que se centram nas exposições dos piores casos. Apesar dessa estratégia requerer um gasto mínimo de recursos e tempo, em geral consegue-se pouca informação e tem-se escassa aplicação para avaliar as exposições profissionais a longo prazo (Todd, 2001).

O objetivo fundamental da amostragem é obter resultados que correspondam às condições presentes no ambiente de trabalho, dando uma estimativa das concentrações reais dos agentes químicos a que os trabalhadores estão expostos. A realização de avaliações representativas da exposição laboral aos contaminantes presentes no ar é uma tarefa difícil, porém, muitas vezes necessária. Na prática são várias as dificuldades encontradas para se alcançar esse objetivo. É então necessário ter um conhecimento amplo de todo o processo, para escolher um sistema de amostragem que permita obter resultados representativos da situação do trabalhador exposto.

Para estabelecer prioridades, é necessário considerar, entre outros fatores, os tipos e extensão de efeitos biológicos que tais agentes podem causar se sobreexposições acontecem. (Todd, 2001; Goelzer, 1993).

As duas principais perguntas em relação a avaliações são: para que fazer ou mesmo, quando realmente se precisa de avaliações quantitativas? (Goelzer, 1993).

Se poeira está sendo gerada em qualquer processo, uma avaliação deve ser feita para se estabelecer se há risco de exposição a poeira (WHO, 1999). O procedimento habitual é interpretar os dados de avaliação de exposição com base em padrões adotados para se decidir se o controle é satisfatório. A avaliação deve determinar quais substâncias, quais as quantidades manipuladas, qual a frequência de uso podem ser toleradas, entre outros fatores (Goelzer, 1993).

3.9.4 Seleção da Estratégia de Amostragem

Algumas considerações prévias e diretrizes que devem ser lembradas e que foram propostas pelo NIOSH (NIOSH, 1974) na seleção de uma estratégia de amostragem estão relacionadas com:

- a) disponibilidade e custo dos equipamentos que indicarão a técnica para o reconhecimento e análise das amostras (bombas, filtros, calibradores, etc);
- b) existência de pessoal qualificado nas operações de tomada de amostras e de análise;
- c) disponibilidade de recursos para os serviços de laboratórios reconhecidos, para uma análise segura das amostras;
- d) consideração das flutuações dos contaminantes durante uma mesma jornada ou de uma jornada para a outra, ou de um dia pra outro;
- e) precisão e acurácia dos métodos de medição e análise usados;
- f) número de amostras necessárias para alcançar a precisão exigida.

A avaliação adequada da exposição a agentes químicos constitui um processo seqüencial do reconhecimento do agente, determinações quantitativas, manejo das amostras, análise de laboratórios, interpretação de resultados com ajuda de considerações técnicas e estatísticas e do juízo de um profissional. Por meio da condução correta dos passos anteriores, será possível conhecer, com certa precisão, as concentrações dos contaminantes nos postos de trabalho.

Antes de planejar uma estratégia para avaliação adequada da exposição e estabelecer prioridades, o higienista profissional tem que fazer um reconhecimento adequado dos riscos potenciais no ambiente de trabalho em questão que devem ser observados cuidadosamente na visita preliminar, e que incluem (Leidel *et al.*, 1977; Lynch, 1995; Goelzer, 1993; Todd, 2001):

- O número de fontes emissoras (número de processos geradores de poeira próximos, proximidade entre bancadas);
- O tipo e a localização de cada fonte (que está diretamente relacionada com quantidade de agentes químicos que são utilizados ou produzidos, os tipos de rochas trabalhadas, a presença simultânea de várias substâncias, etc.);
- Estudos da composição e das propriedades físico-químicas e toxicológicas (toxicocinética e farmacodinâmicas), as rotas de entrada, o transporte, metabolismo, órgãos ou tecidos atingidos, formas de eliminação, tipo e extensão do possível dano, etc.;
- A distância do trabalhador em relação às fontes;

- Possibilidade de geração acidental de substâncias químicas que não são utilizadas como tal no processo, mas que podem acontecer acidentalmente;
- O ritmo de produção com relação à capacidade de produção;
- Tecnologias de produção (tipo de trabalho executado, processos, operações, equipamento, fluxo), particularmente esses aspectos que podem influenciar na geração e liberação de contaminantes no ambiente de trabalho;
- Direção de propagação de contaminantes em relação à fonte que depende das propriedades físicas e químicas, das condições climáticas e da movimentação das massas de ar;
- Padrões de exposição: as condições que conduzem a flutuações de concentração apreciáveis e ocorrência de picos (variações espaciais e temporais);
- Número de trabalhadores expostos a cada risco potencial a ser avaliado, com descrições de cargo e organização de trabalhadores por tipo de trabalho e por setor;
- Avaliação da exposição, através de um estudo do tempo gasto por trabalhadores em estações de trabalho específicas, seus deslocamentos durante o trabalho;
- Das práticas e hábitos individuais de trabalho adotadas pelos trabalhadores para tentar descobrir por intermédio deles os principais inconvenientes no ambiente de trabalho;
- O nível de informação e treinamento da mão-de-obra;
- Todas as prevenções e controles efetivamente em uso, para se determinar a sua efetividade e a possibilidade da necessidade eventual de um ou outro controle adicional.

No planejamento da amostragem de um agente químico, é conveniente levar em conta todos os fatores que proporcionem a melhor decisão possível para se afirmar, com uma maior precisão, o nível de risco existente.

Para a definição da estratégia de amostragem devem ser consideradas as seguintes questões, dentre outras decisões: 1) localização do sistema de amostragem (pessoal, área ou fonte). 2) definição de quais e quanto indivíduos devem ser avaliados (trabalhador ou grupo de trabalhadores). 3) definição do tempo de duração da amostragem (tempo real ou integrado). 4) definição do período do dia a ser realizado a

amostragem 5) definição do número de amostras necessárias. 6) definição da frequência de amostragem. 7) definição do número de amostras totais a serem tomadas. 8) definição dos agentes a serem avaliados. 9) determinação da influência dos erros dos instrumentos nos resultados. 10) definição da exposição a longo prazo. 11) verificação se a exposição média dos trabalhadores está dentro dos limites permitidos. 12) avaliação sobre a necessidade da instalação de controles de engenharia. 13) definição dos métodos analíticos utilizados. (Leidel *et al.*, 1977). Adiante, no item 3.9.5, abordaremos algumas destas principais questões.

Assim, uma estratégia de amostragem que responda a todas as possíveis fontes de variabilidade deve ser seguida, de forma que os dados obtidos sejam representativos da exposição dos trabalhadores, assegurando uma avaliação de exposição correta e segura. Na prática, porém, essas possíveis fontes de variabilidade podem não estar tão claras e, freqüentemente, o higienista profissional tem que adaptar e improvisar, com mais ou menos liberdade, dependendo do objetivo da avaliação. O julgamento profissional é indispensável (Leidel *et al.*, 1977).

O anexo 12 da NR-15, da Portaria 3214/78 (Brasil, 1978), por exemplo, que trata da questão da exposição às poeiras minerais, não deixa claro qual o tipo de amostragem que se deve realizar: poeira respirável e/ou poeira total. Já a literatura internacional deixa claro que se a sílica estiver presente, é necessário medir a fração respirável de poeira.

3.9.5 Definição da estratégia de amostragem

As considerações clássicas para o planejamento de uma estratégia de amostragem são as seguintes:

3.9.5.1 Onde devem ser feitas as avaliações

Dependendo do objetivo da avaliação, a localização do equipamento é fundamental.

Se a concentração de um contaminante no ar fosse uniforme ao longo de um posto de trabalho, não importaria onde coletar a amostra. Considerando que isso

normalmente não acontece, o local de amostragem pode fazer muita diferença (Leidel *et al.*, 1977; Goelzer, 1992).

De acordo com a localização, o Sistema de Amostragem pode ser:

a) Pessoal: Considerando que a inalação é a principal via de ingresso da poeira no organismo, as amostras devem ser coletadas na zona de respiração, que é definida geralmente como uma zona hemisférica com um raio de aproximadamente 30 cm na frente da cabeça. O equipamento é colocado no trabalhador que o leva continuamente durante todo o dia de trabalho. (Gruenzner, 2003). Para avaliação da exposição de inalação, é necessário que se caracterize o ar que os trabalhadores realmente inalam (WHO, 1999).

b) Ambiental: O equipamento de amostragem é colocado em uma posição fixa representativa do ambiente geral do trabalho ou é feita uma varredura completa da área. O objetivo é conhecer a distribuição do contaminante no espaço. Cabe ressaltar que as amostragem estacionárias de poeira não são úteis, ou não são aconselháveis para a medição da exposição pessoal, mas podem ajudar a identificar fontes da exposição (Leidel *et al.*, 1977).

3.9.5.2 Quando e por quanto tempo conduzir as amostragens

O tempo de amostragem é questão importante a ser considerada na estratégia de amostragem, pois sua escolha é crítica para a obtenção de amostras representativas (Gruenzner, 2003). A duração da amostragem de uma fonte depende de uma série de fatores, dentre os quais pode-se citar: a duração do processo ou ciclo, as possibilidades de grandes flutuações na concentração ou dos momentos em que se prevêem picos de concentrações, o limite de exposição profissional, ou do tipo da ação fisiológica exercida pelo contaminante, da massa total amostrada, e do volume total de ar amostrado (Todd, 2001).

No entanto, se o processo der origem a concentrações, que flutuam apreciavelmente, deve ser tomado muito cuidado para evitar amostragem seletiva feita exclusivamente em períodos de alta concentração, ou em períodos de baixa concentração. Quando o processo for cíclico, o ideal será amostrar durante todo o ciclo,

o que porém não é possível se a amostragem deve ser de curta duração ou instantânea (Goelzer, 1993).

Quando se estudam agentes que produzem enfermidades crônicas, como a sílica, cujo efeito à saúde está associado com exposição a longo prazo, uma vez que os limites de exposição são apresentados como concentrações médias ponderadas para oito horas, devem-se tomar amostras durante um turno completo utilizando métodos de amostragem integrados (Todd, 2001). A exposição média de longo prazo é a mais relevante para o cálculo da dose ou exposição para as substâncias que têm ação crônica sobre o organismo. Exposição crônica, durante meses e anos, a agentes que são acumulativos, são melhor caracterizadas pela média de longa duração (Gruenzner, 2003).

Se não houver nenhuma flutuação de concentração apreciável, as amostras exigidas podem ser coletadas fortuitamente, ou em intervalos de tempo iguais. Se o perfil da concentração não varia com o tempo, a duração da amostragem não é uma variável importante, podendo ser selecionados períodos de amostragem que não cubram toda a jornada de trabalho. Porém se a exposição é um processo dinâmico e as concentrações variam com tempo, como nas marmorarias, então, uma estratégia de amostragem tem que responder a essas possibilidades de flutuações apreciáveis (Goelzer, 1993).

O período não amostrado é o principal problema relacionado à credibilidade de qualquer medição de exposição. Durante esse tempo, é necessária uma observação cuidadosa dos fatos. A hipótese de que não aconteceram mudanças durante o período não amostrado tem que ser sempre examinada de forma crítica (Leidel *et al.*, 1977).

Na prática, a duração de uma amostragem individual vem determinada pelas limitações do método de tomada de amostras e análises (Goelzer, 1993).

De acordo com o tempo, as amostragens podem ser classificadas em (Leidel *et al.*, 1977):

- a) instantâneas que durem desde alguns segundos até quinze minutos. Essa metodologia aplica-se quando as condições ambientais são mais ou menos estáveis.

b) integradas de períodos maiores que trinta minutos até um dia completo de oito horas. Essa metodologia aplica-se quando as condições ambientais não são estáveis

Diferentes são os tipos de amostragem, as quais podem ser classificadas de acordo com a estratégia eleita, em (Liedel *et al.*, 1977):

a) Amostras consecutivas de período completo

Tomam-se várias amostras consecutivas de mesma ou diferente duração durante todo o tempo para o qual está definido o padrão.

Os resultados de concentrações em cada uma delas são utilizados para o cálculo da concentração MPT.

Essa técnica de coleta é útil quando se deseja conhecer as concentrações correspondentes a cada período/atividade amostrado:

$$\text{Concentração média ponderada} = \frac{(C_1 \times t_1) + (C_2 \times t_2) + \dots + (C_n \times t_n)}{(t_1 + t_2 + \dots + t_n)} \text{ mg/m}^3,$$

sendo que C_1 indica a concentração de poeira obtida no tempo t_1 e C_n a concentração de poeira no tempo t_n .

Em geral, essa é a melhor estratégia. Esse tipo de amostragem é o mais aconselhável porque permite detectar melhor a contaminação acidental de uma amostra e variações da concentração durante a exposição. Estatisticamente, é preferível um maior número de amostras consecutivas e períodos curtos de tempo, uma vez que conduz a limites de confiança mais estreitos na estimativa da exposição. Obviamente que, em termos econômicos, não é o preferível, visto que os custos, em especial os de análise, elevam-se bastante ao se aumentar o número de amostragens. Para esses casos, combinando estatística e custo, o número otimizado é de quatro amostras de duas horas cada.

b) Amostragem única

Nesse caso, uma única amostra de ar é coletada continuamente durante todo o período desejado. O tempo de coleta da amostra é igual ao da duração da coleta. A concentração obtida já é representativa da concentração MPT do período.

Em geral, a amostragem é realizada durante um período de tempo igual aquele para o qual está definido o padrão. Esse tempo, normalmente, é de 8 horas para um padrão MPT e de 15 minutos para um padrão teto.

Nesse caso, a concentração é calculada pela equação abaixo:

$$C = \frac{m}{Va} \text{ mg/m}^3,$$

Em que: C = concentração de poeira em mg/m³

m = massa de amostra coletada em mg

Va = volume na amostragem em m³

Este método é menos seguro que o anterior, para o caso de substâncias que possuem um valor teto. É conveniente que a amostragem seja realizada seguindo a técnica indicada, eliminando, assim, os erros do início ao término da amostragem. Porém, esse método apresenta a inconveniência da necessidade de um método de tomada de amostra/análise que o permita.

Considerando todos os fatores, essa técnica é tão boa quanto se coletar duas amostras de quatro horas.

c) Amostras consecutivas de período parcial

Várias amostras de ar são coletadas durante o período de trabalho, sendo que o tempo total de coleta é inferior ao da duração do período de trabalho escolhido.

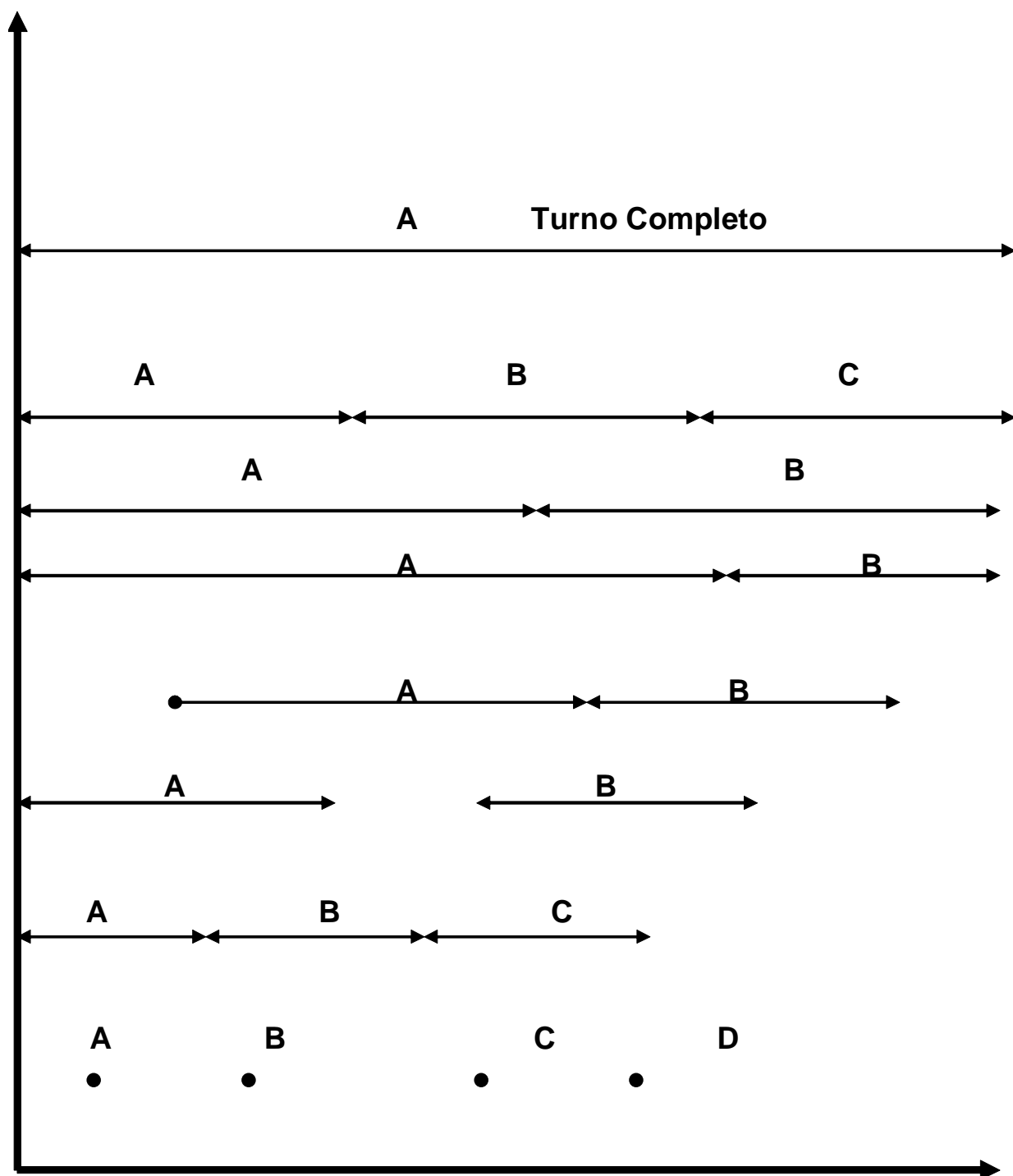
Os valores de concentração de cada uma delas são utilizados para o cálculo de concentrações MPT para o período avaliado através da mesma equação utilizada para amostras consecutivas de período completo. Nesse caso, o tempo total será igual à soma dos tempos de coleta de cada amostra.

Para comparar o resultado com o limite de tolerância para o turno inteiro, é necessário que o tempo total de coleta represente, pelo menos, 70% ou 80 % da jornada de trabalho.

O maior problema desta técnica é como considerar o período não amostrado, já que, no sentido exato, a medida só é válida para o período de tempo coberto pela amostragem. A conclusão para o período total deve basear-se em um bom critério ou numa boa experiência. Supõe-se que o período não amostrado, em concentração, seja igual ao período amostrado e, dessa forma, o valor para 8 horas é uma aproximação.

Nesse caso, o número de amostras requerido depende da variabilidade da concentração no ambiente entre os dias e durante os dias, da variação da própria amostragem e do método analítico utilizando. Não há regras estabelecidas para a determinação do número de amostras, cabendo ao profissional selecionar o número mais adequado. Outro aspecto que também deve ser levado em consideração quanto ao número de amostras é a possibilidade de se tomar decisões erradas a partir dos dados obtidos (Gruenzner , 2003).

A figura 3.7 mostra de maneira esquemática as diferentes possibilidades de amostragens de acordo a estratégia escolhida com base nas condições de cada ambiente de trabalho.



Fonte: Liedel *et al.*, 1977

Figura 3.7 - Diferentes tipos de amostragem, de acordo com a estratégia eleita. As amostragens são representadas pelas letras maiúsculas e no eixo das abscissas está representada a linha do tempo.

3.9.5.3 A seleção de trabalhadores - Grupo de Exposição Homogêneo (GEH)

Para avaliar a exposição ocupacional, pode-se estimar a exposição para todos os trabalhadores independentemente do seu posto de trabalho ou risco. O ideal é que se tomem amostras de cada trabalhador durante muitos dias ao longo de um período de semanas ou meses (Liedel *et al.*, 1977)

Pode-se supor que isso requer um alto custo, muito tempo para estudo e para realização das avaliações. Para se reduzir ao mínimo a carga de amostragens em termos de custo e equipamentos e aumentar a eficácia do programa de amostragens, tomam-se amostras de um subconjunto de trabalhadores no local de trabalho, e se extrapolam os resultados para o total dos trabalhadores.

A existência de várias pessoas que realizam tarefas semelhantes em condições ambientais semelhantes esboça a possibilidade de realizar medições da exposição em parte dos trabalhadores, considerando uma única exposição comum a todos (Liedel *et al.*, 1977).

Uma outra possibilidade é uma amostragem aleatória de trabalhadores do conjunto da população exposta. Porém, do ponto de vista estatístico, isso requer um número relativamente grande de amostras; e haverá o risco considerável de que pessoas altamente expostas não estejam nesse grupo ou subgrupo (Liedel *et al.*, 1977).

O Ministério do Trabalho e Emprego define Grupo Homogêneo de Exposição em pelo menos duas oportunidades: na Instrução Normativa Nº1 de 20 de Dezembro de 1995, e na NR-22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Nestes casos grupo homogêneo é definido como um grupo de trabalhadores que experimentam exposições semelhantes, de forma que o resultado fornecido pela avaliação da exposição de qualquer trabalhador do grupo seja representativo da exposição do restante dos trabalhadores do mesmo grupo (Brasil, 1978).

É preferível subdividir a população exposta em GEH que tenderá a uma variabilidade do nível de exposição muito menor. Nesse caso, se o grupo de trabalhadores estiver exposto às mesmas condições ambientais, a escolha dos que constituirão a amostra poderá ser feita ao acaso, uma vez que o resultado fornecido pela

avaliação da exposição de qualquer trabalhador do grupo é representativo da exposição do restante dos trabalhadores do mesmo grupo (Liedel *et al.*, 1977; Hawkins *et al.*, 1991). Aplicam-se distintos critérios para formar os GEHs. Tipicamente, higienistas industriais utilizam julgamento profissional para identificar exposições semelhantes e para agrupar e interpretar os dados de exposição. Em geral, os trabalhadores podem classificar-se pela similaridade dos postos ou áreas de trabalho. Quando se utiliza a similaridade de postos de trabalho ou área de trabalho, o método de classificação denomina-se zonificação (Todd, 2001).

Existem muitos fatores que influenciam a exposição e que podem repercutir no êxito da classificação dos GEHs; dentre eles pode-se destacar (Liedel *et al.*, 1977; Kromhout *et al.*, 1993):

1. Os diferentes trabalhadores quase nunca realizam o mesmo trabalho, ainda que as descrições de seus postos de trabalho sejam iguais, e raramente, experimentam as mesmas exposições;
2. As formas de trabalhar dos diferentes trabalhadores podem fazer com que a exposição varie significativamente;
3. Os trabalhadores que percorrem toda a área de trabalho, podem ficar expostos imprevisivelmente às distintas fontes de contaminantes durante a jornada laboral;
4. Trabalhadores situados a uma distância considerável da fonte de emissão de poluentes podem estar expostos à concentrações elevadas desses poluentes devido às correntes de ar no ambiente de trabalho.

