HIGIENE e TOXICOLOGIA

OCUPACIONAL

Sérgio Colacioppo

ABHO 2020
São Paulo / SP 1ª Edição

APRESENTAÇÃO

O LIVRO

O presente livro destina-se aos diversos profissionais atuantes em Higiene Ocupacional, fornecendo os conhecimentos básicos da Toxicologia Ocupacional e suas interações com a Higiene Ocupacional, principalmente no importante capítulo da exposição a agentes químicos. Está estruturado em 6 capítulos que podem ser lidos isoladamente, assim algumas pequenas repetições de conceitos se fizeram necessárias para o melhor entendimento. Esta obra não pretende ser rígida e de difícil atualização, destacando-se suas principais características:

- Está disponível no *site* da ABHO;
- Pode ser facilmente acessada, consultada, copiada e reproduzida total ou parcialmente, tomando-se apenas o cuidado de citar a fonte;
- Sendo em formato eletrônico sua atualização pode ser constante e sempre que necessária sendo que o autor recebe sugestões de melhorias, inclusive de correção ou de atualização.

As opiniões e relatos são de responsabilidade exclusiva do autor e não necessariamente da ABHO ou de seus membros.

Esta obra pode ser reproduzida total ou parcialmente devendo-se, porém, citar a fonte:
Colacioppo S. *Higiene e Toxicologia Ocupacional*, ABHO, São Paulo, 2020. www.abho.org

O AUTOR

Prof. Dr. Sérgio Colacioppo
Farmacêutico-Bioquímico pela Universidade de São Paulo, 1972.
Master of Public Health pela University of Texas / USA, 1978.
Doutor em Saúde Ambiental pela Universidade de São Paulo, 1984.
Livre Docente em Higiene e Toxicologia Ocupacional pela Universidade de São Paulo, 2003.
Toxicologista Ocupacional da General Motors do Brasil, 1978 a 1990
Membro Fundador da ABHO - Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais sob número 10 e membro do Comitê Permanente de Certificação desde sua criação em 2003.
Higienista Ocupacional Certificado sob número 3 pela ABHO desde 2003.
Professor de Higiene e Toxicologia Ocupacional da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, cursos de especialização e pós-graduação, 1973 a 2013.
Professor convidado de Higiene e Toxicologia Ocupacional da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo cursos presenciais e à distância de Engenharia de Segurança do Trabalho e Higiene do Trabalho, desde 2005.
Diretor da Toxikón Saúde Ocupacional, 1990 a 2018.

PREFÁCIO

O professor Sérgio Colacioppo é Higienista Ocupacional de primeira ordem. Um dos fundadores da ABHO, foi o terceiro higienista ocupacional a ser certificado por nossa associação. Quando me refiro à primeira ordem, não me limito ao seu pioneirismo no desenvolvimento deste tema no Brasil, mas também desejo evidenciar a ordem de grandeza de seu vasto conhecimento, generosamente dividido com vários de nós, seus discípulos. A partir de suas aulas e de suas publicações, certamente ele transmitiu ensinamentos valiosos a todos que atuam e muito valoram a Higiene Ocupacional, assim como ele sempre o fez.

A ABHO se sente honrada com sua disposição em mais uma vez nos brindar, desta feita com o conteúdo de sua importante obra, HIGIENE E TOXICOLOGIA OCUPACIONAL, de consulta obrigatória para associados e demais profissionais que se dedicam ao desenvolvimento qualificado da Higiene Ocupacional.

Em nome de todos os nossos associados e da ABHO, agradeço a contribuição relevante que nos oferece o Prof. Sérgio.

Luiz Carlos de Miranda Júnior
Presidente da ABHO

Sumário

GLOSSÁRIO – Alguns termos usados em Higiene e Toxicologia Ocupacional: **9**
CAPÍTULO 1. Introdução à higiene e toxicologia ocupacional **13**
1.1. Princípios gerais **14**
1.2. O Higienista Ocupacional **19**
1.3. O Toxicologista Ocupacional **23**
1.3. Bibliografia consultada e complementar **24**
CAPÍTULO 2. A Higiene e Toxicologia Ocupacional **26**
2.1. O relacionamento Higiene - Toxicologia - Medicina **26**
2.2. As atividades **27**
2.3. Antecipação ou previsão de riscos **28**
2.4. Reconhecimento de riscos **29**
2.5. Avaliação de riscos **29**
2.6. Controle de riscos **30**
2.7. Bibliografia consultada e complementar **32**
CAPÍTULO 3. Percepção e aceitabilidade de riscos **34**
3.1. Percepção e aceitabilidade **34**
3.1.1. Ozônio (O_3) 36
3.1.2. Cianeto de hidrogênio (ácido ou gás cianídrico - HCN) 37
3.1.2.1. Sais de cianeto 38
3.1.3. Óleos Minerais e Fluídos de Corte: Exposição Ocupacional e Insalubridade 39
3.1.3.1. Insalubridade por óleos minerais: 42
3.1.4. Tolueno 44
3.1.5. Metanol 44
3.1.6. DDT (dicloro difenil tricloeretano) 45
3.1.7. Fluoracetato (mono fluoracetato) 46
3.1.8. Resíduos tóxicos de indústria química 47
3.2. A aceitabilidade do risco vista pelo trabalhador. **49**
3.2.1. Indústria petroquímica 49
3.2.2. Fundição de ferro 49
3.3. Aceitabilidade do risco pelo o empregador **50**
3.4. Aceitabilidade do risco pelo higienista ocupacional **51**
3.4.1. Variabilidade na penetração por via cutânea. 52
3.4.2. Variabilidade na penetração por via respiratória 53
3.4.3. Variabilidade na toxicocinética e na toxicodinâmica 53

3.4.4. Variabilidade do ambiente de trabalho 53
3.5. Comentários finais 55
3.6. Bibliografia consultada e complementar. 56
CAPÍTULO 4. Fundamentos de toxicologia para higienistas ocupacionais 58
4.1. Introdução e conceitos de Toxicologia Ocupacional. 58
4.2. Toxicidade e risco químico 61
4.3. Toxicocinética – Exposição e vias de penetração 65
4.4. Mecanismos de detoxicação 83
4.4.1. Biotransformação. 83
4.4.2. Excreção. 84
4.4.3. Diluição 84
4.4.4. Depósito 85
4.4.5. Restauração da lesão. 85
4.5. Toxicodinâmica 86
4.5.1. Asfixiantes 87
4.5.2. Outros exemplos de ação tóxica 92
4.6. Indicadores Biológicos de Exposição 93
4.7. Bibliografia consultada e complementar. 96
CAPÍTULO 5. Bases toxicológicas dos limites de exposição ocupacional a agentes químicos 98
5.1. Introdução 98
5.2. Os diversos limites 99
5.2.1. Denominações 99
5.2.2. Os significados 100
5.3. Critérios para estabelecer padrões 102
5.4. Fatores intervenientes na fixação de um LEO 107
5.4.1. O ambiente de trabalho e as atividades 109
5.4.2. Interações entre substâncias no ambiente 111
5.4.3. O organismo do trabalhador - Fatores responsáveis por diferentes reações a agentes químicos 113
5.4.4. Influência da idade 114
5.4.5. Influência do gênero 114
5.4.6. Influência de hábitos alimentares 115
5.4.7. Influência do hábito de fumar 116
5.4.8. Influência do álcool 117
5.4.9. Influência de medicamentos 117

5.4.10. Influência da exposição simultânea a outras substâncias 118
5.5. Relações dose-efeito e dose-resposta 122
5.5.1. Dimensões da dose 122
5.5.2. Dimensões do efeito 124
5.5.3. Relação dose-efeito 125
5.5.4. Relação dose-resposta 128
5.6. Concentração média e concentração máxima (teto) 130
5.6.1. Alguns casos particulares 133
a. Depressores do sistema nervoso central 133
b. Asfixiantes simples 133
c. Substâncias que exercem ação tóxica em muito longo prazo 133
d. Genotóxicos 134
e. Alergênicos 134
f. Substâncias produtoras de febre dos fumos metálicos 135
5.7. Nível de ação 135
5.8. Limites de exposição segundo a ACGIH 136
5.8.1. Limite para exposição de Curto Período - TLV-STEL 140
5.8.2. Limite para superfícies - TLV-SL 146
5.8.3. Apêndices 146
Apêndice E - Limites para exposição simultânea a substâncias com mesmo efeito. 147
5.9. Algumas outras fontes de Limites de Exposição Ocupacional 149
5.9.1. PEL´s / OSHA 149
5.9.2. WEELG´s / AIHA / 149
5.9.3. AIHA / ERPG´s 149
5.9.4. MAK´s / DFG 150
5.9.5. REL´s / NIOSH 150
5.9.6. IDLH´s / NIOSH 150
5.9.7. OEB / NIOSH 152
5.9.8. WEL´s / HSE-UK 154
5.10. Norma regulamentadora 15 - NR-15 / anexos 11, 12 e 13 / LT´s 154
5.11. Outros índices ou padrões em Higiene e Toxicologia Ocupacional 161
5.11.1. Limiar Olfativo 161
5.11.2. Risco relativo 163
5.12. Casos particulares de LEO´s 163
5.12.1. Limites de exposição ocupacional para mulheres 163

5.12.2. Limites de exposição ocupacional e hábito de fumar 167
5.12.3. Limites de Exposição Ocupacional para jornadas não usuais. 169
5.12.4. A extrapolação de valores para a população brasileira 171
5.13. Bibliografia consultada e complementar. 173
CAPÍTULO 6. Avaliação da Exposição Ocupacional a Agentes Químicos 177
6.1. Objetivos de uma avaliação. 178
6.2. Alguns conceitos 179
6.2.1. Amostragem 180
6.2.2. Coleta de amostras 180
6.2.3. Avaliação da exposição ocupacional 180
6.2.4. Monitorização ambiental 180
6.2.5. Monitorização biológica 180
6.3. Identificação do agente e reconhecimento do risco. 181
6.4. Conhecimento dos locais de trabalho e atividades a serem avaliadas. 181
6.4.1. Área 182
6.4.2. Número de expostos 182
6.4.3. Frequência e duração da exposição 183
6.4.4. Ritmo de trabalho e produção 183
6.4.5. Ventilação e condições climáticas 184
6.5. Amostragem da exposição ocupacional 184
6.6. Elaboração de uma estratégia de amostragem para estimativa da exposição 185
6.6.1. Método empregado 185
6.6.2. Equipamentos para coleta. 185
6.6.3. Pessoal necessário para realizar e acompanhar as coletas de amostras 186
6.6.4. Amostras pessoais e em pontos fixos. 186
6.6.5. Avaliações de funcionários e de funções 187
6.6.6. Grupos homogêneos de risco (GHR) 188
6.6.7. Número de funcionários a serem amostrados em cada GHR 189
6.6.8. Número de amostras a serem coletadas em cada funcionário e tempo de coleta. 190
6.6.9. Dias e horários das coletas de amostras 193
6.6.10. Conservação e transporte de amostras 194
6.7. Coleta de amostras 194
6.7.1. Coleta de um volume da atmosfera 195
6.7.2. Coleta com análise instantânea 195
6.7.3. Coleta do contaminante 197

6.8. Análise do material coletado.....197
6.9. Cálculos e interpretação dos resultados da estimativa da exposição ocupacional 198
6.9.1. Média Ponderada pelo Tempo (MPT) 198
6.9.2. Estimativa de médias para um GHR 200
6.9.3. Comparação com os limites de exposição ocupacional 201
6.9.4. Estimativa da probabilidade de ultrapassar o limite de exposição ocupacional 203
6.10. Considerações finais 208
6.10. Bibliografia consultada e complementar. 210

GLOSSÁRIO – Alguns termos usados em Higiene e Toxicologia Ocupacional:

Limite de Exposição Ocupacional
TLV
ACGIH
NIOSH
+

Ação tóxica é a ação da substância ou de seu metabólito em um sitio de ação que origina um efeito nocivo ao organismo.

Amostragem procedimento estatístico que define o número de amostras representativas da exposição ocupacional a serem coletadas para efeito de uma avaliação.

Asbestose é uma pneumoconiose, doença pulmonar ocupacional provocada pelo asbesto (amianto).

Avaliação da exposição ocupacional é a medida da concentração ou da intensidade de um dado agente que representa a exposição do trabalhador, seguida de comparação com um padrão adequado, geralmente o Limite de Exposição Ocupacional.

Biotransformação é uma ação do organismo sobre a substância alterando sua estrutura química. (hidrólise, oxidação etc.), geralmente originando uma substância mais solúvel em água e capaz de ser eliminada pela urina.

Carcinógeno o mesmo que carcinogênico, ou substância cancerígena.

Coleta de amostras é o procedimento efetivo de coletar amostras.

Concentração efetiva é a concentração mínima da substância existente no sítio de ação e que é capaz de produzir um efeito.

Controle médico e vigilância da saúde é o acompanhamento pela medicina do trabalho do estado de saúde e de sinais e sintomas precoces e característicos de uma exposição, mas ainda em uma fase pré-clínica, ou seja, antes do aparecimento de uma doença ocupacional.

Cronotoxicologia é o estudo dos efeitos tóxicos relacionados com o ciclo circadiano, ou seja, uma substância quando absorvida em diferentes horas do dia pode originar efeitos de diferentes intensidades. Daí a importância do estudo do trabalho em turnos.

Diâmetro aerodinâmico ou equivalente é o diâmetro de uma partícula esférica de densidade unitária que possui a mesma velocidade de sedimentação da partícula em questão.

Enzimas. Também conhecidas por catalisadores biológicos, são substâncias que dentro organismo participam de reações entre outras substâncias ou as favorecem, sem perderem sua forma ou função. Exemplo: A enzima *álcool-dehidrase* é responsável pela reação de oxidação do etanol para ácido acético, sem esta enzima tal reação não acontece.

Estratégia de amostragem é o conjunto de procedimentos incluindo número de amostras, períodos, dias, horários, equipamentos etc., visando a estimativa mais precisa possível da exposição ocupacional.

Fagocitose é a atividade dos macrófagos de englobar e destruir bactérias, vírus e partículas invasoras.

Fumos metálicos são partículas sólidas em dispersão na atmosfera e originadas do vapor de metais fundidos e oxidados com o oxigênio da atmosfera.

Gases são substâncias que nas condições usuais de temperatura e pressão estão no estado gasoso. 25°C e 760 mmHg

Genotóxicos são substâncias capazes de produzir alguma ação tóxica sobre os genes que são segmentos da molécula de DNA e contém o código responsável por diversas características e funções do organismo humano e sus transmissão hereditária.

Indicadores Biológicos de Exposição – IBE são as substâncias que podem ser estudadas (analisadas) para efeito de monitorização biológica, por exemplo: chumbo no sangue para possível exposição a chumbo e ácidos metil hipúricos na urina, para uma possível exposição a xilenos.

Macrófagos são células sanguíneas da série brancas e grandes, daí o nome "macro" e são responsáveis pela "limpeza" dentro do organismo humano, englobando e destruindo bactérias, vírus e partículas invasoras.

Molécula é a menor parte da substância química que conserva suas propriedades. A composição da molécula por elementos químicos (ou átomos) e seu arranjo espacial define as propriedades da substância química, tanto físico-químicas como toxicológicas.

Monitorização ambiental é a avaliação da exposição ocupacional, através da medida da concentração, ou intensidade de um dado agente no local de trabalho, que representa a exposição ocupacional e realizada de forma sistemática e repetitiva, visando a introdução ou modificação de medidas de controle sempre que necessário.

Monitorização biológica é a avaliação da exposição ocupacional a uma substância química, através da medida da concentração desta substância ou seus metabólitos em um fluído biológico ou ar expirado do trabalhador exposto, realizada de forma sistemática e repetitiva, visando a introdução ou modificação de medidas de controle sempre que necessário.

Nanopartículas, ou nanomateriais, são objetos com 100 nm (nanômetros) ou menores medidos em uma ou mais dimensão. Substâncias na forma de nanopartículas podem apresentas diferentes propriedades toxicológicas que em outra forma.

Neblinas são partículas líquidas em suspensão na atmosfera, pode ser originada na condensação de vapores ou da dispersão mecânica de líquidos (névoas ou *spray*)

Ototoxicante (ou ototóxico) é uma substância que pode causar perda auditiva quando absorvida isoladamente ou em exposição simultânea a ruído em níveis abaixo de 85 dBA.

Occupational Exposure Banding é uma forma rápida e acurada de agrupar agentes químicos que não possuem um limite de exposição ocupacional definido, em categorias ou faixas de concentração para determinação provisória de um limite e utilizando-se de todas as informações técnicas e científicas disponíveis em relação aos potenciais riscos à saúde.

Particulado inalável (ou total, ou poeira total) é todo material existente em suspensão no ar e com possibilidade de ser inalado, ou seja, penetrar nas vias aéreas do trabalhador. Não se refere a todo o material particulado existente no ar, apenas as partículas com DA inferior a cerca 100 µm que são as que oferecem probabilidade significativa de penetração, probabilidade esta que aumenta com a diminuição do DA. Desta forma, não se consideram adequadas as denominações particulado total ou poeira total.

Particulado de penetração torácica, como o nome já indica, é a fração do particulado inalável composta por partículas com DA inferior a cerca de 25 µm, que são inaladas, mas não ficam retidas nas vias aéreas superiores (nariz e garganta) e possuem probabilidade significativa de atingem a traqueia e brônquios, que estão localizados no tórax, daí a sua denominação.

Particulado respirável, é a fração do particulado inalável composta por partículas com DA inferior a cerca 10 µm que são inaladas, mas não ficam retidas nas vias aéreas superiores (nariz e garganta) e nem na traqueia e brônquios, possuindo probabilidade significativa de atingirem as vias aéreas profundas que são os alvéolos pulmonares, onde se realiza a troca gasosa (CO_2 x O_2).

Poeiras são partículas sólidas em suspensão na atmosfera, originadas na desintegração de sólidos.

Produtos químicos são as matérias primas, produtos intermediários ou finais de natureza química, podem ser compostos por uma única substância quimicamente definida, como por exemplo, acetona ou tolueno, ou serem compostos por uma mistura de diversas substâncias como, por exemplo, solvente de tintas ou desengraxante alcalino.

Risco* (*ou* *Periculosidade) é a capacidade ou probabilidade de uma substância atingir uma concentração efetiva no local de ação dentro do organismo. Pode ser também considerada como a probabilidade de se manifestar o perigo de uma substância, ou ainda a probabilidade de uma substância química se tornar veneno. O risco pode ser controlado.

Saturnismo é a doença ocupacional provocada pelo chumbo inorgânico

Silicose é uma pneumoconiose, doença ocupacional pulmonar provocada pela sílica cristilina – quartzo**.**

Sensibilizantes são substâncias que tem a capacidade de ativar o sistema imunológico do organismo humano provocando reações alérgicas na pele e mucosas ou no trato respiratório.

Sítio de ação é o local onde a substância efetua a ação tóxica, geralmente a nível celular e dentro da célula, numa organela e, dentro desta, sobre uma molécula de enzima por exemplo.

Substância carcinogênica (ou cancerígena) é a substância que possui a capacidade de produzir, ou participar de alguma forma na produção, de um tumor ou câncer.

Substância mutagênica é a que possui a capacidade de produzir uma mutação (mudança, alteração na estrutura) nos genes de uma célula e, não certamente, mas eventualmente, pode originar um tumor ou má formação.

Substância teratogênica é a que possui a capacidade de provocar má formação de um embrião ou feto. (teratos = monstro)

Substâncias químicas podem também ser consideradas como agentes químicos, agentes tóxicos.

Toxicidade de uma substância química é a sua capacidade de produzir um efeito nocivo ao organismo, quando por este absorvida e presente no sitio de ação.

Toxicocinética é a parte da Toxicologia que estuda o *movimento* do agente tóxico, ou seja, a penetração no organismo, sua distribuição pelos diferentes fluídos e órgãos, sua biotransformação e eliminação.

Toxicodinâmica é a parte da toxicologia que estuda a ação dos agentes químicos sobre o organismo, ou seja, os efeitos deletérios.

Vapores é o estado gasoso de substâncias que nas condições usuais de temperatura e pressão estão no estado liquido. 25°C e 760 mmHg

Veneno ou agente tóxico é toda substância que penetra no organismo e por ele absorvida provoca um efeito nocivo, desde um ligeiro distúrbio até a morte.

Xenobiótico é uma substância química estranha e presente do organismo (xenos = estranho, biótico = relativo à vida).

Zona respiratória de um trabalhador é a região hemisférica à sua frente, com centro no nariz e com um raio de cerca de 20 centímetros

CAPÍTULO 1. Introdução à higiene e toxicologia ocupacional

Foto do Museu do Vaticano, 2015

Deusa Grega **Hygies ou Hygeia,** uma das cinco filhas de esculápio pai da medicina, é a responsável pela limpeza dos ambientes e prevenção de doenças, originando a palavra **Higiene** e suas derivadas Na *mitologia romana* encontramos a mesma deusa com nome de **Salus,** originando as palavras **Saúde, Salubre** e suas derivadas.
A cobra é o símbolo da ressureição, da cura e também da inteligência, o cálice simboliza o medicamento e a água para limpeza.

Tanto gregos como os romanos já tinham o conceito que o ambiente sujo era associado à doença e o ambiente limpo, à saúde. Acreditava-se que esta deusa tinha o poder de limpar os ambientes ao visitar os locais durante a noite enquanto os “mortais” dormiam.

1.1. Princípios gerais

A Saúde Pública, ciência multidisciplinar por excelência, abrange os diversos campos de conhecimento, entre eles a Saúde do Trabalhador que apesar de mais restrita se comparada com a Saúde Pública, ainda é multidisciplinar e por sua vez, abrange diversas ciências entre elas a Higiene Ocupacional e a Toxicologia Ocupacional.

A localização da Higiene e da Toxicologia Ocupacional como integrantes da Saúde Pública é bastante adequada, uma vez que a Saúde Pública foi originada na Medicina Preventiva. Para o efetivo diagnóstico, tratamento e controle de diversas doenças, há necessidade de diferentes profissionais, atuando em diversos campos, sendo o principal deles na erradicação ou prevenção das doenças, daí a criação da Medicina Preventiva e posteriormente da Saúde Pública, criada dentro do espírito de prevenção das doenças, exatamente como também atuam a Higiene e a Toxicologia Ocupacional.

Historicamente, as raízes da Higiene Ocupacional perdem-se no tempo e confundem-se com os primórdios da Medicina e da Toxicologia, quando o Homem aprendeu que determinadas atividades, envolvendo o manuseio ou a exposição a substâncias químicas, ou mesmo plantas e animais, poderiam ser prejudiciais à saúde começando a se proteger, ou utilizar estes efeitos danosos na guerra contra os inimigos.

Está muito distante o tempo em que os antigos gregos utilizavam o arco (τοξικον = toxikón) para lançar flechas envenenadas, daí a palavra *tóxico* em português e suas derivadas. Entende-se que prevaleceu o nome do arco, pois este é o mais visível, de forma semelhante a uma arma em nossos dias, embora o que provoque o ferimento seja a bala, ao vermos a arma sentimos o perigo e o risco.

Mesmo com os grandes avanços da ciência, ainda temos diversas situações em que o trabalhador, ao realizar uma atividade, pode ficar exposto a um agente químico e em decorrência, apresentar efeitos imediatos, como no caso de acidentes, ou ainda após algum tempo, como nas doenças ocupacionais.

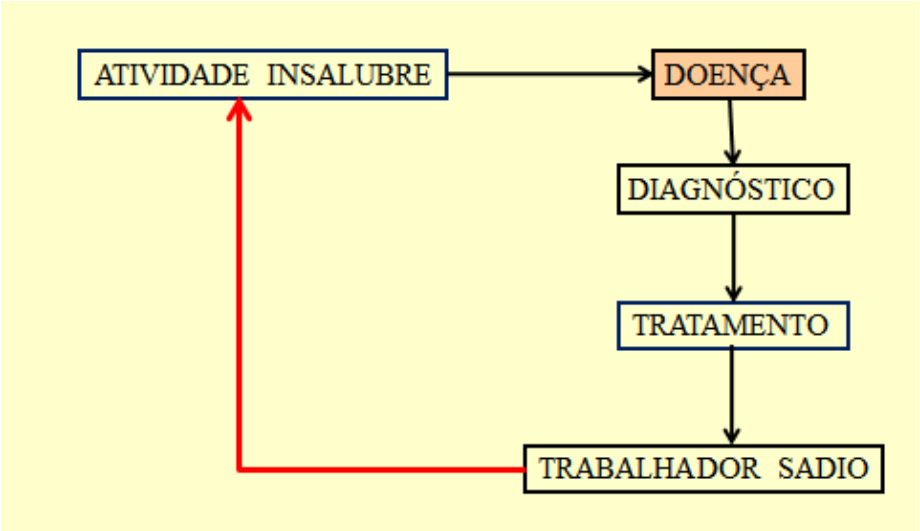


Figura 1.1. Fonte: Goelzer B.L.F. – Encyclopaedia ILO.

Em determinadas situações, o trabalhador pode não receber atenção médica, por estar fisicamente distante das equipes de saúde, como no caso de garimpeiros ou trabalhadores rurais, por exemplo. Em outras situações, mesmo nas grandes cidades, por não se dispor de um Sistema de Saúde Pública e Saúde do Trabalhador abrangente, alguns trabalhadores podem não receber atenção adequada, ou mesmo não receber nenhuma atenção, como o trabalhador avulso da economia informal, ou ligado a empresas terceirizadas contratadas para realizarem somente o "serviço sujo". Outro exemplo ainda são os trabalhadores que realizam suas tarefas na sua própria casa, sem qualquer supervisão da empresa que apenas lhes fornece matéria prima e recolhe o produto no fim do dia. Vários outros exemplos existem de trabalhadores "invisíveis" para a fiscalização ou mesmo para as equipes de Saúde.

Felizmente, a maioria dos trabalhadores de grandes centros urbanos tem acesso à atenção médica e com alguma probabilidade de serem adequadamente tratados. Contudo, se isto, e apenas isto, estiver acontecendo, estaremos criando um ciclo vicioso, com o simples tratamento do trabalhador doente e seu regresso ao local de trabalho e consequentemente, o regresso para a exposição ocupacional e algum tempo depois apresentar os mesmos sinais e sintomas anteriores. Como um eletricista que tenta consertar uma instalação elétrica apenas religando o disjuntor sem se preocupar

em saber o que provocou o seu desligamento. Esta situação leva a uma evidente deterioração da saúde e a um custo socioeconômico cada vez mais elevado para o seu retorno às condições iniciais.

Este ciclo só pode ser rompido quando paralelamente ao tratamento do trabalhador doente fizermos o "tratamento" do seu respectivo local de trabalho ou atividade, transformando-os em salubres, que é o objetivo da Higiene Ocupacional e estará em harmonia com o trabalhador sadio, atingindo-se assim os objetivos maiores da Saúde do Trabalhador.

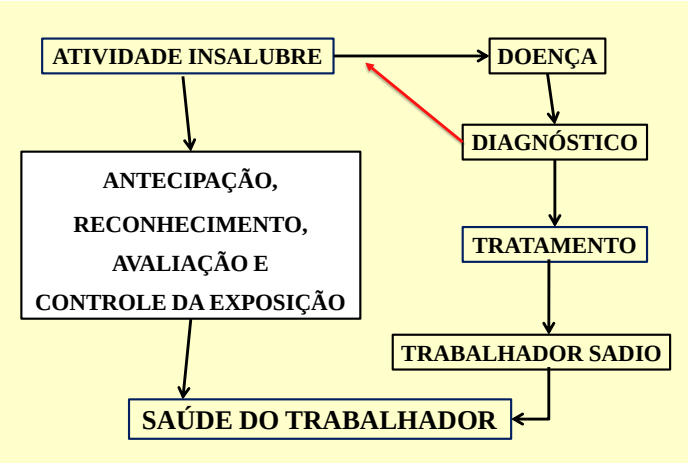


Figura 1.2. Adapatado de: Goelzer B.L.F. – Encyclopaedia ILO.

No esquema anterior observa-se que o diagnóstico feito pela equipe de medicina do trabalho deve ser o mais precoce possível (seta em vermelho) preferencialmente baseado em efeitos subclínicos, ou seja, baseados apenas em Indicadores Biológicos de Exposição e não de doença já instalada. e o tratamento sendo resumido ao afastamento da exposição.

Foi apenas nas últimas décadas que a Higiene Ocupacional teve seu maior desenvolvimento, sendo inclusive considerada como ciência, admitindo ainda diferentes denominações como seguem:

Higiene Industrial,

Característica dos Estados Unidos da América, onde teve grande desenvolvimento e exerce grande influência mundial, onde pode ser encontrada também a denominação *Saúde Industrial* (*Industrial*

Health), recordando-se que o termo industrial em inglês pode ter um significado ligeiramente diferente e mais amplo que em português. Por outro lado, o termo *Higiene Industrial* em português poder ser significar higiene e limpeza de fábricas, daí uma das razões para a não difusão destas denominações em nosso meio.