Rappaport *et al.* (1993) demonstraram que apenas 25% dos GEHs eram de fato uniformemente homogêneos.

Em qualquer caso, como regra prática, recomendam-se descartar do GEH indivíduos cuja concentração encontrada for menor que a metade da média ou maior que o dobro da média (entende-se que se refere a dados individuais dentro do grupo).

A proposta do regulamento de saúde da OSHA exige que, se uma avaliação for positiva, ou seja, se existe a possibilidade de que qualquer trabalhador esteja exposto, então se deve fazer uma avaliação da exposição do trabalhador que se acredita ter a

mais alta exposição (avaliar o indivíduo mais exposto). Esse conceito é conhecido como máximo risco para o empregado (Leidel *et al.*, 1977).

De acordo com o resultado obtido, deve-se estender a amostragem para a totalidade dos trabalhadores, ou programar uma nova amostragem para outra ocasião, além de se fazer mudanças no processo de produção ou nas medidas de controle (Leidel *et al.*, 1977).

Embora não se conheça de antemão qual seja o indivíduo mais exposto, a seleção dos trabalhadores para amostragem do pior caso pode basear-se em diversos fatores, a saber: nos critérios de produção; na importância relativa das várias fontes; na localização dos trabalhadores em relação às fontes contaminantes (em geral, quanto mais próximo da fonte maior a exposição); na mobilidade dos trabalhadores (pode ocorrer que o trabalhador não esteja presente quando existam altas concentrações na fonte geradora do agente); no tempo de permanência nas piores condições; nas eventuais mudanças na movimentação do ar e condições de ventilação no local de trabalho; nos dados de amostragens anteriores; no inventário e toxicidade química; na presença ou não de sistemas de controle; nos diferentes hábitos de trabalho (hábitos individuais dos trabalhadores podem produzir variações nos níveis de exposição). Deve ser considerado nessa seleção como esses fatores mencionados estão inter-relacionados.

Sempre que os conhecimentos técnicos e a experiência profissional forem insuficientes para identificar o trabalhador exposto às piores condições, em termos de concentração ambiental, um sistema estatístico deve ser usado para escolha aleatória de um GEH, sendo que pelo menos um trabalhador de risco máximo deverá pertencer a esse GEH.

Deve ser assumido um valor percentual, geralmente 10% ou 20%, de trabalhadores expostos a mais alta concentração do poluente e pelo menos um trabalhador sob essa exposição deverá ser avaliado, cuja escolha é feita de acordo com a observação e a experiência (Leidel *et al.*, 1977).

Na Tabela 3.6, proposta por Leidel *et al.* (1977), pode ser encontrado o número necessário de trabalhadores amostrados em função do número de trabalhadores pertencente ao GEH, com 90% ou 95% de limite de confiança de que pelo menos um indivíduo do grupo de avaliados estará entre os 10% mais expostos.

Tabela 3.6 – Número de trabalhadores amostrados num GEH com a confiança requerida para selecionar pelo menos um trabalhador do subgrupo dos 10% mais expostos.

Número Requerido de Amostras (n)	Tamanho do Grupo (N) para 90% de confiança	Tamanho do Grupo (N) para 95% de confiança
N	<8	≤11
7	8	–
8	9	–
9	10	–
10	11-12	–
11	13-14	12
12	15-17	13-14
13	18-20	15-16
14	21-24	17-18
15	25-29	19-21
16	30-37	22-24
17	38-49	25-27
18	50	28-31
19	–	32-35
20	–	36-41
21	–	42-50
22	>50	–
29	–	∞

Fonte: Leidel *et al.*, 1977

A introdução da metodologia para avaliação das concentrações de poeira da Norma Regulamentadora NR-22 constituiu uma inovação e representou avanços importantes na legislação nacional (Brasil, 2002).

De acordo com a referida norma, nos locais onde haja geração de poeiras na superfície ou no subsolo, a empresa ou Permissionário de Lavra Garimpeira deverá realizar o monitoramento periódico da exposição dos trabalhadores, através de grupos

homogêneos de exposição e das medidas de controle adotadas, com o registro dos dados observando-se, no mínimo, o Quadro I, conforme disposto no item 22.17.1, que é o mesmo apresentado na Tabela 3.6, para uma confiança de 90%. Porém, o conceito de GEH da legislação é um pouco diferente daquele apresentado por Leidel *et al.* (1977) não se justificando, portanto, a utilização do referido quadro I, anexo a NR-22, para a definição do número de trabalhadores a serem amostrados. Como na NR-22 não constam os procedimentos para a realização da seleção aleatória dos trabalhadores a serem amostrados, os profissionais de segurança responsáveis pelas avaliações de poeira nos ambientes de trabalho podem estar cometendo grandes equívocos, comprometendo a saúde de muitos trabalhadores.

3.9.6 Da amostragem

Uma vez estabelecida a situação em que se encontra o posto de trabalho e escolhido os trabalhadores, procede-se a amostragem com o objetivo de se conhecer os níveis de concentração aos quais eles estão expostos.

3.9.7 Tomada de decisão e a qualidade das avaliações

Em todos os casos, é importante que a qualidade das avaliações seja boa o bastante para justificar as decisões que são baseadas nelas (WHO, 1999).

Uma amostragem ou monitoração do ar, realizada corretamente, de uma maneira confiável, poderá fornecer a racionalidade objetiva para justificar ou não uma determinada ação específica.

A aceitabilidade da exposição ocupacional está condicionada a três alternativas possíveis (Gruenzner, 2003):

- a) A exposição estar abaixo do valor de referência ou limite de exposição ocupacional;
- b) A exposição estar acima do valor de referência ou limite de exposição ocupacional, implicando ações preventivas ou corretivas;

- c) Os resultados serem insuficientes para a tomada de decisão (caso o controle de qualidade demonstrar que os resultados obtidos estão incompletos ou errados).

Nos três casos, as ações podem basear-se em testes estatísticos, julgamento profissional ou na combinação de ambos.

3.10 Medidas de controle

A ocorrência de pneumoconioses em mineradores é um problema grave em países onde é intensa a atividade de mineração. Nos países desenvolvidos, embora sua incidência tenha diminuído devido a medidas de controle ambiental (substituição da sílica em algumas situações, sistemas de umidificação em outras), casos continuam sendo notificados. Por outro lado, em países onde foi estabelecido um rígido programa de prevenção com medidas de controle, isso não tem acontecido (Algranti, 2005). Na Austrália, por exemplo, onde mineração de carvão é a principal atividade mineradora, nenhum caso de pneumoconioses foi relatado em mineiros de carvão na década de 90, devido à compulsória execução rígida de padrões de exposição profissionais e da vigilância médica de todos os trabalhadores na indústria a cada dois anos (WHO, 1999).

Nas indústrias de corte de granito de Vermont foram usadas, com muito sucesso no início do século passado, ferramentas pneumáticas manuais que produziam grande quantidade de poeira. Houve, então, uma rápida elevação na taxa de silicose. Os anos 30 foram marcados pela introdução dos processos de ventilação, que conduziram ao declínio e, posteriormente, virtual eliminação da silicose.

A prevenção de riscos profissionais é mais efetiva e, provavelmente, mais barata se for considerada na fase de planejamento do processo ou do ambiente de trabalho, em vez de implementada posteriormente, visando ao controle ou efetivação de soluções de situações perigosas pré-existentes (Goelzer, 1992).

Se a avaliação da exposição indicar que o controle é insatisfatório, um estudo mais aprofundado sobre as fontes de poeira e a sua propagação, deve ser elaborado, ajudando assim no seu controle.

A principal maneira de prevenir a silicose é impedir a formação e fuga de poeira. No caso específico de poeira, de acordo com a Norma Regulamentadora NR-22 (Brasil, 2002), quando ultrapassados os limites de tolerância à exposição às poeiras minerais, devem ser adotadas medidas técnicas e administrativas que reduzam, eliminem ou neutralizem seus efeitos sobre a saúde dos trabalhadores, além de serem considerados os níveis de ação estabelecidos.

Outro aspecto importante de prevenção é que os equipamentos geradores de poeira com exposição de trabalhadores devem utilizar dispositivos para sua eliminação ou redução e ser mantidos em condições operacionais de uso. E que as superfícies de máquinas, instalações e pisos dos locais de trânsito de pessoas e equipamentos devem ser periodicamente umidificados ou limpos, de forma a impedir a dispersão de poeira no ambiente de trabalho (Brasil, 2002).

Os postos de trabalho, que sejam enclausurados ou isolados, devem possuir sistemas adequados, que permitam a manutenção das condições de conforto previstas na Norma Regulamentadora NR-17 (Brasil, 1978), especialmente as relativas aos níveis de ruído, umidade, velocidade do ar e temperatura efetiva e que possibilitem trabalhar com o sistema hermeticamente fechado (Brasil, 2002).

3.10.1 Os fatores que devem ser considerados na implantação de controles

Segundo Stewart (2001), os fatores que devem ser levados em consideração para a instalação de uma medida de controle é a eficácia dos controles e seus custos, a facilidade do uso para o trabalhador, a idoneidade das propriedades de advertência do material, o nível aceitável de exposição, a frequência da exposição e a(s) via(s) de exposição, dentre outros.

Qualquer que seja a intervenção escolhida, as informações sobre a mesma devem estar acessíveis aos trabalhadores, tais como, as razões da escolha, as reduções das exposições previstas e o papel que esses mesmos trabalhadores desempenham para se obter tais reduções. Sem a participação e o conhecimento dos trabalhadores, é provável que as intervenções fracassem ou tenham uma eficácia reduzida (Stewart, 2001).

3.10.2 Controle dos riscos

O controle dos riscos necessita da abordagem tecnológica, ou seja, medidas de engenharia complementadas por outras administrativas e pessoais, que envolvam aspectos de organização do trabalho, procedimentos padrões e práticas de trabalho, formação/treinamento de trabalhadores e uso de equipamentos de proteção individual. (Fantazzini, 2003).

O conceito de controle na fonte, no ambiente (trajetória) e no trabalhador foi introduzido pela primeira vez, de forma abrangente, por Ulrich Ellenborg, em 1473 (Fantazzini, 2003).

3.10.2.1 Medidas de controle na fonte

De maneira geral, as soluções de controle na fonte são aceitas como sendo as mais eficazes, sob o argumento de que se a fonte for controlada, ninguém estará exposto. Serviu como referência nas décadas passadas, sendo incorporada em exigências oficiais de determinados países, inclusive no Brasil.

Por outro lado, se o controle se der na transmissão ou no meio, indivíduos poderão ficar expostos, caso o controle na fonte não seja eficaz (ACGIH, 2004).

Para se projetar qualquer medida de controle na fonte, é essencial compreender as várias fontes e os fatores de transmissão que determinam a exposição, de forma que a poeira seja capturada o mais próximo possível da fonte. (ACGIH, 2004; Goelzer, 2001).

O controle da poeira não deve ser considerado como um problema isolado. Sempre que sugerida alguma medida de controle, deve-se estar atento à possibilidade de introduzirem-se novos riscos, como por exemplo, elevados níveis de ruído gerados pela exaustão (Goelzer, 1992).

A seguir são apresentadas algumas formas de controle na fonte:

1 - A eliminação

A eliminação quase sempre significa alteração do processo ou mudança na tecnologia, de modo que o risco seja eliminado ou minimizado. Para estes casos, deverá

ser incentivada pelas legislações nacional ou internacional (ACGIH, 2004; Goelzer, 2001).

Muitas substâncias já foram proibidas completamente ou somente para determinados usos ou processos, cabendo destacar a proibição do uso de areia seca como abrasivo no jateamento (mais intenso na metalurgia e na construção naval) em alguns estados e municípios brasileiros. Na construção civil a produção de concreto fora dos canteiros de obras e a substituição de estruturas de concreto por colunas e vigas de aço são fatos que resultaram na diminuição da manipulação de areia e brita e conseqüente diminuição da exposição à sílica nesse setor por essa fonte (Ribeiro, 2004).

2 - A substituição dos materiais

Se a eliminação for impossível, a substituição de materiais por outros menos perigosos é seguramente a melhor maneira para reduzir o risco. A substituição pode evitar que se instalem medidas de controle complexas e desnecessariamente custosas (Mesquita *et al.*, 1977; Goelzer, 2001). Para o caso especial das marmorarias, a substituição de materiais não é possível, uma vez que os mármore e granitos são as matérias-primas deste setor.

3 - Modificações dos processos e equipamentos

Para o controle dos riscos a modificação de processos e equipamentos é uma alternativa à eliminação ou a substituição dos materiais, podendo se conseguir uma apreciável redução na geração dos contaminantes (Mesquita *et al.*, 1977).

4 - Umidificação

A umidificação de poeira com água é provavelmente o mais antigo método de controle, sendo utilizado na indústria cerâmica inglesa há mais de 250 anos (Mesquita *et al.*, 1977).

As formas mais comuns de modificação são: o uso de materiais úmidos e/ou métodos úmidos. Qualquer método por via úmida provavelmente irá causar menos exposição à poeira do que a não utilização de água (Mesquita *et al.*, 1977; Goelzer, 2001).

Diversos estudos têm mostrado importante diminuição na ocorrência de silicose através da umidificação (Mesquita et al., 1977).

A NR-22 estabeleceu diversos procedimentos de umidificação a ser implementados nas empresas do ramo minerário, às quais se aplica (Brasil, 2002). A norma prediz que:

- a) em toda mina, deve estar disponível água em condições de uso, com o propósito de controle da geração de poeira nos postos de trabalho, onde rocha ou minério estiver sendo perfurado, cortado, detonado, carregado, descarregado ou transportado;
- b) as operações de perfuração ou corte devem ser realizadas por processos umidificados para evitar a dispersão da poeira no ambiente de trabalho;
- c) caso haja impedimento de umidificação, em função das características mineralógicas da rocha, impossibilidade técnica ou quando a água acarretar riscos adicionais, devem ser utilizados dispositivos ou técnicas de controle, que impeçam a dispersão da poeira no ambiente de trabalho;
- d) as superfícies de máquinas, instalações e pisos dos locais de trânsito de pessoas e equipamentos devem ser periodicamente umidificadas ou limpas a fim de impedirem a dispersão de poeira no ambiente de trabalho.

Em geral, há o risco de que a presença de água possa dar uma falsa crença aos trabalhadores de que não há nenhuma exposição à poeira (WHO, 1999).

Outros problemas estão associados ao uso da água nos ambientes de trabalho, citando-se eventuais riscos de quedas devido às superfícies molhadas e riscos elétricos. Também pode haver um aumento do *stress* de calor causado pela elevação da umidade.

É necessário planejar o tratamento e descarte adequado dos efluentes líquidos contaminados, segundo normas ambientais.

3.10.2.2 Medidas de controle na transmissão

Caso não seja possível o controle na fonte, seja através do controle das emissões de poeira, seja pela substituição dos materiais, outras maneiras de impedir a transmissão devem ser consideradas (Goelzer, 2001).

A seguir são apresentadas algumas formas de controle na transmissão:

1 - A contenção (ou isolamento) e o enclausuramento

O controle da exposição pelo enclausuramento total do processo, se praticável, resulta geralmente em grandes reduções da exposição (ACGIH, 2004).

A contenção ou o isolamento consiste no isolamento da operação. Basicamente, resume-se em colocar uma barreira entre a fonte da poeira e os trabalhadores. Pode ser aplicada na fonte ou além da fonte, em algum ponto imediatamente ao redor do trabalhador (Saliba, 2002).

O enclausuramento da fonte geradora de poeira é sempre preferível ao do trabalhador. (ACGIH, 2004).

2 - A ventilação

A ventilação industrial é uma das mais importantes medidas de controle, tendo como objetivo principal evitar a dispersão de contaminantes no ambiente de trabalho pela exaustão ou diluição dos contaminantes.

A existência de um sistema de ventilação não é a garantia de que os aerodispersóides estão sob controle. Algumas situações podem tornar-se perigosas porque os trabalhadores desconhecem a sobreexposição e poderão aqui também ter uma falsa crença de que estão protegidos. A forma como foi instalado, as suas manutenções e as checagens de rotina são essenciais para assegurar o desempenho eficaz e continuado do sistema. Erros de projeto e/ou na instalação além de problemas relacionados com a falta de manutenção podem resultar em um decréscimo de desempenho (ACGIH, 2004).

A ACGIH mantém um comitê de ventilação industrial que, desde 1951, vem publicando e revisando o *Manual of Industrial Ventilation*, no qual a ventilação de processos e operações industriais é exaustivamente abordada quanto aos tipos de captadores empregados, aos requisitos de vazão de controle e aos de energia (perda de carga). Nenhuma outra publicação do campo fornece tal profundidade, qualidade e praticidade de dados e informações; muitas delas concluídas a partir de experimentos que obtiveram resultados práticos satisfatórios.

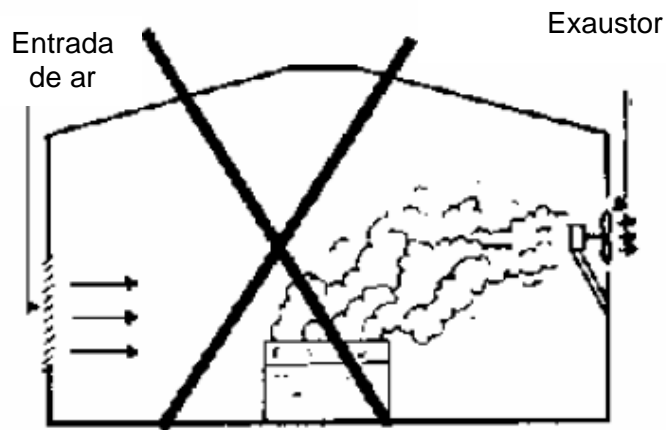
A - Ventilação geral

O sistema de ventilação geral diluidora baseia-se na movimentação do ar por meios não naturais, através de equipamentos de ventilação adequadamente projetados que transmitem ou absorvem energia do ambiente para promover uma redução na concentração de poluentes nocivos. A ventilação geral pode ser natural ou forçada. A natural emprega a fluatibilidade do ar quente do interior do galpão (Mesquita *et al.*, 1977).

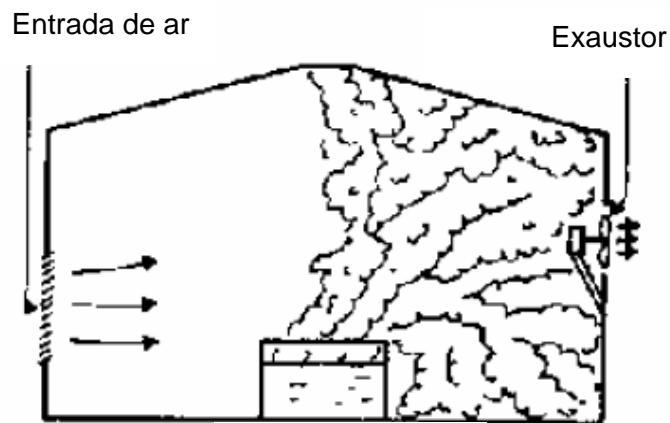
Esse processo pode ser eficaz no controle de concentrações relativamente baixas de aerodispersóides de baixa toxicidade, que se originam de muitas fontes dispersadas em um ambiente de trabalho. Não é recomendado para controle de grandes quantidades de contaminantes. Há sempre o risco de que a ventilação geral favoreça a dispersão (ACGIH, 2004).

Apresenta como principal vantagem o baixo custo de instalação, equipamentos, e manutenção. Mas, por outro lado, não remove completamente os contaminantes; não pode ser usado para substâncias altamente tóxicas; é ineficiente para grandes quantidades de poeira ou fumos metálicos.

Ao usar a ventilação geral, natural ou forçada, a posição correta das entradas e das tomadas de ar, dos exaustores, das fontes da poeira, das bancadas de trabalho e dos trabalhadores são parâmetros importantes. Os contaminantes devem ser direcionados para fora da zona respiratória dos trabalhadores, o que pode ser difícil de se conseguir, particularmente quando as operações são dispersas. Um mau arranjo pode significar que o ar se move da entrada da exaustão, passando pelos trabalhadores e pelas fontes da poeira. Misturas turbulentas espalham a poeira no ar do ambiente, como indicado na figura 3.8, a qual mostra que o caminho percorrido entre a geração de poeira e o ventilador exaustor é mais complexo do que se imagina.



a) Falsa realidade



b) Realidade

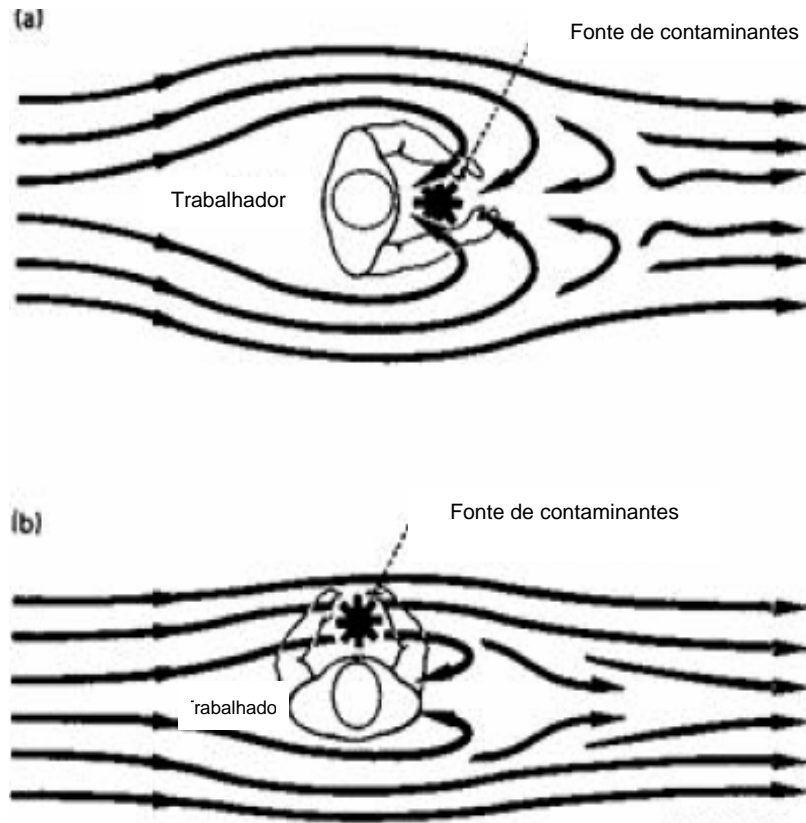
Fonte: Adaptado de WHO (1999)

Figura 3.8 – Visualização esquemática de um sistema de ventilação geral

A Figura 3.9 apresenta os efeitos do deslocamento do ar na ventilação para a respiração do trabalhador, vistos de acima:

(a) redemoinhos de ar contaminado empurram o contaminante diretamente para a zona respiratória do trabalhador;

(b) posição satisfatória para o trabalhador a fim evitar inalação do contaminante.



Fonte: Adaptado de WHO (1999)

Figura 3.9 - Efeitos do deslocamento do ar na ventilação para o trabalhador representado em vista aérea

As figuras 3.8 e 3.9 refletem com precisão o fenômeno da dispersão de poeira em marmorarias de Belo Horizonte. A característica principal da maioria dos galpões e dos sistemas de ventilação/exaustão encontrados é esquematizada pela figura 3.8, enquanto que a figura 3.9 representa bem o que ocorre no processo de acabamento de mármore e granitos.

B - A ventilação local exaustora

A ventilação local exaustora tem como objetivo principal a proteção da saúde dos trabalhadores, uma vez que extrai o contaminante próximo de sua fonte de geração ou liberação e o captura antes que possa espalhar-se através do ambiente de trabalho e alcançar a zona respiratória (Mesquita *et al.*, 1977).

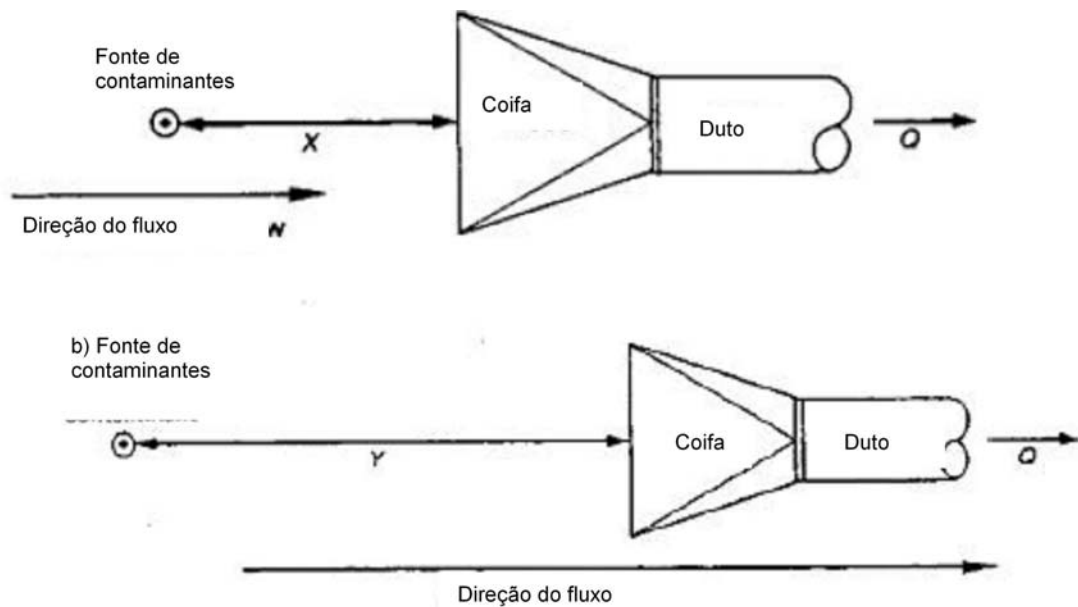
Como principais vantagens têm-se a captura do contaminante pela fonte e a remoção para fora do local de trabalho, bem como a possibilidade de ser usada para aerodispersóides altamente tóxicos, incluindo poeira e fumos metálicos. Como desvantagens têm-se, normalmente, o alto custo de instalação e equipamentos e requer limpeza, inspeções e manutenções regulares.

Um sistema de ventilação local exaustora deve ser projetado dentro dos princípios de engenharia, de maneira a obter a melhor eficiência, com o menor custo possível (Mesquita *et al.*, 1977).

Segundo a ACGIH (2004), as características importantes de projeto a serem consideradas em sistemas de ventilação local exaustora, incluem: características da fonte - tamanho, forma e posição; natureza da operação que gera poeira; tamanho, velocidade, direção do contaminante (como se move em relação a fonte) e sua taxa de geração (quanto está sendo produzido); características do trabalhador - sua posição, movimentação e a forma que usa os equipamentos; características do ambiente de trabalho - movimentações locais do ar pela ventilação geral do local de trabalho e aberturas.

A vazão mínima de ar a ser exaurida e a velocidade em cada coifa devem ser altas o bastante para capturar e manter a poeira nos dutos (ACGIH, 2004).

A velocidade do ar para uma coifa diminui com o quadrado da distância da abertura da face da coifa, como ilustrado na figura 3.10. Nela observa-se que, a uma distância de um diâmetro do duto da face da coifa, a velocidade do ar é somente 10% da velocidade da face. Isto significa que se torna cada vez mais difícil conseguir velocidades adequadas de captação à medida que aumenta a distância da face da coifa. A posição do trabalhador em relação à coifa deve ser cuidadosamente controlada - manter essa distância é um problema constante da ventilação local exaustora (WHO, 1999).



Fonte: Adaptado de WHO (1999)

Figura 3.10 – Relação entre o fluxo de ar e a distância em relação à face da coifa

3.10.2.3 Medidas de controle no trabalhador

1- Práticas de trabalho

A forma como o trabalhador executa a tarefa pode influenciar na geração, liberação e disseminação de poeira nos ambientes de trabalho ou nas condições de exposição dos trabalhadores. Boas práticas de trabalho devem estar constantemente presentes em ambientes de trabalho.

Todos os trabalhadores devem ser treinados adequadamente sobre os riscos advindos das substâncias químicas, das suas medidas de controle e de qualquer monitoramento de exposição (Brasil, 1978).

Algumas práticas como a varrição a seco e limpeza pessoal com ar comprimido devem ser proibidas; comer, beber ou fumar no ambiente de trabalho devem ser evitadas.

2 - Educação, treinamento e comunicação de risco

Embora as boas práticas dependam em parte da colaboração dos trabalhadores, cabe ao empregador proporcionar aos seus trabalhadores treinamento, qualificação, informações, instruções e reciclagem necessárias para a preservação da segurança e saúde, levando-se em consideração o grau de risco e natureza das operações (Brasil, 1978).

No caso do treinamento admissional, este deve abordar, no mínimo (Adaptado de Brasil, 2002):

A - treinamento introdutório geral com reconhecimento do ambiente de trabalho em temas relativos ao ciclo de operações, principais equipamentos e suas funções, procedimentos de emergência, primeiros socorros, divulgação dos riscos existentes nos ambientes de trabalho constantes dos programas de gerenciamento de riscos e reconhecimento do ambiente do trabalho;

B - treinamento específico na função em estudo e práticas relacionadas às atividades a serem desenvolvidas, seus riscos, sua prevenção, procedimentos corretos e de execução.

3 - Equipamentos de proteção individual (EPIs)

Há situações especiais em que as medidas de controle coletivo são inaplicáveis, parcial ou totalmente. Nesses casos, a única forma de proteger o trabalhador é equipá-lo com proteção individual (Saliba, 2002).

Os EPIs devem ser sempre considerados como segunda linha de defesa, somente depois que todas as possibilidades de controle tiverem sido exploradas. É a medida de controle menos recomendável, principalmente no caso de contaminantes no ar, uma vez que os respiradores são difíceis de usar por longos períodos e envolvem custo fisiológico do usuário, particularmente em situações de temperaturas elevadas.

De acordo com a NR-06 (Brasil, 1978), toda empresa é obrigada a fornecer gratuitamente aos seus empregados, os EPIs adequados ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de doenças profissionais; como uma solução

temporária, enquanto medidas de controle ambientais estão sendo projetadas e implementadas; sempre que medidas de controle ambientais não são tecnicamente possíveis, ou seja, para operações que são tecnicamente e financeiramente muito difíceis de controlar, e ou envolvam um número muito pequeno de trabalhadores; sempre que os trabalhadores ficarem expostos à poeira em altas concentrações e/ou com toxicidade por períodos relativamente curtos, como por exemplo, as situações de emergência; e para operações de manutenção e reparo.

A instrução normativa N° 1, de 11 de abril de 1994, do Ministério do Trabalho e Emprego, trata da obrigatoriedade, por parte das empresas, de implantação do Programa de Proteção Respiratória – PPR, bem como as recomendações para elaboração e administração do mesmo. Essa mesma norma apresenta recomendações para seleção e uso adequado dos equipamentos de proteção respiratória – EPR (Torloni *et al.*, 2003).

Na Tabela 3.7 são mostradas as recomendações de EPR para sílica cristalina.

Tabela 3.7 - Recomendações de EPR para sílica cristalina conforme a legislação¹

Concentração ambiental	Equipamento
Até 10 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça semi-facial ou peça semi-facial filtrante; Filtros P1, P2 ou P3, de acordo com o diâmetro aerodinâmico das partículas.
Até 50 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça facial inteira com filtro P2 ou P3 (1); Respirador motorizado com peça semi-facial e filtro P2; Linha de ar fluxo contínuo e peça semi-facial; Linha de ar de demanda e peça semi-facial 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 com 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- Instrução Normativa nº 1, de 11 de abril de 1994, do Ministério do Trabalho e Emprego.

Fonte: Torloni *et al.* (2003)

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseou-se em estudos dos ambientes de trabalho das marmorarias da cidade de Belo Horizonte, selecionadas de acordo com os critérios estabelecidos, com o objetivo de conhecer os níveis de exposição ocupacional nas operações e processos com geração de poeira contendo sílica livre cristalina, embora esta não seja a única entre os muitos agentes ambientais presentes naqueles ambientes.

Neste estudo foram avaliadas todas as funções durante toda a jornada de trabalho. Essa metodologia, se comparada às técnicas de amostragens tradicionais comumente utilizadas nas micro e pequenas empresas deste ramo, mostra um significativo avanço, pois, em geral, é feita apenas uma única avaliação para a função de acabador, por período não superior a 4 horas, sendo mais comum períodos de 1 hora e 30 minutos. Uma das razões desta prática pode ser a recusa do empregador, em função do custo elevado de várias avaliações. Da parte dos profissionais prestadores de serviço, pode ser o desconhecimento das diferentes técnicas de coleta de amostra e/ou estatística de particulados. Dessa forma, adotou-se essa metodologia de natureza exploratória para cobrir as lacunas das informações dos dados disponíveis neste ramo (Werneck *et al.*, 2004), pretendendo-se verificar se existia risco para as demais funções dentro das marmorarias, além do acabador, uma vez que, em geral, o ambiente de trabalho era único e os riscos estavam socializados.

Pelo exposto, pode-se ver a importância de se fazer um diagnóstico mais abrangente das condições gerais das empresas, envolvendo todas as funções, com o objetivo de se tomarem decisões mais acertadas com relação à implantação das medidas de controle dos riscos.

Com a experiência acumulada no Projeto Mármore de Belo Horizonte, MG, em que foram feitas avaliações qualitativas em praticamente todas as empresas do município e, diante dos vários problemas observados nos ambientes de trabalho, inclusive a pouca informação de dados quantitativos sobre a exposição à poeira, optou-se por fazer a seleção de um pequeno número de empresas que representassem, de alguma forma, as condições de trabalho comum a todas as marmorarias.

Dessa forma, foram coletadas 47 amostras de material particulado para determinação das concentrações de poeira em 10 marmorarias de Belo Horizonte, entre os meses de setembro a outubro de 2003. Estas empresas foram divididas em três grupos, de acordo com o número de funcionários que ali trabalhavam. Foram escolhidas três empresas com mais de 12 funcionários; três empresas com seis a doze funcionários; e quatro com menos de seis funcionários.

Essa seleção, contendo cerca de 5% do universo das marmorarias da cidade, foi feita com o cuidado de se buscar uma amostragem representativa das mais de 200 empresas de Belo Horizonte e que somam mais de 1.000 no estado de Minas Gerais.

Apesar da importância de se conhecer os níveis de concentração de poeira a que está exposto o trabalhador de marmoraria, em Belo Horizonte não há dados quantitativos a respeito. Foram estudadas algumas variáveis que pudessem interferir nos níveis de exposição à poeira contendo sílica.

Para atingir os objetivos propostos nesse trabalho adotou-se uma metodologia própria no que diz respeito à seleção das empresas para conhecimento detalhado do processo produtivo e o reconhecimento dos riscos associados.

4.1 Critérios de seleção de amostras

As empresas foram escolhidas dentro dos seguintes critérios de seleção:

4.1.1 Porte das empresas

O porte das empresas foi definido de acordo com o número de trabalhadores, sendo consideradas grandes aquelas com número maior que 12, médias aquelas entre 6 e 12 e pequenas aquelas com 5 ou menos trabalhadores. Geralmente quanto maior a empresa maior o ritmo contínuo de trabalho dentro dela.

4.1.2 Existência de tecnologias de proteção coletiva

Essa seleção levou em conta a existência de sistemas de ventilação geral diluidora, ventilação local exaustora, sistemas de cortina de água e os processos de desgaste por via úmida. Foram selecionadas empresas que combinaram diversos tipos de proteção coletiva como também aquelas que não possuíam qualquer sistema de proteção coletiva.

4.1.3 Tipos de leiaute

Quanto aos tipos de leiaute levou-se em consideração para a seleção a distância do setor de acabamento em relação aos demais setores, em especial aqueles que trabalhavam por via úmida. Procurou-se selecionar empresas que adotaram leiautes em "L", cuja principal característica é a disposição perpendicular do acabamento em relação ao corte, como também aquelas que possuíam leiautes em paralelo, cuja principal característica é a disposição de um setor em frente ao outro.

4.1.4 Segregação da atividade de acabamento

Com relação às formas de construção do setor de acabamento (existência ou não de barreira física) em relação às demais áreas de trabalho, foram selecionadas empresas cujo setor de acabamento era totalmente segregado, passando-se por segregações parciais, até a ausência de qualquer segregação.

4.1.5 Tipo de rocha trabalhada

Foram selecionadas empresas que beneficiavam somente mármore, como também aquelas que beneficiavam tanto mármore quanto granito. Nesse último caso, as amostras foram coletadas nos dias da semana nos quais as empresas estavam trabalhando com uma ou outra rocha, separadamente. Optou-se por fazer avaliações nas empresas que beneficiavam essencialmente mármore para se conhecer o teor de sílica na poeira do ambiente de trabalho dessas empresas, pois é sabido que essas rochas são essencialmente formadas por carbonatos. Dessa forma, foram escolhidas duas empresas que trabalhavam essencialmente com mármore (MH e MA).

4.2 Das empresas selecionadas e das razões da escolha

As características de cada empresa que poderiam interferir nos resultados obtidos são apresentadas a seguir:

4.2.1 Marmorarias de grande porte

A) Marmoraria MH

- Trabalha essencialmente com mármore (entre 80% e 90 % de sua produção);
- Todos os setores são segregados entre si;
- Setor de acabamento a seco separado dos demais por barreira física em alvenaria;
- Existência de sistema de painel de água combinado com ventiladores axiais.

B) Marmoraria NO

- Setor de acabamento a seco segregado em relação às demais áreas de trabalho, combinado com ventiladores axiais;
- Porta de acesso interligando o setor de acabamento com os demais setores. Esta porta ficava constantemente aberta.
- Setor de acabamento muito bem ventilado;

C) Marmoraria BA

- Setor de acabamento separado das demais áreas de trabalho por barreira física (parede de zinco);
- Sistema de exaustão local central, com acabadores trabalhando em volta do mesmo;
- Sistema de exaustão eólica no teto;
- Sistema de acabamento a úmido trabalhando em conjunto com sistema a seco.

4.2.2 Marmorarias de médio porte

A) Marmoraria TR

- Setor de acabamento a seco separado das demais áreas de trabalho apenas por lona plástica.

B) Marmoraria RE

- As máquinas e equipamentos trabalham com sistema de acabamento a seco, próximo às demais áreas de trabalho, em área parcialmente aberta, possuindo cobertura superior e fechamento dos fundos na altura aproximada de três metros;
- O setor de corte forma um “L” com o setor de acabamento;
- Não possui qualquer sistema de controle de poeira.

C) Marmoraria MA

- Setor de acabamento a seco totalmente segregado em relação às demais áreas de trabalho por barreira física. O galpão internamente é subdividido por paredes de alvenaria;
- Existem dois acessos (sem portas) que servem de ligação entre os setores;
- Não existe qualquer sistema de controle de poeira;
- Trabalha essencialmente com mármore.

D) Marmoraria VI

- Dispõe de processo de acabamento totalmente por via úmida;
- Todo o sistema é alimentado por ar comprimido eliminando o risco de choque elétrico e tornando as operações bem mais silenciosas, comparadas com as que trabalham com equipamentos elétricos.

4.2.3 Marmorarias de pequeno porte

A) Marmoraria TX

- Acabamento totalmente segregado das demais áreas de trabalho, em ambiente completamente fechado;
- Sistema de ventilação local exaustora.

B) Marmoraria PP

- Setor de acabamento a seco totalmente segregado em relação às demais áreas de trabalho por uma estrutura de “toldo” em todo seu perímetro, possuindo sistema de água combinado com ventiladores axiais.

C) Marmoraria PT

- Setor de acabamento a seco junto das demais áreas de trabalho;
- Área totalmente aberta, possuindo apenas cobertura superior com telhas de zinco;

- Não possuía qualquer sistema de controle de poeira;
- Piso em chão de terra batida.

4.3 Metodologia de Avaliação – Estratégia de Amostragem Utilizada

Para se obter avaliações representativas da exposição ocupacional dos trabalhadores as seguintes etapas foram seguidas: reconhecimento qualitativo do ambiente de trabalho, escolha da estratégia de avaliação quantitativa, amostragem, interpretação dos resultados e julgamento profissional.

Todas as amostragens de poeira no ar foram realizadas com base nos procedimentos padronizados para coleta de aerodispersóides sólidos em filtros de membrana da Norma de Higiene do Trabalho da Fundacentro - NHT-02A/E de 1985, que estabelece as vazões da bomba para coleta de poeira respirável em 1,7 L/min e para poeira total em 1,5 L/min (Fundacentro, 1985).

Em cada empresa avaliada as amostragens foram feitas num único dia de trabalho.

A técnica de coleta de amostras utilizada foi a de amostra única, onde uma única amostra de ar é coletada em pelo menos 70% da jornada de trabalho, de maneira a possibilitar a comparação do resultado da concentração média obtida com o limite de exposição da jornada total, conforme recomendações nacional (Brasil, 1995) e internacional (ACGIH, 2003). Apesar dessa metodologia melhor representar a exposição durante a jornada de trabalho, ela não é comumente adotada na prática da higiene industrial.

Para as amostragens no setor de acabamento a seco das empresas, em virtude da grande quantidade de poeira gerada nesse setor, optou-se por utilizar a técnica de coleta de amostras consecutivas, de maneira a não sobrecarregar o filtro. No entanto, o tempo total de amostragem foi o mesmo preconizado pela técnica de amostra única, ou seja, compreendendo cerca de 70% ou mais da jornada de trabalho.

Na interpretação dos resultados considerou-se que a concentração média do período avaliado representou a jornada inteira de trabalho, para efeito de comparação com os valores recomendados ou legais.

Para a avaliação, escolheu-se aleatoriamente um dia típico de trabalho, com a garantia de que as atividades estudadas estivessem sendo executadas, de maneira a representar a exposição dos trabalhadores, sem qualquer interferência dessa pesquisa no processo de trabalho.

Nas marmorarias comumente ocorreram situações em que atividades geradoras de poeira eram realizadas ao lado de outras que ofereciam menor risco, como o caso da atividade de corte a úmido, realizada em ambiente contíguo ao do acabamento de granito, a seco. Por essa razão, foram feitas, sempre que possíveis, avaliações simultâneas para todas as funções. Em quase todas as empresas foram feitas cinco avaliações simultâneas, sendo quatro individuais e uma amostra ambiental ou de área. A coleta de amostra individual era feita fixando o sistema de coleta no próprio trabalhador, na altura da zona de respiração (geralmente na lapela).

Os trabalhadores que foram avaliados individualmente exerciam as funções de serrador ou cortador, acabador, polidor e auxiliar administrativo. Abaixo, os postos de trabalho ou locais avaliados são relacionados a uma breve descrição das atividades exercidas pelos trabalhadores ali localizados ou ao posicionamento do amostrador no ambiente:

Serrador ou cortador: seleciona a chapa no pátio de estocagem, conforme a rocha escolhida pelo cliente; faz a medição e o corte seguindo orientações do projeto solicitado. Seu trabalho exige conhecimento mais profundo sobre as variedades de rochas e sensibilidade para a combinação dos desenhos naturais formados pelas variações de tonalidade das rochas, quando da execução do corte. Muitas vezes, é ele que orienta os acabadores sobre a montagem das peças e tipos de acabamento (Santos, 2005).

Acabador: recebe a peça já cortada no formato e tamanho definidos pelo projeto; executa o acabamento de bordas e a montagem da peça por meio de colagem; corrige imperfeições e dá o polimento final (Santos, 2005).

Polidor: seleciona a chapa escolhida pelo cliente no pátio de estocagem, transportando-a, através de carrinhos próprios ou rodízios, até a politriz e, em seguida, realiza o

polimento de face da chapa. Essa atividade não é usual em todas as marmorarias, pois as empresas têm optado pela compra das chapas já polidas.

Auxiliar Administrativo: é responsável pelo setor administrativo da empresa.

Amostra de área (ambiental ou de ponto fixo) é aquela onde o sistema de coleta ou medição é posicionado em ponto fixo do ambiente de trabalho, a uma altura mínima de 1,65 m em relação ao chão, em local de circulação comum aos trabalhadores, próximo às principais fontes geradoras de poeira.

4.4 Aparelhagem Utilizada

As coletas de poeira do ambiente de trabalho nas empresas foram realizadas com um sistema de amostragem semelhante ao mostrado na Figura 4.1, constituído pelos seguintes equipamentos:

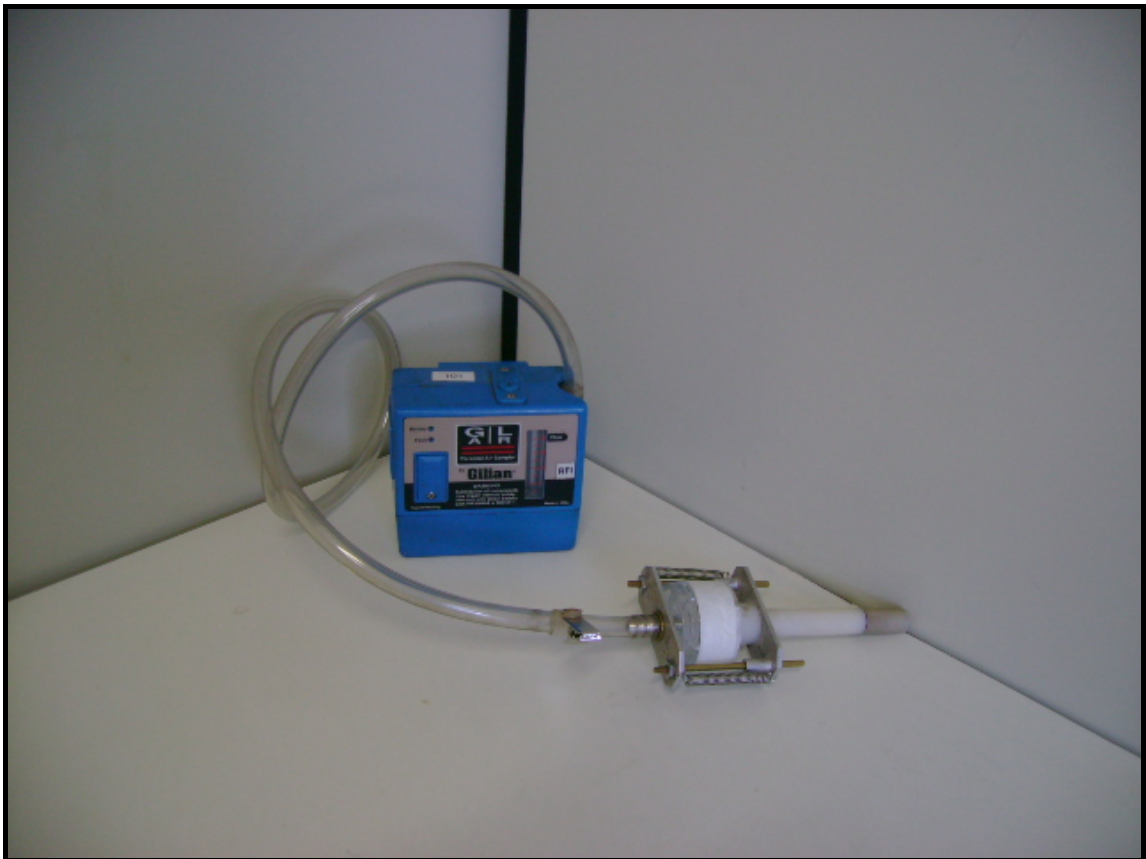


Figura 4.1 – Modelo de conjunto amostrador: bomba, ciclone, cassete e filtro

4.4.1 Porta-filtros

Os porta-filtros ou cassetes eram constituídos por duas peças de poliestireno, adequadamente vedadas após a preparação dos filtros com bandas de celulose, de modo a evitar contaminações, umidade, etc.