Higiene do Trabalho,

Nomenclatura característica do Brasil por ter seu desenvolvimento atrelado ao Ministério do Trabalho que criou em 1972 as denominações: Medicina do Trabalho, Engenharia de Segurança do Trabalho, Higiene do Trabalho, Enfermagem do Trabalho etc. talvez em virtude das regulamentações destes assuntos terem sido criadas pelo Ministério do Trabalho e evitar conflitos com o Ministério da Saúde.

Historicamente, na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo a denominação de *Higiene do Trabalho* foi utilizada até década de 1960 para a Cátedra ocupada pelo Prof. Benjamin Alves Ribeiro com um conteúdo eminentemente médico, com a evolução dos conceitos de Saúde Pública e Saúde do Trabalhador, hoje é ministrada como *Patologia Ocupacional*.

Higiene Ocupacional,

Esta denominação é mais difundida na Europa, recomendada pela OIT – Organização Internacional do Trabalho e aceita por vários autores, por expressar melhor os seus objetivos em língua portuguesa.

PATTY (1948), Farmacêutico-Bioquímico e grande expoente da Higiene e Toxicologia Ocupacional dos Estados Unidos da América definiu:

> *"A Higiene Industrial visa antecipar e reconhecer situações potencialmente perigosas e aplicar medidas de controle de engenharia antes que agressões sérias à saúde do trabalhador sejam observadas"*

Pela definição acima já se verifica o caráter preventivo da Higiene Ocupacional, que algum tempo após foi aprimorada pela ACGIH – (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) - que a define hoje como:

> *"A ciência e arte devotada à antecipação, reconhecimento, avaliação e controle dos riscos ambientais e stress originado do ou no local de trabalho, que podem causar doença, comprometimento da saúde e bem-estar, ou significante desconforto e ineficiência entre os trabalhadores, ou membros de uma comunidade"* (ACGIH).

Nesta definição a ACGIH, além do caráter preventivo de antecipar ações corretivas, cita o método de trabalho e admite ainda a possibilidade de um estudo não só prospectivo como também retrospectivo, o que embora inadequadamente, ainda ocorre com frequência na prática, ou seja, a busca da causa após o dano à saúde do trabalhador já ter sido observado. Nota-se ainda que o higienista não deve preocupar-se exclusivamente com doenças graves, mas também com pequenos desvios de saúde e do bem-estar e, além disto, não somente do trabalhador e seu local de trabalho, mas também de seus descendentes e sob certos aspectos até da comunidade, na qual a empresa e o trabalhador estão inseridos.

A ABHO – Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais em consenso com seus membros define a Higiene Ocupacional como:

> "Ciência e Arte dedicada ao estudo e gerenciamento das exposições ocupacionais aos agentes físicos, químicos e biológicos, por meio de ações de antecipação, reconhecimento, avaliação e controle das condições e locais de trabalho, visando a preservação da saúde e bem-estar dos trabalhadores e considerando ainda o meio ambiente e a comunidade." ABHO

1.2. O Higienista Ocupacional

Sendo a Higiene Ocupacional multiprofissional, ou seja, não é exclusiva de uma determinada categoria, diversos profissionais de nível superior e mesmo técnicos podem se especializar nesta ciência, pois em suas atividades, a Higiene Ocupacional lida com agentes químicos, físicos e biológicos, adicionando-se ainda os aspectos de organização do trabalho e ergonomia, em todos os seus aspectos e possibilidades de exposição, visando ações de antecipação, reconhecimento, avaliação e controle com todas as suas variáveis, sendo impossível um único profissional dominar todos os seus assuntos.

Habilitação e Capacitação são expressões muitas vezes confundidas. A graduação de um profissional o *habilita* a exercer determinadas atividades previstas no seu Âmbito Profissional como, por exemplo, realizar coletas e análises de substâncias químicas presentes no ar. Por outro lado, o treinamento ou capacitação em Higiene Ocupacional torna o profissional mais *capacitado* a realizar estas atividades para as quais já é habilitado, com vistas à proteção da saúde dos trabalhadores.

Pela abrangência da Higiene Ocupacional, observa-se que não há uma formação acadêmica em nível de graduação, especialmente orientada para esta ciência, nem exclusividade para um dado profissional. Historicamente nota-se que em seu início a Higiene Ocupacional foi exercida por médicos e que logo perceberam a necessidade de outros profissionais que melhor conhecessem certos problemas ambientais, como o químico ou o engenheiro.

Frank Patty, pioneiro da Higiene e Toxicologia Industrial cientificamente considerada, era farmacêutico de formação básica, o que lhe conferia grande versatilidade nos assuntos químicos, ambientais e médico-toxicológicos (CLAYTON, 1992), sendo inclusive o autor da primeira edição do livro *Industrial Hygiene and Toxicology* (PATTY 1948), hoje reeditado e na quinta Edição, sendo a principal obra do gênero: *Patty´s Industrial Hygiene and Toxicology*. Frank Patty teve ainda grande destaque na implantação da Higiene Ocupacional na General Motors Coorporation.

Dependendo do problema em particular devemos procurar o profissional habilitado e capacitado a resolvê-lo, por exemplo, se tivermos um agente biológico no ambiente, um biólogo ou microbiologista deve ser chamado. Se a exposição for a agentes químicos, necessitamos do concurso de um químico, bioquímico ou engenheiro químico, não podendo obviamente, cuidar destes assuntos outro engenheiro, civil ou mecânico, por exemplo. Por outro lado, com certeza um engenheiro civil ou mecânico deverá participar na implantação de medidas de controle, como modificações no processo ou na ventilação de um local de trabalho.

Avaliações ambientais não são as únicas atividades do higienista ocupacional, assim, outros profissionais não diretamente envolvidos com os agentes ou suas avaliações, como por exemplo, médicos, estatísticos, educadores ou nutricionistas, entre outros, podem especializar-se em Higiene Ocupacional, contribuindo sobremaneira para a solução de diversos problemas específicos, sem, contudo tornarem-se higienistas ocupacionais propriamente ditos. Da mesma forma um higienista ou toxicologista ocupacional, pode e deve ter boas noções de Patologia Ocupacional sem, contudo tornar-se médico ou fazer diagnóstico e tratamento de doenças.

O higienista é um profissional que deve manter-se atualizado com os conhecimentos técnicos da área e com os avanços da tecnologia, deve ainda ter capacidade de comunicação adequada com os diversos níveis hierárquicos de uma empresa, pois é esperado que dialogue com o trabalhador mais simples para entendê-lo e reconhecer os riscos inerentes às atividades, bem como com todos os níveis da direção da empresa, no sentido de introduzir medidas de controle ou melhorias que beneficiem o trabalhador.

O higienista deve ter elevado grau de responsabilidade, pois é tecnicamente responsável diretamente pela prevenção de doenças ocupacionais e cabe a ele reconhecer, avaliar e propor as medidas de controle adequadas para a prevenção de riscos ocupacionais.

Na realidade brasileira atual esta responsabilidade é muitas vezes assumida pelo engenheiro de segurança ou o médico do trabalho em virtude da ausência do higienista ocupacional, não previsto na legislação brasileira.

Geralmente o higienista é quem deve levar a opinião da empresa sobre um assunto técnico para fora dos muros da fábrica, assim, deve ainda ter contatos, recebendo representantes do Órgão do Governo / Fiscalização do Trabalho, Sociedades Científicas, Imprensa, Comunidade e Sindicatos, ou mesmo indo a entidades externas representando a empresa.

Para o exercício de sua função, o higienista deve estar apto a discutir assuntos que são comuns às diversas áreas de uma grande empresa, como se vê na tabela 1.1.

Tabela 1.1. Exemplos de assuntos de interesse da Higiene e Toxicologia Ocupacional tratados em diversos setores de uma grande empresa.

Setores da Empresa	Exemplos de assuntos
Medicina do Trabalho e Toxicologia Ocupacional	Epidemiologia, presença de sinais e sintomas. Indicadores e Limites Biológicos de Exposição Monitorização Ambiental e Biológica Afastamentos da função ou da exposição
Ergonomia e Organização do Trabalho	Adaptação física, psicológica e social da atividade ao homem.
Segurança do Trabalho	Riscos de acidentes em geral e principalmente os que envolvem agentes químicos e físicos Proteção Individual Espaços Confinados Emergências, operações não rotineiras.
Laboratórios	Análises de interesse para Higiene Ocupacional Identificação de Produtos Químicos Riscos em Laboratórios
Engenharia	Análise de Projetos Processos Industriais Manutenção, medidas técnicas de controle.
Meio Ambiente	Comunidade Resíduos - Efluentes Emergências Transporte de Materiais Perigosos
Administração	Programas e Campanhas Procedimentos Medidas Administrativas de Controle Treinamento Orçamentos, compra de materiais e serviços.

1.3. O Toxicologista Ocupacional

O Toxicologista Ocupacional, guarda uma semelhança muito grande com Higienista Ocupacional, pois ambos não têm uma graduação específica e uma profissão regulamentada, por outro lado, fazem parte integrante da equipe de Saúde do Trabalhador e atuam em estreito relacionamento entre si e com os demais profissionais.

Basicamente o toxicologista é o graduado em bioquímica, ou farmácia e bioquímica, especializando-se no decorrer do curso na área de Toxicologia e dentro desta estreitando ainda mais o campo de atuação especializa-se em Ocupacional.

Na prática de Saúde do Trabalhador pode ater-se apenas às atividades de laboratório onde realizará as análises toxicológicas, tanto dos indicadores biológicos, como das amostras de agentes químicos coletados nos ambientes de trabalho. Contudo, não raro o Toxicologista vai também ao local de trabalho coletar amostras para efeito de estimar a possível exposição.

Alguns toxicologistas, como no caso deste autor, após alguns anos atuando como toxicologistas ocupacionais, acabam tornando-se Higienistas, pois é justamente o conhecimento dos agentes químicos, da Toxicologia e da metodologia analítica, fazem com que possa atuar com certa tranquilidade na estimativa da exposição ocupacional aos riscos químicos.

O toxicologista, estuda patologia, fisiologia, anatomia, e outras disciplinas da área biomédica, tornando possível um contato adequado com os médicos do trabalho. Por outro lado, possui também formação na área tecnológica, com as disciplinas de física, cálculos, produção industrial e outras que também permitem um contato adequado com os engenheiros de segurança do trabalho.

Alguns autores até sugerem que as duas ciências, a Higiene e a Toxicologia, possam ser consideradas como uma única ciência que seria *Higiene e Toxicologia Ocupacional* quando o foco principal é agentes químicos. O Toxicologista também, poderia ser considerado a se “fundir” com o Higienista, mas cremos que isto será eventualmente discutido se for cogitada a regulamentação destas atividades. Atualmente o Toxicologista, tem seu registro profissional no Conselho Regional de Farmácia e seu âmbito profissional lhe permite

oficialmente realizar análises toxicológica e de agentes químicos no ambiente e assinar os respectivos laudos.

1.3. Bibliografia consultada e complementar

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Fundamentals of Industrial Hygiene**. Cincinnati (OH).

Atherley GA. **Critical review of time-weighted average as an index of exposure and dose, and of its key elements.** *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; (46) Sept.

CAS **Chemical Abstract Service**. Chemical Registry. Available at<HRL:http//www. cas.org/sgi-bin/regreport.pl>[2020]

CHRIS *US Cost Guard* – **Chemical hazards response information system manual, 2002**. Available at <URL:http//www.chrismanual.com>[2019].

Clayton GD. **Pioneers in the profession**, Editor´s Note. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1992; (53) Feb.

Colacioppo S. e Smolensky M. **A importância do estudo da ritmicidade biológica para a Higiene e Toxicologia Ocupacional**. in Fischer FM Moreno CR e Rotemberg L *Trabalho em Turnos e Noturno na Sociedade 24 Horas*, São Paulo (SP): Editora Atheneu; 2003.

Colacioppo S. **Avaliação da exposição ocupacional a fumos de solda**. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 1985; 49 (13).

Colacioppo S. **Limites de exposição ocupacional.** in *Tópicos de Saúde do Trabalhador.* Fischer FM et. al Editores. São Paulo (SP): Editora Hucitec; 1989.

ILO International Labour Office. *Occupational safety and health Series 72*. **Tecchnical and ethical guidelines for workers' health surveillance.** Geneva; 1998.

ILO International Labour Office, **Encyclopaedia of occupational health and safety**. Parmeggiani L. Editor, 3rd Edition, Geneva: 1989.

Klaassen CD. Editor. **Casarett and Doull´s TOXICOLOGY the basic science of poisons**. 6th Edition, New York (NY): Mac Graw-Hill; 2015.

Liedel NA. et al. **Occupational exposure sampling strategy manual**. NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati (OH): DHEW (NIOSH) publication 77-173; 1977

Mendes, Rene; Organizador. **Dicionário de Saúde e Segurança do Trabalhador** 1ª Ed. Proteção 2018

NIOSH [2019]. Technical report: **The NIOSH occupational exposure banding process for chemical risk management.** By Lentz TJ, Seaton M, Rane P, Gilbert SJ, McKernan LT, Whittaker C. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention,

National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2019-132, https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2019132.

Oga, Seizi, Camargo e Batistuzzo, **Fundamentos de Toxicologia** 4ª Ed. Atheneu 2014.

Patty FA. (Ed.) **Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): Interscience Publisher; 1948.

Smolensky, M. H. Paustenbach, D. J. and Shcving, L. E. **Biological rhythms shiftwork and Occupational Health**. in Cralley L.S. and Cralley L.V. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York(NY): John Wiley; 1985.

Telišman S. **Effects of age, sex and other factors,** *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* - International Labour Office, 4th Edition, Vol. 1 - Pages 33.1-33.74, 1997

Torkelson, T. R. **Redirection of Industrial Health**. *Am.Ind. Hyg.Ass.J*. 1983; (44) 11: 9-13.

CAPÍTULO 2. A Higiene e Toxicologia Ocupacional

2.1. O relacionamento Higiene - Toxicologia - Medicina

A Higiene Ocupacional, principalmente ao lidar com agentes químicos deve ter um entrosamento muito grande com a Toxicologia Ocupacional e com a Medicina do Trabalho. Para a perfeita execução de um programa de Saúde do Trabalhador há necessidade de ações bem articuladas e de conhecimento das propriedades toxicológicas como a toxicidade, toxicocinética e a toxicodinâmica dos agentes tóxicos, para que se estime o risco de exposição e estabeleçam ações de controle e prioridades.

Pela Toxicologia Analítica têm-se os métodos e técnicas de análise do agente tóxico, tanto oriundo de amostras ambientais como biológicas (o próprio agente, seus metabólitos ou produtos de ação tóxica em material biológico). Os resultados destas análises devem ser comparados com os Limites de Exposição Ocupacional para o ambiente e com os Limites Biológicos de Exposição para o organismo do trabalhador, limites estes que são obtidos através de extensos estudos de Higiene, Toxicologia e Medicina e desenvolvidos com o auxílio da Epidemiologia, Estatística e outras ciências.

As medidas de controle, por sua vez, além da viabilidade do ponto de vista prático, técnico ou administrativo, devem ser planejadas levando em conta a Toxicocinética e Toxicodinâmica dos agentes químicos, com especial atenção às vias de penetração, à meia vida biológica do agente no organismo humano e todas as possíveis ações e interações, dentro e fora do organismo, para que a proteção do trabalhador seja adequada.

Verifica-se assim, um estreito relacionamento entre a Higiene Ocupacional e a Toxicologia Ocupacional e até a tendência de unificação entre as duas ciências numa terceira: a *Higiene e Toxicologia Ocupacional,* que trataria basicamente da exposição ocupacional a agentes químicos, suas

interações com o organismo do trabalhador e todos os fatores intervenientes no aparecimento de agravos à saúde dos trabalhadores, visando a sua prevenção.

Embora dentro do ambiente acadêmico possa ser adequada a criação da Higiene e Toxicologia Ocupacional como uma única ciência, porém, do ponto de vista prático e na realidade brasileira, estamos muito longe disto, pois, antes disto o higienista ocupacional e o toxicologista ocupacional devem ser profissões reconhecidas e regulamentadas.

2.2. As atividades

Apesar da grande importância atual da Higiene e Toxicologia Ocupacional, devemos ter noção exata da sua atuação dentro da equipe de Saúde Pública. As doenças profissionais podem originar sérios agravos à saúde e até levar os trabalhadores à morte, contudo, podemos perguntar:

Do que morrem os trabalhadores?

Do ponto de vista da Saúde Pública, a resposta não é simples, nem única, pois acidentes e doenças ocupacionais ou das condições de trabalho não são as principais causas de morte dos trabalhadores brasileiros, estes podem morrer por diversas outras causas como violência urbana, acidentes de trânsito e doenças não ocupacionais e ditas *comuns* como cardiopatias, câncer, alcoolismo, gastrenterites entre outras.

Dependendo da população estudada, as estatísticas mostram os acidentes ou doenças ocupacionais como terceira, quarta, quinta ou mesmo ainda mais remota causa de morte dos trabalhadores, muito raramente é a primeira causa. Consideramos aqui este fato, para que se tenha uma real perspectiva, sem sub ou superestimar o valor da Higiene Ocupacional, que da mesma forma que a Medicina ou Segurança do Trabalho, isoladamente, nunca poderá cuidar ou proteger a saúde dos trabalhadores, considerada em seu aspecto mais amplo e como membros de uma comunidade.

Além de se basear em equipe multidisciplinar para atingir seus objetivos, a Higiene e Toxicologia Ocupacional deve estar adequadamente inserida dentro de um programa maior de Saúde do Trabalhador, não sendo adequadas ações isoladas de qualquer das ciências ou áreas envolvidas.

As atividades de Higiene Ocupacional em relação ao risco de exposição ocupacional a agentes químicos são realizadas em quatro diferentes níveis:

- Antecipação ou Previsão de Riscos.
- Reconhecimento de Riscos existentes.
- Avaliação de Riscos existentes.
- Controle da Exposição Ocupacional.

2.3. Antecipação ou previsão de riscos

O higienista deve ter habilitação, capacitação e, sobretudo autoridade para servir como um dos elementos de aprovação de todos os projetos de instalações e, ou, modificações a serem introduzidas em uma empresa. Isto é perfeitamente justificável, pois é muito mais econômico e eficaz eliminar-se um risco à saúde quando "ainda está no papel", ou seja, na fase de projeto, ocasião em que pequenas modificações muitas vezes sem custo, ou com um pequeno custo adicional, são agregadas e já se introduzem as medidas necessárias e suficientes para o controle dos riscos.

De outra forma, uma vez instalados os equipamentos, ou realizadas construções ou reformas, o custo para qualquer posterior modificação, visando a proteção dos trabalhadores, poderá ser elevadíssimo em relação ao anterior, mormente quando devem ser introduzidas modificações que impliquem na remoção de equipamentos, modificações no sistema de ventilação ou mesmo nos piores casos, a remoção de estruturas ou partes construídas inadequadamente do ponto de vista da Higiene Ocupacional.

Uma questão particularmente importante em indústrias em geral, é o custo de uma possível parada de produção para introdução de medidas de controle, ou mesmo por uma greve dos empregados

que podem se recusar a trabalhar em um local inadequado. Lembra-se ainda o elevado custo e dificuldade do gerenciamento de problemas sociais e trabalhistas decorrentes de uma contaminação do ambiente de trabalho e, ou, do ambiente geral.

2.4. Reconhecimento de riscos

Reconhecer um risco é identificar em um local de trabalho ou atividade, a presença de um risco, que possa afetar a saúde dos trabalhadores. Para tanto, o higienista deve ter conhecimento detalhado de toda a empresa e contar com a colaboração do pessoal de produção, manutenção e outros ligados ao processo produtivo.

Nesta fase é fundamental conhecimentos básicos de Toxicologia Ocupacional, ou contar com o concurso de um toxicologista. Deve-se ter constante atualização em relação aos avanços desta ciência e em particular com os agentes possivelmente presentes e seus efeitos sobre a saúde.

2.5. Avaliação de riscos

Compreende a fase de medição da intensidade ou concentração dos agentes e comparação com os padrões adequados de exposição.

Para esta fase o higienista deve utilizar instrumental adequado para, em alguns casos, realizar a medição direta das concentrações e na maioria dos casos, coletar amostras e contar com um laboratório confiável, para a realização das análises. Esta atividade deve ser tecnicamente planejada, para que se realize um número adequado de medições ou coletas de forma tal que se possa estimar o melhor possível, a exposição dos trabalhadores. Embora a responsabilidade inicial de manter a saúde dos trabalhadores seja da direção da empresa, tendo em vista a necessidade de pessoal treinado e equipamentos específicos, é possível compartilhar esta responsabilidade com empresas e laboratórios externos para esta fase especificamente.

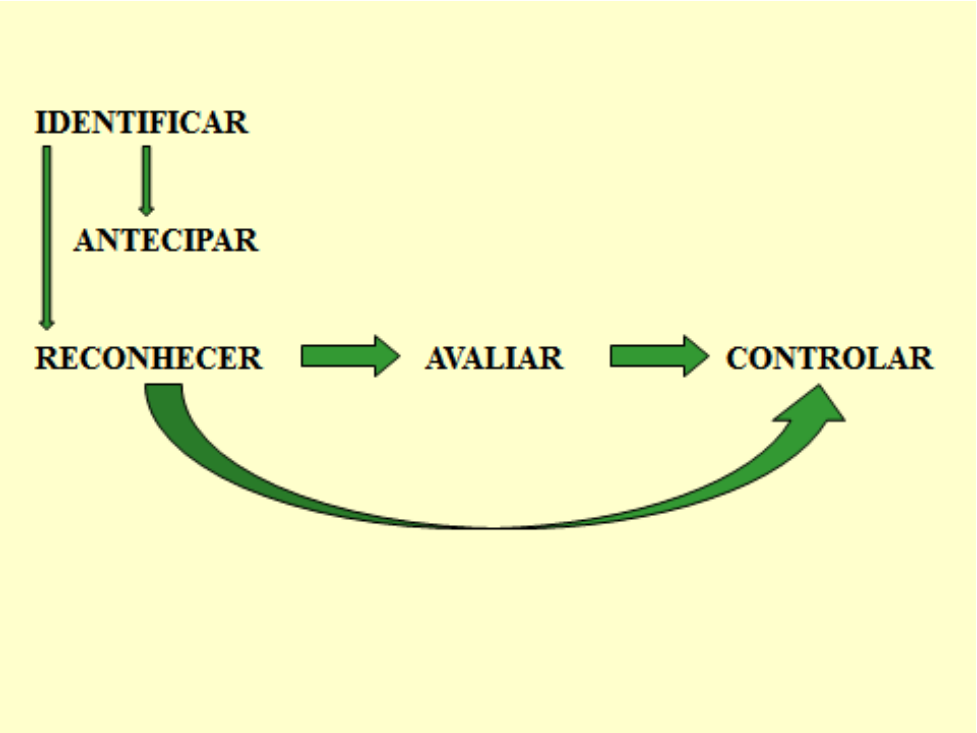


Figura 2.1.

2.6. Controle de riscos

Nas situações em que as avaliações representem exposições acima dos Limites de Exposição Ocupacional, devem ser introduzidas medidas de controle adequadas que reduzam estas exposições a níveis compatíveis com a saúde e conforto dos trabalhadores.

As medidas de controle são planejadas e recomendadas pelo higienista e demais envolvidos no processo e são executadas pelos departamentos pertinentes de administração, manutenção, engenharia, produção, etc. Algumas medidas de controle podem necessitar a contratação de empresas especializadas, como por exemplo, em Ventilação Industrial.

As medidas de controle adequadas são aquelas necessárias e suficientes para eliminar a exposição ocupacional ou reduzi-la a um nível aceitável.

Uma medida desnecessária tem o sério inconveniente de que sua não utilização não origina qualquer prejuízo à saúde. (Por que vou utilizar esta medida de controle, se não vejo nenhuma necessidade?) Ao impor algo desnecessário, como consequência, perde-se a confiança do trabalhador na equipe de saúde e segurança, bem como na empresa como um todo.

O trabalhador, ao perceber que o higienista recomenda medidas sem necessidade, pode concluir que todos da equipe de saúde são assim, pode acreditar que não conhecem o assunto ou até recebem suborno para a compra de equipamentos que depois são jogados no lixo. Numa situação deste tipo, qualquer medida posterior ligada à saúde, mesmo Saúde Pública, encontrará sérias dificuldades de adesão, por mais correta e necessária que seja.

Medidas insuficientes, por outro lado podem inicialmente levar o trabalhador a uma falsa sensação de segurança e, após algum tempo, poderá ocorrer o aparecimento de um agravo à saúde. No caso de aparecimento de uma doença por medida de controle insuficiente, temos a falência total de nossa atividade prevencionista e o trabalhador não só desacreditará da equipe de saúde e de seus empregadores, como poderá lançar mão de todos os recursos possíveis para iniciar movimentos trabalhistas e ações judiciais.

Cabe lembrar que a justiça brasileira tem evoluído bastante e já, há alguns anos, se observam Ações Civis Públicas e Criminais tendo origem na exposição ocupacional a agentes químicos. Assim, é importante a presença da atividade de Higiene Ocupacional nas empresas, pois o higienista é o elemento central e catalisador das soluções, é a pessoa que coordena os programas de Higiene Ocupacional, trabalhando em estreito relacionamento com o Departamento Médico e de Meio Ambiente, além de todos os outros departamentos envolvidos e tem por objetivo transformar os locais de trabalho em locais seguros e as atividades agradáveis, de forma que todos possam trabalhar sem qualquer risco à saúde.

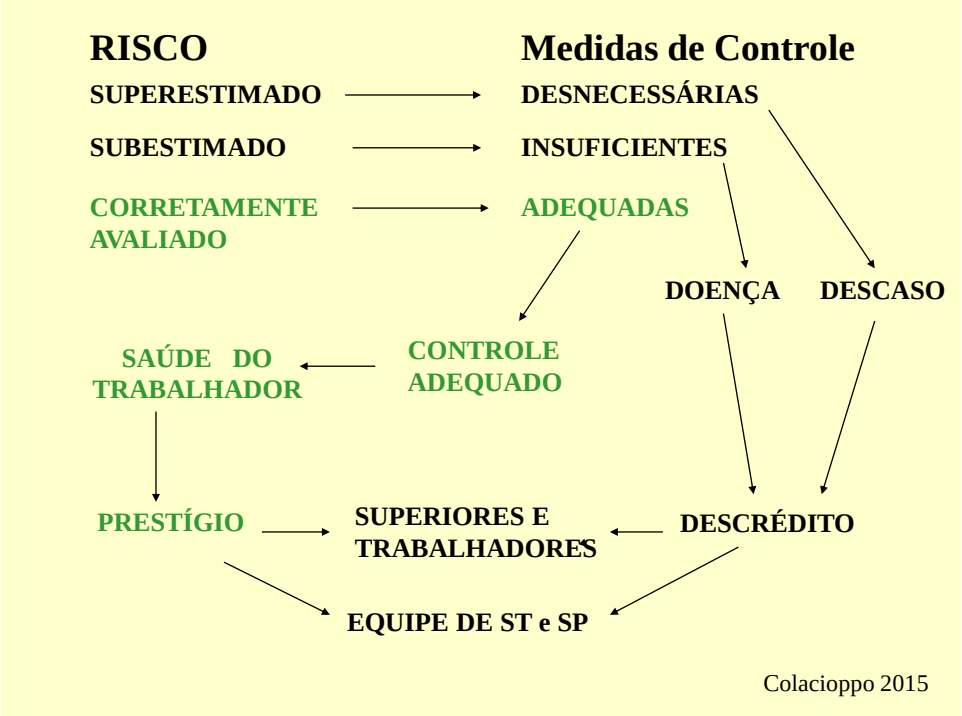


Figura 2.2. Medidas de Controle

2.7. Bibliografia consultada e complementar

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Fundamentals of Industrial Hygiene**. Cincinnati (OH).

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Limites de exposição (TLV´s) para substâncias químicas e agentes físicos e limites biológicos de exposição**. Cincinnati (OH); 2020. Tradução da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais: São Paulo (SP); 2020.

Brasil, Ministério do Trabalho. **Portaria ministerial número 3214**, *normas regulamentadoras número 1 a 28 e anexos*. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 28/12/1978.

CAS **Chemical Abstract Service**. Chemical Registry. Available at<HRL:http//www. cas.org/sgi-bin/regreport.pl>[2020]

CEN European Committee for Standardization. **Workplace atmospheres - Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for Comparison with limit values and measurement strategy.** European Standard EN 689, 1995.

CHRIS *US Cost Guard* – **Chemical hazards response information system manual, 2002**. Available at <URL:http//www.chrismanual.com>[2019].