4.4.2 Filtros

O filtro utilizado na coleta de poeira contendo sílica livre foi o de PVC, com 5 μ m de tamanho de poro e 37mm de diâmetro, o que permite a captura de partículas de retenção no tecido pulmonar (entre 0,5 e 10 μ m). O filtro de PVC é o mais indicado para coleta desse tipo de poeira, pois possui alta eficiência de coleta, não é higroscópico e não interfere no método de análise de sílica livre, uma vez que o teor de cinza, após a calcinação, é muito pequeno.

4.4.3 Suporte

Os suportes eram placas de papel (descartáveis) com 37mm de diâmetro, utilizadas para apoiar os filtros dentro do porta-filtro. Os suportes eram descartados após cada coleta para evitar contaminações das amostras.

4.4.4 Pré-classificador – ciclone

A coleta de poeira respirável foi feita por meio de amostradores, que são dispositivos mecânicos que separam aerodinamicamente as partículas não respiráveis da corrente gasosa. O pré-classificador exclui as partículas da amostra do mesmo modo que as vias respiratórias superiores evitam que partículas atinjam a região alveolar. A poeira passa pelo ciclone, acelera-se e forma um turbilhão, fazendo com que as partículas mais pesadas sejam alojadas fora da corrente de ar e passem à sessão de eliminação situada na parte inferior do ciclone. As partículas respiráveis menores que 10 μ m permanecem na corrente de ar e são recolhidas pelo filtro para posterior análise.

A legislação brasileira adota o ciclone padrão de 10 μ m como pré-coletor e recomenda a utilização da curva de eficiência da ACGIH (Brasil, 1978). O ciclone utilizado neste trabalho foi o de Dorr-Oliver.

Tanto a concentração como a porcentagem de quartzo, para a aplicação do limite de tolerância estabelecido no Anexo-12 da NR-15 (Brasil, 1978), foram determinadas a partir da porção que passa por um ciclone com as características daquele da Tabela 3.5.

4.4.5 Bomba Bulk VSS-5

Para a coleta foram utilizadas bombas do tipo Bomba Bulk Genie VSS-5. As bombas foram previamente calibradas no laboratório antes de serem utilizadas nas medições. A vazão média – Q_m – das mesmas foi calculada conforme descrito no item 4.6.1 dessa dissertação. A diferença máxima admitida entre a vazão inicial e final foi de 5%.

4.5 Procedimentos analíticos

As análises gravimétricas de poeira e a determinação quantitativa de sílica cristalina foram realizadas no Laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de Raios-X (LMGD) da Fundacentro em São Paulo (Santos *et al.*, 2001).

Para quantificação da massa de poeira no filtro presente nas amostras, utilizou-se o método analítico NHO-03: Análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos sobre filtros (Santos *et al.*, 2001). Para quantificação da sílica cristalina presente nas amostras, utilizou-se o método analítico MHA 01/D: Determinação quantitativa de sílica livre cristalizada por difração de raios-X da Fundacentro, que é o método 7500 do NIOSH adaptado, com limite de detecção de 6,5 μ g de sílica e limite de quantificação de 10 μ g de sílica (Santos *et al.*, 2001).

Foram preparadas para análise de sílica apenas as amostras que, após análise gravimétrica, apresentaram massa de poeira igual ou superior a 0,10mg por filtro coletado, porque quantidades inferiores não atingiam o limite de quantificação de sílica. As demais amostras receberam a denominação de MI (Massa Insuficiente).

4.6 Cálculos das concentrações

Para o cálculo das concentrações das amostras foram utilizadas as seguintes equações:

4.6.1 Volume de amostragem

$$Q_m = \frac{Q_i + Q_f}{2} \text{ L/min} \quad (\text{equação 4.1}), \text{ onde:}$$

Q_m = vazão média da amostragem, em L/min

Q_i = vazão inicial na amostragem, em L/min

Q_f = vazão final na amostragem, em L/min

Logo, o volume amostrado é por:

$$V_a = Q_m \times t_a \quad (\text{equação 4.2}), \text{ onde:}$$

V_a = volume de amostragem, em L

Q_m = vazão média de amostragem, em L/min

t_a = tempo amostrado, em min

Como os limites de tolerância normalmente são expressos em mg/m^3 , então:

$$V_a = \frac{Q_m \times t_a}{1000}, \text{ em m}^3 \quad (\text{equação 4.2 A})$$

4.6.2 Concentração de poeira

$$C = \frac{m}{V_a} \quad (\text{equação 4.3}), \text{ onde:}$$

C = concentração de poeira, em mg/m^3

m = massa de amostra coletada, em mg

V_a = volume na amostragem, em m^3

No caso específico do setor de acabamento a seco, onde várias amostras consecutivas foram coletadas durante o período desejado, os resultados de cada uma delas foram utilizados para o cálculo da concentração média ponderada para o período, através de:

$$C_{MP} = \frac{(C_1 \times t_1) + (C_2 \times t_2) + \dots + (C_n \times t_n)}{(t_1 + t_2 + \dots + t_n)} \quad (\text{equação 4.4}), \text{ onde:}$$

C_{MP} = concentração média ponderada, em mg/m^3

C_1 = concentração de poeira obtida no tempo t_1 , em mg/m^3

C_2 = concentração de poeira obtida no tempo t_2 , em mg/m^3

C_n = concentração de poeira no tempo t_n , em mg/m^3

4.6.3 Limite de tolerância (LT) pela Legislação Brasileira

Para poeira total: $LT = \frac{24}{\%SiO_2 + 3} \text{ mg}/\text{m}^3$ (equação 4.5)

Para poeira respirável: $LT = \frac{8}{\%SiO_2 + 2} \text{ mg}/\text{m}^3$ (equação 4.6)

Os resultados das avaliações de poeira respirável foram comparados com os limites de tolerância estabelecidos pela NR-15 (Brasil, 1978) e com o nível de ação proposto pela NR-09 (Brasil, 1994).

4.6.4 Limite de exposição ocupacional (LEO) pela ACGIH

Para a comparação dos resultados das concentrações encontradas com os limites de exposição ocupacional recomendados pela ACGIH, no caso da sílica na fração respirável, utilizou-se o modelo desenvolvido pelos pesquisadores Brief e Scala (1975). Esse modelo reduz o TLV proporcionalmente ao aumento de exposição e à redução do

tempo de recuperação (tempo de não-exposição) e é voltado genericamente para aplicação a jornadas de trabalho superiores a 8 horas por dia ou 40 horas por semana.

Calcula-se primeiramente o fator de reprodução através da seguinte expressão:

$$FR = \frac{40}{h} \times \frac{168 - h}{128} \quad (\text{equação 4.7}), \text{ onde:}$$

FR = Fator de reprodução

h = atual jornada de trabalho, em horas, adotadas no Brasil (44h)

40 = jornada de trabalho de 40 horas semanais

168 = tempo relativo a sete dias da semana, em horas (7 dias x 24 horas)

128 = tempo de não-exposição, em horas (168h – 40h)

Aplicando h = 44 (para a semana de 44 h) na equação 4.7, tem-se:

$$FR = 0,88$$

Da multiplicação do FR de 0,88 pelo TLV para a sílica (TLV = 0,05 mg/m³) obtêm-se os novos limites de exposição corrigidos, segundo Brief e Scala.

Assim, o limite de exposição para sílica respirável, para uma jornada de 44 horas semanais é:

$$\text{TLV corrigido} = 0,05 \times 0,88 = 0,044 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{TLV corrigido} = 0,044 \text{ mg/m}^3$$

5 RESULTADOS

Os resultados das concentrações de poeira nas 47 amostras de material particulado coletadas nas dez empresas avaliadas nesse trabalho estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Concentração de poeira e concentração de sílica encontrada nas marmorarias de Belo Horizonte.

Concentração (mg/m ³)	Serrador 1**	Polidor 1	Acabador 1	Escritório 1	Ambiental 1
POEIRA	0,12	0,67	2,98	0,37	0,32
SÍLICA	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01
	Serrador 2	Polidor 2*	Acabador 2	Escritório 2**	Ambiental 2
POEIRA	0,46	-----	2,94	0,21	1,59
SÍLICA	0,05	-----	0,19	0,00	0,21
	Serrador 3	Polidor 3	Acabador 3	Escritório 3	Ambiental 3
POEIRA	0,64	0,30	5,97	0,15	1,70
SÍLICA	0,07	0,02	0,66	0,02	0,08
	Serrador 4	Polidor 4*	Acabador 4	Escritório 4**	Ambiental 4*
POEIRA	2,35	-----	4,22	0,12	-----
SÍLICA	0,46	-----	0,41	0,16	-----
	Serrador 5*	Polidor 5*	Acabador 5	Escritório 5*	Ambiental 5
POEIRA	-----	-----	1,36	-----	0,30
SÍLICA	-----	-----	0,22	-----	0,02
	Serrador 6	Polidor 6*	Acabador 6	Escritório 6*	Ambiental 6
POEIRA	0,57	-----	3,24	-----	1,13
SÍLICA	0,04	-----	0,63	-----	0,11
	Serrador 7	Polidor 7*	Acabador 7	Escritório 7**	Ambiental 7
POEIRA	0,42	-----	4,28	0,08	0,62
SÍLICA	0,04	-----	1,74	0,00	0,10
	Serrador 8	Polidor 8*	Acabador 8	Escritório 8	Ambiental 8***
POEIRA	1,16	-----	3,61	0,28	-----
SÍLICA	0,01	-----	0,03	0,01	-----
	Serrador 9**	Polidor 9*	Acabador 9**	Escritório 9	Ambiental 9**
POEIRA	0,20	-----	0,02	0,28	0,13
SÍLICA	0,00	-----	0,00	0,18	0,00
	Serrador 10*	Polidor 10*	Acabador 10.1	Escritório 10*	Ambiental 10
POEIRA	-----	-----	5,39	-----	1,86
SÍLICA	-----	-----	1,34	-----	0,23

LEGENDA	
*	Não quantificado
**	Massa insuficiente
***	Amostra solta

Como o principal objetivo desse trabalho foi identificar riscos potenciais à saúde dos trabalhadores relacionados com a exposição à poeira contendo sílica cristalina, foi necessário comparar a concentração de poeira à qual o trabalhador estava exposto com a concentração limite de poeira permitida legalmente, ou recomendada internacionalmente. Os valores de concentração encontrados foram comparados com três níveis de referências estabelecidos para concentrações limites de poeira no ar, a saber: 1) “Limites de Tolerância para Poeiras Mineraias” constante no Anexo 12, da Norma Regulamentadora - NR-15 (Brasil, 1978); 2) “Concentração Limite Correspondente ao Nível de Ação” recomendada pela Norma Regulamentadora - NR-09 (Brasil, 1994); 3) “Limite de Exposição Ocupacional para Sílica Cristalina Respirável” prescrito pela ACGIH (ACGIH, 2003). Esses resultados são apresentados na forma de gráficos, os quais foram elaborados para cada empresa, mostrando todas as funções que foram avaliadas (Fig. 5.1 a 5.10), e também foram elaborados por funções, englobando todas as empresas (Fig. 5.11 a 5.15). Para cada empresa foram construídos dois gráficos, de maneira que se pudessem comparar as concentrações de poeira encontradas com os limites de referência adotados pela legislação nacional (gráfico da esquerda), e com os prescritos pela ACGIH (gráfico da direita).

5.1 Resultados por empresas

Os gráficos da concentração poeira contendo sílica e das concentrações de sílica para cada empresa mostrados nas Figuras 5.1 a 5.10 representam os resultados por empresas, acompanhado das razões da escolha de cada uma delas. A apresentação dos resultados dessa forma enfatiza o problema da exposição do trabalhador, pois é possível perceber de maneira rápida e direta quando os níveis de concentração de poeira estão acima dos valores de referência permitidos. Onde não foram feitas avaliações, os histogramas não foram construídos, permanecendo no valor zero.

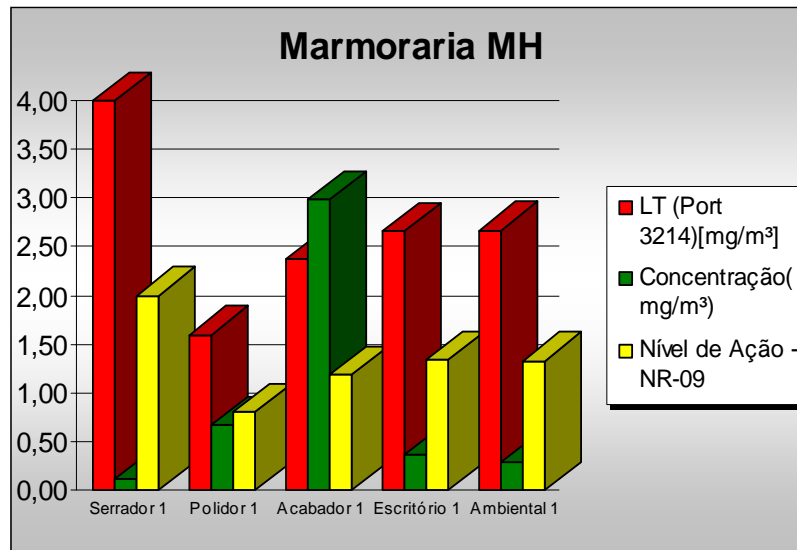
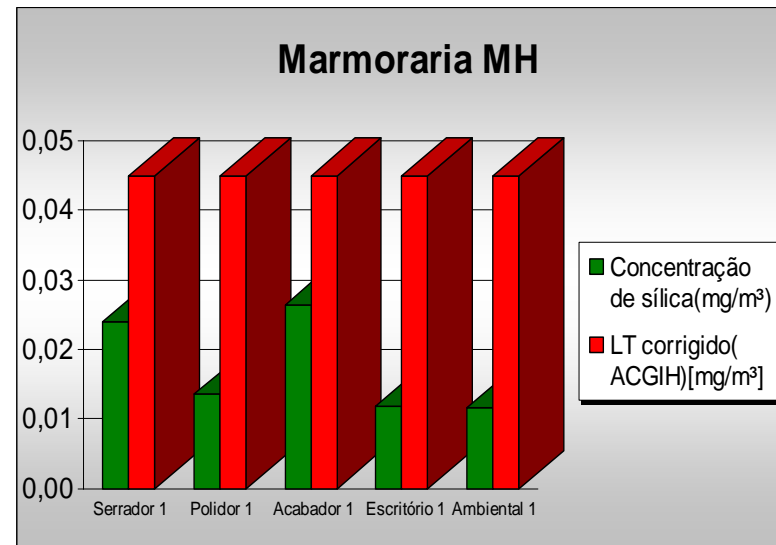


Figura 5.1a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria MH (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.1b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria MH (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA MH

- Trabalha essencialmente com mármore (Entre 80% e 90 %);
- Todos os setores segregados entre si.
- Setor de acabamento a seco separado dos demais por barreira física (alvenaria).
- Existência de sistema de painel de água com ventiladores axiais.

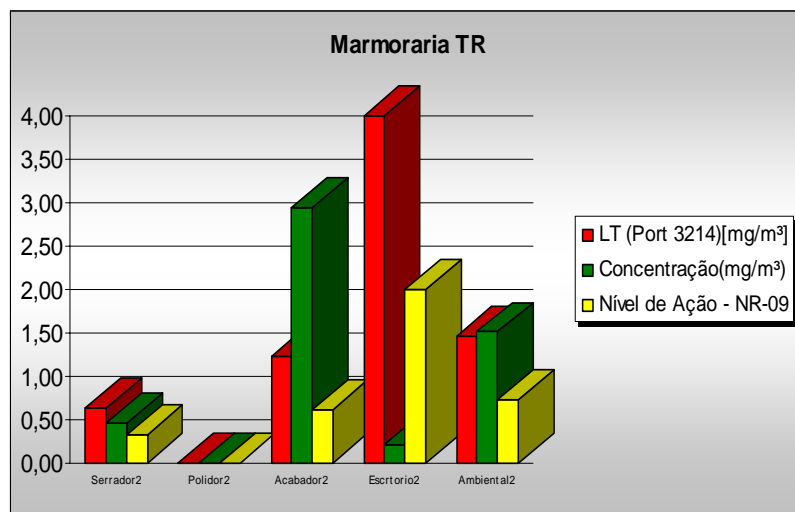
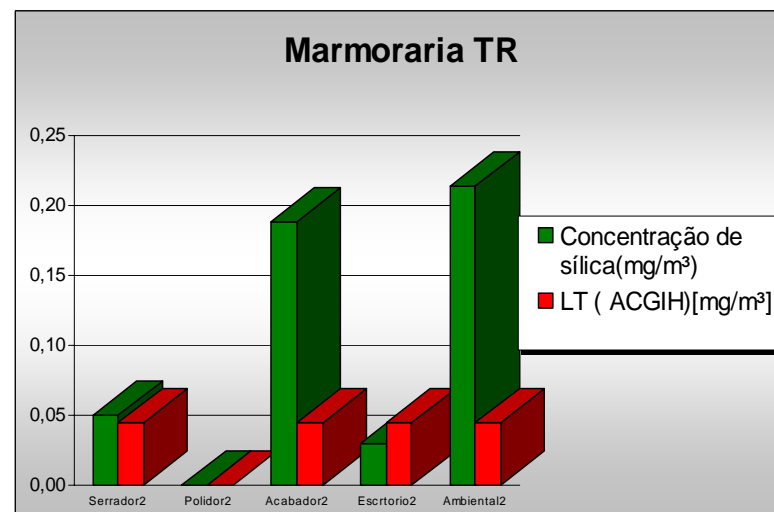


Figura 5.2a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria TR (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.2b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria TR (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA TR

- Setor de acabamento a seco separado das demais áreas de trabalho apenas por lona plástica.

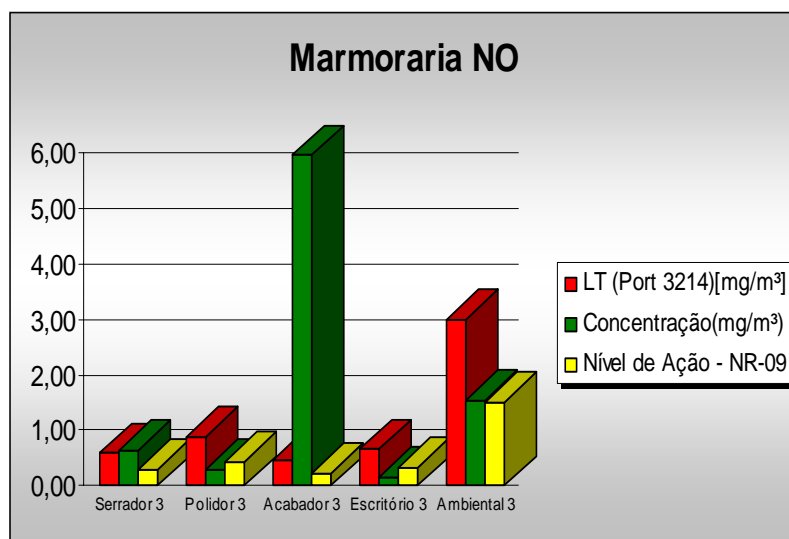
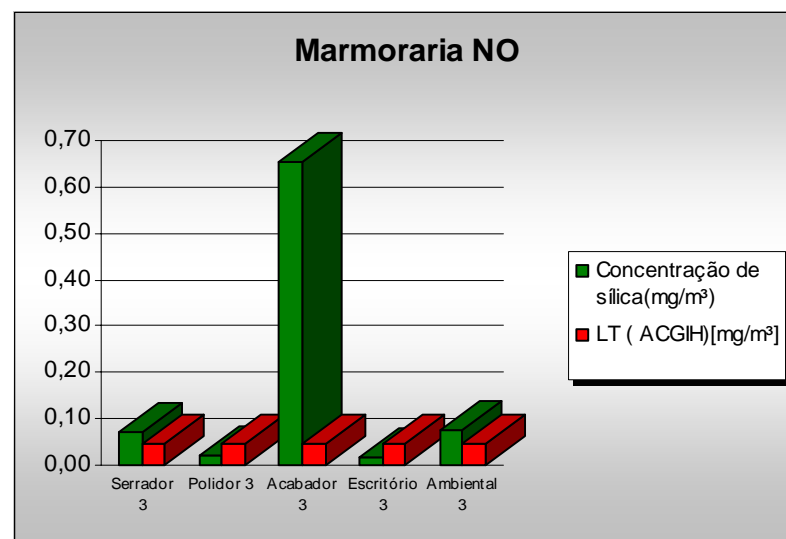


Figura 5.3a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria NO (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.3b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria NO (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA NO

- Setor de acabamento a seco segregado em relação às demais áreas de trabalho, combinado com ventiladores axiais.
- Porta de acesso interligando o setor de acabamento com os demais setores.
- O setor de acabamento é muito bem ventilado.

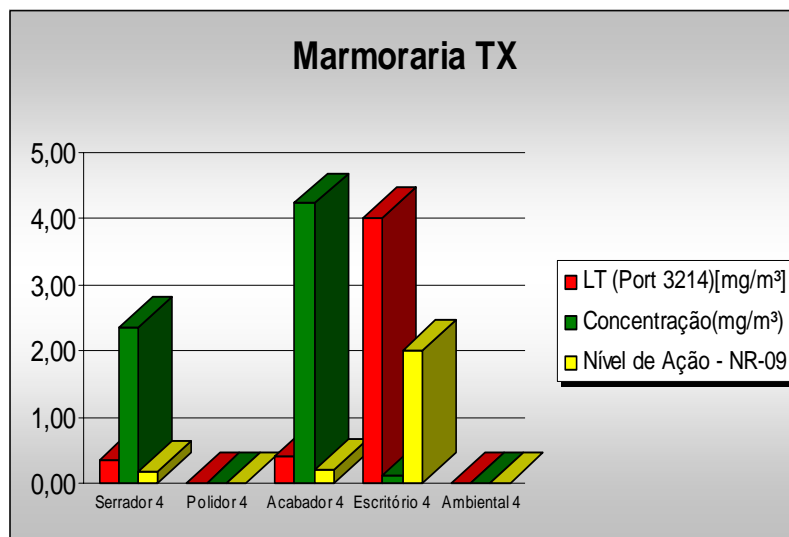
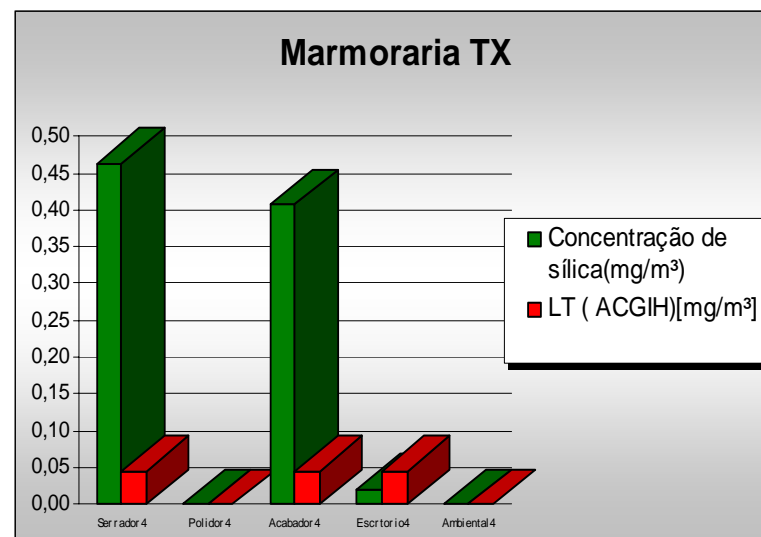


Figura 5.4a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria TX (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.4b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria TX (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA TX

- Acabamento totalmente segregado das demais áreas de trabalho, em ambiente completamente fechado.
- Sistema de ventilação local exaustora.

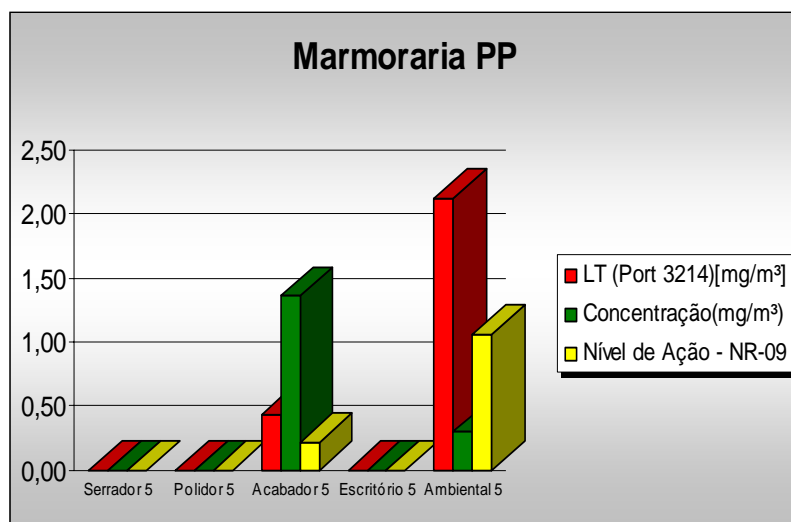
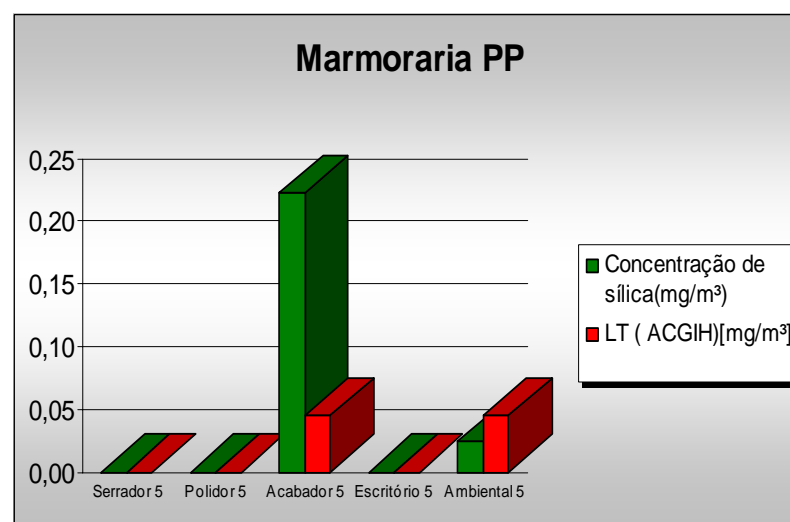


Figura 5.5a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria PP (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.5b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria PP (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA PP

- Setor de acabamento a seco totalmente segregado em relação às demais áreas de trabalho por uma estrutura tipo “toldo”, em todo seu perímetro, com sistema de painel de água, combinado com ventiladores axiais.

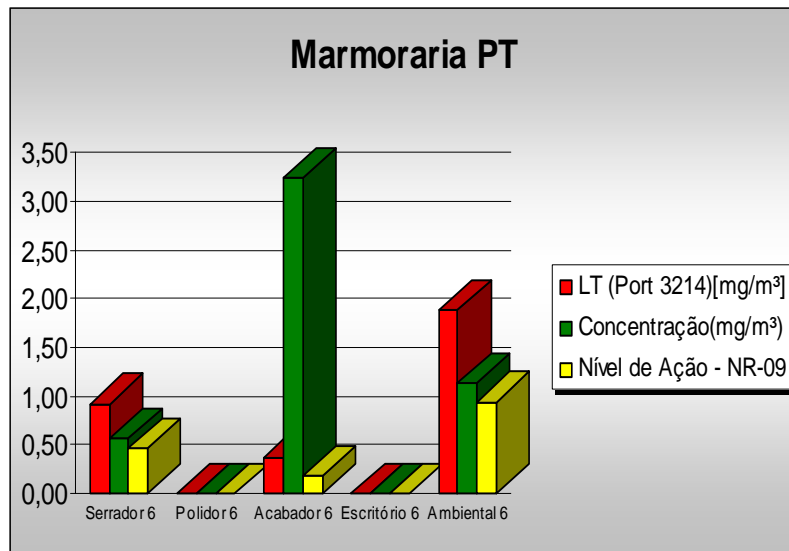
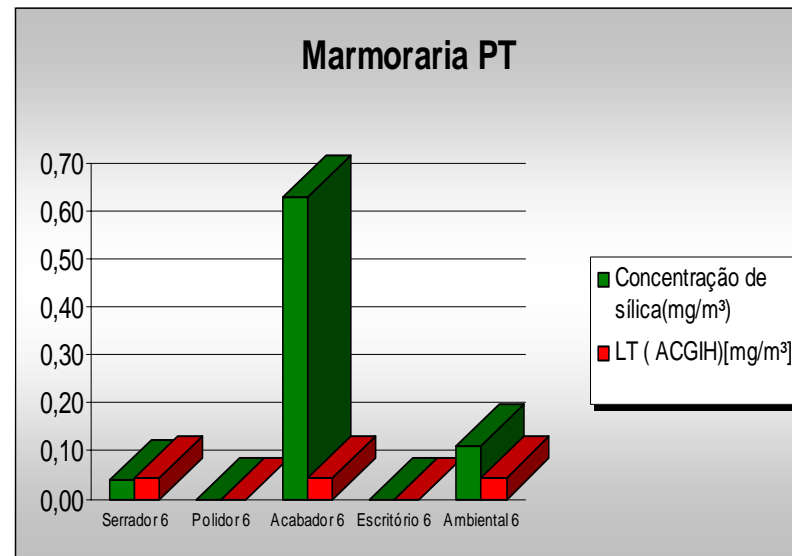


Figura 5.6a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria PT (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.6b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria PT (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA PT

- Setor de acabamento a seco junto das demais áreas de trabalho.
- Área totalmente aberta, possuindo apenas cobertura superior com telhas de zinco.
- Não possui qualquer sistema de controle, e o chão é de terra batida.

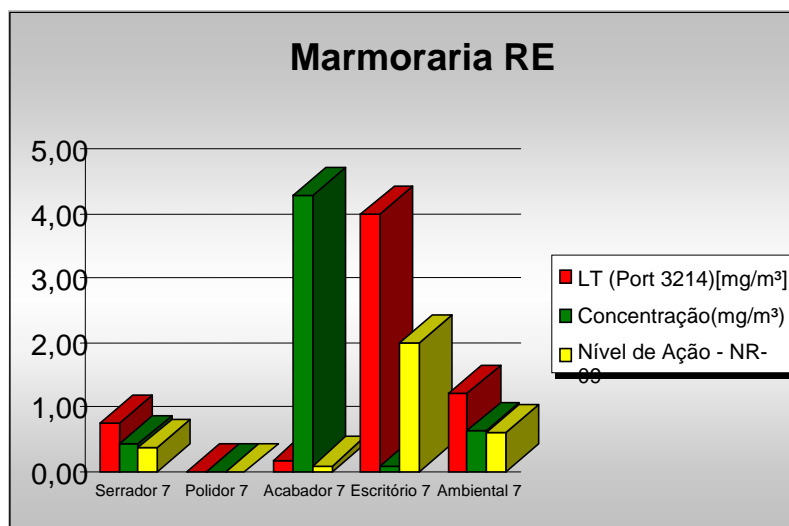
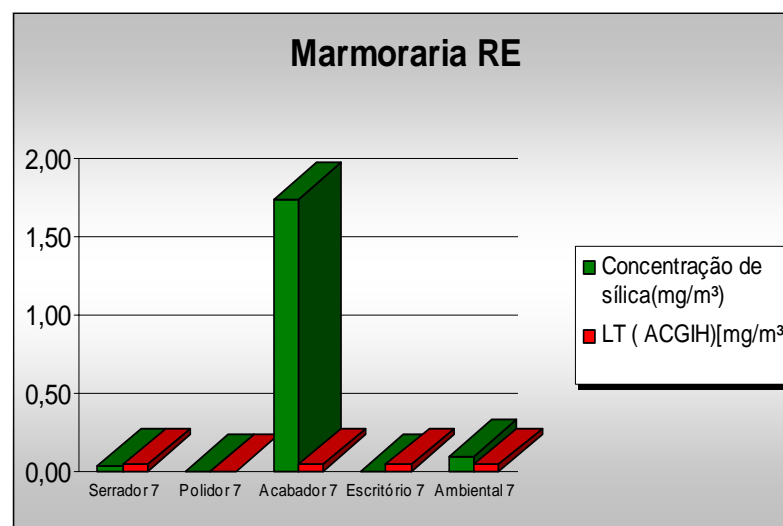


Figura 5.7a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria RE (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.7b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria RE (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA RE

- As máquinas e equipamentos trabalham com sistema de acabamento a seco, próximo às demais áreas de trabalho, em área relativamente aberta, possuindo cobertura superior e fechamento nos fundos na altura de aproximadamente 3,00 metros. O setor de corte forma um “L” com o setor de acabamento.
- Não possui qualquer sistema de controle.

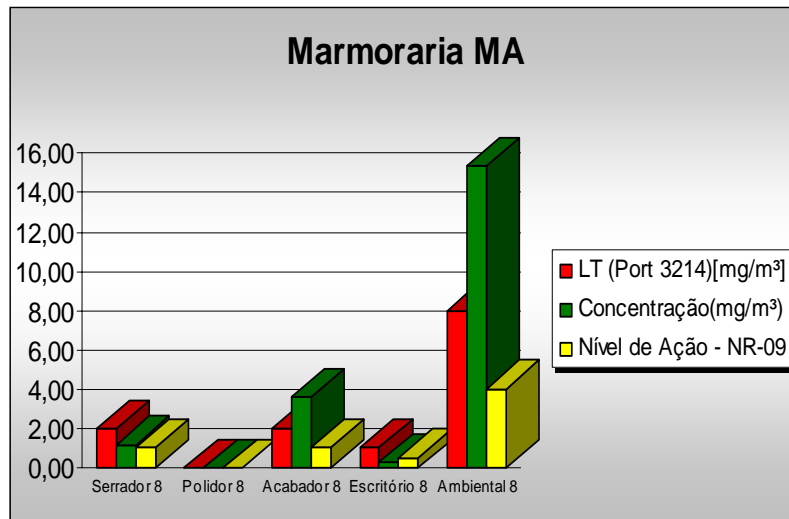
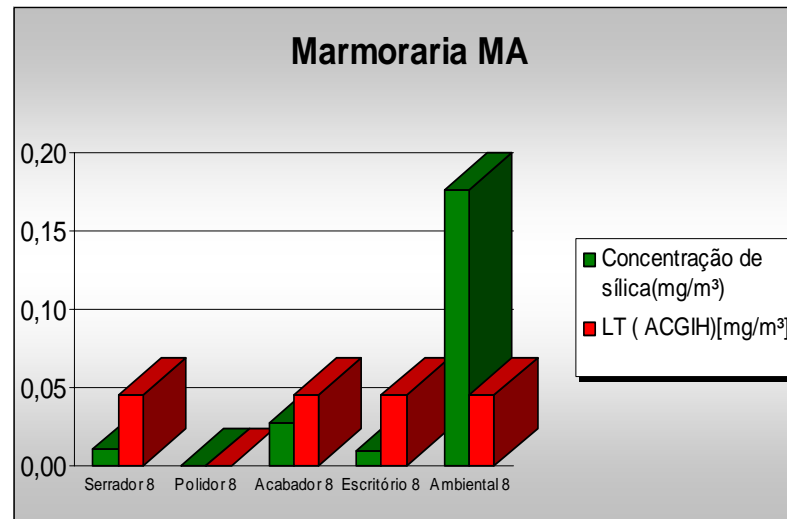


Figura 5.8a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria MA (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.8b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria MA (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA MA

- Setor de acabamento a seco totalmente segregado em relação às demais áreas de trabalho por barreira física. Embora o galpão seja único, internamente, ele está subdividido, por parede de alvenaria.
- Existem dois acessos (não tem porta) que servem de ligação entre os setores. Não existe qualquer sistema de controle de poeira.
- Trabalha essencialmente com mármore.

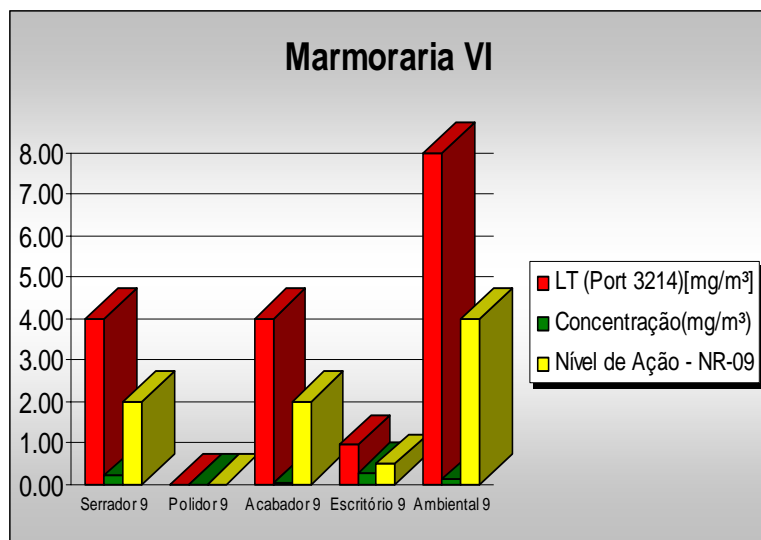
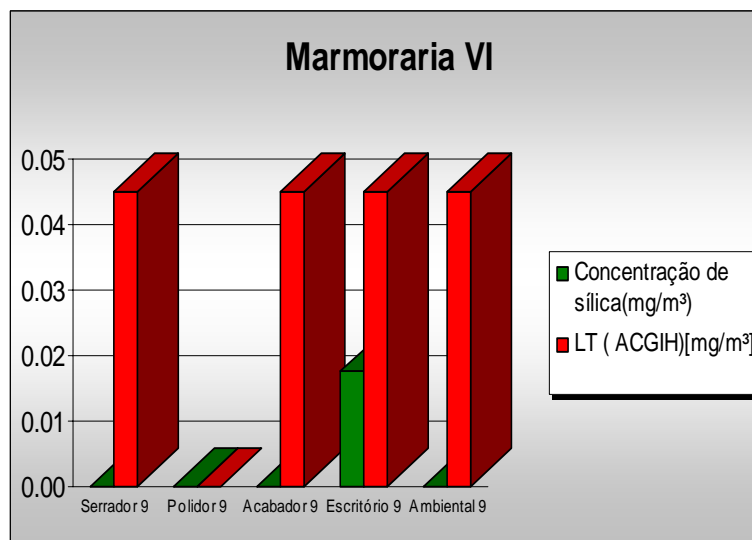


Figura 5.9a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria VI (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.9b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria VI (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA VI

- Dispõe de processo de acabamento totalmente por via úmido.
- Todo o sistema é alimentado por ar comprimido eliminando o risco de choque elétrico, além de tornar as operações extremamente silenciosas, quando comparadas com as que trabalham com equipamentos elétricos.

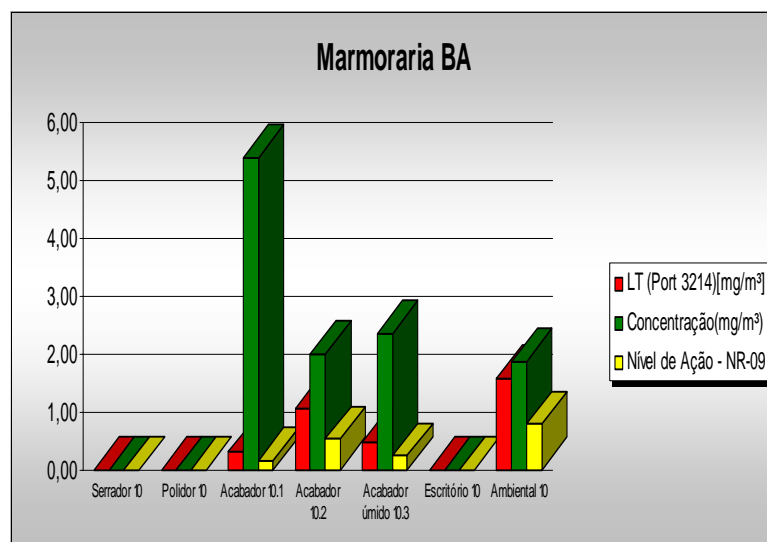
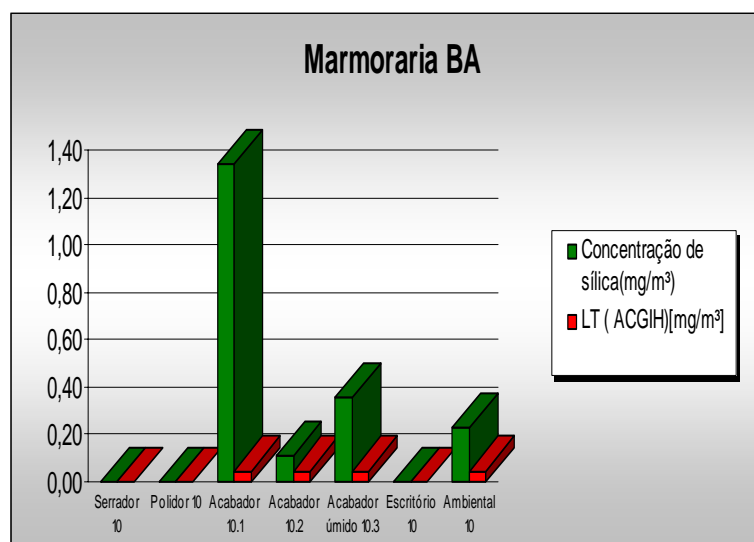


Figura 5.10a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria BA (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.10b – Concentração de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas em diversos setores da Marmoraria BA (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limite definida pela ACGIH.

PERFIL DA MARMORARIA BA

- Setor de acabamento separado das demais áreas de trabalho por barreira física: parede de zinco.
- Sistema de exaustão local central, com acabadores trabalhado em torno desta exaustão.
- Sistema de exaustão eólica no teto.
- Sistema de acabamento a úmido trabalhando em conjunto com sistemas a seco.

5.2 Resultados por função em todas as empresas

Os resultados são apresentados também por função desempenhada pelo trabalhador dentro da empresa avaliada. Foram consideradas cinco diferentes funções dentro das empresas e para cada função os resultados foram agrupados em um gráfico, no qual as concentrações de poeira contendo sílica e as concentrações de sílica encontradas para cada função são comparadas com os diferentes limites de referência utilizados nesse estudo.

Os resultados encontrados para as funções avaliadas são apresentados a seguir:

5.2.1 Acabadores

De todas as funções avaliadas, do ponto de vista ocupacional, a mais crítica em termos de exposição à poeira mineral é a de acabador. Os resultados mostraram que, devido ao uso de ferramentas manuais elétricas como lixadeiras e serras, em processo a seco, foi no setor de acabamento das marmorarias, o local onde se encontraram as mais altas concentrações de poeira contendo sílica (Figura 5.11).

Em alguns casos, a concentração de poeira no setor de acabamento na fração respirável foi muito alta até mesmo para as chamadas Poeiras Não Classificadas de Outra Maneira (PNOC), que são aquelas que devem ter menos de 1% de sílica livre cristalina e não devem conter asbesto. Segundo a ACGIH (2003), esse tipo de particulado, apesar de não causar fibrose ou efeitos sistêmicos, não é biologicamente inerte.

De maneira geral, dos resultados pode-se observar que para todas as empresas, com exceção daquela em que o acabamento era a úmido (Acabador 9), as concentrações de poeira às quais os acabadores estavam expostos superaram o limite de tolerância da NR-15, Anexo 12 - Poeiras Minerais. Com relação aos Limites de Exposição da ACGIH (TLVs), a exceção do acabamento a úmido (Acabador 9) e das duas empresas que trabalhavam essencialmente com mármore (Acabadores 1 e 8), em todas as demais empresas esse limite de exposição foi excedido na função de acabador.