Cralley LS and Cralley LV. **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): John Wiley; 2010.

Della Rosa HV, Martins I, Siqueira MEPB e Colacioppo S. **Monitoramento ambiental e biológico.** in *Fundamentos de Toxicologia.* Oga S. Editor, São Paulo (SP): Atheneu 2014.

Freitas NBB e Arcuri ASA. **Valor de referência tecnológico (VRT)** a nova abordagem do controle da concentração de benzeno nos ambientes de trabalho. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 1997; 89-90:71-85.

ILO International Labour Office. *Occupational safety and health Series 72*. **Tecchnical and ethical guidelines for workers' health surveillance.** Geneva; 1998.

ILO International Labour Office, **Encyclopaedia of occupational health and safety**. Parmeggiani L. Editor, 3rd Edition, Geneva: 1989.

Klaassen CD. Editor. **Casarett and Doull´s TOXICOLOGY the basic science of poisons**. 6th Edition, New York (NY): Mac Graw-Hill; 2015.

Liedel NA. et al. **Occupational exposure sampling strategy manual**. NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati (OH): DHEW (NIOSH) publication 77-173; 1977

Mendes, Rene; Organizador. **Dicionário de Saúde e Segurança do Trabalhador** 1ª Ed. Proteção 2018

NIOSH [2019]. Technical report: **The NIOSH occupational exposure banding process for chemical risk management.** By Lentz TJ, Seaton M, Rane P, Gilbert SJ, McKernan LT, Whittaker C. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2019-132, https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2019132.

Oga, Seizi, Camargo e Batistuzzo, **Fundamentos de Toxicologia** 4ª Ed. Atheneu 2014.

Patty FA. (Ed.) **Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): Interscience Publisher; 1948.

Torkelson, T. R. **Redirection of Industrial Health**. *Am.Ind. Hyg.Ass.J*. 1983; (44) 11: 9-13.

WHO EHC. World Health Organization. **Environmental health criteria 6 - Principles and methods for evaluating the toxicity of chemicals.** Geneva: 1978.

CAPÍTULO 3. Percepção e aceitabilidade de riscos

3.1. Percepção e aceitabilidade

Perceber é a capacidade de alguém compreender, intuir, ou mesmo sentir alguma coisa, que obviamente dependerá de quem observa um fato, quando, como e onde observa. Assim, o mesmo fato pode representar um evento grave para uma pessoa e que merece atenção imediata, enquanto que para outra pode ser um evento sem importância alguma, passando *despercebido*, ou seja, sem que haja percepção.

Risco, neste contexto, significa a probabilidade de ocorrência de determinado efeito que, no caso da Saúde do Trabalhador, é o acidente do trabalho ou a doença ocupacional causada por um agente ou condição de trabalho.

Aceitabilidade é o ato de aceitar, ou deixar que algo aconteça, por exemplo, a exposição do trabalhador a uma situação que se ignora que ofereça algum risco de provocar acidente ou doença, ou mesmo se conheça a probabilidade de sua ocorrência, mas que se acredita ser muito baixa, ou aceitável.

Segundo William Lawrence (em *Of Acceptable Risk, 1999*): Uma coisa é segura quando seu risco é aceitável. Em alguns dicionários podemos encontrar que *seguro* é algo que não oferece risco, o que não é verdade em diversas situações. Uma moto-serra, por exemplo, pode ser fatal nas mãos de uma criança, mas pode ser razoavelmente segura se nas mãos de um lenhador experiente e bem treinado, contudo, nunca será absolutamente segura, pois sempre oferecerá um risco, que pode ou não estar controlado.

Tratando-se de Agentes Químicos os toxicologistas afirmam que desde Paracelcius, há cerca de 500 anos, se sabe que:

Todas as substâncias são venenos, não há uma que não seja, apenas a dose correta diferencia o veneno do medicamento.

É justamente a dose correta preconizada por Paracelcius que se busca como um nível aceitável. Lembramos que no presente contexto, *dose* é a concentração ou massa de uma dada substância e relacionada com o tempo em que é administrada ou absorvida.

Duas características dos agentes químicos devem ser bem esclarecidas: Toxicidade e Risco.

Toxicidade é a capacidade de uma substância de produzir um efeito tóxico quando no sítio de ação.

Toxicidade (ou toxidez) é uma propriedade intrínseca da substância sendo estimada indiretamente pelos efeitos causados em organismos vivos, geralmente animais experimentais ou, em raros casos, em humanos e principalmente em acidentes, sendo a dose letal 50% (DL_{50}) o indicador de toxicidade mais difundido. DL_{50} sendo a dose que mata 50% dos animais de um ensaio, dentro de determinadas condições. Alguns estudos referem-se também a dose eficaz 50% (DE_{50}) que é a dose que produz um determinado efeito (diferente de morte) e em condições controladas.

Na tabela 3.1. temos um exemplo de classificação segundo a toxicidade, em que os efeitos observados ocorreram por penetração e absorção por via respiratória, assim a dose é expressa em Concentração Letal 50 % (CL_{50}).

Tabela 3.1. Classificação segundo a toxicidade por via respiratória.

Classificação	**CL_{50} (4horas)**	**Exemplos**
Extremamente tóxico	50 ppm ou -	Acroleina Ozônio
Altamente tóxico	50 a 100	Fosgênio NO_2
Moderadamente tóxico	100 a 1000	HCN, SO_2 Formol
Ligeiramente tóxico	1000 a 10000	Amônia
Praticamente não tóxico	10 a 100 mil	Tolueno
Relativamente atóxico	100 mil ou +	Freon

Ao se considerar isoladamente o dado toxicológico, verificamos que acroleina e ozônio, que pertencem à classe dos extremamente tóxicos, devem protagonizar grande número de acidentes e intoxicações agudas ou fatais. Porém, isto não ocorre, pois paralelamente à toxicidade deve-se considerar com que facilidade, ou dificuldade, a substância é produzida, ou sai de onde se encontra e atinge uma concentração efetiva dentro do organismo e no sítio de ação, ou seja, o *Risco* oferecido pela substância.

Como já referido, Risco é a probabilidade de ocorrência de um efeito e pode ser administrado e controlado e, por outro lado, a Toxicidade é uma propriedade intrínseca de uma substância que para um mesmo organismo e condições não varia. Embora haja variações da toxicidade de um organismo para outro, não pode ser "gerenciada ou controlada", como acontece com o Gerenciamento ou Controle de Riscos.

A seguir são mostrados alguns exemplos de agentes químicos em situações específicas para melhor entendimento deste assunto:

3.1.1. Ozônio (O_3)

O ozônio é substância essencial à vida em nosso planeta, é produzida constantemente pela radiação solar em contato com a alta atmosfera lá permanecendo e formando uma camada protetora que impede a passagem de raios ultravioleta do sol, na sua ausência esta radiação provocaria sérias mutações e alterações celulares.

Porém verifica-se que a toxicidade do ozônio é bastante elevada e ao se expor animais de laboratório a apenas 50 partes por milhão, podem originar efeitos graves e até fatais.

Assim poderíamos pensar que o ozônio é seguro na alta atmosfera, mas oferece grande risco na superfície da Terra. Tal afirmação não é correta, pois apesar de nos referirmos a uma substância de alta toxicidade, na superfície da Terra o risco é relativamente baixo, sendo praticamente

inexistentes os casos de intoxicação por ozônio, justamente pela instabilidade da molécula (O_3) que se decompõe fácil e rapidamente após sua formação ao encontrar praticamente qualquer outra molécula existente na atmosfera, como nitrogênio, água, CO2 etc., o ozônio oxida estas substâncias e se transforma em oxigênio ($O_3 \rightarrow O_2 + O\cdot$) e ($O\cdot + O\cdot \rightarrow O_2$), permanecendo íntegro como O_3 apenas no quase vácuo da alta atmosfera.

Por outro lado, justamente pela seu alto poder de oxidação e irritação das vias respiratórias associada à elevada toxicidade causa grande preocupação aos órgãos de meio ambiente, mesmo com os baixos níveis encontrados na atmosfera ao nível do solo de grandes cidades sendo então monitorado.

Em contraponto, temos o caso dos CFC´s (Clorofluorcarbonos - Freons) muito utilizados principalmente em refrigeração e que são relativamente atóxicos e bastante estáveis e não oferecem maiores riscos ocupacionais, além do risco de manuseio de gases comprimidos, mas justamente pela sua inércia e estabilidade, alguns cientistas acreditam que quando liberado permanece na atmosfera por longos períodos e atinge as altas camadas provocando a diminuição do ozônio, o que levou aos programas mundiais de seu banimento, outros estudos em desenvolvimento podem sugerir que os fatos não são exatamente assim, podendo-se no futuro ter uma reviravolta neste assunto.

3.1.2. Cianeto de hidrogênio (ácido ou gás cianídrico - HCN)

O Cianeto de Hidrogênio possui *toxicidade relativamente baixa*, pois necessita de mais de 1.000 ppm para que produza efeito sobre um organismo humano, mas mesmo assim, foi eficientemente utilizado em execuções em câmaras de gás, devido ao seu *elevado risco*.

O HCN pode ser formado facilmente, intencional ou acidentalmente, é estável na forma gasosa e penetra com facilidade no organismo, inclusive pela pele íntegra, atingindo o sangue e tecidos e atinge facilmente os pontos vitais das células em quantidades elevadas, superando em muito a alta dose (concentração efetiva) necessária.

É interessante notar que o mesmo HCN, junto com diversas outras substâncias, é encontrado na fumaça de cigarro e na mesma faixa de concentração citada anteriormente, só não matando o fumante por que este não respira apenas a fumaça do cigarro “pura", mas diluída com o ar existente no pulmão e o ar aspirado entre uma tragada e outra.

Para um fumante, as concentrações (elevadíssimas) existentes na fumaça de seu cigarro podem constituir um risco aceitável, mas se o mesmo fumante estiver exposto a concentrações centenas de vezes mais baixas, mas existentes em seu local de trabalho, a situação pode ser inaceitável e originar demandas judiciais.

3.1.2.1. Sais de cianeto

Os sais de cianeto também oferecem um grande risco e que foi aceito durante muitos anos, mas nas últimas décadas, com os diversos casos fatais ocorridos, lentamente houve um aumento na conscientização de empregados e empregadores. Como exemplo citamos apenas dois casos divulgados pela imprensa e ocorridos no Brasil.

Em uma galvanoplastia se utilizava um banho de sais de cianeto do tratamento de peças antes da cromação, havendo pouco controle, havia respingos no chão. No horário de almoço os trabalhadores se retiraram da seção, restando apenas um que ficou para fazer uma rápida limpeza da área, ao puxar os líquidos derramados e encaminhá-los para uma canaleta, misturou solução de saís de cianeto de cobre com ácido sulfúrico originando gás cianídrico e fatal. Em outra galvanoplastia, em Detroit / USA, ocorreu acidente semelhante e também fatal, sendo que havia recomendações e avisos em cartazes no local de trabalho, porém o trabalhador era imigrante polonês recém chegado e não sabia ainda ler escritos em inglês.

Este caso nos leva a pensar que para a correta percepção do risco não basta um aviso por escrito, pois no Brasil podemos ainda ter trabalhadores analfabetos, por outro lado o treinamento e esclarecimento de eventuais dúvidas é fundamental antes do inicio de atividades com agentes químicos. Um segundo caso ocorreu no Brasil em uma secção de têmpera de metais, onde se utilizam sais de cianeto fundidos a cerca de 800ºC, o cianeto é usado inicialmente na forma de sais sólidos e ao

serem manipulados podem ser derramados e ainda após a fusão podem originar respingos que se solidificam na borda do cadinho (um forno vertical tipo panela). Dois trabalhadores, em ocasiões diferentes, trabalhando sem condições de trabalho e de higiene pessoal adequada ao fumar no local de trabalho com a mão suja com cristais de cianeto levaram alguns destes cristais aos lábios com posterior ingestão e morte. Observa-se que os sais de cianeto na forma sólida não penetram com facilidade pela pele integra, na boca, porém, há dissolução na saliva e absorção. Somente após a morte do segundo trabalhador, muitos meses depois do primeiro é que a empresa reconheceu o risco como grave e foram implantadas medidas de controle como proibição do fumo, higiene pessoal, treinamento etc.

À custa dos diversos acidentes fatais ocorridos, observou-se nestes últimos 40 anos que empregados e empregadores foram lentamente tendo cada vez mais a percepção do elevado risco oferecido pelos cianetos e diversas medidas de controle começaram a ter maior prioridade na sua implantação, a ponto de grande número de empresas modificarem seu processo de produção eliminando a utilização de cianetos, apesar do elevado custo.

3.1.3. Óleos Minerais e Fluídos de Corte: Exposição Ocupacional e Insalubridade

Os óleos são muito utilizados em atividades industriais, sendo que as principais aplicações são como lubrificantes, fluídos hidráulicos e para corte de metais; sendo esta última a aplicação que eventualmente oferece maior risco de exposição ocupacional por via respiratória.

Diversas composições de óleos podem ser utilizadas para o “trabalhar” um metal, como na furação, frisagem e retífica ou ainda na afiação. Três grupos de óleos são mais frequentemente utilizados:

- Óleo mineral integral;
- Óleo vegetal integral;
- Óleo solúvel sintético ou semissintético (diluído em água, a cerca de 5%). Também conhecido como Fluído de Corte de Metais *(*ou MWF *metal working fluid)*.

Dentre estes, tem merecido especial atenção o óleo mineral integral, pois consta da NR-15, anexo 13 um texto que pode ser interpretado como afirmando que todos os óleos minerais são cancerígenos levando à inaceitabilidade de uma exposição ocupacional.

No Anexo 13 da NR-15 encontra-se: *"... Hidrocarbonetos e outros compostos de carbono - Insalubridade em grau máximo...Manipulação de Alcatrão, breu, betume, antraceno, óleos minerais, óleo queimado, parafina ou outras substâncias cancerígenas afins."*

O que confere carcinogenicidade aos compostos indicados no Anexo 13 citado são principalmente os Hidrocarbonetos Aromáticos Poli nucleares – PAH´s, que realmente podem estar presentes no alcatrão, asfalto, óleo cru não refinado, óleo queimado e nos fumos de parafina.

Mas se tomarmos o texto somente, como está escrito, pode-se fazer uma extrapolação extremamente exagerada, pela qual, até a parafina sólida pode ser carcinogênica, a mesma parafina que em latim significa *parum afinis* (pouca afinidade, ou seja, inerte), sendo inclusive utilizada em indústria alimentícia (na composição de chocolates ou no revestimento de salames). Não nos referimos aqui aos fumos de parafina, que é o produto da decomposição térmica desta. Por outro lado, um óleo mineral refinado pode ser cosmético para bebês e até medicamento (um dos nomes comerciais é Nujol).

Os óleos industriais não são severamente refinados ou mesmo puros; assim, podem conter aditivos e algum teor de impurezas e entre estas os PAH´s, que são carcinogênicos. O problema é que entre *poder ter*, e *ter*, há uma grande diferença.

O óleo mineral que tem grande chance de conter os PAH´s é o óleo usado ("queimado") de motores a combustão interna; ou ainda, o óleo cru, não refinado ou mesmo o petróleo puro. Não há evidências concretas da carcinogenicidade dos óleos refinados e novos, e principalmente dos óleos solúveis, que em sua grande maioria não são classificáveis como óleos minerais.

Pode-se resumir este assunto afirmando que o óleo mineral refinado não é classificado como carcinogênico, mas pode originar irritação do trato respiratório superior, o que ocorre principalmente nos processos industriais que utilizam máquinas operatrizes e onde haja possibilidade de formação de neblinas de óleos, para estas existe um limite de exposição de 5 mg/m³ como particulado inalável (ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists / TLV, desde 1992 e a partir de 2009 excluem os fluídos para corte de metal).

Óleo pouco refinado, óleo queimado ou não refinado (óleo bruto, petróleo, etc.) são suspeitos de carcinogênese humana (ACGIH – TLV/2011), nestes casos, idealmente, o limite será sempre o menor possível, tendendo a zero e com medidas de controle de exposição adequadas.

Em contato com a pele os óleos em geral podem provocar dermatites, dermatoses ou até câncer cutâneo, dependendo de sua composição. O contato cutâneo deve ser evitado (principalmente o contato prolongado) e sempre que possível deve-se usar luvas ou cremes protetores.

Não se dispõe de dados conclusivos para exposição a óleo solúvel ou sintético, ou ainda do óleo vegetal por contato cutâneo. Estes óleos possuem composição complexa e variável, podendo ainda conter diversos aditivos, o que dificulta em muito o seu estudo.

Os óleos vegetais, muito utilizados como alternativa ao óleo mineral, podem conter substâncias alergênicas que eventualmente representam problema para uma pequena parcela dos trabalhadores originando manifestações alérgicas como pulmonares e cutâneas o que é inaceitável, mas sendo “inócuos” e com exposição plenamente aceitável para a grande maioria.

No passado os óleos solúveis ou Fluídos de Corte de Metais podiam conter nitrosaminas, devido à formação desta substância durante o processo produtivo, pela reação entre nitritos e aminas. Pela percepção elevado risco oferecido e sua inaceitabilidade, a medida de controle introduzida foi a eliminação dos nitritos como aditivos, mesmo permanecendo as aminas não há nos óleos solúveis atuais, a formação de nitrosaminas em quantidades significativas.

Os óleos solúveis por serem soluções aquosas diluídas de matéria orgânica (semelhantes a uma sopa), podem oferecem excelentes meios de cultura para microrganismos, e eventualmente até desenvolver algum patogênico, mas o maior problema é a fermentação e produção de odor característico, mas desagradável, produzido por alguns microrganismos não patogênicos, durante uma noite ou um fim de semana. Este odor embora de reduzida toxicidade pode ser inaceitável pelos trabalhadores e originar reclamações e até demandas judiciais. Como medidas de controle, adicionam-se antibióticos ou antissépticos, o que por outro lado aumenta a necessidade de evitar a exposição e o contato cutâneo a estes aditivos, pois agora tem-se um novo risco, que nos parece ainda maior que o simples odor.

Finalmente cabe lembrar que existe metodologia e Limite de Exposição Ocupacional para neblinas de óleos minerais, contudo o Limite atual proposto pela ACGIH de 5 mg/m^3 é aplicável a óleos minerais puros e bem refinados. Óleos minerais "sujos" e pouco refinados não têm limite proposto e é sugerida a menor exposição possível.

O limite proposto pela ACGIH exclui o óleo de corte (óleo solúvel ou fluído de corte), assim uma alternativa para estes casos será avaliação do material em suspensão, como particulado inalável. segundo o método recomendado pelo NIOSH para MWF, contudo, uma correta avaliação da exposição ocupacional implicaria também nos eventuais agentes químicos presentes, como aditivos e antibióticos, além de microrganismos.

3.1.3.1. Insalubridade por óleos minerais:

Numa atitude um tanto simplificada (por vezes até simplista), alguns técnicos ou peritos utilizam-se do Anexo 13, da NR-15 e apenas por inspeção no local de trabalho, insistem em caracterizar insalubridade em virtude da presença e eventual contato com óleos e/ou graxas minerais, que seriam (segundo a citada norma) carcinogênicos, mesmo admitindo que esta premissa esteja correta, pergunta-se:

- É adequado caracterizar insalubridade para uma substância carcinogênica?

- É correto alguém se sujeitar a trabalhar com uma substância carcinogênica e em contrapartida receber mensalmente no máximo 40% de um salário mínimo?
- Deixaríamos nosso filho trabalhar nesta situação?
- Se nossos filhos não, porque os filhos dos outros sim?

Aceitando, ainda que erradamente, a carcinogenicidade como verdadeira, o correto seria **não caracterizar Insalubridade** e sim **Risco Grave e Iminente** e deveríamos fechar a maioria das indústrias metalúrgicas do Brasil.

Por outro lado, a ACGIH recomenda um Limite de Exposição Ocupacional para as neblinas de óleo refinado e, segundo a NR-9, na ausência de limites na NR-15 devemos utilizar os limites da ACGIH. Portanto não se pode caracterizar insalubridade apenas por inspeção e utilizando somente o anexo 13, pois há um limite legalmente aceito e, portanto, deve ser realizada uma avalição completa.

Algumas questões ainda permanecem. Onde estão os doentes e os mortos? Quantos casos de doenças provocadas por óleos minerais são conhecidos e registrados? A percepção de um grande risco parece existir apenas para alguns técnicos e versados em leis e benefícios, mas na experiencia deste autor, os trabalhadores raramente consideram um risco significativo.

Finalmente, devemos esclarecer que a citada portaria NR-15, anexo 13, refere-se aos óleos que são líquidos e que podem produzir neblinas em processos produtivos e não às graxas que são semissólidos e não produzem qualquer forma de aerodisperssóide ou vapor nos processos produtivos usuais sem aquecimento. Embora os dois possam ser derivados de petróleo, as graxas podem ser também sintéticas com diversos aditivos, silicones e outros polímeros, não guardando nenhuma semelhança química com óleos minerais, podendo apenas e eventualmente, ter alguma ação cutânea e, portanto, devem ser considerados de forma diversa.

3.1.4. Tolueno

O tolueno é um exemplo de variação da aceitabilidade ao longo do tempo.

Há algumas décadas, os dados toxicológicos iniciais nos apresentavam um solvente aromático praticamente não tóxico. Com estes dados podia-se concluir pela aceitabilidade do risco, por este ser bastante reduzido, Contudo, devido ao seu comportamento físico-químico semelhante ao benzeno, o tolueno industrial pode ter resíduos de benzeno o que compromete sua aceitabilidade, o que levou a estudos mais recentes com tolueno industrial e também com tolueno puro, o qu indicou efeitos tóxicos antes não considerados e em níveis mais reduzidos de exposição. Isto levando a uma redução do seu Limite de Exposição Ocupacional e inclusive à sua substituição, como no caso dos solventes para as indústrias que embora considerassem o risco aceitável no passado atualmente o consideram inaceitável.

3.1.5. Metanol

A percepção e a aceitabilidade de um risco à Saúde do Trabalhador passam por diversos crivos e dependendo de quem e quando uma decisão é tomada diferentes consequências podem surgir. Um exemplo foi o uso na década de 1990 de MEG, uma mistura metanol etanol e gasolina utilizada como combustível para automóveis c que desastrosamente teve o risco oferecido pelo metanol superestimado.

O resultado foi uma portaria do Ministério do Trabalho que obrigou os trabalhadores de postos de abastecimento, conhecidos como *frentistas,* a usarem protetores oculares e luvas impermeáveis, pois em uma visão sumária dos aspectos toxicológicos encontrou-se a informação que o metanol provoca cegueira e é absorvido pela pele.

Tais informações são verdadeiras, o metanol realmente provoca cegueira, mas por lesão do nervo ótico e após ingestão a absorção e não por ação local no olho. Por outro lado, qualquer combustível automotivo respingado no olho pode provocar sérias lesões. Se a proteção ocular fosse necessária para metanol, deveria também ser para os outros combustíveis, o que não se verifica na prática ainda hoje. A absorção cutânea também é real, mas há necessidade de grande superfície exposta e

durante um tempo relativamente longo, alguns eventuais pingos na mão e durante alguns segundos não originam absorção significativa, recorda-se que o metanol se encontrava a 23% na mistura.

No início da distribuição da citada mistura os trabalhadores, motivados e esclarecidos, utilizaram os equipamentos, mas dias ou no máximo semanas após, verificaram que as medidas de controle eram desnecessárias, desconfortáveis e alguns consideravam até ridículas. Assim começaram a diminuir o uso e nada aconteceu, assim passaram a aceitar o risco e não mais utilizaram os equipamentos, levando ao descrédito de todos os envolvidos, equipes de Saúde do Trabalhador, Saúde Pública e Governo, observa-se que a exigência de uso de luvas e proteção ocular somente foi revogada muito tempo depois.

Além dos aspectos técnicos, coube ao Governo, através do Poder Judiciário autorizar a utilização de tal combustível, assim, em São Paulo foi permitido e no Rio de Janeiro não. Evidenciando que as informações técnicas nem sempre são decisivas na aceitabilidade do risco, pois depende de quem aceita e de outras informações político-sociais ou econômicas, ou mesmo jurídicas envolvidas.

3.1.6. DDT (dicloro difenil tricloeretano)

O DDT foi largamente utilizado no passado, pois era considerado uma “arma poderosa” no combate da malária e outras doenças veiculadas por artrópodes, sendo que a Saúde Pública melhorou em muito graças ao DDT, assim o risco era considerado muito baixo e os benefícios muitos elevados. Com o passar do tempo, porém, constataram-se os efeitos nocivos do DDT o que desencadeou uma tendência mundial de banimento do inseticida, pois diversos países passaram a considerar o risco inaceitável.

Em alguns países, ou regiões, o DDT não foi banido por questões econômicas, ou simplesmente por não haver substituto adequado para controle de alguma praga, assim embora inaceitável por técnicos, o risco acabou sendo aceitável por alguns governos, ou mesmo para algumas aplicações

específicas, simplesmente por não haver alternativa e acreditar que os benefícios advindos da utilização do DDT ainda seriam maiores que os prejuízos de seus "efeitos colaterais".

3.1.7. Fluoracetato (mono fluoracetato)

Uma grave situação foi provocada pelo fluoracetato, em uma indústria metalúrgica na região sudeste do Brasil, com a morte de quatro trabalhadores e intoxicação grave em dezenas de outros, tendo o caso sido acompanhado pelo autor.

O fluoracetato é extremamente tóxico, pois pequenas quantidades bloqueiam irreversivelmente o ciclo dos ácidos tri carboxílicos, (Ciclo de Krebs) fundamental ao metabolismo celular gerador de energia e existente na grande maioria dos seres vivos. Este bloqueio leva rapidamente à morte, pois o fluoracetato entra neste ciclo no lugar do acetato e não é metabolizado. No caso de ratos, estes morrem e não apodrecem, pois, os microrganismos também não conseguem sobreviver no meio contaminado, assim o rato fica seco e mumificado o que é bom do ponto de vista estético, por não desprender odor desagradável.

No Brasil é legalmente proibido o uso do fluoracetato como raticida, pois o risco é inaceitável pelas autoridades sanitárias e governamentais, embora seja aceitável pelas empresas de desratização e praticamente desconhecido pelo público em geral. No caso em pauta o fluoracetato provocou uma situação que levou à interdição da fábrica com diversas consequências, intoxicações e mortes, chegando próxima ao fechamento, mas segundo a imprensa, o mesmo fluoracetato era utilizado em diversas empresas, inclusive públicas e da mesma forma.

Segundo informações obtidas na empresa aplicadora o fluoracetato é utilizado de "forma segura" pois apenas um químico tem acesso ao produto e é feita uma solução em água e nela é mergulhado um cereal seco, como milho ou arroz dependendo do tipo de rato que se quer atingir. Neste caso foi utilizado milho, deixado imerso na solução por várias horas. O milho assim impregnado foi distribuído nos locais onde os ratos passam, como canaletas e frestas, longe portanto dos locais frequentados por humanos.

Por outro lado o risco de um trabalhador se intoxicar por este agente químico é praticamente zero, pois deverá "acidentalmente" ir a locais de difícil acesso, recolher o milho numa quantidade de cerca de 300 gramas e também acidentalmente ingerir todo este milho ainda cru, o que tudo indica é impossível, sendo perfeitamente aceitável o risco.

Contudo, o mesmo produto, nas mãos de uma pessoa inescrupulosa, foi colocado em um saleiro ou um frasco de vinagre em uma das mesa do restaurante o que explica a distribuição dos casos sem correlação com a atividade profissional e somente 70 casos de intoxicação entre os cerca de 600 empregados, com 25 internações em UTI e 4 óbitos. Embora naquela época tivéssemos grande dificuldade de realizar análises finalmente o diagnóstico foi conclusivo após a constatação da presença de grande quantidade de fluoracetato no conteúdo gástrico das vítimas fatais e exumadas e assim o caso foi considerado criminal e deixado para as autoridades policiais.

Rem resumo, colocado na dose certa, apenas à disposição de ratos, pode oferecer um risco aceitável para os humanos, mas, criminosamente, em um saleiro ou no vinagre em uma mesa de restaurante o risco é enorme e inaceitável.

3.1.8. Resíduos tóxicos de indústria química

Como vimos nos casos acima a aceitabilidade depende também da ocasião em que é feita uma determinada análise do risco. Em décadas passadas, no Brasil e no exterior uma empresa, ao adquirir outra, não considerava um risco significativo o que hoje conhecemos como "passivo ambiental", e continuava a depositar resíduos no solo ou rios, por exemplo, como a empresa anterior vinha fazendo (risco aceitável, ou mesmo ignorado, pelas empresas e pelo Governo).

Com o desenvolvimento do conhecimento da contaminação ambiental, da *consciência ecológica* e dos *Princípios de Atuação Responsável*, hoje dificilmente, uma empresa assume o passivo ao adquirir uma área e não são raros os processos de remediação ambiental, multas e indenizações

por doenças ocupacionais ou “ambientais”. Hoje o risco é inaceitável, tanto pelas empresas como pelo Governo.