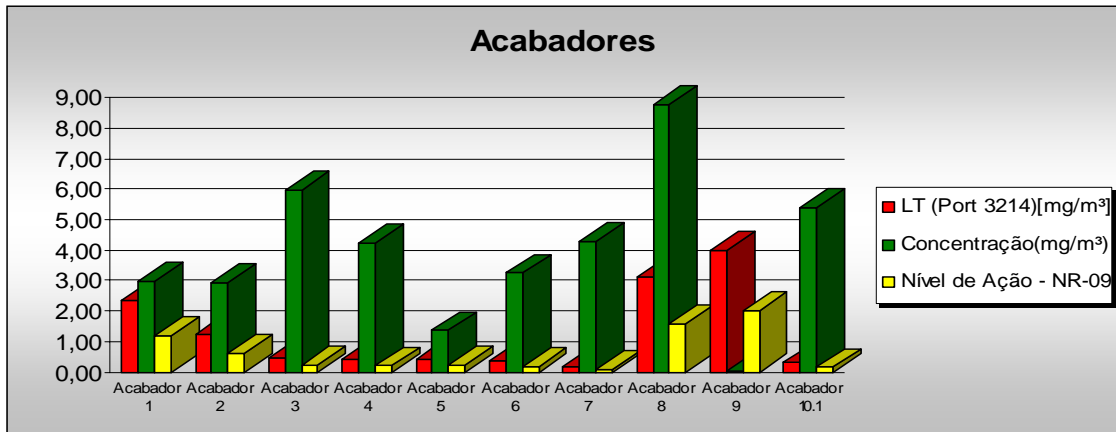
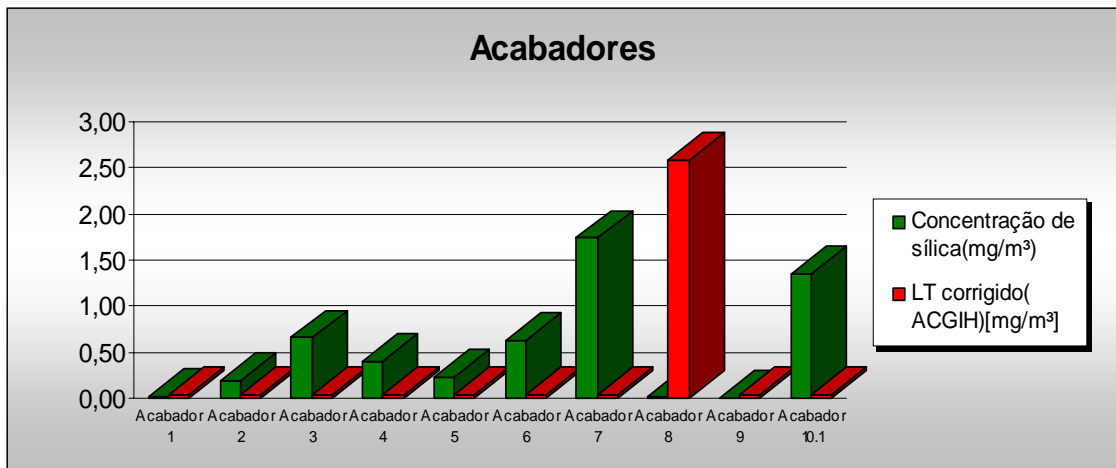


Figura 5.11a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor de acabamento de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.11b – Concentração de poeira de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor de acabamento de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limites definida pela ACGIH.

5.2.2 Serradores

Das funções avaliadas nas marmorarias, a de serrador é, talvez, a que sofra maior influência do setor de acabamento. Embora para o senso comum, do ponto de vista ocupacional não seja importante, dadas às características do processo de corte, sempre a úmido, os números mostraram que, por uma série de razões, dentre os oito serradores avaliados, dois estiveram expostos a uma concentração de poeira superior ao

Limite de Tolerância, seis estiveram expostos a uma concentração de poeira superior ao chamado Nível de Ação ou de Alerta, e três estiveram expostos a uma concentração de sílica superior ao Limite de Exposição proposto pela ACGIH (TLVs), conforme pode ser verificado na figura 5.12.

As concentrações de poeira encontradas no setor de corte, que é realizado na totalidade dos casos por via úmida, pode ser justificada pela proximidade com o setor de acabamento, pela quantidade de partículas de poeira que é projetada junto com a água e pela movimentação constante do serrador no setor de acabamento ou próximo dele. No entanto, os chamados pequenos cortes, realizados com serra manual a seco, podem também contribuir na dose recebida pelo serrador, embora não seja possível estimar a frequência dessa atividade e, conseqüentemente, a sua influência na concentração final.

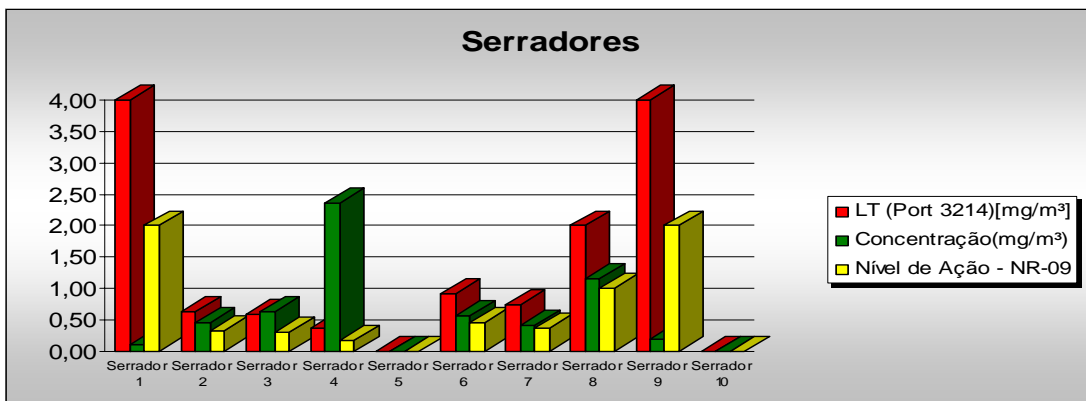
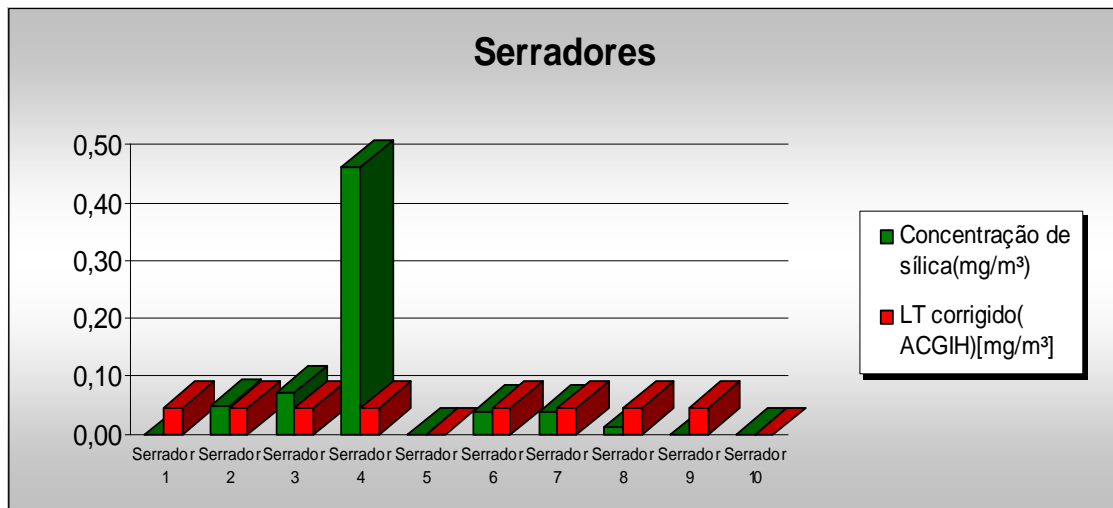


Figura 5.12a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor de corte de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.12b – Concentração de poeira de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor de corte de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limites definida pela ACGIH.

5.2.3 Ambientais

A amostragem ambiental também sofreu forte influência do setor de acabamento. Como anteriormente mencionado, as amostragens ambientais são geralmente utilizadas com a finalidade de se conhecer os níveis de concentração de um contaminante no ar de determinado ambiente de trabalho aos quais os trabalhadores estão expostos ou na avaliação da eficácia das medidas de controle existentes.

Os resultados da concentração de sílica encontrados nas avaliações ambientais também foram preocupantes. Em duas marmorarias avaliadas os Limites de Tolerância foram excedidos. Com relação ao chamado Nível de Ação ou de Alerta e Limites de Exposição da ACGIH (TLVs), estes foram excedidos em cinco das nove amostras avaliadas, sendo que dessas apenas oito foram validadas (Figura 5.13).

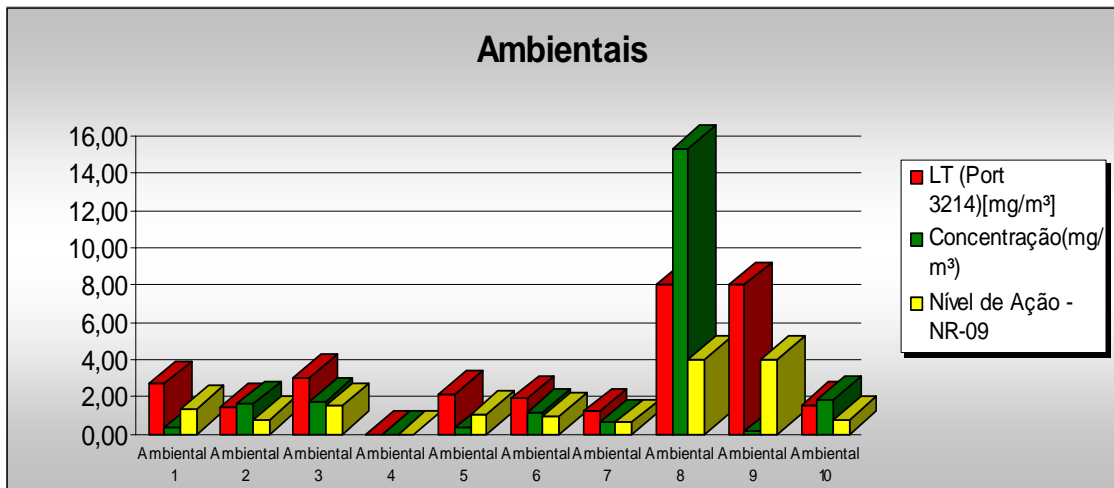
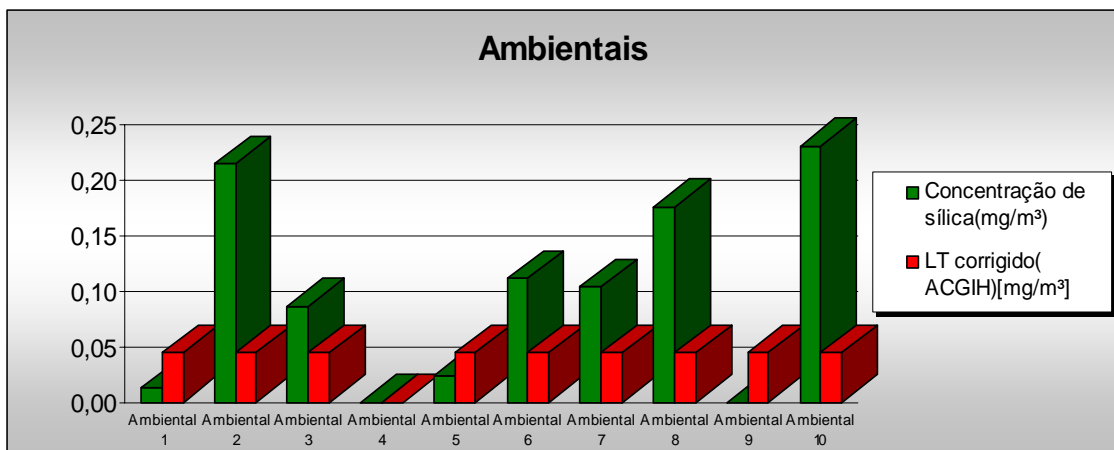


Figura 5.13a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no ambiente de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.13b – Concentração de poeira de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no ambiente de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limites definida pela ACGIH.

5.2.4 Polidores

No caso da atividade de polimento, existente apenas em duas das empresas avaliadas, devido às características do processo que é realizado a úmido, foram encontradas baixas concentrações de poeira em relação aos limites de referência recomendados (Figura 5.14).

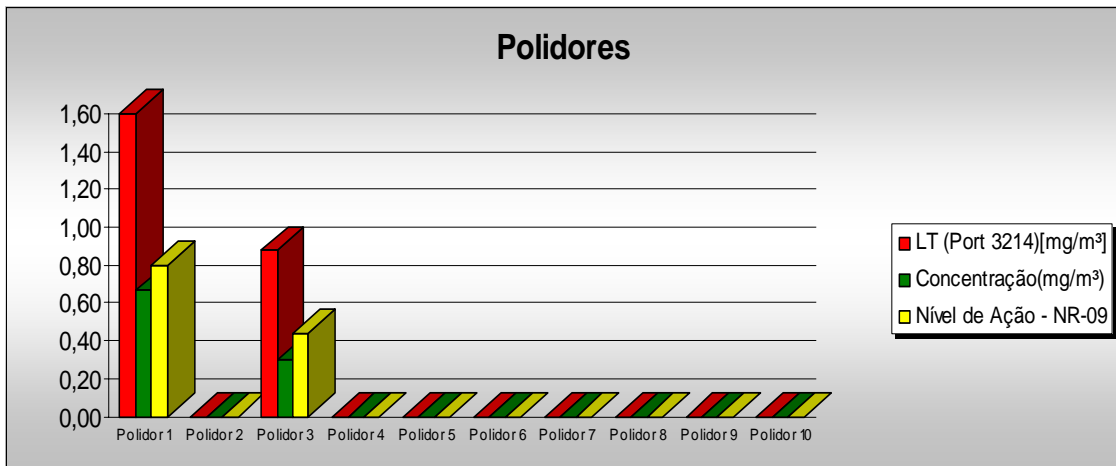
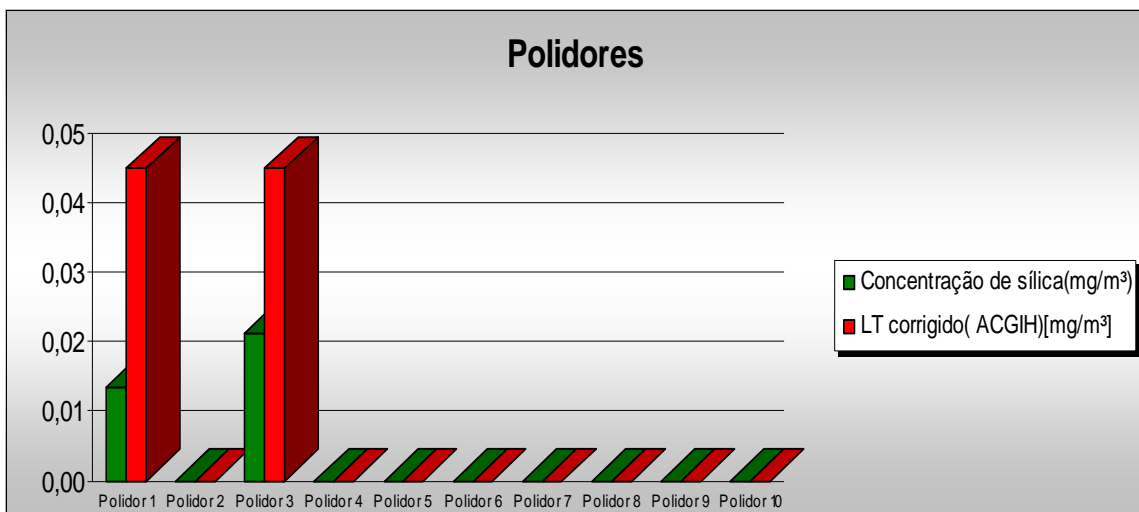


Figura 5.14a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor de polimento de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.14b – Concentração de poeira de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor de polimento de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limites definidas pela ACGIH.

5.2.5 Escritório

No caso dos escritórios, dada a localização privilegiada dos mesmos em relação ao setor de acabamento a seco, foram encontradas concentrações de poeira no ar abaixo dos limites de referência recomendados (Figura 5.15).

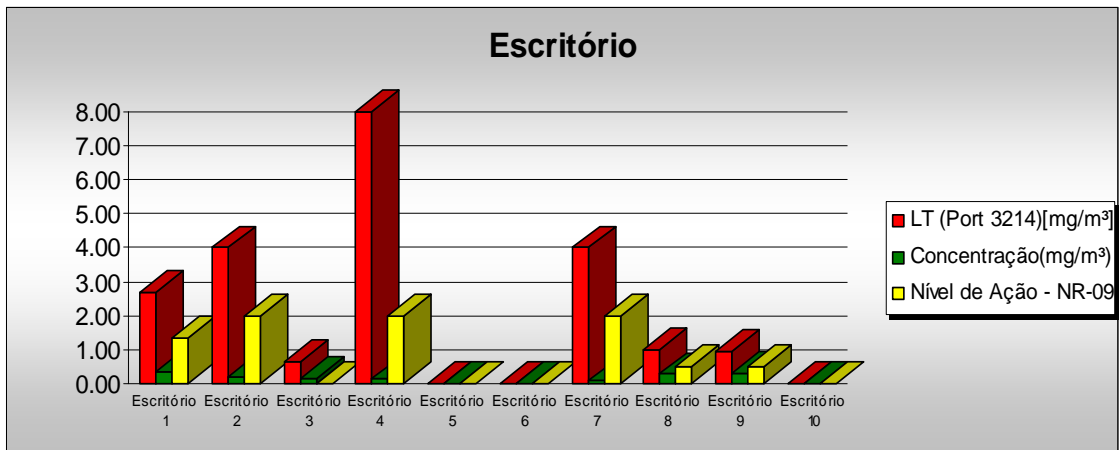
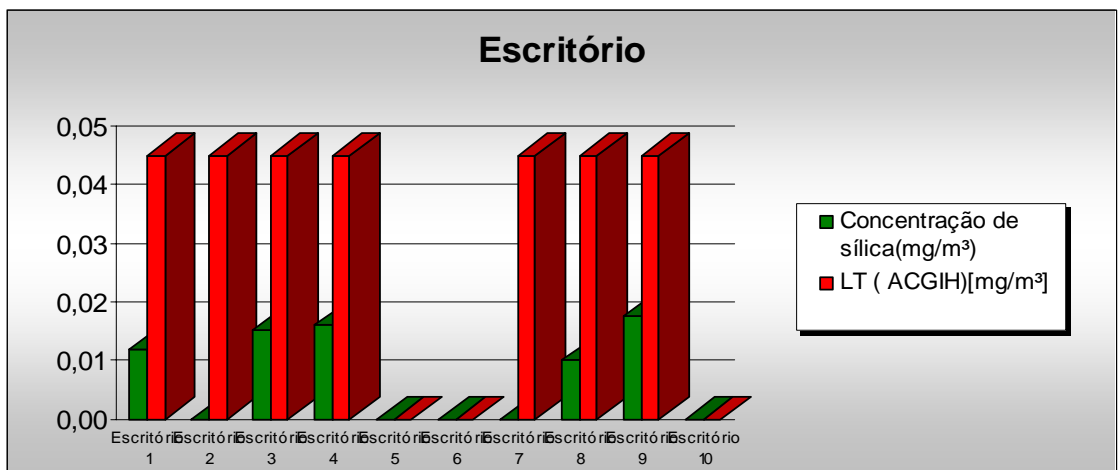


Figura 5.15a – Concentração de poeira respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor administrativo de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e as concentrações limites definidas pela Legislação Brasileira (NR-15 e NR-09).



5.15b – Concentração de poeira de sílica respirável, em mg/m^3 , encontrada nas amostragens realizadas no setor administrativo de todas as marmorarias (em Belo Horizonte, em 2003) e a concentração limites definida pela ACGIH.

5.3 Relação entre a concentração de poeira e os diferentes limites de referência

Na Tabela 5.2 é apresentado o resumo geral das avaliações realizadas nas marmorarias, para todas as funções, objetivando melhorar a visualização da comparação entre os resultados de todas as concentrações encontradas e os diversos limites de referência utilizados nesse trabalho: Limite de Tolerância da NR-15, Anexo 12 - Poeiras

Minerais; Limite de Exposição da ACGIH (TLVs) e Nível de Ação da NR- 09 – PPRA.

Os valores apresentados na Tabela 5.2 representam o número de vezes que os limites de referência foram superados. Quando esses limites não foram ultrapassados os valores são inferiores à unidade. Avaliando os resultados apresentados na Tabela 5.2 pelas linhas é possível se fazer uma comparação por empresa e, pelas colunas, as comparações são feitas por função. Em alguns casos a quantidade de amostra coletada foi menor do que a quantidade mínima necessária para a determinação da massa de sílica, isto é, 0,10 mg. Nesses casos o resultado foi reportado como massa insuficiente, não significando ausência de sílica. Por uma série de razões, algumas amostras não puderam ser quantificadas, de maneira que as funções a elas relacionadas não puderam ser avaliadas e, nesses casos, os valores correspondentes na Tabela 5.2 estão representados por um tracejado (----).

Tabela 5.2 - Número de vezes em que a concentração de poeira ultrapassou os diferentes níveis de referência em todas as marmorarias avaliadas.

Referência para LEO	Serrador 1**	Polidor 1	Acabador 1	Escritório 1	Ambiental 1
NR-15	0,03	0,42	1,26	0,14	0,12
ACGIH	0,00	0,30	0,59	0,25	0,29
NR-09	0,06	0,83	2,52	0,28	0,24
Serrador 2	Polidor 2*	Acabador 2	Escritório 2**	Ambiental 2	
NR-15	0,72	-----	2,40	0,05	1,09
ACGIH	1,08	-----	4,18	0,00	4,76
NR-09	1,44	-----	4,79	0,10	2,19
Serrador 3	Polidor 3	Acabador 3	Escritório 3	Ambiental 3	
NR-15	1,06	0,34	12,67	0,23	0,58
ACGIH	1,61	0,47	14,57	0,34	1,91
NR-09	2,13	0,68	25,35	0,46	1,16
Serrador 4	Polidor 4*	Acabador 4	Escritório 4**	Ambiental 4*	
NR-15	6,38	-----	10,39	0,02	-----
ACGIH	10,29	-----	9,03	0,00	-----
NR-09	12,76	-----	20,78	0,06	-----
Serrador 5*	Polidor 5*	Acabador 5	Escritório 5*	Ambiental 5	
NR-15	-----	-----	3,13	-----	0,14
ACGIH	-----	-----	4,94	-----	0,55
NR-09	-----	-----	6,25	-----	0,28
Serrador 6	Polidor 6*	Acabador 6	Escritório 6*	Ambiental 6	
NR-15	0,62	-----	8,70	-----	0,60
ACGIH	0,84	-----	14,05	-----	2,47
NR-09	1,24	-----	17,41	-----	1,21
Serrador 7	Polidor 7*	Acabador 7	Escritório 7**	Ambiental 7	
NR-15	0,57	-----	22,75	0,02	0,51
ACGIH	0,82	-----	38,57	0,00	2,31
NR-09	1,13	-----	45,49	0,04	1,02
Serrador 8	Polidor 8*	Acabador 8	Escritório 8	Ambiental 8***	
NR-15	0,58	-----	1,81	0,28	-----
ACGIH	0,25	-----	0,61	0,22	-----
NR-09	1,16	-----	3,61	0,55	-----
Serrador 9**	Polidor 9*	Acabador 9**	Escritório 9	Ambiental 9**	
NR-15	0,05	-----	0,01	0,29	0,02
ACGIH	0,00	-----	0,00	0,39	0,00
NR-09	0,10	-----	0,01	0,58	0,03
Serrador 10*	Polidor 10*	Acabador 10.1	Escritório 10*	Ambiental 10	
NR-15	-----	-----	18,15	-----	1,19
ACGIH	-----	-----	29,88	-----	5,11
NR-09	-----	-----	36,31	-----	2,37

Nota: O número após a função do trabalhador indica a empresa na qual a medida foi realizada

LEGENDA

*	Não quantificado
**	Massa insuficiente
***	Amostra solta

NR-15	Anexo 12 - Poeiras Minerais
ACGIH	Para a sílica cristalina respirável
NR-09	Nível de Ação - PPRA

A Tabela 5.3 mostra o número médio de vezes em que a concentração de poeira ultrapassou os diferentes níveis de referência, para todas as funções e em todas as marmorarias avaliadas. Observa-se que tanto para as amostras referentes às funções de serrador e acabador quanto para as ambientais, em geral, os resultados de concentração de poeira encontrados ultrapassaram os diferentes níveis de referência, com valores médios superiores à unidade.