Curiosamente, ao visitar um local com grande quantidade de resíduos no solo, percebemos a presença de trabalhadores da empresa vizinha próximos à cerca simples de tela de arame. Do “nosso” lado da cerca, a empresa estava interditada e estávamos protegidos com roupas especiais e impermeáveis e respiradores, apesar do clima quente e úmido de verão. Do nosso lado, o risco era inaceitável e só por decisão judicial e específica, fomos autorizados a adentrar à área supostamente contaminada e por pouco tempo. Do outro lado da cerca a alguns poucos metros de distância, por não pertencer à unidade em questão, os vizinhos usavam roupas normais e sem qualquer proteção especial pois se entendia que não estavam expostos a risco significativo, apenas por uma questão legal e não técnica.

Observa-se ainda que a interdição deste empresa deveu-se não só à contaminação ambiental e exposição ocupacional a resíduos de agentes químicos clorados, embora na época não se tenha constatado morte ou doenças ocupacionais, houve forte pressão política e social envolvida e após grande divulgação dos fatos pela impressa finalmente o risco foi considerado inaceitável e empresa interditada por força judicial.

Este último exemplo traz à tona algumas questões de difícil resposta:

- Como estabelecer um limite entre o aceitável e o inaceitável? Até onde ou quando o risco é realmente aceitável, a partir de que ponto passa a ser inaceitável?
- É possível graduar a aceitabilidade de um risco?
- Quais seriam os critérios para definir quando deve ser feita a interdição de um local de trabalho?
- Até onde vai fisicamente uma interdição?
- Quando ou em que condições poderá haver a desinterdição?

3.2. A aceitabilidade do risco vista pelo trabalhador.

Pelos exemplos citados anteriormente, vemos claramente a dificuldade de determinar a aceitabilidade, pois basicamente depende de quem aceita e quando aceita. O trabalhador também pode considerar este assunto de diversas formas, conforme alguns exemplos a seguir:

3.2.1. Indústria petroquímica

Perguntando a um operador de produção em uma grande indústria química qual a tarefa mais perigosa ou estafante, este respondeu ser a sala de controle. Mas ao observar a sala de controle, verificamos ser bastante confortável, com ar condicionado, mobiliário adequado, computadores bastante avançados que faziam muitas tarefas automaticamente etc. e como higienista, nosso questionamento foi:

- Mas, havendo rodízio de funções, lá fora, subindo em torres, com calor, ruído e realizando tarefas braçais, lá não é pior?
- Não, lá nós somente executamos uma ordem, aqui na sala de controle nós decidimos qual ordem deve ser dada e o outro operador, que está na área externa somente executa, se dermos uma ordem errada, podemos provocar um acidente de grandes proporções...

Na percepção inicial do higienista ocupacional alguns riscos podem ser evidentes, mas após a entrevista com o trabalhador, percebe-se que outros riscos estão presentes e nem sempre são observados em uma visita rápida e simples.

3.2.2. Fundição de ferro

Em uma grande fundição as instalações eram muito antigas e precárias, com elevado risco de acidentes, calor radiante excessivo, ruído elevado dificultando a comunicação oral, poeira a nos sujar a roupa e depositando-se sobre o corpo e inclusive irritando os olhos, se não adequadamente protegidos. Neste ambiente observamos um trabalhador cuja atividade era usar uma marreta de cerca de 10 kg para quebrar os canais de peças fundidas e ainda bastante quentes, retiradas de dentro dos moldes de areia de cerca de 0,5 m^3 ainda emanando vapores oriundos da decomposição de resinas.

A fim de compreender as diversas atividades executadas pelo trabalhador, perguntamos quais eram suas tarefas e dentre estas qual, a seu ver, seriam as mais perigosas ou penosas, a resposta foi:

Nenhuma, hoje está bem, há alguns meses sim é que estava ruim, a produção estava muito baixa e eu quase fui demitido... Hoje tem trabalho...!

Vemos então que ao se sobrepor um "risco maior", o desemprego, os trabalhadores aceitam sem questionar "riscos menores" de acidente ou doença ocupacional que são muito mais evidentes apenas aos olhos do higienista. Esta empresa encerrou suas atividades alguns meses após nossa visita e pode-se questionar: Até que ponto isto foi bom para os trabalhadores, na percepção deles?

3.3. Aceitabilidade do risco pelo o empregador

Ao se questionar o Diretor de Pessoal, da mesma fundição do caso anterior, tentando verificar as possibilidades de introdução de medidas de controle imediato, a resposta foi enfática:

- *Mas Doutor, fundição é assim mesmo... sempre foi assim.*

Outro diretor, de outra empresa, certa vez defendeu seu ponto de vista de que: *O risco é inerente ao trabalho, só não corre risco quem não trabalha, assim, não cabe ao trabalhador nenhuma reclamação*. Esta outra empresa pagava adicional de insalubridade a todos os funcionários, inclusive administrativos, motoristas e guardas. A alegação era:

No final, após a demissão todos vão reclamar mesmo, assim o adicional já está incorporado no salário e pronto. Não há reclamação...

Felizmente, os comportamentos acima são raros e os órgãos governamentais já dispõem de meios para corrigir estas distorções. Por outro lado, os dirigentes de empresas usualmente reconhecem

não serem especialistas em riscos ocupacionais ou mesmo em Saúde do Trabalhador e delegam aos técnicos a responsabilidade de uma avaliação adequada do risco e a recomendação de medidas de controle necessárias e suficientes para, à luz dos atuais conhecimentos, reduzirem a exposição a um nível aceitável, cabendo assim ao técnico a responsabilidade pelo eventual acidente ou doença.

3.4. Aceitabilidade do risco pelo higienista ocupacional

O higienista ocupacional, ou um perito fazendo às vezes de higienista, frequentemente deve opinar sobre as condições ambientais e ou de exposição ocupacional e se estas oferecem um risco à saúde, aceitável ou não. Em outras palavras, ao considerarmos agentes químicos, a dose que os trabalhadores estariam recebendo é excessiva?

Este não é um assunto simples, o Limite de Exposição Ocupacional mais difundido e aceito pela comunidade científica, são os TLV – Threshold Limit Values, editados pela ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* e traduzidos anualmente para o português pela ABHO – Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. Os TLV, referem-se às condições sob as quais supõe-se que quase todos os trabalhadores possam estar expostos dia após dia sem efeitos adversos à saúde. Nota-se que há preocupação da ACGIH de deixar claro que supõe, não afirma, por outro lado são *quase* todos os trabalhadores, não são todos que estariam protegidos.

Uma parcela não perfeitamente conhecida da população não estará protegida. Quantos? 1%, 2%? Não se sabe exatamente e, pior, qualquer um de nós pode estar dentro desta pequena porcentagem. O que se sabe é que é a mais reduzida possível e que sempre que alguma pesquisa evidencia algum problema e sugere a redução do limite, esta é analisada e, se adequada, é proposta tal redução. A Partir de 2003 a ACGIH publica em seu livreto um capítulo de “Declaração de Princípios com relação aos TLV’s” mostrando todo o processo para estabelecer um TLV e todas suas limitações, num esforço de deixar claro que nós, usuários destes limites, ainda temos algum risco a considerar e não são absolutamente seguros.

Na fixação de um limite deve ser bem estudada a relação dose-efeito, lembrando-se que um nível de dose será considerado o Limite de Exposição Ocupacional e que se reduzirmos demais o nível da dose, podemos atingir a região de Hormesis, em que o efeito deletério não aparece ou é mascarado por um efeito inverso e benéfico ao organismo, algo semelhante à Homeopatia, porém em doses mais elevadas. Isto pode dificultar a fixação do Limite de Exposição Ocupacional e um complexo estudo epidemiológico deve ser realizado.

Por outro lado não se dispõe de estudos de dose-efeito para todas as substâncias e mais ainda, a correlação dose-resposta que é o aparecimento de um determinado efeito em uma população, sofre a influência de diversos fatores intervenientes, por exemplo, os hipersusceptíveis que são trabalhadores que passam em um exame médico usual, porém, após algum tempo de exposição mesmo abaixo do limite, apresentam sinais e sintomas de exposição excessiva, como por exemplo, a nível pulmonar, por deficiência de uma enzima.

Isto poderia ser detectado no exame pré-admissional ou pré-funcional, mas a dosagem da desta enzima específica só indicaria o problema em um entre centenas de exames. Valerá a pena o investimento? Será então aceitável o risco de não fazer este exame? São questões a serem decididas pelo Médico do Trabalho.

Outro aspecto é que ao se definir um limite de exposição, consideramos todos os trabalhadores iguais o que não é verdadeiro, pois, além de possíveis diferenças fisiológicas sobre as quais podemos ter pouco controle, temos outras interferências que podem ser:

3.4.1. Variabilidade na penetração por via cutânea.

Os limites são estabelecidos para concentrações no ar, mas a penetração cutânea pode ser importante em diversos casos, podendo ser influenciada pela presença de um solvente que favorece a penetração de uma substância, por exemplo, dissolvendo uma substância sólida que de outra forma não penetraria pela pele.

O calor aumenta a perfusão sanguínea na pele (ficamos vermelhos) o que aumenta a absorção, além disto, a penetração cutânea depende diretamente da superfície de pele exposta e o tempo de contato.

3.4.2. Variabilidade na penetração por via respiratória

A presença de CO_2 na atmosfera, bem como o exercício físico, aumentam a ventilação pulmonar (ficamos ofegantes) levando a um aumento da penetração e absorção por esta via. A pressão atmosfera interfere diretamente, por exemplo, o nitrogênio usualmente é inerte, mas quando hiperbárico apresenta toxicidade apreciável (embriaguez das profundidades), pois com o aumento da pressão há maior concentração de nitrogênio no sistema nervoso, daí resultando sua ação tóxica.

3.4.3. Variabilidade na toxicocinética e na toxicodinâmica

A absorção simultânea de substâncias pode interferir no efeito de uma delas, como no caso do etanol que inibe a biotransformação do metanol, reduzindo seu efeito. A cronobiologia é fator importante quando se lida com baixas exposições, pois diferentes horas do dia podem originar diferentes níveis de efeitos. O calor excessivo aumenta a sudação originando desequilíbrio eletrolítico, mas por outro lado aumenta a eliminação de mercúrio metálico.

3.4.4. Variabilidade do ambiente de trabalho

No ambiente podem-se ter interações que alteram o risco de uma substância, como por exemplo, um solvente clorado pode oferecer um dado risco que é aceito e o limite pode estar baseado nas melhores informações disponíveis. Não sendo inflamável seu uso pode inclusive ser aprovado pelo pessoal de prevenção a incêndios. Contudo um ambiente com vapores de solvente clorado e radiação ultravioleta, como solda elétrica, pode originar a formação de fosgênio que oferece grande risco de irritação das vias respiratórias, inexistente se não houver radiação UV. A formação de fosgênio a partir de vapores de solventes clorados pode ocorrer também ao passar o vapor pela brasa de um cigarro, aumentando sobremaneira o risco de doenças pulmonares no fumante.

Além do Limite de Exposição Ocupacional, que mais é detalhado em capítulo específico, outra forma dos técnicos considerarem uma situação é segundo o princípio da precaução, pelo qual, se não temos certeza que algo seja inócuo, devemos banir seu uso. Este princípio pode e deve ser usado, porém, com o máximo de bom senso, pois em última análise todas as substâncias são tóxicas e só estaremos cem por cento seguros no vácuo absoluto, que por sua vez também, é incompatível com a vida, deixando claro que sempre estamos expostos a algum risco, devendo a Comunidade Científica em geral e o higienista ocupacional em particular, reduzir este risco ao mínimo possível e aceitável.

É fácil perceber que posições mais radicais ou apaixonadas podem surgir e ainda pressões econômicas e político-sociais podem dificultar sobremaneira o gerenciamento de algumas questões, como por exemplo, a exposição a amianto e benzeno no caso de ambientes de trabalho, ou ainda em âmbito mais geral, como o plantio e consumo de soja transgênica e o uso de telefones celulares em postos de gasolina. Nestes casos percebem-se claramente as duas vertentes de pensamento, uma considerando inaceitável e provando, ou tentando provar, a existência de danos à saúde e outra, considerando que não há provas científicas suficientes dos danos à saúde, portanto risco seria aceitável, ou ainda que o banimento provocará enormes consequências ou prejuízos econômicos e sociais.

Com relação a riscos ocupacionais, em uma tentativa de normatizar o assunto, na legislação brasileira, a Portaria 3214, NR-1 item 1.7.C (obrigações do empregador) diz: *Informar aos trabalhadores os riscos profissionais que possam originar-se nos locais de trabalho e os meios para prevenir ou limitar tais riscos e fornecer os resultados das avaliações médicas e ambientais que forem realizadas.*

Mas o que seria limitar um risco? Segundo a NR-15: *entende-se por limite de tolerância, para fins desta norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e*

com o tempo de exposição ao agente que não causará danos à saúde do trabalhador durante sua vida laboral.

Verifica-se que pelo conceito de Limite de Tolerância, se ultrapassado teremos danos à saúde, porém esta postura que pode parecer correta cai por terra, quando nos anexos, fixa os Limites de Tolerância para agentes químicos e físicos e diz que, se excedidos, caracterizará a insalubridade e o trabalhador, *que continua exposto ao risco*, fará jus a um adicional em seu salário. Assim não somente se aceita o risco, como o trabalhador recebe incentivo para isto.

No capítulo 5 o assunto Limites de Exposição Ocupacional é discutido com mais profundidade.

3.5. Comentários finais

Idealmente o risco aceito em relação a um agente químico, ou mesmo de outra natureza como físico, mecânico, psicossocial etc. deve ser sempre o menor possível e de preferência zero. Risco zero, porém, somente existe na completa ausência do agente. Assim cabe aos profissionais de Saúde do Trabalhador reduzir os riscos sempre ao um mínimo possível, caminhando sempre em direção à utópica atividade isenta de riscos de qualquer espécie, onde acordaríamos de manhã felizes e ansiosos para iniciar mais uma jornada de trabalho e vamos com prazer, sem nos preocupar com riscos, proteções, doenças e tudo o mais.

Finalizando este assunto de percepção e aceitabilidade de um risco, recordamos as palavras de Frank Patty (1948):

> Ao visitar um local de trabalho, observe um trabalhador que executa suas tarefas em condições não adequadas e pergunte a si mesmo:
>
> *O risco é aceitável para deixarmos o trabalhador continuar nestas condições?*
> É possível que a resposta seja:
> *Sim, pois ele já está lá há algum tempo, está acostumado, não reclama, etc...*

Faça a seguir outra pergunta:
O risco é aceitável para mim? Eu trabalharia nestas condições?
É possível que agora a resposta seja algo como:
Bem, talvez, mas só mesmo se não tivesse alternativa...

Faça uma terceira pergunta:
O risco é aceitável para o meu filho trabalhar lá? Eu deixaria meu filho trabalhar nestas condições?
A resposta quase com certeza seria algo como:
Não! Meu filho não, eu faria tudo ao meu alcance, mas não o deixaria.

Faça então uma última pergunta:
O meu filho não, mas, os filhos dos outros sim? Por que?

3.6. Bibliografia consultada e complementar.

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Fundamentals of Industrial Hygiene**. Cincinnati (OH).

AIHA American Industrial Hygiene Association. **Odor thresholds for chemicals with established occupational health standards** Fairfax (VA); 1997

CHRIS *US Cost Guard* – **Chemical hazards response information system manual, 2002**. Available at <URL:http//www.chrismanual.com>[2019].

Colacioppo S. e Smolensky M. **A importância do estudo da ritmicidade biológica para a Higiene e Toxicologia Ocupacional**. in Fischer FM Moreno CR e Rotemberg L *Trabalho em Turnos e Noturno na Sociedade 24 Horas*, São Paulo (SP): Editora Atheneu; 2003.

Cralley LS and Cralley LV. **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): John Wiley; 2010.

Dalton PH et al. **Evaluation of odor and sensory irritation thresholds for methyl isobutyl ketone in Humans.** *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2000; 61:340-350.

ILO International Labour Office, **Encyclopaedia of occupational health and safety**. Parmeggiani L. Editor, 3rd Edition, Geneva: 1989.

Jayjock MA Lewis PG e Lynch JR. **Quantitative level of protection offered to workers by ACGIH threshold limit values occupational exposure limits**. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2001; (62) Jan/Feb.

Klaassen CD. Editor. **Casarett and Doull´s TOXICOLOGY the basic science of poisons**. 6th Edition, New York (NY): Mac Graw-Hill; 2015.

Mendes, Rene; Organizador. **Dicionário de Saúde e Segurança do Trabalhador** 1ª Ed. Proteção 2018

Naus A. **Olphactoric properties of industrial matters**. Praga (CZE): Charles University; 1975.

Nighswonger T. **Where do you set the standard?** Available at <URL:http// www.occupationalhazards.com/news_loader.asp?articleID=22025>[2019]

NIOSH [2019]. Technical report: **The NIOSH occupational exposure banding process for chemical risk management.** By Lentz TJ, Seaton M, Rane P, Gilbert SJ, McKernan LT, Whittaker C. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2019-132, https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2019132.

Oga, Seizi, Camargo e Batistuzzo, **Fundamentos de Toxicologia** 4ª Ed. Atheneu 2014.

OSHA Occupational Safety and Health Administration. **Permissible exposure levels.** Available at <http://search.osha-slc.gov/search97cgi/s97is.dll>[2019].

Patty FA. (Ed.) **Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): Interscience Publisher; 1948.

Raymond Agius, **Occupational Exposure Limits For Therapeutic Substances.** Ann ocnp. Vol. 33. No 4, pp. 555-562, 1989**.**

Rosenberg J. **Tabagismo** São Paulo (SP): Almed-Edusp; 1981.

Smolensky, M. H. Paustenbach, D. J. and Shcving, L. E. **Biological rhythms shiftwork and Occupational Health**. in Cralley L.S. and Cralley L.V. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York(NY): John Wiley; 1985.

Telišman S. **Effects of age, sex and other factors,** *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* - International Labour Office, 4th Edition, Vol. 1 - Pages 33.1-33.74, 1997

CAPÍTULO 4. Fundamentos de toxicologia para higienistas ocupacionais

4.1. Introdução e conceitos de Toxicologia Ocupacional.

Neste capítulo são abordados os conceitos básicos de toxicologia e seu relacionamento com a Higiene Ocupacional visando a prática da Higiene Ocupacional, na antecipação, reconhecimento, avaliação e o controle da exposição ocupacional a agentes químicos.

Para um bom entendimento do vasto capítulo da Higiene Ocupacional reservado aos agentes químicos devemos inicialmente rever alguns conceitos de Toxicologia Ocupacional, pois esta é a ciência que estuda a relação entre os agentes químicos presentes em um ambiente de trabalho ou ocupação e o organismo humano. Como já referido no capítulo 1, desde os primórdios da história da humanidade o homem aprendeu que determinadas substâncias são alimentos e outras não, aprendeu também que algumas substâncias poderiam provocar sérios distúrbios ou mesmo a morte se ingeridas.

Ainda no início da história os antigos gregos perceberam que poderiam impregnar as suas flechas com algumas substâncias, por exemplo, o extrato de uma planta, a cicuta. Mesmo que o ferimento provocado no inimigo não fosse fatal o veneno seria. Daí originam-se as palavras *Tóxico*, *Toxicologia* e outras com este mesmo radical, vindo do grego: τοχικόη = arco, ou aquele que lança o veneno (ou a flecha envenenada). Atualmente utilizamos o termo *agente químico ou agente tóxico*, para indicar uma substância que pode agir sobre o organismo humano.

O que é Toxicologia?

Toxicologia é a ciência e arte que tem por objeto o envenenamento.

Toxicologia é uma *ciência*, pois está baseada em fatos comprováveis e reproduzíveis através de estudos teóricos e experimentais. É também uma *arte* porque cada caso tem suas particularidades

e além dos aspectos gerais deve ter suas características estudadas isoladamente buscando uma explicação, tratamento ou medida de proteção adequada a cada caso.

O objeto da toxicologia é o envenenamento ou intoxicação, ou seja, não estuda as substâncias isoladamente como a química, mas estuda também a entrada no organismo humano e seus possíveis efeitos, necessitando para isto de bases de outras ciências como a bioquímica, fisiologia e medicina, entre outras.

Se considerarmos a toxicologia no seu aspecto amplo, podemos encontrar vários campos de atuação: Social (ex. drogas e álcool), Forense (aspecto médico-legais), Controle de Medicamentos e Alimentos e ainda a "nossa" Toxicologia Ocupacional (ou Industrial):

Toxicologia Ocupacional é a ciência e arte que tem por objeto o envenenamento de origem ocupacional visando a sua prevenção.

Pelo conceito anterior, destacam-se dois aspectos particulares:

a. o envenenamento estudado que é de *origem ocupacional*.
b. o objetivo de suas ações é a *prevenção*.

A Toxicologia Ocupacional e a Higiene Ocupacional fazem parte de conjunto de disciplinas que compõem a Saúde do Trabalhador que, por sua vez, é parte integrante da Saúde Pública, sendo que todas estas têm como principal objetivo sempre a *prevenção das doenças* e observa-se que a Saúde Pública tem suas origens na Medicina Preventiva, embora se deva tratar uma intoxicação que porventura ocorra, pois, a recuperação da saúde não pode ser esquecida.

O que é envenenamento?

Envenenamento ou intoxicação é o conjunto de sinais e sintomas que revelam o desequilíbrio provocado pelo agente tóxico no organismo humano.

Recorda-se que *Sinal* é algo que o médico observa ou mede de alguma forma, é a observação clínica, ou resultados de exames de laboratório por exemplo. Sintomas são as queixas relatadas pelo paciente, dores por exemplo.

Sendo o envenenamento o conjunto dos sinais e sintomas característicos da ação provocada por um agente químico, isto implica que o benzeno, por exemplo, provoca diversos sinais e sintomas, portanto apenas e tão somente o aparecimento de leucopenia que é somente um dos sinais da intoxicação não caracteriza a intoxicação ou a doença benzolismo (ou benzenismo), muito menos justifica por si só um afastamento do trabalho ou função, caracterização de insalubridade etc. Lembramos que cerca de 5% da população pode ter o número de leucócitos inferior ao estabelecido como normal, o que indicaria leucopenia.

Para caracterizar adequadamente uma doença profissional devemos ter o conjunto de sinais e sintomas e por exemplo do caso do benzolismo há necessidade de existir simultaneamente:

a. Exposição a vapores de benzeno superior ao Limite de Exposição Ocupacional, durante toda a jornada de trabalho e durante longos períodos (semanas ou meses).
b. Um indicador biológico adequado (no caso o ácido trans-trans mucônico) em níveis acima do valor de referência.
c. Alterações no hemograma.

Além dos itens citados, eventualmente mais alguma manifestação clínica pode estar presente.

O que é veneno?

Veneno é toda substância que introduzida num organismo e por este absorvida, origina desde distúrbios simples, até a morte.

Qualquer substância pode ser veneno, até água pura, por exemplo, tudo depende da forma como entra no organismo, quanto entra e onde chega. Por outro lado, um agente químico somente se torna veneno se estiver agindo sobre um organismo. Considerado desta forma não é adequado dizer

que uma substância dentro de um frasco e guardada em um armário, é um veneno. Corretamente falando, ela somente se tornará um veneno se for introduzida em um organismo e produzir um efeito. Contudo há que se observar o conceito mais "popular" de veneno que assim denomina qualquer substância capaz de produzir um efeito deletério.

4.2. Toxicidade e risco químico

Como visto no item anterior a propriedade de ser veneno está atrelada ao fato de agir sobre um organismo, ou seja, produzir um efeito indesejável. Por exemplo, se um trabalhador tem um nível sanguíneo de mercúrio elevado, isto significa única e exclusivamente que esteve exposto a mercúrio e absorveu certa quantidade. Se esta situação persiste o mercúrio pode agir sobre o organismo e aí sim se torna um veneno.

Exatamente esta situação ocorre se fizermos uma obturação em um dente com amalgama de mercúrio. Uma pequena quantidade do mercúrio se desprende da superfície da amalgama e é absorvido, podendo ser encontrado no sangue. A concentração de mercúrio no sangue decai ao longo de um curto período, não ocorrendo envenenamento. Por outro lado, se considerarmos um trabalhador exposto a mercúrio diariamente ao longo de vários meses, teremos a possibilidade de observar efeitos, sobre os rins, ou sistema nervoso, por exemplo, caracterizando então o envenenamento.

Observa-se que algumas substâncias como o citado mercúrio podem originar uma intoxicação, quando se tem uma exposição de período relativamente longo, mas temos outras substâncias que podem até matar uma pessoa em questão de horas, ou mesmo minutos, como por exemplo arsênico, gás cianídrico. O que diferencia estas substâncias?

A diferença dos possíveis efeitos e originada por duas propriedades: **Toxicidade** que é inerente à substância química em questão e **Risco** que depende da substância e das condições da exposição

Toxicidade (ou toxidez) é a capacidade de produzir um efeito em um organismo *quando no sítio de ação*. Toxicidade pode ser considerada como o **perigo** oferecido pela substância.

- Toxicidade é uma propriedade específica da substância. Na prática não podemos alterar a toxicidade de uma substância, apenas podemos trocar a substância por outra de menor toxicidade.
- Não há como verificar ou mesmo medir esta capacidade com instrumentos de laboratório e utilizando apenas a substância. O que se faz é observar a intensidade de um dado efeito sobre um organismo.
- Pode ser quantificada por ensaio biológicos de DL_{50}, Dose Letal 50%, dose que mata 50 % dos animais de ensaio, ou DE_{50}, Dose Eficaz 50%, dose que produz um dado efeito diferente de morte, em 50 % dos animais do ensaio.

Deve-se considerar ainda que para se tornar veneno a substância deve penetrar no organismo e ser absorvida. Assim, por exemplo, se alguns miligramas de mercúrio metálico (líquido) forem ingeridos, vão provocar muito menos sinais e sintomas que se a mesma quantidade penetrar por via respiratória na forma de vapor, pois temos diferentes capacidades de absorver este metal pela mucosa digestiva ou pulmonar, sendo que a absorção por via digestiva na forma líquida, é muito baixa, ao passo que por via respiratória na forma de vapor a absorção é bastante elevada.

A importância da absorção é que uma vez na corrente sanguínea a substância tem chance de atingir praticamente todas as células do organismo, inclusive as mais sensíveis, no caso do mercúrio, são os rins e o sistema nervoso central.

Na figura a seguir pode-se observar um resumo do caminho e obstáculos que a substância deve superar até atingir o sitio de ação (em vermelho). Nos itens a seguir temos um melhor detalhamento destes mecanismos.

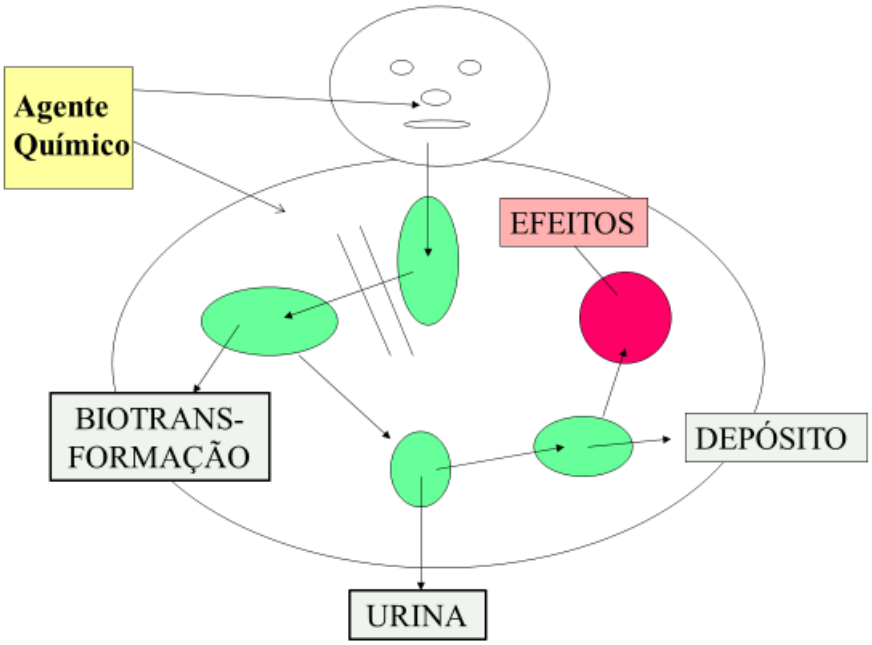


Figura 4.1. Esquema da penetração de um agente tóxico e sua distribuição no organismo humano

Ao observar as informações de toxicidade, por exemplo, em uma FISPQ, é possível que se obtenha uma série de valores e poderíamos pensar que as substâncias com maior DL50 são as menos tóxicas e devem oferecer menor risco e, portanto, podem ser admitidas em um processo industrial.