Tabela 5.3 – Número médio de vezes em que a concentração de poeira nas amostras, separadas por funções nas marmorarias, ultrapassou os diferentes níveis de referência.

Referência para LEO	Serrador	Polidor	Acabador	Escritório	Ambiental
NR-15, Anexo 12 - Poeiras Minerais	1,25	0,38	8,13	0,15	0,53
ACGIH	1,86	0,39	11,64	0,17	2,18
Nível de Ação da NR-09 - PPRA	2,50	0,76	16,25	0,30	1,06

A Tabela 5.4 mostra o percentual de amostras que ultrapassou os diferentes níveis de referência, para todas as funções e em todas as marmorarias. É possível observar que em amostragens realizadas em trabalhadores na função de serrador e acabador e aquelas realizadas no ambiente, a maioria das amostras ultrapassou os diferentes limites de referência.

Tabela 5.4 – Percentual de amostras que ultrapassaram os diferentes níveis de referência para todas as funções nas marmorarias avaliadas

Referência para LEO	Serrador	Polidor	Acabador	Escritório	Ambiental
NR-15, Anexo 12 - Poeiras Minerais	25,0 %	0,0%	90,0%	0,0%	25,0%
ACGIH	37,5%	0,0%	70,0%	0,0%	62,5%
Nível de Ação da NR-09 - PPRA	75,0%	0,0%	90,0%	0,0%	62,5%

6 DISCUSSÕES

6.1 Das limitações do trabalho

Algumas dificuldades foram encontradas no desenvolvimento deste trabalho que, de certa forma lhe trouxeram limitações, mas obviamente não impediram que os objetivos propostos fossem alcançados e as conclusões extraídas e aproveitadas. Dentre elas, o número reduzido de amostras (47) se comparado com a quantidade de empresas estudadas (10) e com as funções avaliadas por empresa (05), não deixa de ser um limitador importante no desenvolvimento de uma metodologia mais apropriada. Tais limitações refletiram, por exemplo, no tratamento estatístico dos dados, na avaliação incompleta dos sistemas de controle das marmorarias, na impossibilidade de avaliações em outros períodos do ano.

Para a avaliação da eficiência dos sistemas de controle de particulados sólidos nas marmorarias de Belo Horizonte, como proposto inicialmente, as coletas deveriam ser feitas antes e depois dos sistemas implementados. Como isso não foi possível porque na época da pesquisa de campo os sistemas já haviam sido instalados, optou-se por avaliar esses sistemas de controle já instalados, quando existentes em algumas empresas, comparando-se os resultados obtidos nessas empresas com aqueles obtidos em empresas sem qualquer sistema de controle.

Optou-se também por não se fazer avaliação estatística dos resultados obtidos pelo número limitado de amostras coletadas (47) nas dez empresas estudadas, além do que, em cada empresa cinco funções estavam sendo avaliadas. Outra razão para a não adoção de tratamento estatístico foi a não uniformidade dos ambientes amostrados. Diferentes cenários foram escolhidos, tais como, a variação no porte das empresas, a utilização de alguma medida de proteção coletiva, diferentes tipos de leiaute, diferentes tipos de rochas trabalhadas, trabalhos executados em ambientes abertos ou fechados.

Apesar do número limitado de amostras, quando se coloca como foco dos resultados o trabalhador, foi possível aprofundar o conhecimento da exposição ocupacional à sílica e do processo produtivo de trabalho, se comparado com o conhecimento qualitativo anterior oriundo do Projeto Marmorarias de Belo Horizonte

(Werneck *et al.*, 2004).

Pelos resultados encontrados (Tabela 5.2) identificaram-se os riscos potenciais relacionados à exposição às poeiras minerais contendo sílica cristalina.

Em algumas empresas, não foi possível conhecer a variabilidade espacial das concentrações de sílica, pela dificuldade de se amostrar simultaneamente todas as funções que estavam previstas. Isto se deveu principalmente porque em determinadas marmorarias alguns setores estavam inativos no dia da coleta, em outras alguns setores não existiam (por exemplo, a atividade de polimento de chapas em algumas empresas) e, em outras, algumas atividades estavam completamente segregadas do processo produtivo, impedindo qualquer contaminação por parte da linha de produção. Ocorreu também o desprendimento do material coletado no filtro em algumas amostras, o que fez com que fossem descartadas.

Algumas variáveis, tais como, temperatura, umidade relativa do ar, tipo de ferramenta e abrasivos, dentre outras, não foram avaliadas com instrumentação, apenas tomou-se o cuidado para que nenhuma avaliação fosse feita em dia chuvoso ou nos três dias subsequentes.

6.2 Dos resultados alcançados

Foram coletadas quarenta e sete amostras de poeira. Embora a proposta inicial fosse avaliar cinco funções em dez empresas, ou seja, cinqüenta funções, na realidade foram avaliadas somente trinta e cinco funções pelas razões já mencionadas no item anterior.

Inicialmente destacam-se os resultados encontrados na marmoraria RE, empresa que não possuía qualquer tipo de medida de controle de emissão de poeira, os quais configuraram a situação de exposição mais crítica à sílica cristalina (Figura 5.7). Isso já era esperado devido às condições de trabalho nessa empresa. Resultados semelhantes foram obtidos por Bon (2006).

Muitos dos resultados encontrados nesse trabalho serviram de alerta para a situação da exposição à poeira contendo sílica em marmorarias, mostrando que a situação das marmorarias avaliadas é preocupante. Das empresas estudadas, 90%

apresentaram resultados de concentração de poeira contendo sílica cristalina na função de acabador acima do valor de referência adotado pela legislação brasileira. Esses resultados também foram obtidos em estudo realizado por Bon (2006), no qual os trabalhadores de marmorarias estavam expostos às altas concentrações de poeiras minerais contendo sílica, sendo que em 86% das empresas estudadas apresentaram resultados de concentração de sílica cristalina acima do valor de referência (VR) de 0,05 mg/m³.

Os resultados das avaliações também mostraram uma grande variação nas concentrações obtidas, onde se observam desde valores inferiores ao limite de tolerância até vinte vezes acima deste. Com relação ao limite recomendado pela ACGIH em 2004 para a sílica livre, obtiveram-se resultados até cerca de 40 vezes acima desse valor (Tabela 5.2).

Pelos resultados obtidos, observou-se que praticamente todos os trabalhadores das marmorarias estão expostos aos agentes ambientais, independentemente da função que exercem (Tabela 5.4). Tal fato reforça a idéia da chamada socialização dos riscos para as micro e pequenas empresas. Com isso, parte da contaminação proveniente do processo de acabamento a seco era carreada para os demais trabalhadores das marmorarias.

Isso mostra que, apesar do presente estudo tratar-se de avaliações exploratórias porque fornece somente uma idéia do panorama encontrado, os resultados podem ser estendidos para as demais marmorarias de Belo Horizonte ou mesmo generalizar para o Brasil devido às características gerais das marmorarias.

As variações das concentrações de poeira dentro do ambiente de trabalho das marmorarias são influenciadas por vários fatores (Santos, 2005). Os resultados obtidos neste estudo foram semelhantes aos resultados encontrados por outros autores que também fizeram estudos em marmorarias no Brasil, em especial Santos (2005) e Bon (2006). Dessa forma, procurou-se avaliar os resultados obtidos a partir dos principais fatores responsáveis pelas variações das concentrações de poeira nas marmorarias. Dentre esses fatores destacam-se: a distância em relação à fonte, o tipo de rocha trabalhada, o ritmo de produção e a existência e a eficiência de medidas de controle, tais como, sistemas de acabamento por via úmida, sistemas de ventilação geral, a combinação de mais de uma tecnologia de proteção coletiva, a segregação do setor de

acabamento em relação aos demais setores de trabalho da marmoraria e as medidas de controle de caráter administrativo.

6.2.1 Distância em relação à fonte de poeira

Os resultados obtidos mostram que nas marmorarias onde inexistiam quaisquer medidas de controle, as concentrações de poeira contendo sílica encontradas no setor de acabamento a seco, de maneira geral, eram elevadas em relação aos limites de referências, porém, diminuía gradativamente em função da distância em relação à fonte (Figuras 5.6 e 5.7). Observou-se que, para todas as funções, quanto mais afastada era a atividade em relação ao acabamento, menores eram as concentrações de poeira. Apesar disso, não é possível afirmar que existe atividade segura em marmorarias, em termos de concentração de sílica, pois o acabamento influencia os demais setores.

Para algumas funções (Figuras 5.14 e 5.15), mesmo com um tempo de amostragem superior a seis horas, observou-se que não houve qualquer tipo de contaminação oriunda do setor de acabamento devido à localização privilegiada dos trabalhadores nessas funções. Em alguns casos, inclusive, a massa de poeira coletada não foi suficiente (MI) para produzir resultados laboratoriais.

Outro aspecto importante, relacionado com as distâncias em relação à fonte, foi a ação das correntes de ar (ventilação natural). Observou-se que, em alguns casos, parte do particulado gerado no acabamento a seco era carregado para todo o galpão principal, intervindo nas concentrações das outras funções, como foi o caso da Marmoraria NO (Figura 5.3), onde a porta de acesso interligando os setores ficava constantemente aberta. Em outros casos, onde existiam áreas completamente abertas e sem qualquer proteção lateral, os resultados mostraram que ocorreu uma boa diluição natural dos contaminantes gerados pelo acabamento. Provavelmente, os grandes volumes de ar facilitaram a diluição, impedindo a contaminação dos demais setores, como ocorreu no caso da Marmoraria PT (Figura 5.6).

6.2.2 Tipo de rocha trabalhada

Observou-se uma grande variação nas concentrações de poeira no ar, que pode ser explicada pela composição mineralógica das rochas trabalhadas que possuem diferentes percentuais de sílica. Outros fatores como as diferentes resistências à abrasão, corte e furação das rochas trabalhadas também podem influenciar na geração de poeira e, conseqüentemente, no percentual de sílica. Cabe ressaltar que a proporção de sílica na rocha mãe, ou na poeira de um primeiro acabamento e/ou de um acabamento final não é a mesma porque o teor de sílica não é homogêneo ao longo da rocha.

As concentrações de poeira no ar variaram desde valores até duas vezes superiores ao limite de tolerância, se a rocha trabalhada era mármore, até vinte e duas vezes esse limite quando se tratava de granito ou misturas, uma vez que podiam existir um ou vários tipos de rochas (Tabela 5.2).

Os resultados mostraram que os menores valores da relação concentração / limite de tolerância, salvo no acabamento a úmido (Figura 5.11, acabador 9), referem-se às empresas que trabalhavam quase que exclusivamente com o mármore, para a função de acabador. O mesmo pode ser observado quando a relação é feita com o limite da ACGIH. Como esperado, encontraram-se baixas concentrações de sílica nas amostras coletadas na maioria das funções avaliadas em empresas que beneficiavam mármore (Figuras 5.1b e 5.8b), quando comparadas com aquelas que beneficiavam essencialmente o granito. Esses resultados realçam a importância de se considerar o tipo de rocha trabalhada nas avaliações de exposição ocupacional à poeira em marmorarias. Como o mármore é composto basicamente de carbonato de cálcio é de se esperar que quase nenhuma concentração de poeira contendo sílica seja encontrada. Porém, corre-se o risco de concluir, com base nas equações do limites de tolerância para a sílica (Equação 4.6) que a exposição está sob controle à luz da NR-15 (Brasil, 1978) e, portanto, não sendo necessária qualquer medida de controle, ou que as medidas implementadas foram eficientes. No entanto, à luz da ACGIH, pode-se estar diante de concentrações de poeira de carbonato de cálcio superiores ao limite TLV-TWA de 10 mg/m³.

6.2.3 O ritmo de produção

Os resultados obtidos para as concentrações ambientais encontradas nos diferentes setores estão diretamente relacionados com o ritmo de produção do setor de acabamento a seco. Nos locais onde não existiam medidas de controle eficientes e os ritmos de produção eram intensos, altas concentrações de poeira foram encontradas (Figura 5.10), sendo, inclusive, visível a olho nu. Os resultados da marmoraria NO (Figura 5.3) mostraram que, apesar do setor de acabamento a seco estar localizado em área relativamente bem ventilada, devido à presença de potentes ventiladores, as medidas de controle não foram suficientes para que os níveis de poeira estivessem sob controle, justamente porque observou-se no dia da amostragem que o ritmo de produção era muito intenso.

6.2.4 Existência das medidas de controle e a sua eficiência

Das empresas avaliadas nesse estudo, apenas em algumas situações foi encontrado sistema eficiente de proteção coletiva, tais como, segregação do acabamento e utilização adequada de água para contenção da poeira gerada. Considerando que na maioria das marmorarias de pequeno ou médio porte de Belo Horizonte, MG não existe qualquer medida de controle de caráter coletivo (Werneck *et al.*, 2004), a situação estendida para o resto do Brasil poderá ser ainda mais crítica.

Os resultados apresentados mostraram que as medidas de controle implementadas no setor de acabamento da maioria das marmorarias avaliadas foram insuficientes para o controle da exposição à poeira. Neste setor, a única exceção encontrada foi na marmoraria VI que utilizava sistema de acabamento por via úmida, e na qual os resultados encontrados foram considerados satisfatórios. Bon (2006), pelos resultados do seu estudo, salientou que o controle da poeira em marmorarias precisava ser melhorado, mesmo em ambientes possuindo exaustor de parede, exaustor de parede com split de água, sistema de ventilação local exaustora (SVLE) com coifa, dentre outros. Santos (2005) também demonstrou em seu estudo que importantes medidas de controle adotadas não foram suficientes para a contenção da poeira.

No caso das avaliações ambientais, embora não se trate propriamente de

exposição ocupacional, os resultados encontrados (Figuras 5.13) evidenciam que as medidas de controle implementadas nas marmorarias são pouco eficientes.

6.2.4.1 Sistemas de acabamento por via úmida

Na Marmoraria VI (figura 5.9), onde as principais atividades eram executadas em ambiente com expressiva presença de água, em especial o sistema de acabamento por via úmida, os resultados mostraram que as concentrações de poeira contendo sílica encontravam-se bem abaixo dos limites de referência (Figura 5.9; Tabela 5.1). Isto mostra que a utilização do acabamento por via úmida é o mais eficiente dos sistemas de controle de geração de contaminantes pois é o que menos sofre influência da ação do trabalhador. Dentre todos os sistemas de proteção coletiva avaliados, esse foi o mais adequado para a proteção do trabalhador, pois não foram encontradas concentrações que pudessem colocar em risco a saúde dos trabalhadores expostos, para todas as funções avaliadas nesta empresa.

Resultados semelhantes também foram encontrados em outros estudos. Santos (2005) mostrou que a adoção do processo de acabamento a úmido com lixadeiras pneumáticas pode reduzir a praticamente zero a probabilidade das concentrações ambientais ultrapassarem os valores de referência para as frações de poeiras inaláveis e respiráveis. Da mesma maneira, a umidificação na fonte da poeira mostrou redução de 93% na quantidade de partículas em suspensão no ar, se comparadas com as marmorarias que operavam com acabamento a seco. Os resultados de Bon (2006) indicaram que a exposição à poeira respirável foi mais baixa nas operações a úmido e que as concentrações médias de sílica cristalina apresentaram-se abaixo do valor de referência para ambos os tipos de operação, para todas as funções e amostras de área, quando comparadas com as atividades a seco. Simcox *et al.* (1999) coletaram 43 amostras pessoais em seis pequenas marmorarias no Estado de Washington. Neste estudo concluíram que os processos a úmido reduzem significativamente a exposição dos trabalhadores à sílica livre cristalina, quando comparado com os processos a seco. Neste mesmo estudo foram encontradas concentrações médias de sílica entre 0,03 mg/m³ e 0,06 mg/m³ para os processos a úmido, valores esses bem próximos do limite recomendado pelo NIOSH que é de 0,05 mg/m³ para jornadas de 40 horas semanais.

A principal desvantagem na utilização desse sistema de acabamento é o elevado custo de instalação, estimado em cerca de US\$ 10.000,00 dólares para uma empresa de pequeno porte. Nesse sistema são utilizados maquinários e abrasivos específicos para trabalho em ambientes com água em excesso, sendo necessário a troca de quase todo o maquinário da empresa.

Outra desvantagem desse sistema é a geração de expressiva quantidade de lama, sendo necessário planejar a disposição adequada desses efluentes líquidos contaminados, através de sistemas eficientes de decantação. É também necessário prevenir a subsequente secagem (contaminação secundária); o risco eventual de quedas e acidentes com sistemas eletrificados, devidos às superfícies molhadas; o *stress* térmico, devido ao aumento da umidade.

Embora, dentre as empresas avaliadas, apenas uma utilizava o sistema de acabamento por via úmida, observou-se que em outras empresas avaliadas algumas tarefas do acabamento eram realizadas por via úmida, como alguns tipos de acabamentos de face e de bordas, que eram feitos por maquinário específico como as lixadeiras especiais (face) e as boleadeiras (bordas). Porém os resultados demonstraram que somente com o processo de acabamento totalmente por via úmida os trabalhadores estiveram realmente protegidos.

Observou-se também que em algumas empresas, lixadeiras com acabamento a úmido foram utilizadas ao lado das lixadeiras convencionais a seco. Os resultados mostraram que, nesses casos, os benefícios trazidos pelo primeiro sistema foram perdidos, uma vez que a poeira gerada no acabamento a seco, em geral, dispersava-se por todo ambiente. Essa situação foi encontrada em três das dez empresas avaliadas (marmorarias NO, TR e BA). Na única empresa onde foram avaliados três acabadores simultaneamente, os quais trabalhavam em ambiente único e onde um deles operava por via úmida, os resultados surpreenderam. O acabamento a úmido apresentou resultado de exposição à poeira pior do que um dos acabamentos a seco, contrariando a lógica de que a pior exposição é sempre a do acabador a seco (Figura 5.10).

6.2.4.2 Sistemas de ventilação geral

Das dez empresas avaliadas, apenas cinco possuíam sistemas de controle com ventilação mecânica (local exaustora ou geral diluidora), sendo que dessas empresas a maioria (quatro) trabalhava com o sistema de ventilação geral diluidora. Isso certamente deveu-se ao alto custo de investimento e da infra-estrutura de construção dos sistemas de ventilação local exaustora. No caso das marmorarias estudadas, os sistemas de ventilação geral resumiram-se à colocação de ventiladores / exaustores.

O que se observou na implantação de medidas de controle, em especial dos sistemas de ventilação mecânica, foi a completa falta de critérios técnicos e de projetos, incluindo o inadequado dimensionamento do número de ventiladores / exaustores e/ou a localização dos ventiladores e dos sistemas de acionamento (liga/desliga).

No caso específico dos sistemas de acionamento, observou-se que o mau posicionamento desses comandos em relação ao trabalhador operando as máquinas fazia com que esse trabalhador, em muitas situações, deixasse de acionar o sistema por esquecimento, negligência, preguiça, indiferença ou falta de entendimento. Em uma das empresas avaliadas, quando o trabalhador foi questionado por que não acionava o sistema de ventilação, além das razões mencionadas acima, também alegava o nível elevado de ruído gerado pelo equipamento. Esta foi uma situação comum encontrada nas marmorarias, tornando inócuos os investimentos em medidas de controle.

Uma solução para isso poderia ser a interligação dos sistemas, de forma que ao se acionar o equipamento gerador de poeira, automaticamente o sistema de ventilação também entrasse em funcionamento.

No caso específico das marmorarias que utilizavam sistemas de ventilação geral diluidora, o grande problema encontrado foi a utilização de uma prática de higiene industrial pouco convencional, que é a tentativa de diluição de um contaminante altamente agressivo e comprovadamente cancerígeno, como é o caso da sílica. Dessa maneira, corre-se o risco de uma diluição inadequada, seja pela alta concentração do contaminante, seja pelo mau dimensionamento do sistema (ACGIH, 2004), expondo os trabalhadores do setor de acabamento a elevadas concentrações de poeira contendo sílica.

Em se tratando de ventilação geral diluidora ou local exaustora, a escolha

aleatória da localização dos ventiladores ou exaustores, em geral, sem critérios técnicos e baseados no senso comum ou como modelos de outras marmorarias, pode agravar a exposição dos trabalhadores. Observou-se neste estudo que os ventiladores eram instalados de maneira equivocada, nos quatro cantos do setor de acabamento, fazendo com que todo o ar contaminado circulasse pelo setor e/ou pelas áreas adjacentes. Outras vezes eles eram instalados na parte superior e central do galpão de acabamento, próximos ao ponto de geração da poeira, com os acabadores trabalhando em torno deste exaustor. Outro problema observado na instalação dos sistemas de ventilação foi a necessidade dos trabalhadores se movimentarem ao redor das bancadas de trabalho para a execução das tarefas, devido às características de acabamento dado às rochas, geralmente feito ao longo de todo o perímetro das peças. Duas considerações devem ser realçadas advindas dessas situações (Mesquita *et al.*, 1977; ACHIH, 2004):

- 1) Perda considerável de eficiência do sistema de ventilação local exaustora, pelo decréscimo da velocidade de arraste com o quadrado da distância, pelo fato da coifa quase sempre estar afastado do ponto de geração de poeira;
- 2) Exposição do trabalhador à elevadas concentrações do contaminante porque parte da poeira gerada no setor de acabamento das rochas passava pela sua zona respiratória antes de atingir o sistema coletor ou de diluir-se, porque o mesmo, muitas vezes, estava localizado entre a geração do contaminante e o sistema de ventilação ou exaustão.

Uma das maneiras para resolver essa questão poderia ser a colocação de sistemas de pratos ou bancadas giratórias. Ocorre que, para marmorarias isso não parece ser uma solução eficiente e aceitável porque, muitas vezes, as peças trabalhadas são muito pesadas e necessitam ficar praticamente imóveis. Essa dificuldade faz com que grande parte das marmorarias opte pelo uso de bancadas fixas.

Apesar do setor de acabamento a seco das empresas, mesmo aquelas com sistemas de ventiladores ou exaustores instalados, apresentarem resultados de concentrações de poeira acima dos limites de tolerância (Figura 5.3, Figura 5.5 e Figura 5.10), é razoável afirmar que sem a presença desses ventiladores / exaustores os níveis de concentrações de poeira seriam superiores aos valores encontrados.