Mas apenas a informação toxicológica como pode ser visto na tabela a seguir não é suficiente, nota-se que o ozônio, é classificado como extremamente tóxico embora não se tenha notícia de nenhuma intoxicação fatal por esta substância. Por outro lado, o gás cianídrico (cianeto de hidrogênio) é classificado como moderadamente tóxico, mas causador de grande número de intoxicações fatais e inclusive foi utilizado em câmara de gás, para execução de prisioneiros na segunda guerra mundial e, mais recentemente, causador da tragédia em Santa Maria no Rio Grande do Sul.

Classificação segundo a toxicidade por via respiratória		
Categoria	**CL 50 4 h (ppm)**	**Exemplo**
Extremamente tóxico	50 ou -	Acroleína **Ozônio**
Altamente tóxico	50 – 100	Fosgênio NO_2
Moderadamente tóxico	100 a 1.000	**HCN**, SO_2 Formol
Ligeiramente tóxico	1.000 a 10.000	Amônia
Praticamente não tóxico	10 a 100 mil	Tolueno
Relativamente atóxico	100 mil ou +	Freon

Figura 4.1. Classificação segundo a toxicidade

Na figura anterior podemos observar uma classificação de substâncias segundo a toxicidade, avaliada em CL_{50} de 4h, ou seja, a concentração que é letal para 50% dos animais de ensaio em uma exposição por via respiratória durante 4 horas.

Para melhor entendimento deve-se atentar para outra propriedade relativa à substância, mas também intimamente ligada às condições ambientais e de trabalho que é o **Risco** (ou periculosidade).

Risco é a probabilidade de, em determinadas circunstâncias, uma substância sair de onde se encontra, no ambiente, penetrar no organismo e atingir uma concentração efetiva no sitio de ação.

A informação toxicológica é importante, mas conhecendo apenas a toxicidade de uma substância podemos ser levados a uma falsa conclusão de segurança, ou ao contrário acreditar que determinado produto seja muito tóxico e deve ser evitado contato a todo custo. Um exemplo é o ozônio (O_3) que possui elevada toxicidade, mas é instável decompondo-se com rapidez, não sendo possível atingirmos concentração suficiente para produzir um efeito grave, que poderá apenas ser

realizado em condições muito controladas de laboratório. O ozônio se decompõe fácil e rapidamente ao encontrar praticamente qualquer outra molécula existente na atmosfera, como nitrogênio, água, CO2 etc., o ozônio oxida estas substâncias e se transforma em oxigênio ($O_3 \rightarrow O_2 + O\cdot$) e ($O\cdot + O\cdot \rightarrow O_2$), permanecendo íntegro como O_3 apenas no quase vácuo da alta atmosfera, assim não pode ser armazenado, existindo apenas após alguns momentos depois de gerado.

O gás cianídrico por sua vez é estável, pode ser facilmente produzido em quantidades elevadas, é absorvido facilmente por via respiratória e também por via cutânea, sai com facilidade da corrente sanguínea e atinge altas concentrações nos centros geradores de energia dentro das células causando sérios distúrbios e até a morte rapidamente.

Em resumo, temos o ozônio extremamente tóxico, mas de baixo risco e o gás cianídrico moderadamente tóxico, mas de elevado risco.

Outras substâncias podem ter diferentes combinações de toxicidade e risco, por exemplo: Cloreto de vinila, é um gás que possui elevada toxicidade e usualmente oferece elevado risco. Glicerina possui reduzida toxicidade e usualmente oferece reduzido risco.

No parágrafo anterior referimos que *usualmente* o risco é elevado ou reduzido, pois risco não é imutável, o risco pode ser gerenciado, avaliado e controlado, ou seja, se modificarmos as condições do ambiente, a atividade, ou o processo produtivo, podemos reduzir o risco, ou seja podemos diminuir a probabilidade do agente penetrar no organismo do trabalhador. A toxicidade por outro lado é imutável, ou seja, sempre que atingirmos uma dada concentração no sítio ativo dentro do organismo humano teremos um mesmo efeito.

4.3. Toxicocinética – Exposição e vias de penetração

Para que haja uma intoxicação ocupacional a primeira condição é que haja exposição, assim é necessário definir

Exposição ocupacional é a proximidade de um agente químico por tempo suficiente e de forma haja possibilidade para que o agente penetre no organismo do trabalhador.

Por esta definição pode-se admitir que exposição sempre haverá, o que deve variar seria o "grau" de exposição e se é aceitável ou não.

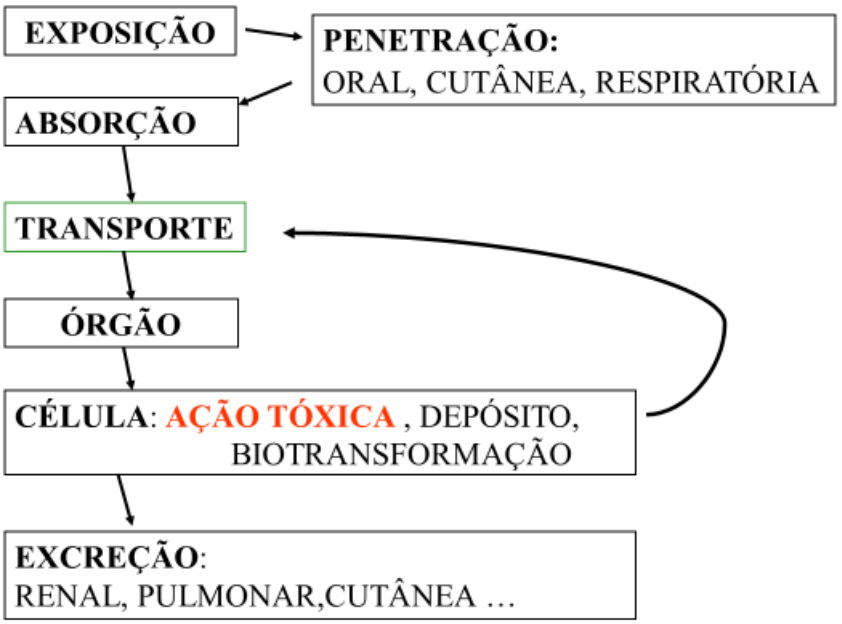


Figura 4.2. Toxicocinética de um agente químico

Do ponto de vista da Higiene e Toxicologia Ocupacional a três principais vias de penetração de um agente químico no organismo são a Oral, Cutânea e a Respiratória nesta ordem crescente de importância.

4.3.1. Via oral

A via oral pode ser significativa em apenas os pouco casos de falta de higiene pessoal e com as mãos sujas com um produto químico manipular um alimento. Tivemos oportunidade de observar uma operação de trefila de arame de ferro observar níveis elevados de chumbo no sangue. Em visita ao local observou-se a existência de um grande tanque com chumbo derretido por onde o

arame passava a fim de ganhar calor e a seguir era enrolado. O chumbo não emite fumos a temperaturas próximas ao ponto de fusão, como era o caso. No ambiente se observava fragmentos de chumbo que eram arrastados do tanque se desprendiam durante o enrolamento. Foi feita uma avaliação de chumbo no ar como particulado inalável e os resultados foram bastante baixos, porém durante a coleta de amostras, permanecendo no local durante toda a jornada se observou, o não uso de luvas, pois os trabalhadores manipulavam os arames já frios, mas também não lavavam as mãos antes do almoço e alguns colocavam a marmita sobre o forno de chumbo para aquecer. A empresa oferecia leite aos funcionários, por solicitação destes, porém em precárias condições de higiene no próprio local de trabalho.

Apesar da absorção do chumbo metálico ser de apenas cerca de 5% do ingerido, no presente caso a ingestão era elevada e diariamente. A solução foi relativamente simples com a introdução de medidas de higiene pessoal, lavagem das mãos e troca de uniformes, o leite apesar de inócuo como preventivo da intoxicação por chumbo passou a ser servido em local adequado. Após 2 a 3 meses os níveis sanguíneos de chumbo estavam dentro do normal.

Em uma outra empresa, que também apresentava grande risco de penetração e absorção por via oral, tínhamos óxido de chumbo para produção de baterias, havia contaminação do ar que mereceu diversas medidas de controle, mas havia também a preocupação da contaminação das mãos e do uniforme de trabalho com as partículas muito finas do óxido de chumbo. Os funcionários saiam para o almoço no restaurante da empresa que ficava distante havendo um ônibus que fazia este percurso, os uniformes de trabalho carregados com pó fino de óxido de chumbo poderiam também contaminar o ônibus que seria utilizado por outros funcionários.

A solução é de higiene pessoal, mas, como resolver este caso?
A solução idealizada só foi implantada após muita discussão podendo ser resumida como segue.
Reforma do vestiário com entrada pelo lado A (“limpo”) deixando as “roupas de rua” num armário, seguindo para outra sala seguinte de uniformes limpos, colocam uniforme de trabalho e saem pelo lado A.

No horário de almoço entrada pelo lado B (“sujo”) deixando os uniformes para lavagem em um cesto e indo diretamente para uma sala de banho, a seguir passam para a sala de uniformes limpos vestem o uniforme que usarão no período da tarde e saem pelo Lado A (“limpo”), vão almoçar e voltam diretamente para os locais de trabalho. No final do dia repetem a o procedimento anterior, porem vestindo as “roupas de rua” no final com as quais saem.

Embora pareça simples, além da reforma física, quando se fizeram os cálculos para a manutenção do sistema para os 250 empregados o assunto ficou praticamente inviável

Considerando que cada funcionário utiliza 30 litros em um banho, precisamos de cerca de 7.500 litros de água quente, duas vezes por dia e 250 funcionários usando 2 uniformes por dia e, se a lavanderia precisa de 2 dias para recolher, lavar e entregar, há necessidade de pelo menos 1.500 uniformes, de diversos tamanhos, identificados e distribuídos de forma rápida e a lavanderia deve ser credenciada para lavagem de roupas com resíduos de chumbo.

Estas e outras dificuldades para implantação de medidas de controle, mais algumas exigências do mercado levaram a modificações no processo, com o fechamento da fábrica e abertura de outra com equipamentos e máquinas novas com tecnologia limpa que não oferecia risco de exposição significativa, podendo inclusive ter mulheres lá trabalhando, embora o chumbo pode produzir alterações na gravidez e reprodução humana, as condições de trabalho eram bastante aceitáveis.

Ainda tratando de penetração por via oral, é possível que ao respirarmos material particulado este fique retido nas vias aéreas superiores e a seguir pode ser deglutido e por fim ser absorvido por via digestiva. Algumas substâncias, principalmente as solúveis em água podem ser absorvidas desta forma, somando-se à quantidade total de substância absorvida por via respiratória, o que será discutida mais adiante.

4.3.2. Via cutânea

O contato da pele com alguma substância química pode originar basicamente duas situações:

- A substância é um ácido, álcali, oxidante ou irritante forte, e pode provocar desde ligeira irritação até ferimentos profundos, por corrosão da pele. Este tipo de efeito é denominado *ação toxica local*.
- A substância não produz significativa ação toxica local, mas sendo lipossolúvel, ou seja, solúvel em gordura (solventes orgânicos por exemplo) pode se difundir através da pele, atingir a corrente sanguínea e ser distribuída pelo organismo, levando a um efeito em outros órgãos, este efeito é denominado *ação tóxica sistêmica*.

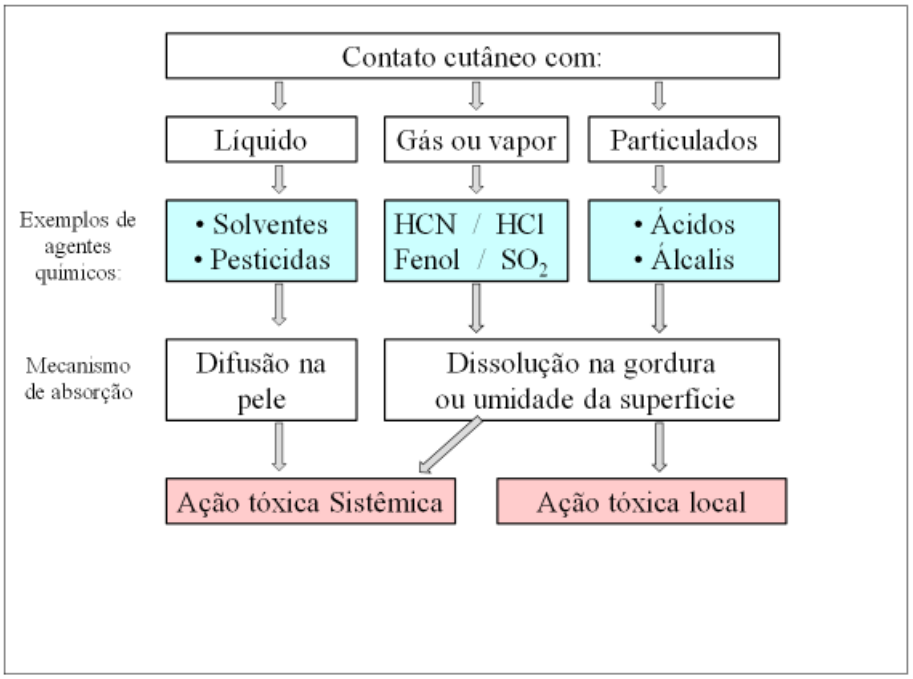


Figura 4.3. Penetração e absorção de uma agente químico pela pele.

A ação sobre a pele e a penetração de uma substância, não ocorre facilmente e depende de alguns fatores:

- Propriedades físico-química da substância.
- Superfície e tempo de contato.

  O contato de apenas a ponta do dedo e a limpeza e lavagem das mãos logo em seguida, pode não levar a nenhum efeito, mas um trabalhador que fica durante toda a jornada com toda a mão malhada com a substância poderá ter efeitos.
- Parte da pele que teve contato.

Diferentes partes da pele podem ter diferentes sensibilidades a um dado agente químico, por exemplo a palma da mão é usualmente mais “grossa” que o dorso ou a parte interna dos braços. A pele que reveste o abdômen órgãos sexuais são mais sensíveis, daí a necessidade de proteções adequadas e de acordo com o risco.

- Temperatura ambiente mais elevada e ou esforço físico provoca maior circulação periférica de sangue, favorecendo a absorção.
- Um agente químico pode promover a penetração e absorção de outro, por exemplo um material em pó que dificilmente penetra pela pele e não produz efeito locais ou sistêmicos, pode ser absorvido e provocar efeitos quando na presença de um solvente. Daí a necessidade de não ser permitida a lavagem das mãos com solventes.
- O discutido até aqui foi considerando a pele íntegra, porém, na pratica isto pode não acontecer, por exemplo por irritação previa com outro produto, ou ainda pequenos ferimentos que podem facilitar a absorção. Como no caso de trabalhadores rurais que podem ter rodizio de funções, inicialmente fazendo cestos de vime ou outro material que provocam pequenos ferimentos nas mãos e depois vão aplicar pesticidas, estes podem penetrar com maior facilidade através da pele “danificada”.

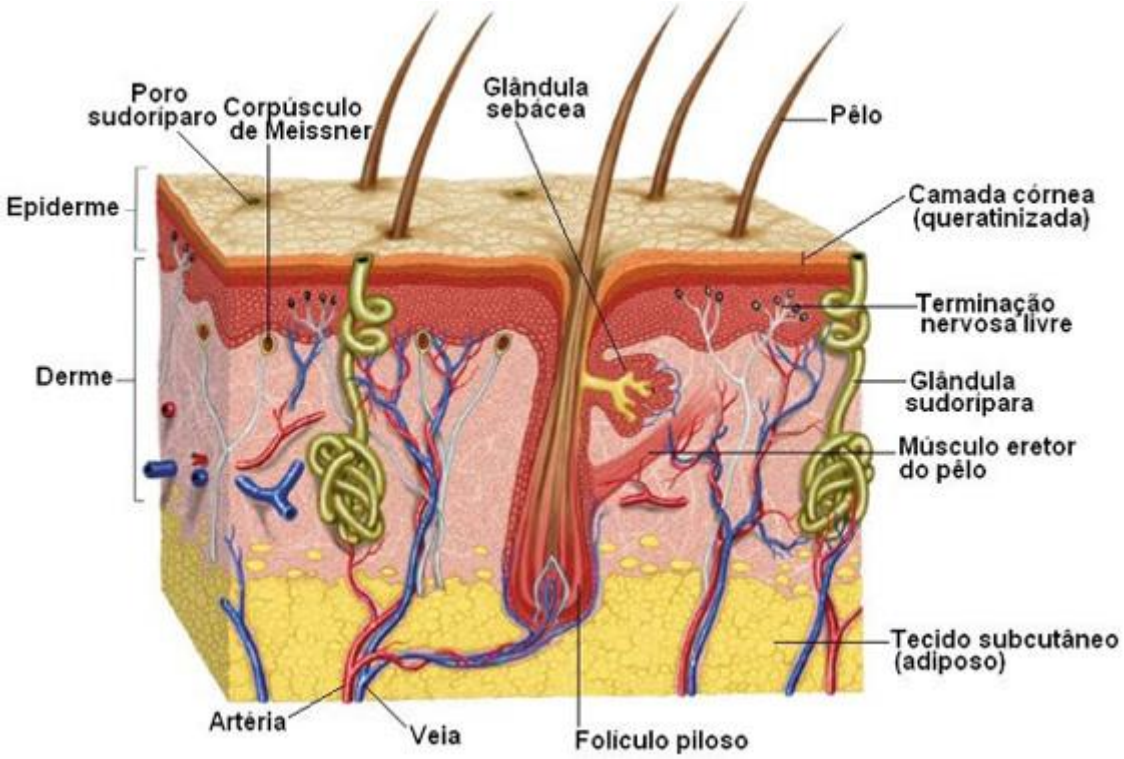


Figura 4.4. Estrutura da pele humana. Fonte: www.auladeanatomia.com

4.3.3. Via respiratória

Do ponto de vista da Higiene e Toxicologia Ocupacional, a via respiratória é a mais importante via de penetração no organismo humano podendo-se citar 3 fatores que contribuem para isto.

- Tanto a via digestiva, como a cutânea oferecem barreiras à penetração de uma substância e que podem ser superadas em poucos casos e mesmo assim, ao serem absorvidas por estas vias, as substâncias caem no sangue venoso e devem circular por diversos órgãos antes de atingirem o sitio de ação. Passam pelo fígado onde podem ser transformadas, pelos rins, onde podem ser excretadas, pelo tecido gorduroso onde podem ficar retidas e finalmente pelos pulmões e onde podem ser excretadas se forem voláteis, somente após vencerem todas estas barreiras uma substância é levada com o sangue arterial para os demais órgãos podendo somente agora ter possibilidade de atingir o sítio ativo e provocar um efeito.

Já na via respiratória são poucas as barreiras para penetração de gases, vapores ou material particulado e estes têm grande chance de, nos pulmões atingirem as vias aéreas profundas e caírem diretamente no sangue arterial sendo assim, levados mais diretamente aos sítios de ação.

- Um grande número de substâncias pode ser encontrado dispersas no ar de um ambiente de trabalho. Ao passo que um restrito grupo substâncias podem penetrar por via cutânea ou digestiva.
- Há maior dificuldade de controle, tanto das concentrações do um agente químico presente no ar, como através da proteção respiratória individual.

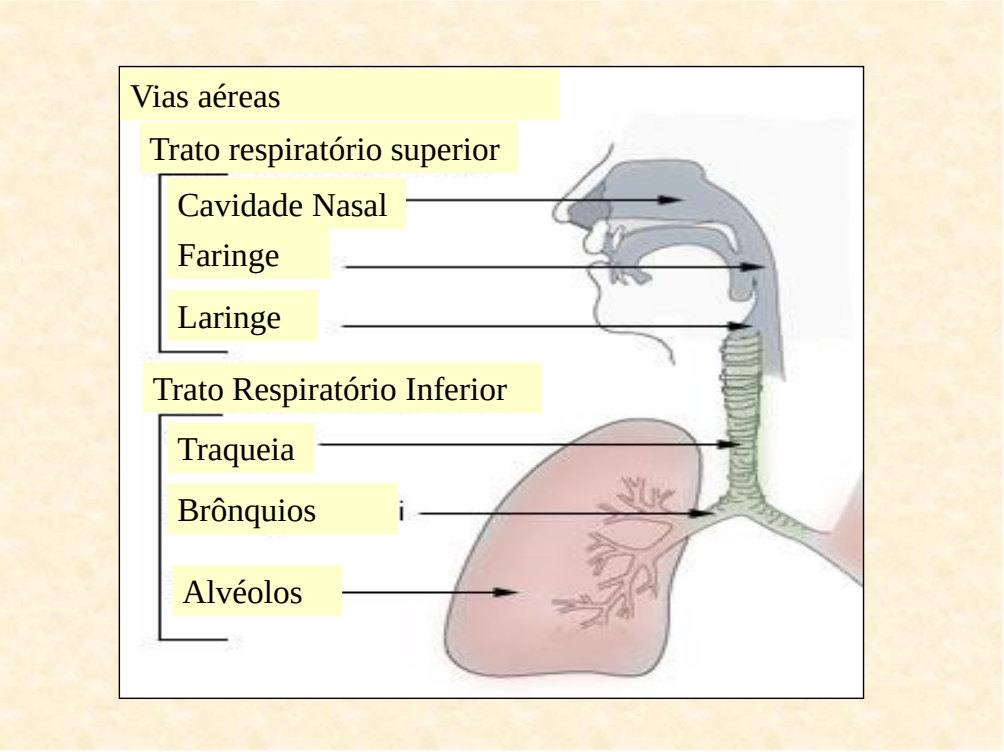


Figura 4.5. Estrutura do aparelho respiratório humano

4.3.3.1. Exposição a material particulado em suspensão.

Todo material particulado em suspensão no ar ao atingir a zona respiratória do trabalhador, dependendo de seu diâmetro aerodinâmico, poderá ou não penetrar no trato respiratório, como representado na figura 4.5. Partículas muito grandes podem simplesmente ter sido lançadas por um processo industrial, como lixamento por exemplo, e estão apenas sedimentando (caindo) e podem até

passar pela zona respiratória, mas não são aspiradas pelo fluxo de ar da respiração do trabalhador. Por ouro lado partículas menores podem ser arrastadas pela corrente de ar e adentrar o trato respiratório e se forem muito pequenas podem até atingir as vias aéreas profundas, ficando aí retidas ou até mesmo passarem para a corrente sanguínea. Ao visitar um local de trabalho é possível verificar em alguns casos de pouco controle, a presença de material particulado "mais grosso" próximo ao ponto de trabalho e ao nos afastarmos do local ainda se percebe a presença de material depositado mais fino que é arrastado pela ventilação do local. É exatamente isto que acontece no aparelho respiratório, partículas mais finas permanecem mais tempo de suspensão e podem ser arrastadas para mais longe.

Nos casos de poluição do ar de grandes cidades a cor marrom que se observa no horizonte é basicamente composta de partículas em suspensão de 1 µm ou menos, que dificilmente se depositam.

Diversos estudos tem sido realizados no sentido de identificar o comportamento das partículas no trato respiratório e o que se observa é que não há um limite exato de separação entre penetração e não penetração, o que se pode estimar é a probabilidade maior ou menor de penetração dependendo do tamanho da partícula. Por outro lado, há dificuldade de medir uma partícula, pois são amorfas, ou seja, sem uma forma definida, assim criou-se o Diâmetro Aerodinâmico ou Diâmetro Equivalente.

Diâmetro Aerodinâmico - DA, é o diâmetro de uma esfera de densidade unitária que possui a mesma velocidade de sedimentação da partícula em questão.

Para melhor entender este assunto basta lembrar do experimento clássico de uma partícula de chumbo e uma pena, as duas com exatamente o mesmo peso e dentro de um cilindro com ar terão velocidade de sedimentação muito diferentes, porém se fizermos vácuo, as duas cairão com a mesma velocidade, pois a velocidade dependerá apenas do peso e não mais da resistência ao movimento promovida pelo ar. Ao considerarmos o sistema respiratório, observa-se que fibras em suspensão como o amianto e partículas cristalinas como a sílica, terão comportamento bem diverso, apesar de ambas serem minerais e derivados de silício. Isto reflete diretamente na pratica da

Higiene Ocupacional pois, os equipamentos e acessórios utilizados na avaliação ambiental devem ser adequados e específicos a cada uma.

Não é possível utilizar sempre o mesmo equipamento e acessórios para avaliação ambiental de todo e qualquer particulado em suspensão. Tanto para particulado inalável como para particulado respirável.

Nas figuras a seguir são indicadas as frações do material e particulado em suspensão e a probabilidade de penetração no sistema respiratório em função do DA e eventuais efeitos.

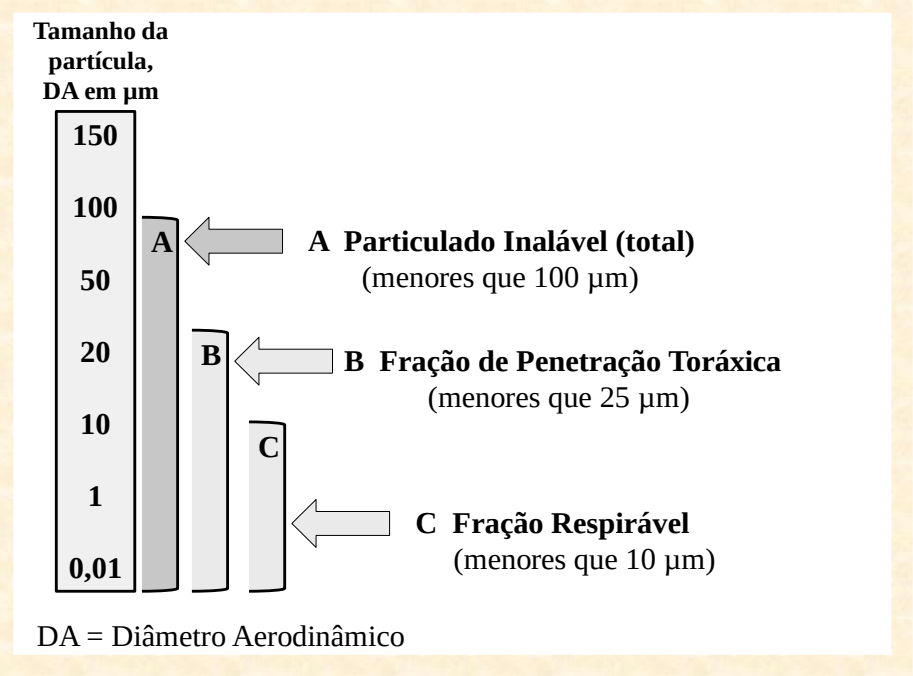


Figura 4.6. Penetração nas vias aéreas de material particulado em suspensão no ar

Pela figura 4.6 observa-se a divisão do material particulado em três classes: Inalável (Total), Torácico e Respirável.

Particulado inalável (ou total, ou poeira total) é todo material existente em suspensão no ar e com possibilidade de ser inalado, ou seja, penetrar nas vias aéreas do trabalhador. Não se refere a todo o material particulado existente no ar, apenas as partículas com DA inferior a cerca 100 µm que tem probabilidade significativa de penetração, probabilidade esta que aumenta com a diminuição

do DA. Desta forma, não se consideram adequadas as denominações particulado total ou poeira total, embora esta última tenha sido utilizada na NR-15.

Particulado de penetração torácica, como o nome já indica, é a fração do particulado inalável composta por partículas com DA inferior a cerca de 25 µm, que são inaladas, mas não ficam retidas nas vias aéreas superiores (nariz e garganta) e possuem probabilidade significativa de atingem a traqueia e brônquios, que estão localizados no tórax, daí a sua denominação.

Particulado respirável, é a fração do particulado inalável composta por partículas com DA inferior a cerca 10 µm que são inaladas, mas não ficam retidas nas vias aéreas superiores (nariz e garganta) e nem na traqueia e brônquios, possuindo probabilidade significativa de atingirem as vias aéreas profundas que são os alvéolos pulmonares, onde se realiza a troca gasosa (CO_2 x O_2), ou respiração pulmonar, daí a sua denominação.

Na figura 4.7 a seguir temos um esquema básico do que ocorre nas vias aéreas superiores e torácicas. Neste nível a absorção, ou seja, passagem para a corrente sanguínea, somente ocorre com algumas substâncias que podem se dissolver na mucosa, o tecido que reveste o aparelho respiratório e possui uma camada de muco e água. As partículas solúveis tem possibilidade de serem absorvidas ou ainda de produzir uma irritação no local, exemplo: ácidos e álcalis sólidos em suspensão ou como partículas líquidas (névoas ou neblinas).

As partículas insolúveis podem ficar retidas e posteriormente expectoradas (junto com o muco) ou mesmo exaladas (com o ar expirado) ou ainda deglutidas, somando-se à possível penetração por via digestiva. Mesmo partículas insolúveis e “inertes” podem causar irritação local, exemplo: talco, amido etc. Esta irritação local, dependendo da substância em questão e da quantidade que atinge estas vias aéreas pode provocar desde uma ligeira irritação (tosse) a até uma grande irritação provocando uma pneumonia química e edema pulmonar, que é uma reação normal do organismo que na tentativa de diluir a substância irritante aumenta a secreção de muco e água nas mucosas, se isto ocorre apenas no nariz o excesso é eliminado facilmente mas na traqueia e brônquios é bem mais

complicado podendo até ser fatal. A ACGIH recomenda um Limite de 10 mg/m^3 para particulados "inertes", ou não classificáveis de outra forma.

Partículas com DA inferior a 10 µm oferecem probabilidade significativa de atingir os alvéolos pulmonares, sendo que esta probabilidade ainda aumenta com a diminuição do DA. Ao atingir os alvéolos dependendo da solubilidade na mucosa diferentes efeitos podem ser observados. Conforme ilustrado na figura 4.7 a seguir

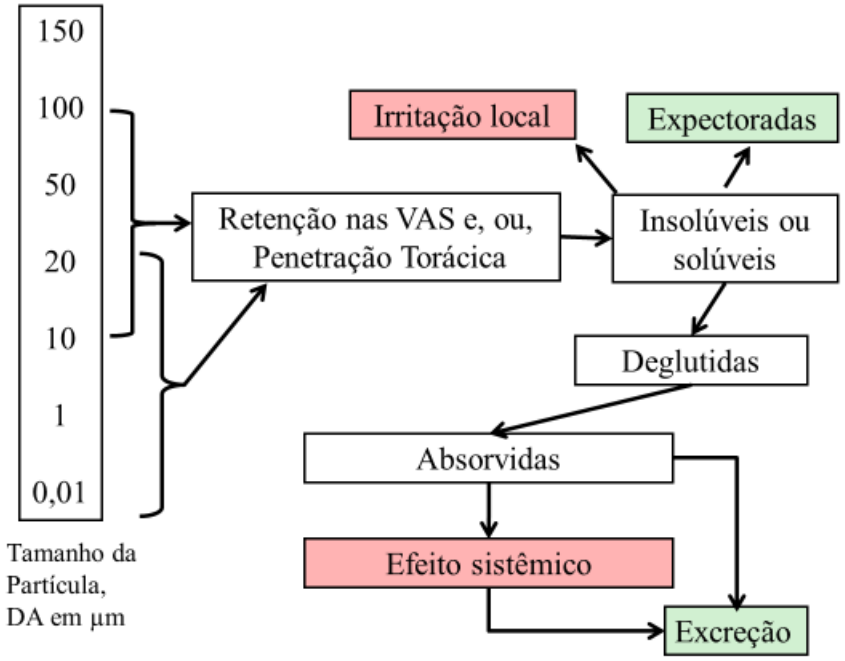


Figura 4.7. Penetração de partículas que atingem as vias aéreas superiores e torácicas.

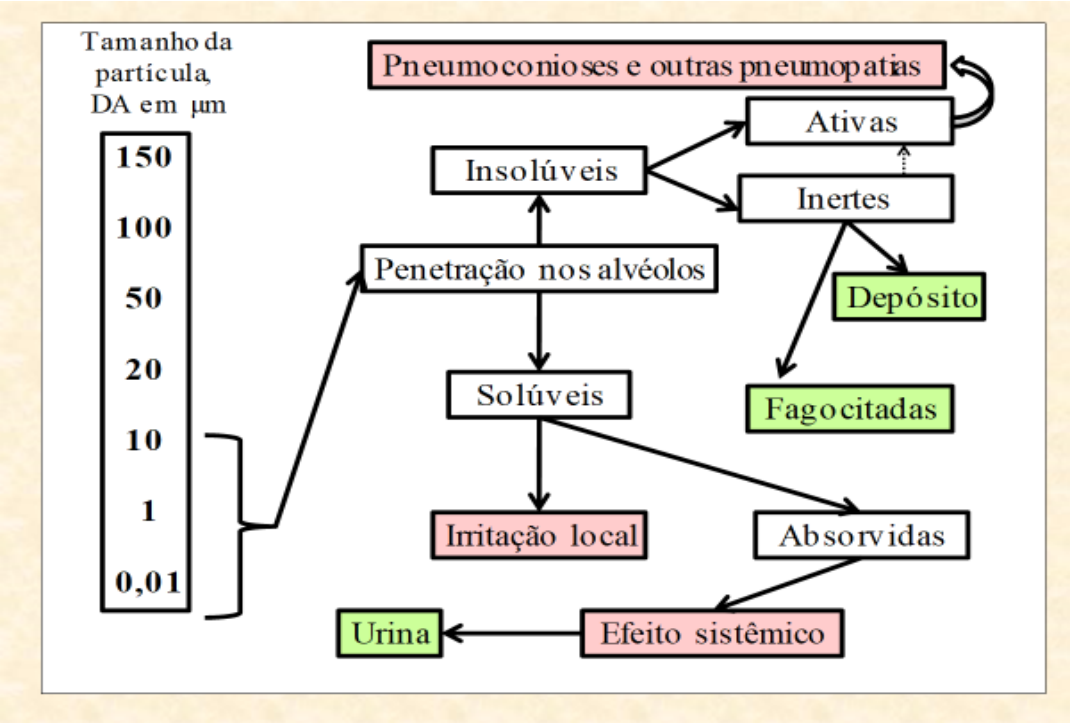


Figura 4.8. Penetração e efeitos de partículas que atingem os alvéolos pulmonares

As partículas insolúveis poderão ficar depositadas na região final dos brônquios e alvéolos sendo que o máximo de deposição é alcançado por partículas de em torno de 1 a 2 um, como se observa na Figura 4.9. Partículas com diâmetro inferior a 1 µm por serem tão pequenas começam a se comportar como gases e podem ser exaladas com o ar expirado.

As partículas depositadas na região final dos brônquios e alvéolos podem ser eliminadas com a reação do tecido pulmonar, através dos macrófagos, que são células sanguíneas especiais (de cerca de 100 a 200 µm) que são liberadas e podem englobar, destruir a partícula ou simplesmente mantê-la inerte (fagocitose). A situação se complica com o aumento da quantidade de partículas ou ainda quando a partícula não fica inerte, podendo despertar outros mecanismos de defesa imunológica do organismo, mas, estes mecanismos por vezes acabam por desencadear uma pneumoconiose (pneumo = Pulmão, conio = poeira, ose = doença), doença esta que modifica a estrutura do tecido pulmonar e por consequente perda da capacidade de respiração pulmonar sendo as mais conhecidas são a silicose provocada pela sílica e a asbestose provocada pelo Asbesto ou amianto.

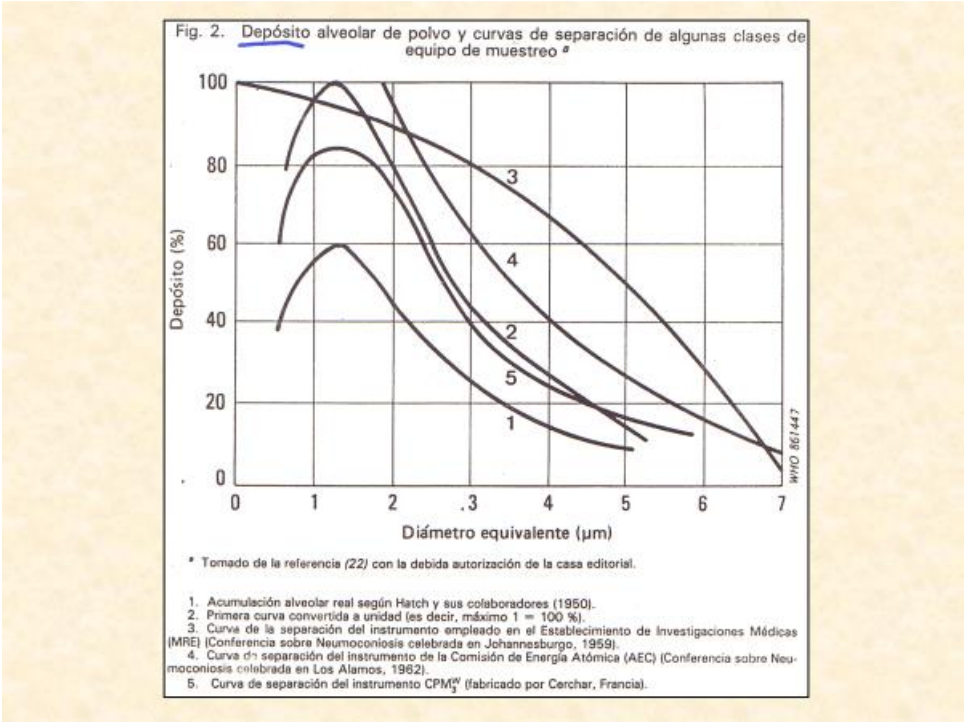


Figura 4.9. Penetração e depósito nos alvéolos pulmonares. Curva 1 – Depósito alveolar, Curvas 2 a 5 curvas de separação segundo diversos equipamentos e autores.

Partículas solúveis. Havendo dissolução da partícula na mucosa que reveste brônquios e alvéolos, pode ocorrer irritação do local que poderá variar desde a ligeira irritação até a pneumonia química, por outro lado estando em solução é possível que atravesse a membrana alvéolo-capilar e assim caia na corrente sanguínea podendo atingir sítios de ação no restante do organismo, como no caso de sais e substâncias sólidas diversas e hidrossolúveis.

Na figura 4.10 a seguir ilustra-se o caso de partículas muito pequenas da ordem de 1 µm ou menos que podem com facilidade atingir os alvéolos e irritar o local ou serem absorvidas podendo com facilidade atingir sitos de ação distantes.

Pouco ainda se sabe do ponto de vista de Higiene e Toxicologia Ocupacional o comportamento de nanopartículas que são partículas com tamanho de 1 a 100 nm (nanômetros) se aproximando ao tamanho das moléculas e cujas propriedades se aproximam dos gases.

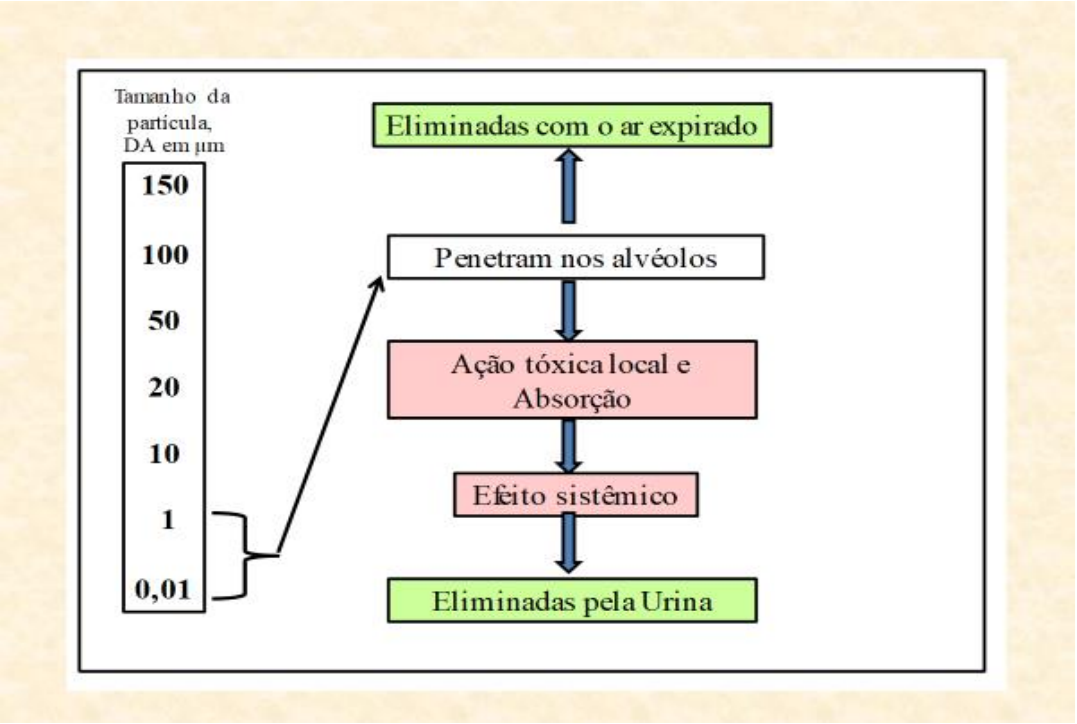


Figura 4.10. Penetração de partículas que atingem as vias aéreas profundas (alvéolos)

4.3.3.2. Exposição a gases e vapores.

Inicialmente convém lembrar os conceitos de gases e vapores. *Gases* são substâncias que nas condições usuais de temperatura e pressão se encontras do estado gasoso, exemplos: oxigênio e hidrogênio. *Vapores* são substâncias no estado gasoso, mas que nas condições temperatura e pressão são líquidos que podem volatilizar, exemplos: gasolina e álcool.

Os gases e vapores estão dispersos no ar a nível molecular e ao penetrar nas vias aéreas apresentam comportamento diverso das partículas como referido no item anterior e o risco de absorção está relacionado basicamente à solubilidade destes na mucosa de revestimento aparelho respiratório. As substâncias mais facilmente solúveis em água podem ficar retidas logo nas vias aéreas superiores, este é o caso do dióxido de enxofre e da amônia. Estas substâncias dissolvem-se com facilidade logo na entrada das vias aéreas, provocando irritação local e imediata, o que por um lado pode ser um efeito indesejado, mas por outro pode ser uma proteção do organismo pois impede a chegada nas vias profundas que seriam muito mais sensíveis à ação tóxica local. Oberva-se ainda que no caso da amônia por exemplo a irritação de vias aéreas superiores é um fator importante pois

provoca um desconforto que determina o afastamento das pessoas de um local com estes vapores em concentrações até abaixo do Limite de Exposição Ocupacional.

Observa-se, contudo, que mesmo sendo retidas nas vias aéreas superiores e mesmo se tratando de substâncias que são apenas irritantes nos casos de exposição a altas concentrações podem saturar as vias superiores e atingir as profundas podendo até ser fatal. Um exemplo é novamente a amônia, agora em acidentes em câmaras frigoríficas com escape em grande quantidade.

Substâncias com menor solubilidade em água tendem a ter menor retenção nas vias superiores e mais facilidade de atingir as profundas. Exemplo: gás cloro que além de altamente irritante chega a ser corrosivo no pulmão. Outro exemplo são os solventes orgânicos, praticamente insolúveis em água, provocam irritação nas vias profundas, mas podem também serem absorvidos como veremos a seguir. Para conhecer melhor o mecanismo de absorção de gases e vapores devemos inicialmente rever a lei de Henry dos gases:

A solubilidade de um gás dissolvido em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial do gás acima do líquido.

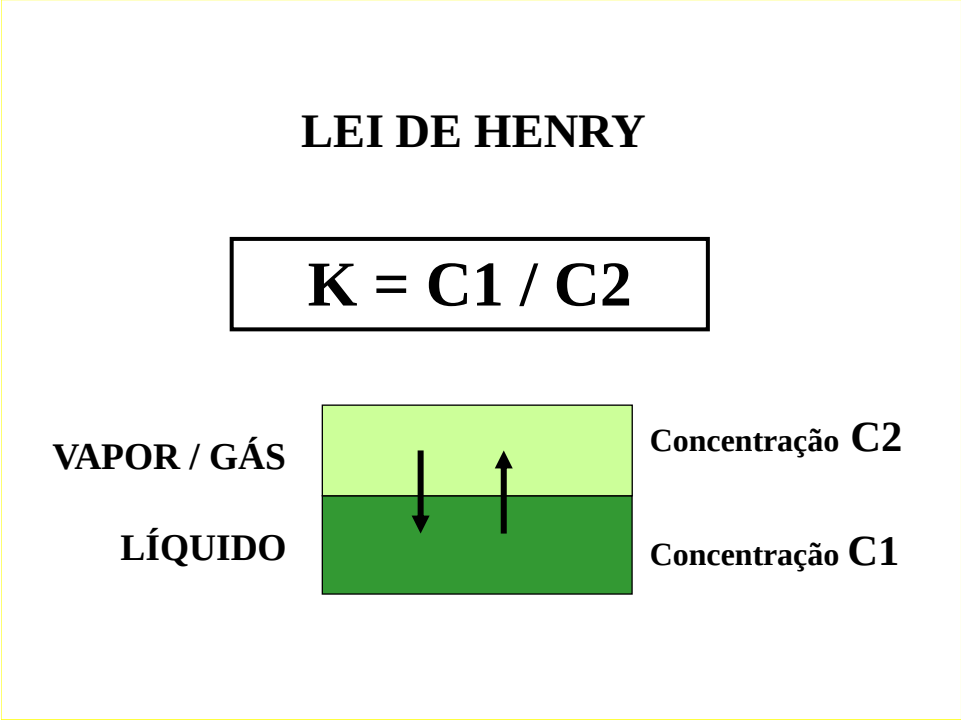


Figura 4.11. Lei de Henry de dissolução de um gás em um líquido

Pode-se dizer que para uma dada condição de temperatura e pressão um gás ou vapor pode se dissolver em um líquido até saturá-lo, ou inversamente, um gás ou vapor dissolvido em um líquido tende a sair passando para a fase gasosa até atingir a saturação da fase gasosa.

Levando este conceito para o que acontece nos pulmões e ao nível dos alvéolos, temos um líquido que é o sangue o ar agora chamado de ar alveolar e separados por uma fina membra permeável a gases e vapores (membrana alvéolo-capilar).

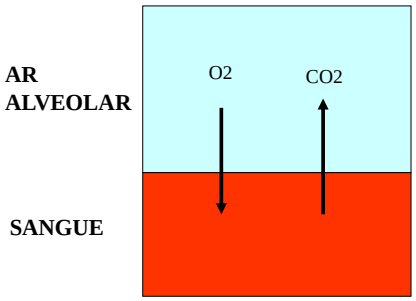


Figura 4.12. Troca gasosa no alvéolo.

Conforme a lei de Henry uma substância carregada pelo ar até os alvéolos vai passar para o sangue até a saturação, mas recorda-se que o sistema é dinâmico, o sangue circula e o ar alveolar é constantemente renovado, assim a saturação ou o ponto de equilíbrio entre a concentração no sangue e a concentração no ar do ambiente de trabalho demora algum tempo.

Considerando um trabalhador em uma seção de pintura com solventes, após algumas horas de trabalho há equilíbrio conforme relatado anteriormente, mas agora este trabalhador vai para outro local totalmente isento de vapores de solventes, nesta nova situação de baixas concentrações no ar o mecanismo se inverte passamos a ter uma eliminação dos vapores até que haja uma nova saturação, mas como o sistema é dinâmico é possível que tenhamos uma eliminação total dos solventes presente no sangue em poucos minutos ou no máximo em poucas horas.

Assim verificamos que a via respiratória pode permitir a entrada de substâncias pode também ser uma via de excreção de substâncias que inclusive penetraram por outra via, como por exemplo o álcool de uma bebida, depois de algum tempo de ingerido pode ser detectado no ar exalado, como no caso do "bafômetro" que ,pela medida da concentração de álcool no ar expirado, nos permite estimar a concentração de álcool no sangue. O mesmo princípio pode ser utilizado em outros solventes industriais, desde que se tenha equipamento e conhecimento do coeficiente de distribuição CD que nada mais é que o K da lei de Henry, agora visto pelos toxicologistas.

CD = Conc. no sangue / Conc. no ar

Tabela 4.1. Coeficiente de Distribuição
a nível alveolar de algumas substâncias

Substância	CD
Álcool metílico	**1.700**
Álcool etílico	1.300
Álcool iso-amílico	836
Acetona	330
Tricloroetileno	19
Éter etílico	15
Benzeno	6,5

Observa-se que o CD é apenas mais uma das propriedades toxicológicas de uma substância que nos dá uma indicação da maior ou menor facilidade com que atravessa uma membrana no organismo e deve ser utilizado e interpretado em conjunto com as outras já citadas, como toxicidade, risco, volatilidade, estado físico, etc. Por exemplo, das substâncias mencionadas na tabela anterior, o benzeno é o que apresenta o menor coeficiente de distribuição, significando que comparativamente é o que menos penetra no organismo, mas em contra partida é o mais agressivo, pois provoca leucemia (câncer).

4.4. Mecanismos de detoxicação

O organismo humano possui diversas formas de defesa quando exposto a um agente tóxico que são conhecidas como mecanismos de detoxicação (ou desintoxicação), como segue.

4.4.1. Biotransformação.

O organismo humano metaboliza as substâncias normalmente ingeridas como alimentos e absorvidas, o de fato ocorre é a transformação das substâncias de tal forma que possam ser utilizadas em diversas reações bioquímicas resultando basicamente num armazenamento, produção de energia ou excreção. Quando há absorção de um agente tóxico, este também pode encontrar estes mecanismos e poderá sofrer o que se denomina de biotransformação, pois diferentemente da metabolização não tem uma função normal organismo.

De uma forma geral pode-se dizer que a biotransformação utiliza mecanismo existentes no organismo e transforma as substâncias em outras mais solúveis em água, uma vez que a principal via de excreção de uma substância presente no sangue é pela urina. Por exemplo o solvente clorado tricloroetileno é insolúvel em água, mas solúvel no plasma sanguíneo, ao passar pelo fígado pode sofrer oxidação e passa a ácido tricloroacético que é solúvel em água. Este último ao passar pelos rins é eliminado, pois os rins separam do sangue a água e substâncias nela dissolvidas, formando a urina e eliminando-a. Diversas outras substâncias seguem o mesmo caminho: tolueno => ácido hipúrico, estireno => ácido mandélico, etanol => ácido acético, etc.

Nos exemplos citados temos a transformação de uma substância em outra com menor toxicidade e assim podemos considerar que houve uma detoxicação que é um mecanismo de defesa do organismo. Mas nem sempre é assim, no caso do benzeno por exemplo que é insolúvel em água é transformado em fenóis solúveis e podem ser excretado através da urina, porém, o benzeno é transformado em fenóis no fígado e estes antes de atingirem os rins e serem eliminados passam por diversos órgãos inclusive a medula óssea onde agem sobre a biossíntese do sangue produzindo a leucemia.

Podemos assim dizer que a transformação de benzeno em fenóis é uma tentativa de proteção do organismo de eliminar o benzeno, mas com resultado inverso. O benzeno não transformado não provoca leucemia, mas os fenóis dele derivados sim.

4.4.2. Excreção.

Ao eliminar uma substância, biotransformada ou não é um dos importantes mecanismo de detoxicação e como referido em itens anteriores, a excreção de uma substância presente na corrente sanguínea poderá ser realizada, de 4 formas:

Pulmonar, para substâncias voláteis, por exemplo: solventes orgânicos e mercúrio metálico.
Cutânea, para substâncias bastante polares e solúveis no suor, por exemplo: mercúrio metálico.
Urinária, para substâncias solúveis em água, por exemplo: acetatos e ácidos.
Digestiva, para substâncias solúveis na bile que é produzida no fígado e lançada no estomago, por exemplo: manganês.

4.4.3. Diluição

diluição de uma agente tóxico pode mitigar o efeito deste, assim por exemplo um irritante ao atingir a mucosa ocular, desperta um processos de lacrimejamento diluindo o agente e lavando a mucosa, algo semelhante ocorre nas vias aéreas superiores, contudo o mesmo processo ao ocorrer nas vias aéreas profundas pode causar o edema pulmonar que é o acumulo de líquido a ponto de comprometer a respiração.

Na pele ocorre algo semelhante em reações alérgicas à uma substância que provocam o edema cutâneo mais facilmente observado em uma picada de mosquito que forma um pequeno caroço, que nada mais é que o aumento de fluidos na tentativa de diluir a substância estranha.

4.4.4. Depósito

Algumas substâncias em função de suas propriedades físico-químicas podem “enganar” o organismo como no caso do chumbo e do estrôncio, que possuem propriedades semelhantes ao cálcio, o organismo usando o mesmo mecanismo de depósito de cálcio nos ossos o que é normal e fundamental para a saúde, deposita também chumbo e estrôncio.

No caso do chumbo depositado, este pode ser mobilizado e manter um nível de chumbo livre sanguíneo podendo contribuir para o saturnismo. No cálcio o maior problema é se for estrôncio radioativo oriundo de explosões nucleares, neste caso, estando fixo nos ossos não produziria efeitos, mas sendo radioativo, funciona como uma fonte de radiação ionizante interna com sérios efeitos.

Há possibilidade ainda de substâncias ficarem depositadas em diversos tecidos do organismo dependendo da afinidade por eles, por exemplo cadmio pode se ligar a proteínas existentes no sangue ou em alguns órgãos, solventes orgânicos e pesticidas podem ser armazenados no tecido gorduroso.

Lembrando novamente a lei de Henry é possível uma mobilização das substâncias depositadas em algum ponto pois o organismo está sempre em um equilíbrio dinâmico. Por exemplo se um trabalhador gordo trabalhar durante muito tempo exposto a pesticidas terá em seu tecido gorduroso uma concentração equilibrada com a quantidade que penetra diariamente. Se porventura este mesmo trabalhador for afastado do trabalho e fizer um regime de emagrecimento muito rigoroso e rápido, há um grande risco de desenvolver uma intoxicação aguda por pesticidas, pois reduzindo o volume de tecido gorduroso e ainda não havendo penetração o pesticida depositado tende a se deslocar do tecido gorduroso para o sangue até atingir o novo ponto de equilíbrio.

4.4.5. Restauração da lesão.

Um último recurso que o organismo pode também realizar é restaurar a lesão produzida pelo agente tóxico, como uma irritação ou queimadura química da pele e havendo tempo hábil, o organismo

regenera o tecido agredido, o mesmo pode ocorrer em outros órgãos, daí a necessidade de afastamento da exposição, ou ainda não se admitir exposições contínuas e idealmente respeitando-se a jornada usual de 8 horas por dia.

4.5. Toxicodinâmica

Se por um lado a biotransformação estuda a ação do organismo humano sobre os agentes químicos estranhos a *Toxicodinâmica* é a parte da toxicologia que estuda a ação dos agentes químicos estranhos sobre o organismo, ou seja, os efeitos deletérios. Didaticamente pode-se considerar esta ação de duas formas:

***Ação tóxica local*:** são as ações tóxicas que ocorrem na própria via de contato ou penetração, por exemplo: irritação ou mesmo ulcerações e queimaduras da pele provocadas por ácidos ou álcalis, ou ainda irritação do trato respiratório por gases como o cloro. Observa-se que embora a irritação esteja acontecendo no pulmão (dentro do organismo) ainda é considerada local, pois não é mediada pela absorção, ou seja passagem para a corrente sanguínea.

Ação tóxica sistêmica: são as ações tóxicas que se observam após a absorção da substância. Assim, uma substância pode penetrar por via respiratória e neste local não produzir nenhum efeito, porém ao ser transportada pela corrente sanguínea atinge outros órgãos e aí produzir um efeito, por exemplo: óxido de chumbo penetra por via respiratória, mas provoca o saturnismo por ações tóxicas sobre o sistema nervoso e medula óssea.

Apresentam-se a seguir alguns exemplos de toxicodinâmica:

4.5.1. Asfixiantes

A asfixia é basicamente a falta de oxigênio ao nível das células de todo o organismo, diminuindo ou até interrompendo o funcionamento normal do órgão e do organismo como um todo. Os asfixiantes podem ser classificados de duas formas como segue:

Asfixiantes simples, atuam no ambiente e provocam a diminuição da pressão parcial do oxigênio na atmosfera

Asfixiantes químicos, atuam dentro do organismo impedindo o transporte de oxigênio dos pulmões para as células, ou ainda impedindo a utilização do oxigênio pela célula.

Para melhor entendimento da ação dos asfixiantes apresenta-se a figura a seguir que representa a *respiração pulmonar* realizada nos pulmões com a entrada de oxigênio (O_2) vindo do ar externo e saída de gás carbônico (CO_2) vindo do metabolismo celular. Na corrente sanguínea temos a hemoglobina (Hb) que é o pigmento vermelho do sangue que se liga ao oxigênio originando a oxi-hemoglobina (Hb-O_2) que ao chegar em uma célula libera o oxigênio. Na célula temos a *respiração celular*, consumindo o oxigênio para produzir energia, originando uma pressão parcial de O_2 mais baixa, assim, pela lei de Henry, haverá passagem de oxigênio do sangue para a célula. Por outro lado, a célula produzindo CO_2 terá uma pressão parcial deste gás maior que no sangue, havendo então passagem na o sangue de CO_2 para o sangue. A hemoglobina retorna livre ao pulmão e o CO2 é transportado dissolvido no plasma.