6.2.4.3 A combinação das tecnologias de proteção coletivas

Algumas empresas optaram por utilizar sistemas de ventilação geral diluidora com ventiladores localizados em pontos aleatórios combinado com sistema de painel d'água ou cortina d'água (Figura 5.1 e Figura 5.5).

O sistema de cortina d'água consistia rudimentarmente de um cano de PVC perfurado na parte inferior, de onde a água escorria através de lona encostada em uma das paredes do setor de acabamento a seco. A idéia principal era fazer com que toda poeira existente no ambiente e empurrada pelos ventiladores fosse de encontro ao painel d'água, evitando a sua dispersão no próprio setor e nos ambientes circunvizinhos. Esse é um sistema que também apresenta baixo custo de implantação.

Como foi observado nos sistemas de ventilação local exaustora e geral diluidora, aqui também se encontrou problemas, pois o trabalhador ficava localizado entre a geração do contaminante e o painel de água. Outro problema encontrado nesse sistema foi a freqüente obstrução dos canos responsáveis pelo escoamento da água pelo painel. Isso fazia com que o sistema perdesse a eficiência de retenção da poeira, passando a funcionar como um simples sistema de ventiladores diluidores.

A marmoraria BA utilizava um sistema de ventilação geral diluidora combinado com ventilação local exaustora. Essa combinação tinha a vantagem de provocar uma dupla movimentação mecânica do ar. Se adequadamente planejado, era de se esperar que a combinação de tecnologias de proteção coletiva pudesse fornecer melhores resultados do que cada sistema individualmente. No entanto, não foi o que se observou nesse caso, pois a exposição dos acabadores à poeira contendo sílica, nessa marmoraria, foi muito superior aos valores de referência (Figura 5.10). Os resultados encontrados para essa empresa foram um dos mais elevados dentre todos os outros resultados, com concentrações quase 30 vezes superiores ao limite de referência da ACGIH (Tabela 5.2). Assim como nos outros sistemas de ventilação relatados anteriormente, provavelmente a explicação para este caso seja a falta de critérios técnicos e de projeto para a implantação.

6.2.4.4 A segregação do acabamento em relação às demais áreas de trabalho

Nesse estudo observou-se que um dos sistemas de proteção coletivo mais utilizado pelas marmorarias é o sistema de segregação do acabamento em relação às demais áreas de trabalho. As empresas devem ter optado por esse sistema pelo baixo custo de investimento e da infra-estrutura de construção.

Segregar bem, em geral, é funcional e impede a dispersão generalizada do contaminante, mantendo as demais áreas das marmorarias com concentrações menos problemáticas.

Dentre as empresas avaliadas, 80% tinham alguma espécie de segregação das atividades. Os resultados mostraram que segregando-se o acabamento, as demais áreas de trabalho apresentaram baixas concentrações de poeira, quando comparadas com os limites de referência. As concentrações encontradas para algumas atividades, geralmente segregadas, como o polimento e o escritório, estiveram sempre abaixo dos limites de referência utilizados nesse estudo (Figura 5.14 e Figura 5.15). Algumas amostras coletadas de serradores e algumas amostras ambientais também apresentaram concentrações de poeira e sílica abaixo dos limites de referência. No entanto, percebe-se que essa medida serve unicamente para a proteção dos setores adjacentes, pois as concentrações encontradas nos acabadores foram todas acima dos limites de referência, com exceção da empresa que utilizava acabamento por via úmida. Os resultados (Tabela 5.3) mostraram que a segregação não solucionou o problema da exposição à poeira no setor de acabamento. Por isso, deve ser considerada uma medida de controle inadequada.

Algumas marmorarias são totalmente segregadas por exigência da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte, MG (Figuras 5.4 e 5.10). Pelos resultados obtidos, nessas marmorarias as concentrações de poeira e sílica são bastante elevadas, principalmente nos setores de acabamento, onde esses valores foram sempre maiores do que os limites de referência. Atenção especial deve ser dada aos trabalhadores dessas áreas totalmente segregadas, para que não sejam atingidas concentrações considerados perigosos à vida e à saúde. É imprescindível considerar que havendo a necessidade de pessoas se exporem à determinada concentração de poeira, esta exposição deve ser a mais segura possível.

Uma outra forma de segregação encontrada nesse estudo foi a utilização de lonas de plástico separando o acabamento das demais áreas de trabalho, conforme sugestão do Projeto Mármore de Belo Horizonte, MG. Porém, vale realçar que se tratava de uma medida temporária, a ser empregada nas empresas que não dispunham de qualquer medida de proteção coletiva, até que um estudo mais profundo pudesse avaliar a eficiência deste tipo de segregação. Esse procedimento foi também sugerido pelo referido projeto para as empresas onde o leiaute não permitia outra solução imediata menos onerosa que a proposta. Apenas uma empresa utilizava esse tipo de segregação. Este sistema de segregação (do acabamento em relação as demais áreas de trabalho) inicialmente pode funcionar bem (Figura 5.2), quando as lonas ainda são novas. Porém, elas se danificavam facilmente pelo fato de terem uma vida útil extremamente baixa, não sendo na maioria das vezes substituídas. Desgastadas elas não realizariam efetivamente a segregação.

Em algumas empresas a segregação do acabamento era feita através de barreiras física por paredes de alvenaria (Figura 5.1 e Figura 5.8). Este sistema tem como vantagens o baixo custo de implantação, a não necessidade de substituição de materiais e é esteticamente mais bem apresentável. Embora esta não seja a melhor medida de controle coletivo existente, os resultados mostraram que sua utilização pode ser uma medida importante na redução da concentração dos contaminantes nos setores adjacentes. As marmorarias segregadas por paredes apresentaram concentrações de poeira e sílica para o serrador abaixo dos limites de referencia, mostrando o quanto é importante segregar as atividades geradoras de poeira (Figura 5.1 e Figura 5.8).

6.2.4.5 As medidas de controle de caráter administrativo

Nesse estudo observou-se também que dentre as medidas de controle de caráter administrativo implementadas pelas marmorarias em Belo Horizonte, MG, o uso de EPIs continua sendo a mais utilizada. Isto pode ser explicado pelo baixo custo de investimento.

Nos depoimentos dos empresários e dos empregados sobre a utilização dos EPIs, os primeiros relataram imensa dificuldade em implementar o uso desses equipamentos, enquanto que, os trabalhadores mostraram desconhecimento e menosprezo com relação

aos riscos inerentes às atividades. Além disso, os trabalhadores alegaram que a utilização de EPIs causava desconforto, em especial a proteção respiratória.

Os principais EPIs fornecidos aos trabalhadores das marmorarias eram protetores auditivos, botas e aventais impermeáveis. O uso de óculos de segurança não era bem aceito pelos trabalhadores porque, segundo eles, a poeira do acabamento, a água nos processos a úmido e o embasamento aumentavam os riscos de acidentes em função da baixa visibilidade.

Com relação aos EPIs preconizados pela Instrução Normativa Nº1 de 11 de abril de 1994 (Brasil, 1994), observou-se que muitos deles eram totalmente relegados pelos trabalhadores e pelos empregadores. Em geral, os trabalhadores preferiam a utilização de peças faciais filtrantes (P1 ou P2) em vez de peças semifaciais, com cartuchos. Outros problemas relacionados com a referida norma foram a inexistência de controle de fornecimento, de local para guarda e manutenção, e, desconhecimento por parte do empregador sobre a necessidade de comprovação da qualidade e eficácia do equipamento através do CA - Certificado de Aprovação - emitido pelo Ministério do Trabalho.

Observou-se também a ausência de treinamento dos trabalhadores quanto à necessidade do uso efetivo e adequado dos EPIs. Exemplo interessante foi a questão relacionada aos cuidados dispensados aos respiradores, os quais geralmente eram abandonados nas áreas de trabalho. Isto ocorria não só durante os intervalos inter e intra-jornada, como também durante a jornada de trabalho. Muitas vezes, quando esses trabalhadores resolviam utilizar os respiradores, estes se encontravam impregnados pela poeira depositada sobre sua superfície, potencializando a exposição às poeiras.

Não foi possível, e nem se objetivou com esse estudo, avaliar a eficiência desta medida de controle na neutralização / redução das concentrações encontradas nos ambientes das marmorarias. Trata-se de uma tarefa extremamente difícil. Para se avaliar o impacto do uso de respiradores na redução das concentrações é necessário um estudo detalhado dos diferentes tipos de respiradores, a realização de ensaios de vedação, dentre outros.

Outra medida de controle administrativo não utilizada pelas marmorarias diz respeito às boas práticas de trabalho, que têm papel importante na prevenção e no controle da exposição à poeira. Algumas práticas de trabalho podem contribuir de forma

significativa na dose recebida pelo trabalhador. Em muitas marmorarias foram observadas algumas fontes secundárias de contaminação, tais como, ausência de limpeza do ambiente de trabalho; utilização de ar comprimido para limpeza pessoal, do uniforme, de pisos e bancadas; utilização de varrição a seco para a limpeza do piso; e a não utilização de água para a limpeza diária do piso e das bancadas de trabalho. Essas situações relatadas caracterizam-se como uma contaminação secundária, uma vez que toda a poeira já depositada na pele ou na roupa ou na bancada de trabalho e nos pisos pode entrar novamente em suspensão no ambiente de trabalho.

7 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a exposição ocupacional à sílica nas marmorarias avaliadas é preocupante. Pelas semelhanças entre as marmorarias avaliadas, pode-se estender os resultados para todas as marmorarias de Belo Horizonte, ou mesmo do Brasil.

A situação verificada exige mudanças radicais em vários aspectos relacionados com a exposição à sílica. As mesmas vão desde alterações nos processos de produção, em revisões nas legislações que tratam do assunto, na definição de um limite de exposição ocupacional mais adequado para a sílica, nas estratégias de amostragem, na implantação das medidas de controle e no PPRA. Estas sugestões de mudanças tem o objetivo de contribuir na melhoria da situação em que se encontra os trabalhadores sujeitos à exposição ocupacional à sílica em marmorarias.

A socialização do risco é parâmetro ocupacional importante a ser considerado nas micro e pequenas empresas do setor. A avaliação de riscos para todas as funções operacionais das marmorarias mostrou que, além do acabador, outras funções estão sujeitas às elevadas concentrações de poeiras minerais contendo sílica. Assim, a eleição aleatória do indivíduo com pior exposição, uma das técnicas de avaliação rotineiramente utilizada, não é tarefa das mais fáceis.

Para as empresas em geral, especialmente nas micro e pequenas, nas quais forem evidentes os casos de sobreexposição e para situações em que for clara a necessidade da intervenção, deveria ser priorizada a avaliação qualitativa da exposição seguida de implementação de medidas de controle.

Atualmente, a maneira como os agentes químicos são avaliados em ambientes de trabalho, em empresas deste ramo, observa-se que o período usual de amostragem é muito curto quando comparado com o período em que as amostragens não são realizadas. Assim, a decisão sobre a existência de risco a saúde fica extremamente comprometida, podendo levar a erros grosseiros. Muitas conclusões quanto ao significado da exposição oriundas de estudos bem conduzidos, levam em conta um período muito mais longo, algumas vezes são considerados até muitos anos de exposição.

Sem uma estratégia de amostragem bem definida para avaliação de poeira que leve em consideração todos os fatores intervenientes, como por exemplo, tipo de rocha trabalhada, tempo de amostragem, sistemas de proteção coletivos, dentre outros, a qualidade dos resultados obtidos fica comprometida. É necessário que haja uma metodologia eficiente de avaliação da exposição dos trabalhadores a agentes químicos, não obstante o seu alto custo, e que a mesma esteja prevista em legislação específica, como ocorre atualmente para o benzeno.

Pode se concluir que a exposição à sílica nas empresas que trabalham essencialmente com mármore é bem menor do que naquelas que operam com outros tipos de rochas. Nas duas únicas empresas avaliadas, apesar das concentrações de poeira terem ultrapassado os limites de tolerância para a função de acabador, foram nessas empresas que se encontraram as menores relações entre as concentrações de poeira e os limites de referencia.

Embora, um dos objetivos desse trabalho tenha sido avaliar a eficiência das medidas de controle no ambiente de trabalho, verificou-se que tal avaliação não é tarefa fácil. No entanto, procurou-se trabalhar com a realidade encontrada, que reflete as concentrações de poeira já com as medidas de controle implementadas. Pode ser que as medidas de controle já implementadas tenham reduzido as concentrações dos poluentes nos ambientes de trabalho das marmorarias, mas os resultados mostraram que o problema não foi resolvido por completo.

Diferentemente do que preconiza a literatura e os textos legais, em prol dos equipamentos de proteção coletiva - EPC, a escolha pela proteção individual é sempre a primeira e quase única opção. Tal fato está relacionado com os custos de implantação, que em geral, variam conforme a complexidade das tecnologias empregadas e com o tamanho das empresas. Uma característica principal na implantação de medidas de controle nestas empresas, tanto dos EPCs, quanto dos EPIs, é que não há observância a quaisquer aspectos técnicos. A instalação de medidas de controle, em geral, é feita com base no senso comum ou como modelo de outra marmoraria e, quase sempre, não funcionam adequadamente porque se trata de uma transferência em cadeia de más experiências. É indiscutível que as práticas bem sucedidas devam ter uma ampla divulgação porque as trocas de experiências são fundamentais para disseminação e socialização da informação.

Este estudo evidenciou uma ausência de treinamento dos trabalhadores quanto à necessidade do uso efetivo e adequado dos EPCs e dos EPIs. Observou-se também que não há, por parte desses trabalhadores, uma conscientização sobre a importância da utilização dessas medidas de controle. É importante ressaltar que sem a participação e o conhecimento dos trabalhadores é muito provável que as intervenções sejam inócuas ou tenham sua eficácia reduzida.

Esse trabalho e outros relacionados com a exposição à sílica, já publicados, mostram que, uma das alternativas para diminuir os riscos da exposição à poeira é a modernização de equipamentos e incorporação de novas tecnologias que utilizam água no processo. Os resultados mostraram que dentre as medidas de controle coletivas adotadas pelas empresas avaliadas, a umidificação do processo é o melhor sistema de proteção coletivo e o que apresenta as mais baixas concentrações de poeira em todos os setores. Todos os demais mecanismos de proteção coletiva mostraram-se ineficientes no controle geral da poeira.

Os resultados desse trabalho de pesquisa corroboram com resultados de pesquisas semelhantes reforçando o entendimento de que a utilização do acabamento a seco deve ser proibida em todo território nacional, pelos riscos que oferecem aos trabalhadores envolvidos nessas atividades. Esse tipo de atividade somente poderá existir sob um controle muito rigoroso por parte das empresas. Porém, constatou-se que não existe controle sobre a exposição do trabalhador.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACGIH. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, 2003.

_____. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice. 25th Ed., Cincinnati, 2004.

ALGRANTI, E. Epidemiologia das Doenças Ocupacionais Respiratórias no Brasil. In “Epidemiologia das Doenças Respiratórias”. Silva LCC, Menezes AMB eds. Editora Revinter, p.119-144, 2001.

ALGRANTI, E, De Capitani EM, Carneiro APS, Saldiva PHN. Patologia Respiratória Relacionada com o Trabalho. In René Mendes editor: Patologia do Trabalho. 2ª ed. São Paulo; p.1330-97, 2005.

BON, AMT. Exposição Ocupacional à Sílica e Silicose entre Trabalhadores de Marmorarias no Município de São Paulo. Tese de doutorado apresentada ao Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, SP, 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria 3214 de Jul. 1978. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho. Brasília, 1978.

_____. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança do Trabalho. Portaria N°. 27 de 01/10/2002. Norma Regulamentadora N°. 22: Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Diário Oficial da União, Brasília, 01 de Out. 2002.

_____. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança do Trabalho. Portaria N°. 25 de 29/12/1994. Norma Regulamentadora N°. 9: Programa de Prevenção de Riscos

Ambientais. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez 1994, republicada em 15 fev 1995.

_____. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança do Trabalho. Portaria N°. 25 de 29/12/1994. Norma Regulamentadora N°. 7: Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez 1994, republicada em 15 fev 1995.

_____. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança do Trabalho. Portaria N.º 14, de 20/12/1995. Norma Regulamentadora N°. 15: Atividades e Operações Insalubres. Diário Oficial da União, Brasília, 21 dez 1995.

BRIEF, R.S; SCALA, R.A. Occupational Exposure Limits for Novel Work Schedules. American Industrial Hygiene Association Journal, v.36, p.467-469, 1975.

CANÇADO, RZL. Caracterização de Sílica Livre em Poeira Mineral. Tese de Doutorado Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 1996.

CHIODI Fo., C. Panorama Geral do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimentos. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais - ABIROCHAS, (Informe N° 021/2005), 2005.

COOK, W.A.. Occupational Exposure Limits – Word Wide American Hygiene Association. Akron, Ohio: American Industrial Hygiene Association, 1986.

DANA, J.D. Manual de Mineralogia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 642p., 1974.

FANTAZZINI L M, Situando a Higiene Ocupacional. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, n. 06, Ano II, p.15-20, 2003.

FUNDACENTRO. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Norma para avaliação da exposição ocupacional a aerodispersóides. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional - NHT-02A/E, São Paulo, n.51, v.13, p.64-68, 1985.

_____. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Programa Nacional de Eliminação da Silicose. 2002. Disponível em <http://www.fundacentro.gov.br/silicaesilicose>. Acesso em: 25 junho 2004.

GOELZER, B. “Considerations on Exposure Assessment in the Work Environment”, in Proceedings of the “Visual Lübecker Umweltsymposium”, Lübeck, Germany, 1992.

_____. B. Estratégias para Avaliação de Exposição no Ambiente de Trabalho a Contaminantes Atmosféricos, Revista CIPA, São Paulo, 1993.

_____. B. Substituição como Medida de Prevenção e Controle de Riscos Ocupacionais. Campinas: Digital Graph, 20p., 2001.

GRUENZNER, G. Avaliação da Poeira de Sílica: Um Estudo de Caso em uma Pedreira na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Mestrado Apresentada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo; 2003.

HAWKINS, N.C.; NORWOOD, S.K.; ROCK, J.C. (Ed.). A Strategy for Occupational Exposure Assessment. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 179p., 1991.

HEARL, F J. Mixture Formula Justified. American Industrial Hygiene Association Journal, v.57, n.6, p.574-575, 1996.

HINDS, W.C. Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles. USA: John Wiley & Sons, 425p., 1982.

IARC. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Silica and Some Silicates, Coal Dust and Para-aramid Fibrils. Lyon, France: IARC, v.48, 506p., 1997

ILO. INTERNATIONAL LABOUR OFFICE. Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Vol. II, Appendix VII, New York: McGraw Hill Book Co., p.1558, 1972.

ILO. INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. Global Elimination of Silicosis: The ILO/WHO International Program. 1995. Disponível em <http://www.ilo.org>. Acessado em: 02 julho 2005.

KROMHOUT, H; SYMANSKI E; RAPPAPORT, SM; A Comprehensive Evaluation of Within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. The Annals of Occupational Hygiene, v.37, p.253-270, 1993.

LIEDEL, N. A.; BUSH, K.A.; LYNCH, J. R.; Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. Cincinnati, USA: NIOSH, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service Centers for Disease Control, 132p., 1977.

LIPPMANN, M; Respiratory Tract deposition and Clearance of Aerosols. In: LEE, S.D. *et al.* Aerosols: Research, Risk Assessment and Control Strategies. USA: Lewis Publishers, p.43-57, 1986.

LYNCH, JR. Measurement of Worker Exposure. In *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, edited by RL Harris, L Cralley, and LV Cralley. New York: Wiley, p.569-615, 1995.

MELLO, I.S.C. Indicadores do Mercado Nacional e Internacional de Rochas Ornamentais e para revestimento. In: A cadeia produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT; 191p., 2004.

MENDES, R.: Epidemiologia da Silicose na Região Sudeste do Brasil: Contribuição para seu Estudo, através de Inquérito em Pacientes Internados em Hospitais de Tisiologia. Doutorado - Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.

MESQUITA, A.L.S; GUIMARAES, FA; NEFUSSI, N. Engenharia de Ventilação Industrial. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo: Edgard Blücher, Ed 1, 440p., 1977.

MSHA. Mine Safety and Health Association. Health Hazard Information Silica Exposure of Surface Coal Miners. 1978. Disponível em <<http://www.msha.gov/S&HINFO/HHICCO01.html>> Acesso em 01 Fev 2005.

NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposure to Crystalline Silica. Washington (DC): NIOSH, Publication n.75, 120p., 1974.

_____. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. The Pulmonary Effects of Inhaled Inorganic Dust. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, v.1, cap.7, 1978.

_____. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. NIOSH Hazard Review – Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica. Cincinnati (Ohio): DHHS (NIOSH) Publication n.2002, 129p., 2002.

RAPPAPORT, S.M; KROMHOUT, H. SYMANSKI, E. Variation of Exposure between Workers in Homogeneous Exposure Groups. American Industrial Hygiene Association Journal, 54(11): 654-662, 1993.

RIBEIRO, FSN. Exposição Ocupacional à Sílica no Brasil: Tendência Temporal, 1985 a 2001. Tese de doutorado apresentada ao Departamento de Epidemiologia da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. SP, 2004

SALIBA, T.M. Manual Prático de Avaliação e Controle de Poeira. 2. ed. São Paulo; Ed. LTR, 118p., 2002.

SANTOS, AMA; et. al. Norma de Higiene Ocupacional - NHO-03: Análise Gravimétrica de Aerodispersóides Coletados sobre Filtros de Membrana. São Paulo: Fundacentro, 34p., 2001.

_____. Exposição Ocupacional às Poeiras Minerais em Marmorarias: Tamanhos de Partículas Característicos. Tese de Doutorado Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 2005.

SIMCOX NJ, LOFGREN D, LEONS, J; CAMP J. Case Study Silica Exposure During Granite Countertop Fabrication. Applied Occupational and Environmental Hygiene, v.14, n.9, p.577-582, 1999

STWART, J. Control de Las Exposiciones Mediante La Intervención. In: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Vol. I., 2001.

TODD, L.A. Evaluacion Del Medio Ambiente de Trabajo. In: Enciclopedia de Salud y Seguridad em el Trabajo. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, v.I, 2001.

TORLONI, M; VIEIRA, AV. Manual de Proteção Respiratória. São Paulo: ABHO, 2003.

TRIVELLATO, G. C. Procedimento para Reconhecimento e Avaliação de Riscos em Ambientes de Trabalho. Belo Horizonte: FUNDACENTRO, Mimeografado, 36p., 2003.

VALE, E. Estudo Econômico Sobre Rochas Ornamentais: Mercado Internacional de Rochas Ornamentais. Federação das Indústrias do Ceará/IEL, Fortaleza, 1997.

WERNECK, C. *et al.*. Marmorarias: Educando para a Mudança. Revista Proteção, São Paulo, novembro, p.48-55, 2004.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust. Prevention and Control Exchange (PACE). Geneva: WHO, Department of Protection of the Human Environment, Occupational Environmental Health, WHO/SDE/OEH/99, 14p., 1999.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)