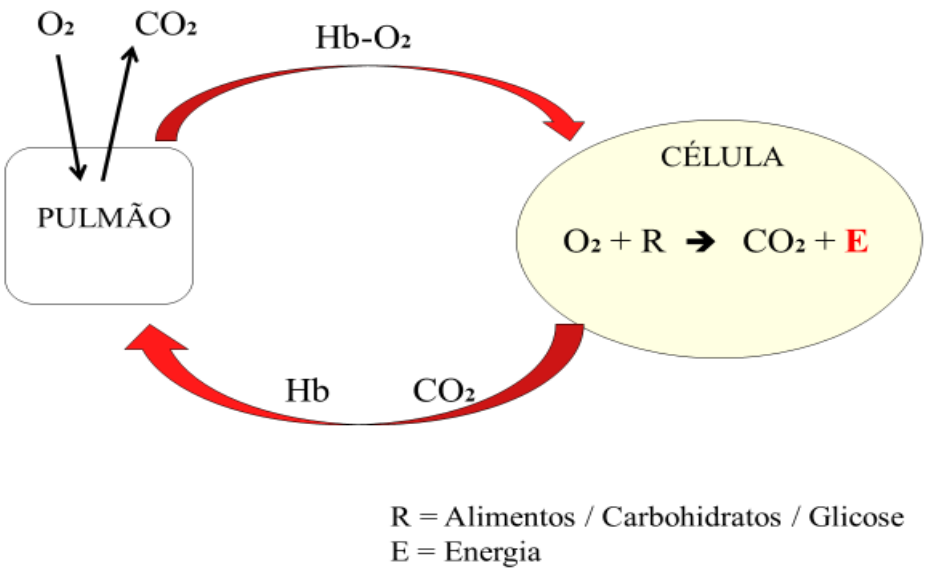


Figura 4.13. Respiração pulmonar e celular normal

Na figura 4.14 a seguir é mostrada a ação dos asfixiantes simples que impedem a entrada de oxigênio diminuindo a respiração pulmonar e em consequência há diminuição da respiração celular com queda de energia nas células. Os principais agentes químicos que oferecem risco deste tipo de asfixia são o metano e dióxido de carbono eventualmente presentes em locais confinados, poços ou equipamentos de grande porte, mas outros ainda podem estar presentes como o acetileno.

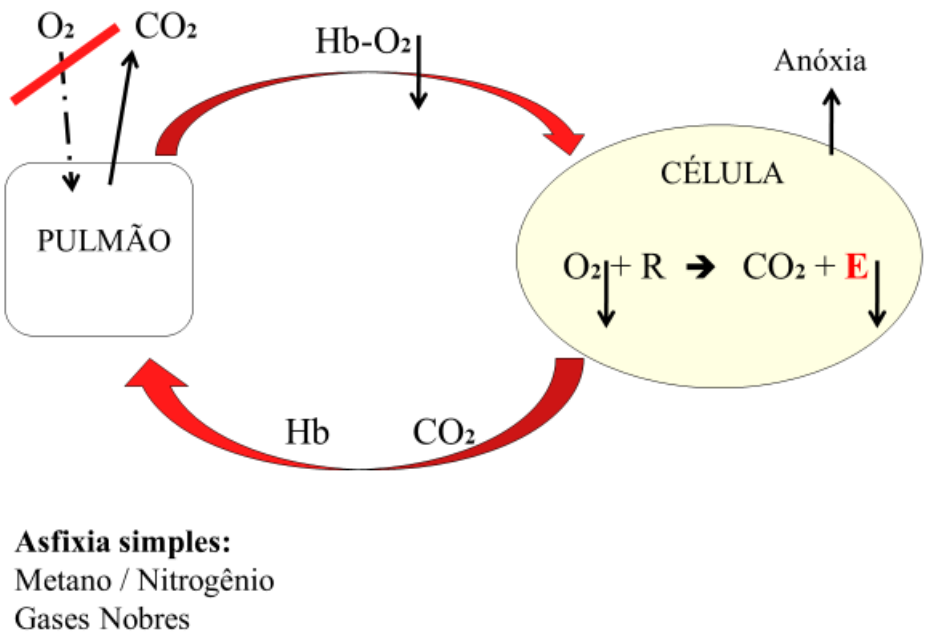


Figura 4.14. Asfixiantes simples atuando na atmosfera

Os asfixiantes químicos podem agir no transporte de oxigênio como ilustrado na figura 4.15 a seguir, por exemplo o fenol é um agente metahemoglobinizante, ou seja transforma a hemoglobina que é a transportadora de oxigênio em metahemoglobina que é incapaz de o transportar. Fato semelhante ocorre com o CO – monóxido de carbono, que se liga à hemoglobina no lugar do oxigênio, com um agravante que é dezenas de vezes mais estável, assim a carboxihemoglona formada, fica circulando e não leva oxigênio às células. Em consequência diminuição de hemoglobina livre para transportar oxigênio e com consequente baixa de produção de energia pela respiração celular.

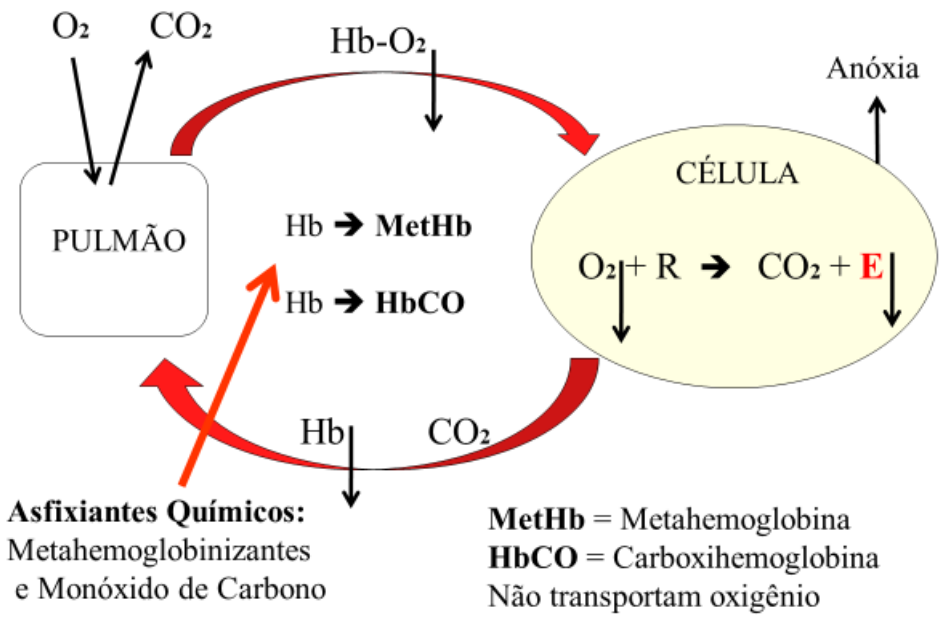


Figura 4.15. Asfixiantes químicos atuando no transporte de oxigênio.

Nas figuras 4.16 e 4.17 é apresentada a ação do cianeto diretamente dentro da célula impedindo a respiração celular, que embora possa ter bastante oxigênio disponível não consegue utilizá-lo na produção das moléculas de ATP (adenosina trifosfato). Estas moléculas são produzidas dentro das células (mitocôndrias) e são algo como pequenos pacotes de energia que circulam e liberam pequenas quantidades de energia para que dadas reações ocorram como por exemplo a contração de uma fibra muscular. Neste posto a molécula de ATP libera uma ligação fosfato (o que libera energia) passando a ser ADT (adenosina difosfato). Retornando às mitocôndrias pode ser novamente transformada em ATP, pela ação de uma enzima (a citocromo oxidase). Mas se houver exposição a cianeto, este sega com muita facilidade a este local inibindo esta enzima e por consequência bloqueando a produção de energia e neste caso de pouco adianta administrar oxigênio ao paciente, necessita-se de outros recursos para remover o cianeto do organismo, transformando-o em tiocianato ou em ciano-cobalamina por exemplo.

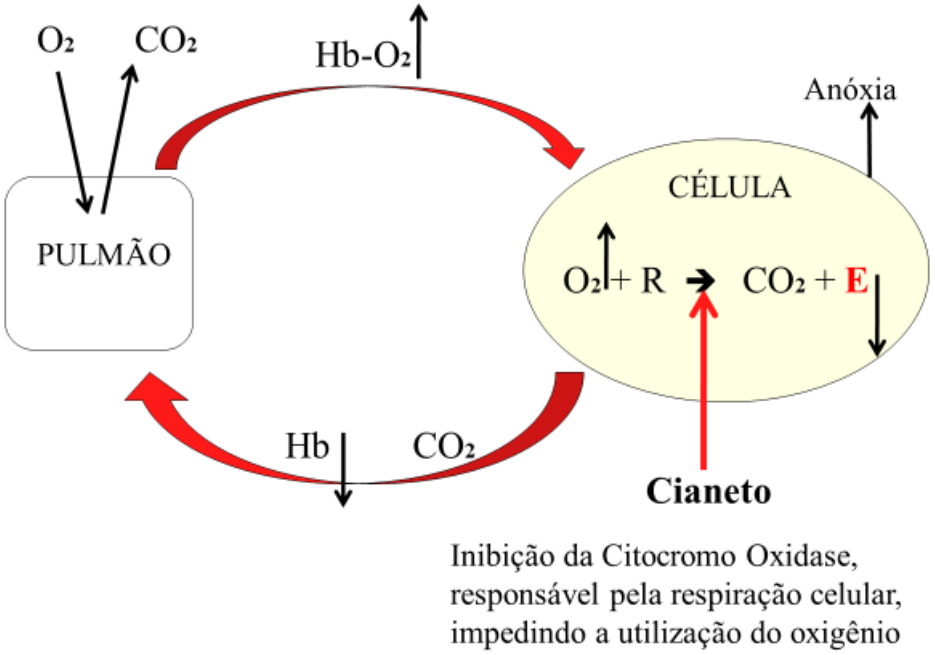


Figura 4.16. Asfixiante químico com ação na respiração celular.

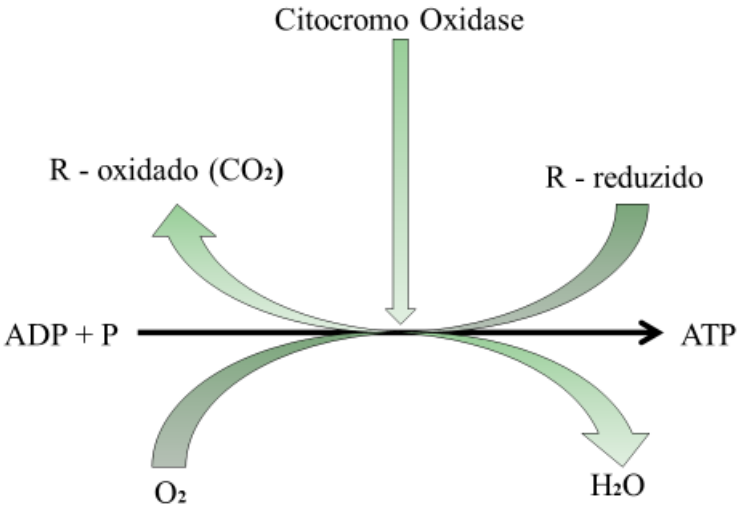


Figura 4.17. Atividade da enzima produzindo energia (ATP)

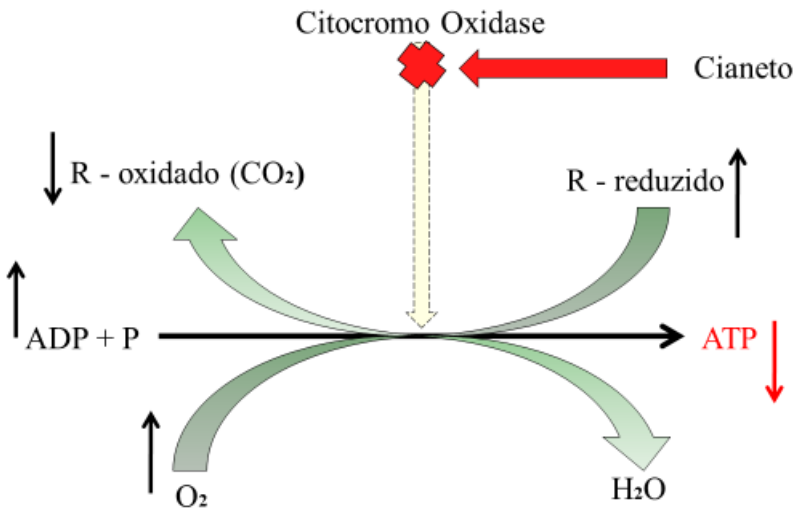


Figura 4.18. Atividade da enzima produzindo energia (ATP) e que pode ser bloqueada por cianeto.

4.5.2. Outros exemplos de ação tóxica

Diversas outras formas de ação dentro do organismo podem ser observadas, cita-se apenas uma das mais frequentes que é a inibição enzimática.

Enzimas são moléculas existentes no organismo que facilitam ou induzem uma dada reação química, por isto são também denominadas catalizadores biológicos, pois não se decompõem ou se transformam em outras substâncias, mas sim, provocam uma mudança na estrutura de outras. Grosseiramente podemos comparar a uma linha de montagem, em que temos um trabalhador que fixa uma parte ao produto e o passa adiante. Se o trabalhador interrompe ou diminui sua atividade, faltará produto no final da linha.

A contração de um músculo ocorre com o envio de acetil colina pelo sistema nervoso central, após a contração há necessidade de "desligar" o músculo o que se faz com a enzima acetil colinesterase. Um pesticida organofosforado pode inibir a atividade desta enzima e assim, não haverá

descontração do músculo, originando convulsões e até a morte. A Inibição ocorre porque o pesticida se liga à enzima como se fosse a própria acetil colina num mecanismo de competição.

Outro exemplo são os metais que possuem grande afinidade por radicais SH. Estes radicais de enxofre de hidrogênio, são comuns em proteínas e enzimas, assim o metal ao se ligar à enzima altera a sua forma e estrutura molecular e esta não mais reconhece as substâncias que deve modificar.

Conhecendo estas ações, a medicina pode se utilizar de alguns tratamentos específicos. No caso dos pesticidas clorados, pode-se administrar atropina que vai provocar um efeito inverso ao do excesso de acetil colina. No caso do arsênico se administra o BAL (British Anti Lewisite, dimercapto propanol, utilizado na segunda guerra mundial pela Inglaterra com antídoto para o gás de guerra alemão) que é um álcool com dois radicais SH e o arsênico se liga a este álcool e é eliminado através da urina impedido, por competição, que o arsênico livre provoque sua ação tóxica. Cita-se ainda o chumbo que pode ser complexado com edetato de cálcio que igualmente será excretado através da urina. Observa-se ainda que tanto o BAL quanto o edetato podem provocar efeitos deletérios sobre os rins, assim, todos tratamentos devem ser cuidadosamente supervisionados.

4.6. Indicadores Biológicos de Exposição

A exposição ocupacional oferecida por uma agente químico presente em um local de trabalho dificilmente poderá ser total e completamente medida, podendo apenas ser estimada através de amostragem em alguns pontos ou trabalhadores. Por outro lado, o organismo humano não é exatamente igual para todas as pessoas, havendo diferenças individuais, fisiológicas e de comportamento que levam a maior ou menor absorção, biotransformação, etc. levando a diferentes intensidades de efeitos.

Os IBE - Indicadores Biológicos de Exposição foram desenvolvidos como complemento das avaliações ambientais, sendo que nos grupos expostos acima do nível de ação, a equipe médica realiza a avaliação biológica dosando os IBE, geralmente na urina ou no sangue e comparando os

resultados com os Limites que são os IBMP - Índices Biológicos Máximos Permitidos, constantes da NR-7, ou das recomendações dos TLV - IBE da ACGIH, que de uma forma geral são valores limites biológicos aceitáveis que se procura estabelecer e que seja correspondente ao limite ambiental e que previnam do aparecimento de sinais e sintomas graves da doença

Os IBE são os próprios agentes tóxicos, ou um produto da sua biotransformação, dosado em um fluído biológico (geralmente sangue ou urina), em alguns casos o indicador pode ser um produto da sua ação tóxica sendo denominado *Indicador Biológico de Efeito.*

Nas figuras a seguir temos o exemplo clássico da ação do chumbo e os IBE possíveis.

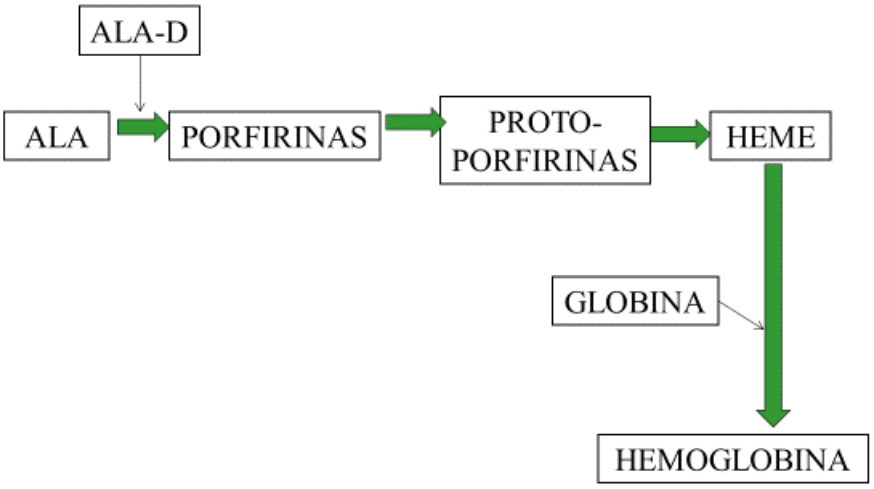


Figura 4.19. Representação resumida da biossíntese da hemoglobina

O ácido delta amino levulínico – ALA pela ação da enzima ALA-D é transformado em porfirinas que originam uma estrutura denominada heme com um átomo central de ferro e após juntar-se com uma proteína (globina) origina a hemoglobina.

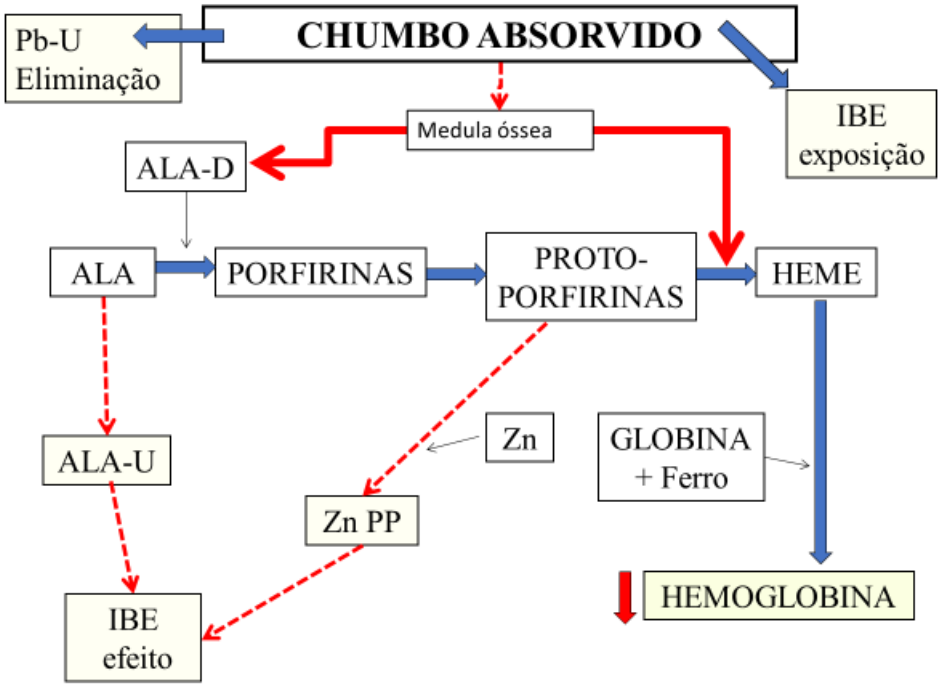


Figura 4.20. Biossíntese da hemoglobina com a indicação dos pontos de ação do chumbo.

Uma vez absorvido a dosagem do chumbo presente no sangue é um indicador de exposição, embora possa se considerar a dosagem de chumbo na urina também como um indicador de exposição, esta é variável e não é adequada para a monitorização biológica e controle médico.

O chumbo absorvido pode interferir na biossíntese da hemoglobina inibindo a ação da enzina ALA-D o que leva a um acumulo do ALA e que por vez acaba sendo eliminado pela urina. Assim a dosagem de ALA na urina é um indicador de efeito.

Pode ocorrer ainda o bloqueio da passagem de proto-porfirinas para heme, havendo um acúmulo destas que ligadas ao zinco são excretadas através da urina e que podem ser dosadas com indicador de efeito.

Finalmente uma característica do saturnismo é a anemia, ou seja, a baixa taxa de hemoglobina com todos os efeitos de baixa oxigenação do organismo. A anemia é também um indicador de efeito.

4.7. Bibliografia consultada e complementar.

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Fundamentals of Industrial Hygiene**. Cincinnati (OH).

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Limites de exposição (TLV´s) para substâncias químicas e agentes físicos e limites biológicos de exposição**. Cincinnati (OH); 2020. Tradução da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais: São Paulo (SP); 2020.

AIHA American Industrial Hygiene Association. **WEEL – Workplace environmental exposure levels guide.** Fairfax (VA).

Algranti E et al. Patologia respiratória relacionada com o trabalho. in Mendes R. **Patologia do trabalho.** *2ª Edição* São Paulo (SP); Atheneu, 2003 v.1.

Atherley GA. **Critical review of time-weighted average as an index of exposure and dose, and of its key elements.** *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; (46) Sept.

Belle Newsletter, **The role of hormesis in Industrial Hygiene** / Occupational Health. *Belle Newslletter* 2002; (10) 3.

Brief RS e Scala RA. **Occupational exposure limits for novel work schedules**. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1973; Junho.

Buschinelli J.T.P. **Toxicologia Ocupacional**. Fundacentro 2020;

Colacioppo S. e Smolensky M. **A importância do estudo da ritmicidade biológica para a Higiene e Toxicologia Ocupacional**. in Fischer FM Moreno CR e Rotemberg L *Trabalho em Turnos e Noturno na Sociedade 24 Horas,* São Paulo (SP): Editora Atheneu; 2003.

Cralley LS and Cralley LV. **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): John Wiley; 2010.

Della Rosa HV, Martins I, Siqueira MEPB e Colacioppo S. **Monitoramento ambiental e biológico.** in *Fundamentos de Toxicologia.* Oga S. Editor, São Paulo (SP): Atheneu 2014.

Fischer FM et. al. **Toluene-induced hearing loss among rotogravure printing workers**. *Scandinavian Journal of Work Environmental Health* 1997; 23 (4):289-298.

Freitas NBB e Arcuri ASA. **Valor de referência tecnológico (VRT)** a nova abordagem do controle da concentração de benzeno nos ambientes de trabalho. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 1997; 89-90:71-85.

ILO International Labour Office. *Occupational safety and health Series 72*. **Tecchnical and ethical guidelines for workers' health surveillance.** Geneva; 1998.

ILO International Labour Office, **Encyclopaedia of occupational health and safety**. Parmeggiani L. Editor, 3rd Edition, Geneva: 1989.

Klaassen CD. Editor. **Casarett and Doull´s TOXICOLOGY the basic science of poisons**. 6th Edition, New York (NY): Mac Graw-Hill; 2015.

Mendes, Rene; Organizador. **Dicionário de Saúde e Segurança do Trabalhador** 1ª Ed. Proteção 2018

Nighswonger T. **Where do you set the standard?** Available at <URL:http// www.occupationalhazards.com/news_loader.asp?articleID=22025>[2019]

Oga, Seizi, Camargo e Batistuzzo, **Fundamentos de Toxicologia** 4ª Ed. Atheneu 2014.

OSHA Occupational Safety and Health Administration. **Permissible exposure levels.** Available at <http://search.osha-slc.gov/search97cgi/s97is.dll>[2019].

Patty FA. (Ed.) **Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): Interscience Publisher; 1948.

Smolensky, M. H. Paustenbach, D. J. and Shcving, L. E. **Biological rhythms shiftwork and Occupational Health**. in Cralley L.S. and Cralley L.V. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York(NY): John Wiley; 1985.

Telišman S. **Effects of age, sex and other factors,** *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* - International Labour Office, 4th Edition, Vol. 1 - Pages 33.1-33.74, 1997

WHO EHC. World Health Organization. **Environmental health criteria 6 - Principles and methods for evaluating the toxicity of chemicals.** Geneva: 1978.

WHO IPCS. World Health Organization. International Program on Chemical Safety, *Environmental health criteria 211* – **Health effects of interactions between tobacco use and exposure to other agents,** Geneva: 1999.

CAPÍTULO 5. Bases toxicológicas dos limites de exposição ocupacional a agentes químicos

5.1. Introdução

Avaliar alguma coisa é medir ou estimar sua grandeza e compará-la com um valor padrão de referência, tido como limite do normal, usual, permitido ou aceitável. Assim, além da complexidade da estimativa da exposição ocupacional que será vista mais adiante, a dificuldade inicial de uma avaliação é conhecer, escolher e aceitar padrões adequados.

Limite para uma exposição ocupacional a agentes químicos é um assunto basicamente de *Higiene Ocupacional*, pois se refere às concentrações no ar que representam a exposição do trabalhador e fornecem os elementos básicos para a avaliação e consequente indicação da necessidade ou não de medidas de controle. Contudo, trata-se de assunto não exclusivo da Higiene Ocupacional, pois envolve diretamente outras grandes ciências da área de Saúde do Trabalhador:

Toxicologia Ocupacional - Para se estabelecer um Limite de Exposição Ocupacional é fundamental conhecer não só o comportamento do agente químico no ambiente de trabalho, mas também dentro do organismo, o que é feito pela Toxicologia Ocupacional conforme apresentada no capítulo anterior.

Medicina do Trabalho - São fundamentais os exames clínicos dos trabalhadores buscando-se os sinais e sintomas decorrentes dos diversos níveis de exposição e inclusive interpretando os níveis dos Indicadores Biológicos encontrados, o que é feito pela *Medicina do Trabalho* que apoiada pela apoiada pela Toxicologia realiza a Monitorização Biológica e a Vigilância da Saúde.

Epidemiologia e Estatística - As informações obtidas devem ser compiladas e a seguir, elaborados estudos onde se busca a incidência, prevalência e significância de determinados sinais e sintomas em uma população de trabalhadores expostos ou não e buscando-se as correlações entre dose-

efeito e dose-resposta.

Historicamente, o primeiro registro de proposição de limites de exposição ocupacional é de 1921, quando o U.S. Bureau of Mines, estabeleceu Limites para 33 substâncias. Em 1942 a ACGIH publicou sua primeira recomendação de Limites para 63 substâncias, que vem sendo reeditada e atualizada desde então. Desde seu início o estabelecimento de Limites de Exposição Ocupacional apresentou grande número de variáveis e dificuldades do ponto de prático e ético, sendo complexa a realização de pesquisas com trabalhadores e em muitos casos até com animais de laboratório.

Somando-se a estas dificuldades, temos o grande número de agentes químicos presentes em atividades industriais (cerca de 65.000) e centenas de novas substâncias sendo oferecidas ao mercado anualmente. O Chemical Abstract Service – CAS, registra atualmente mais de 100 milhões de substâncias conhecidas e cerca de 10 milhões disponíveis comercialmente.

Por fim considera-se ainda a dificuldade de a comunidade científica desenvolver pesquisas neste setor em quantidade, qualidade e em curto prazo, o que resulta em uma atualização constante, mas relativamente lenta, do conhecimento nesta área.

5.2. Os diversos limites

5.2.1. Denominações

Diferentes denominações têm sido propostas para o padrão de exposição ocupacional a agentes químicos com o objetivo de nomeá-lo de forma a refletir o seu real significado, citam-se algumas que embora semelhantes, procuram retratar os diferentes pontos de vista:

- Concentrações Máximas Aceitáveis (Maximum Allowable Concentration - MAC)
- Guias de Exposição Ambiental em Locais de Trabalho (Workplace Environmental Exposure Guides - WEELG).
- Limites de Tolerância (LT), ou Valores Limites de Tolerância

- Limites de Exposição (Exposure Limits - EL)
- Limites de Exposição Ocupacional - LEO
- Níveis Aceitáveis de Exposição (Acceptable Exposure Levels - AEL)
- Níveis de Exposição Ocupacional (Occupational Exposure Levels - OEL)
- Níveis de Exposição Permitidos (Permissible Exposure Levels - PEL)
- Threshold Limit Values - TLV (Valores Limites Limiares)
- Valor de Referência Tecnológico – VRT

5.2.2. Os significados

Limites de Tolerância é uma denominação bastante difundida e utilizada no Brasil, principalmente por ser utilizada em nossa legislação, Portaria 3214 do Ministério do Trabalho em sua Norma Regulamentadora número 15, entretanto, não reflete exatamente a finalidade do limite, uma vez que se refere à *tolerância.* Podendo-se inclusive interpretar que a tolerância do trabalhador exposto é que deve ser limitada e não a exposição, ou ainda o quanto pode ser tolerado, subentendendo-se então que pode haver algum efeito (tolerado) sobre a saúde do trabalhador.

As denominações **Níveis Aceitáveis de Exposição**, ou **Níveis de Exposição Ocupacional** são mais adequadas, pois se referem à exposição. A denominação **Limites de Exposição** foi proposta pela Organização Internacional do Trabalho em 1977 numa tentativa de uniformizar a nomenclatura, sendo aceita e utilizada na Convenção 148, na Recomendação 156 e em diversas outras publicações da Organização Internacional do Tralho (ILO). Conforme diversos autores, seguimos esta diretriz e utilizamos **Limites de Exposição *Ocupacional* – LEO's** com o adjetivo *ocupacional* para diferenciar a exposição ocupacional da *ambiental*, esta última entendida como a originada do ambiente geral, externo e não apenas do local de trabalho.

A denominação **Níveis de Exposição Permitidos** é mais adequada aos órgãos fiscalizadores do governo, que consideram os aspectos legais envolvidos, sendo a mais conhecida os PEL – Permissible Exposure Levels da OSHA – Occupational Safety and Health Administration – Órgão fiscalizador do Ministério do Trabalho dos Estado Unidos.

A denominação **Concentrações Máximas Aceitáveis** reflete um conteúdo diferente daquele normalmente utilizado no Brasil, pois se refere ao máximo valor que qualquer exposição pode apresentar a qualquer momento de uma jornada, não sendo permitida sua ultrapassagem e não se calculam médias.

Níveis de Exposição Recomendados. O NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health* do Ministério da Saúde dos Estados Unidos utiliza a denominação REL – Recommended Exposure Level, principalmente pelo fato de realmente só recomendar, pois o REL não tem força de lei nos USA.

Guias de Exposição Ambiental em Locais de trabalho. A AIHA - *American Industrial Hygiene Association*, utiliza a denominação WEELG Workplace Environmental Exposure Levels Guides numa coletânea de sugestões de Limites para substâncias que usualmente ainda não constam de outras listas, mas que possuem alguma indicação na literatura técnica.

Threshold Limit Values - TLV, Valores Limites Limiares - é utilizada pela ACGIH *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, são os limites mais difundidos, sendo seguidos por autores, pesquisadores, higienistas e inclusive convertidos em legislação por diversos países, inclusive o Brasil. Devido à tradução do nome para o português não ser adequada, estes limites são usualmente conhecidos no Brasil simplesmente como TLV, ou TLV´s, ou ainda traduzidos como *Limites de Exposição Ocupacional* como faz a Associação Brasileira de higienistas ocupacionais.

Valor de Referência Tecnológico – VRT é utilizado em casos especiais em que idealmente se desejaria um limite zero, mas na prática devemos aceitar alguma exposição por ser tecnologicamente impossível reduzir mais a exposição. Assim por limitação tecnológica, adota-se um valor de referência que deverá ser reduzido sempre que for tecnologicamente possível realizar determinadas operações industriais com menor exposição. No Brasil temos VRT para o benzeno, que tem seu uso permitido apenas em um seleto número de indústrias que não podem prescindir da presença

desta substância, conforme estabelecido na NR-15 anexo 13-A.

5.3. Critérios para estabelecer padrões

Os Padrões de Saúde Pública, Padrões Higiênicos ou ainda Padrões de Qualidade Ambiental, entre eles os LEO's, visam proteger a saúde de uma população através de controle do meio ambiente, dos seus elementos e de suas relações com os organismos vivos, incluindo-se aqui os seres humanos e particularmente os trabalhadores. Os padrões são estabelecidos com base em critérios que podem ser:

Proibitivo - É um critério adequado para Saúde Pública como no caso no caso de alimentos, em que se proíbe a presença de determinado produto ou substância, não sendo tolerado nenhum nível de contaminação por menor que seja. É utilizado em Higiene e Toxicologia Ocupacional em raros casos como carcinogênicos, tais como benzeno e asbesto. Não que seja necessária concentração zero destes agentes químicos, pois esta não existe, mas se proíbe o uso, comercialização etc. e se direciona sempre a exposição para o menor nível possível.

Permissor - Um padrão estabelecido por este critério, leva em conta a baixa toxicidade do agente e permite sua presença num dado meio sem um limite estabelecido, podendo ser aceito até que aspectos estéticos ou sociais forcem uma diminuição. Um exemplo deste tipo de substância são as mercaptanas originadas em fábricas de celulose ou cadaverina, putrescina e assemelhadas, presentes em matéria orgânica em decomposição. São substâncias com odor desagradável, sem apresentar uma toxicidade apreciável à luz dos atuais conhecimentos, apesar de poder em alguns casos extremos provocar até náuseas e vômitos, o que pode até ser considerado uma defesa de nosso organismo impedindo a ingestão de alimentos apodrecidos.

Restritivo – É possível estabelecer padrões de emissão de um dado agente químico, com a finalidade de controlar a contaminação ambiental na fonte, restringindo a quantidade do contaminante lançada por unidade de tempo. Este critério é utilizado com frequência por órgãos de meio

ambiente para controle do ambiente geral, sendo raramente utilizado para Higiene Ocupacional. É um controle indireto, por exemplo, ao limitar a quantidade de solventes orgânicos utilizados em uma determinada atividade, limitamos por consequência a exposição do trabalhador, pois geralmente o destino final dos solventes é a atmosfera, mas não há certeza de estarmos efetivamente protegendo o trabalhador.

Especulativo - É o critério usado para estabelecer um padrão sem uma base científica perfeitamente adequada. Ao se extrapolar resultados de pesquisas em animais para o homem, parte-se do pressuposto que os efeitos e respostas observadas em animais de laboratório sejam iguais, ou ao menos semelhantes, para o homem e ainda, proporcionais segundo algum fator de segurança. Dentro deste critério podem-se também extrapolar resultados obtidos com uma substância para outra substância semelhante, embora se conheça da Toxicologia que apenas a diferente posição de um átomo na molécula pode alterar o efeito.

Mesmo sem uma base científica correta, o critério especulativo é o mais utilizado, pois embora com limitações, na grande maioria dos casos é a única maneira de se chegar a um valor de referência, como se pode observar no estudo realizado por Torkelson (1983), então membro do comitê da ACGIH que recomendava os TLV´s e que analisou as informações que serviram de bases para os TLV´s de 1983, de uma amostra constituída das 52 primeiras substâncias (em ordem alfabética), concluiu que:

a. para 25 substâncias (48%) a documentação não fazia referência a estudos em homens;
b. para 18 substâncias (35%) embora relatasse efeitos em homens, a documentação não fazia referência ao ambiente;
c. para 6 substâncias (11%) a documentação apresentava referências ao ambiente, porém com avaliações ambientais duvidosas e
d. para apenas 3 substâncias (6%) a documentação apresentava dados que permitiam uma correlação dose-efeito e dose-resposta.

Embora muitos estudos tenham sido realizados desde aquela data (1983), a situação não sofreu grandes alterações, sendo que estas conclusões, apenas com algumas ressalvas, ainda são válidas, bastando consultar a Documentação dos TLV´s.

Estas conclusões mostram que grande número de substâncias tem seus padrões estabelecidos especulativamente, por evidências em testes outros que não a experiência prática e sistemática com trabalhadores. Observa-se ainda que uma parte dos dados de exposição humana são originados em acidentes ocorridos em locais de trabalho ou ambiente geral e não necessariamente baseados em exposição ocupacional de forma sistemática, habitual ou permanente.

Prognosticador - É o melhor critério para estabelecer-se um padrão, pois leva em conta todas as informações científicas possíveis e baseia-se na relação dose-efeito e dose-resposta e através do estudo epidemiológico, teórico e prático, pretende-se conhecer com a melhor exatidão possível o grau de risco à saúde que determinadas exposições oferecem, estabelecendo-se assim um nível aceitável. É o critério mais recomendado, porém, é também o que apresenta maiores dificuldades. Alguns aspectos serão discutidos nos itens 5.3.3 e 5.3.4. (Relação dose-efeito e dose-resposta).

As diferentes denominações e conceitos referidos demonstram a evolução pela qual os Limites de Exposição Ocupacional têm passado nas últimas décadas, assim, dependendo da fonte consultada e inclusive da data de consulta, valores discrepantes podem ser encontrados. Além das dificuldades práticas para o desenvolvimento das pesquisas e do conhecimento dinâmico que serviram de bases para estabelecer um limite, temos ainda que considerar a finalidade para o qual foi fixado e a época. Em diversos casos temos inclusive pressões políticas e sociais que levam ao estabelecimento de um limite, sua redução e, em alguns casos, até o banimento da substância, como no caso do benzeno e do asbesto (amianto) que aconteceu no Brasil, apesar da ACGIH recomendar um TLV. Na tabela a seguir temos alguns exemplos destas diferenças:

Tabela 5.1. Limites de exposição ocupacional para algumas substâncias e oriundos de três diferentes fontes.

Substância	ACGIH	OSHA	NR 15	Unidade
Cobre (fumos)	0,2	0,1	---	mg/m^3
Cobre (poeiras)	1	1,0	---	mg/m^3
Manganês	0,02 R	C 5	1	mg/m^3
	0,1 I	---	---	mg/m^3
Ferro (óxido)	5 R	10	---	mg/m^3
Chumbo	0,05	0,05	0,01	mg/m^3
Níquel (óxido)	0,1	1	---	mg/m^3
Benzeno	0,5	1	1*	ppm
Tolueno	20	200	78	ppm
Cloreto de vinila	1	1	156	ppm
Acetato de cellosolve	5	100	78	ppm

Observações:
ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*,
OSHA - *Occupational Safety and Health Administration*
NR 15 - Norma Regulamentadora Número 15, Anexo 11
***** = Uso restrito e VRT – Valor de Referência Tecnológico, Anexo 13A
R = Particulado Respirável; I = Particulado Inalável

A tabela 5.1 pode ser ampliada tanto em relação às substâncias ou quanto aos países ou fontes. Os dados apresentados mostram bem as flutuações dos limites, que chegam a centenas de vezes, sendo inclusive, variáveis ao longo do tempo. A ACGIH, com certa agilidade, edita anualmente seu livreto de TLV´s revisado (e traduzido para o português pela ABHO – Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais). Outras entidades como o Ministério do Trabalho dos USA (através da OSHA) e do Brasil (NR´s) fixam os limites por dispositivo legal e ficam “amarrados” aos entraves burocráticos, políticos e sociais e como resultado, a maioria dos valores estão sem atualização durante décadas, sendo apenas alguns atualizados isoladamente.

Pelo exposto, o higienista depara-se com o sério problema de qual valor utilizar como padrão em uma dada avaliação, lembrando ainda que para diversas substâncias utilizadas industrialmente, como por exemplo, um inseticida X, pode não haver qualquer recomendação de limite em fonte nacional, estrangeira ou internacional, por ser novo, ou por não ter ainda despertado a atenção das autoridades ou da comunidade científica por ter muito poucos trabalhadores expostos.

É importante notar que a opinião pública e a sociedade organizada podem de alguma forma "forçar" uma ação dos órgãos governamentais resultando na fixação de limites, por um acordo tripartite para um caso particular de uma empresa, ou através de um grupo de trabalho mais amplo e com posterior emissão de uma norma ou outro dispositivo legal mais abrangente, como citado anteriormente para o asbesto e para o benzeno.

Deve-se ainda considerar outras questões muito pertinentes a este assunto:

a. Há necessidade de se ter sempre um padrão?
b. Este padrão deve ter força de lei ou pode ser apenas uma orientação técnica?
c. Traçando-se um paralelo com a prática da medicina, não existem definidos por lei, valores normais ou limites para exames clínicos, por exemplo, taxa de glicose ou de hemoglobina no sangue, existindo apenas recomendações. Por que, no caso de exposição ocupacional a chumbo, por exemplo, necessitamos fixar em lei uma taxa aceitável de chumbo no sangue ou no ar?

São diversos os argumentos que podem explicar a situação atual. Do ponto de vista técnico, para algumas substâncias realmente não há necessidade de um padrão de exposição, pois o objetivo é impedir totalmente a exposição, substituindo, controlando ou mesmo banindo a substância se for o caso. Para a maioria dos casos, porém, em que uma pequena exposição pode ser aceitável, é claro que necessitamos de uma referência, mas há necessidade que esteja em lei?

Do ponto de vista legal, verifica-se que dificilmente alguém irá à justiça por causa de alteração da

taxa de glicose no sangue, por exemplo, que pode ser originada por uma doença "comum" não ocupacional. Mas o chumbo, teoricamente só vai aparecer elevado no sangue de um funcionário, ou no ar que este respira, por "*culpa do empregador*" e assim caberia alguma espécie de indenização, daí os processos judiciais e a necessidade de valores estipulados em lei, que em última análise serão usados para instruir um processo judicial e não necessariamente para verificar se há ou não um risco inaceitável à saúde.

O higienista deve respeitar os valores limites ditados pela legislação brasileira, mas deve notar que, embora exigente demais em alguns poucos casos, em outros, devido à falta de atualização, a legislação é permissiva demais ou mesmo omissa se comparada com os dados científicos da literatura mundial. Assim, o higienista necessita de bons conhecimentos técnicos atualizados e, sobretudo de ética profissional e de bom senso, para escolher adequadamente o padrão e sua conduta em cada caso particular.

Como regra geral devemos sempre utilizar o Limite que seja mais restritivo (de menor valor) escolhidos basicamente entre a legislação brasileira e as recomendações técnicas. Se vamos cometer algum erro que seja a favor do trabalhador, estimando o risco maior do que eventualmente é na realidade.

5.4. Fatores intervenientes na fixação de um LEO

Na fixação de um limite deve ser bem estudada a relação dose-efeito, ou seja, a relação entre a dose absorvida e o efeito observado em um organismo isolado, buscando-se um nível que seria considerado o Limite de Exposição Ocupacional. Por outro lado, se reduzirmos demais o nível da dose, podemos atingir a região de Hormesis, em que o efeito deletério não aparece ou é mascarado por um efeito inverso e até benéfico ao organismo, algo semelhante à Homeopatia, porém em doses mais elevadas. Isto indica a dificuldade ou mesmo a não necessidade de se fixar o limite muito reduzido e muito próximo do zero, assim, um completo estudo epidemiológico deve ser realizado.

Lembra-se que não se dispõe de estudos de dose-efeito para todas as substâncias, e mais ainda, a correlação dose-resposta que é a incidência de um determinado efeito em uma população, sofre a influência de diversos fatores intervenientes. Por exemplo, os hipersusceptíveis que são trabalhadores que passam em um exame médico usual, mas que, após algum tempo de exposição mesmo abaixo do limite, apresentam sinais e sintomas de exposição excessiva, como por exemplo, em consequência de deficiência de uma enzima e provocando alterações pulmonares.

Isto poderia ser detectado no exame pré-admissional ou pré-funcional, mas a dosagem desta enzima específica só indicaria o problema existente em um entre centenas de exames. Valerá a pena o custo e o trabalho? Seria então aceitável o risco de não fazer este exame? São questões que o médico do trabalho deve considerar.

A exposição do trabalhador é decorrente das *condições de trabalho*, entendendo-se aqui condições de trabalho, o local ou locais de trabalho do ponto de vista físico e climático e as atividades, tarefas ou operações realizadas durante uma jornada, agregados ainda dos aspectos de organização do trabalho e ergonomia, conforme esquema na figura 5.1. Estas condições podem originar exposição a diferentes substâncias e em diferentes formas, que por sua vez podem originar diversas interações entre os agentes químicos, o ambiente de trabalho e o organismo do trabalhador, com diferentes efeitos observados.

Figura 5.1. Condições de trabalho e agentes químicos

Na prática os produtos industriais raramente são puros, sendo misturas de diversos componentes ou mesmo apresentando resíduos de outras substâncias, por vezes até desconhecidos. Em consequência a ação tóxica produzida e seu respectivo efeito, nem sempre aparecem clara e isoladamente, como se observa na descrição didática da literatura técnica.

A exposição do trabalhador é decorrente de diversas atividades, tarefas ou operações realizadas durante uma jornada, podendo levar à exposição a diferentes substâncias e dentre uma multiplicidade de fatores, há possibilidade de diversas interações que poderão ser agrupadas em:

a. interação físico-química entre as substâncias no ambiente;
b. interação físico-química entre as substâncias no organismo do trabalhador e
c. interação biológica, de efeitos no organismo.

As interações podem também ser classificadas em:

a. aditivas;
b. sinérgicas (ou sinergéticas) e
c. antagônicas.

Assim, ao se definir um limite de exposição, pode-se supor, ou assumir que todos os trabalhadores sejam iguais e que estejam expostos aos mesmos riscos, o que não é necessariamente verdadeiro, pois, além das possíveis diferenças fisiológicas sobre as quais podemos ter pouco controle, temos diversos fatores intervenientes na exposição que podem atuar em diversos níveis, locais ou formas, tanto no ambiente de trabalho como no organismo do trabalhador:

5.4.1. O ambiente de trabalho e as atividades

As condições ambientais são importantes na determinação do LEO, pois são fixados para um padrão de 25ºC e 760 mm Hg (ao nível do mar). Embora grande parte das condições de trabalho não

seja próxima deste padrão, situações diferentes com certeza podem influenciar na avaliação da concentração e no aparecimento de efeitos. Citam-se alguns exemplos a seguir.

A pressão atmosférica pode interferir de forma significativa, por exemplo, o nitrogênio presente na atmosfera é usualmente inerte, mas quando hiperbárico (acima de 2 ou 3 vezes a pressão normal) apresenta toxicidade apreciável, pois com o aumento da pressão aumenta a concentração de nitrogênio nos tecidos orgânicos originando a "embriaguez das profundidades" no caso de mergulhadores e trabalhadores em tubulões pneumáticos.

Numa situação de sobrecarga térmica, o organismo humano procura perder calor com o aumento da circulação sanguínea periférica (na pele) e ficamos "vermelhos", o que pode aumentar a absorção por via cutânea. Temperaturas elevadas podem também elevar a taxa de ventilação pulmonar, aumentando o risco de penetração e absorção por via respiratória, porém, no caso mais extremo de excesso de calor, pode ocorrer o inverso, pois na ocorrência da prostração térmica a ventilação pulmonar tende a diminuir.

Outro efeito ainda da sobrecarga térmica é o aumento da sudorese. O suor umidifica a pele o que pode aumentar ou diminuir a absorção cutânea, dependendo da substância em contato com a pele e sua solubilidade no suor. O aumento da sudação pode originar desequilíbrio eletrolítico, pelo excesso de eliminação (perda) de cloreto de sódio, o que é ruim levando a câimbras, mas por outro lado o mercúrio inorgânico pode ser eficientemente eliminado juntamente com o suor, o que pode ser inclusive desejável em caso de intoxicação por este metal.

No caso de temperaturas muito baixas a evaporação de substâncias é reduzida, porém a concentração no ar dependerá das condições de ventilação do local o que influencia na exposição. Observa-se que um solvente industrial volátil, por exemplo, evapora mais em um dia de típico de verão, mas paralelamente, no verão temos usualmente mais ventilação, janelas abertas etc. o que facilita a dispersão dos vapores e os trabalhadores tendem a utilizar menos roupas expondo mais a superfície cutânea. Em contraponto, no inverno as temperaturas baixas reduzem a circulação sanguínea

na pele (ficamos “brancos”) e também levam ao uso de agasalhos que podem interferir no contato cutâneo. Ainda no exemplo do solvente volátil, com o frio haverá menor evaporação, mas também menor dispersão (no inverno é que ocorrem os episódios agudos de poluição do ar nas grandes cidades) e há uma tendência de se fechar janelas e desligar a ventilação. Assim cada caso e local de trabalho deve ser considerado isoladamente para verificar as possíveis interferências na exposição ocupacional.

Pode-se considerar ainda as diferentes atividades. A presença de CO_2 na atmosfera, bem como o exercício físico aumentam a ventilação pulmonar (ficamos ofegantes) levando a um aumento da penetração e absorção por via respiratória. Por exemplo, dois trabalhadores no mesmo local expostos à mesma concentração de um agente químico, mas realizando tarefas diferentes, podem ter diferentes quantidades absorvidas e assim apresentar diferentes intensidades de efeito ou mesmo diferentes efeitos.

Poucas informações estão disponíveis para se fixar diferentes limites em função das atividades, um único exemplo são os TLV´s (desde 1995) para ozônio que possui 4 diferentes limites conforme o tipo de trabalho:

- 0,05 ppm para trabalho pesado;
- 0,08 ppm para trabalho moderado;
- 0,10 ppm para trabalho leve e
- 0,20 ppm para qualquer tipo de trabalho por até 2 horas.

5.4.2. Interações entre substâncias no ambiente

Interação físico-química, aditiva e ambiental - Duas substâncias podem ter suas concentrações adicionadas no ambiente, como no caso de poeiras inertes (não classificáveis de outra forma). Estas não reagem entre si, porém o teor de material particulado inalável em suspensão no ambiente será a soma das duas ou mais substâncias presentes e esta soma é a que deve ser comparada com o padrão de exposição. Neste caso é realizada uma análise gravimétrica, como Particulado Inalável

(total), ou Particulados não Classificáveis de Outra Forma, sem diferenciação do ponto de vista químico ou morfológico.

Interação físico-química, sinérgica e ambiental - No ambiente algumas substâncias podem reagir entre si, como no caso do SO_2 (dióxido de enxofre) e do NaCl (cloreto de sódio) que isoladamente, cada um oferece um dado risco em particular, contudo, se presentes simultaneamente na atmosfera, podem originar diversas reações gerando outras substâncias como HCl (cloreto de hidrogênio ou ácido clorídrico) e H_2SO_4 (ácido sulfúrico) aumentando em muito o efeito da exposição.

Outro exemplo desta interação é um solvente clorado que pode oferecer um risco relativamente baixo e o limite estar baseado nas melhores informações disponíveis da ação deste solvente. Não sendo inflamável, seu uso pode inclusive ser aprovado pela equipe de prevenção a incêndios. Contudo, em um ambiente com vapores de solvente clorado, com uma radical R qualquer (R-Cl) e na presença de radiação ultravioleta (UV), como a originada em uma solda elétrica, pode-se ter a decomposição e oxidação do solvente clorado originando a formação de *fosgênio* ($COCl_2$) que oferece grande risco de irritação das vias respiratórias, antes inexistente.

$$UV + R\text{-}Cl \rightarrow COCl_2$$

Esta oxidação citada anteriormente pode ocorrer também na passagem dos vapores do solvente clorado pela brasa de um cigarro, que é de cerca de 800ºC, aumentando sobremaneira o risco de doenças pulmonares para o fumante. Daí o hábito de fumar ser um assunto importante inclusive para Higiene Ocupacional e a necessidade da proibição do fumo em locais com possível exposição a agentes químicos.

Interação físico-química, antagônica e ambiental – Em determinadas situações pode-se encontrar na atmosfera substâncias que se neutralizam, como por exemplo, dióxido de enxofre e amônia. Estas duas substâncias são gases com alta solubilidade em água. Uma vez dissolvido em água o

óxido de enxofre se transforma em ácido sulfônico e sulfúrico e a amônia em hidróxido de amônio. Estes dois compostos reagem entre si e se neutralizam originando uma terceira substância, o sulfato de amônio, que é menos agressivo que as anteriores.

5.4.3. O organismo do trabalhador - Fatores responsáveis por diferentes reações a agentes químicos

Existem significativas diferenças entre os seres humanos em relação à intensidade do efeito produzido por um agente tóxico, inclusive com variação individual da suscetibilidade durante o decurso da vida. Isto pode ser atribuído a uma variedade de fatores capazes de influenciar a absorção, a distribuição pelo organismo, a biotransformação e a excreção.

Além dos conhecidos fatores hereditários, que podem estar ligados com o aumento da suscetibilidade a um agente tóxico, outros fatores podem interferir na ação destes sobre o organismo, tais como: hábitos alimentares; consumo de álcool e de medicamentos; exposição simultânea a outros agentes; situações de estresse físico ou psicológico e a exposição prévia, ocupacional ou ambiental, a um agente em particular ou alguma outra situação ou agente não necessariamente tóxico.

Estas possíveis interações podem favorecer ou reduzir o aparecimento de um dado efeito, informações mais detalhadas podem ser obtidas em compêndios de Toxicologia, a seguir apresentam-se algumas destas interações de forma geral.

De acordo com o estágio em que a interação ocorre (absorção, distribuição, biotransformação ou excreção de um agente tóxico), os mecanismos podem ser basicamente agrupados em duas categorias:

a. mudança na toxicocinética, com aumento ou diminuição da concentração do agente tóxico que atinge o órgão alvo e o sítio de ação.
b. mudança na toxicodinâmica, variando a intensidade do efeito específico originado por uma mesma quantidade do agente que atinge o órgão alvo e o sitio de ação.

Os mecanismos mais comuns para as duas categorias de interações estão relacionados com a competição com outras substâncias na ligação com um composto envolvido no transporte pelo organismo (proteínas plasmáticas, por exemplo) e, ou, envolvido na mesma via metabólica (enzimas, por exemplo). Como resultado há modificação na velocidade ou sequência entre a reação inicial e o efeito adverso final como nos casos a seguir:

5.4.4. Influência da idade

Em comparação com os adultos, os jovens e crianças são mais suscetíveis a agentes tóxicos em razão de seu relativamente maior volume de ventilação pulmonar e maior taxa de absorção intestinal devido à maior permeabilidade do epitélio e mecanismos enzimáticos de detoxicação e excreção ainda não completos.

Nos primeiros estágios de desenvolvimento do organismo humano o Sistema Nervoso Central parece ser particularmente mais sensível à ação de substâncias neurotóxicas como o chumbo ou metil-mercúrio. Por outro lado, um idoso pode ser mais suscetível devido a sua história de exposição e aumento do depósito do agente no organismo, ou ainda uma lesão pré-existente que comprometa a ação de detoxicação.

Cada um destes fatores pode contribuir para o enfraquecimento das defesas do organismo causando aumento da suscetibilidade em exposição subsequente inclusive a outros agentes. Por exemplo, as enzimas do citocromo P450, envolvidas nos mecanismos de detoxicação da maioria dos agentes tóxicos, pode ter sua atividade aumentada ou reduzida em decorrência de diversos fatores ao longo da vida.

5.4.5. Influência do gênero

Diferença na suscetibilidade relacionada ao gênero tem sido descrita para um grande número de agentes tóxicos e principalmente em animais. Há indicação de que os machos são mais suscetíveis

a tóxicos renais e fêmeas a tóxicos hepáticos. Embora haja alguma evidência de influência do gênero para humanos, como a maior capacidade da mulher excretar uma substância, via fluxo menstrual ou lactação ou ainda maior depósito no tecido adiposo, não se tem ainda uma real perspectiva do significado e magnitude da diferença de suscetibilidade entre homens e mulheres. De uma forma geral os Limites de Exposição Ocupacional ainda não diferenciam homens de mulheres.

5.4.6. Influência de hábitos alimentares

Os hábitos alimentares têm uma importante influência na susceptibilidade a agentes tóxicos, principalmente porque a nutrição adequada é essencial para o funcionamento correto dos mecanismos de defesa do organismo e manutenção da boa saúde.

Absorção adequada de metais e metaloides, proteínas e aminoácidos com enxofre, são necessários para a biossíntese de várias enzimas envolvidas na detoxicação e de compostos como a glicina e glutátion envolvidos em reações de conjugação. Lipídios são necessários para a síntese de membranas biológicas. Carboidratos provêm a energia requerida para vários processos de detoxicação e fornecem o ácido glicurônico importante para conjugação e eliminação de várias substâncias. As vitaminas A, C e E são importantes antioxidantes e destruidoras de radicais livres.

Temos ainda os diversos constituintes da dieta (proteínas e fibras, minerais, fosfatos, ácido cítrico etc) e a quantidade de alimento ingerida que podem influenciar grandemente na absorção gastrointestinal de muitos agentes tóxicos.

Observa-se finalmente que a própria alimentação pode ser a porta de entrada, no caso de contaminação ambiental dos alimentos ou ainda por contaminação grosseira por ingerir alimentos no próprio local e em condições de higiene pessoal inadequadas.

Como citado no item 4.3.1.1, tivemos oportunidade fazer avaliação ambiental a chumbo em um local onde os níveis no ar eram aceitáveis, mas o chumbo no sangue dos trabalhadores estava

elevado e acima do aceitável indicando exposição excessiva. Após algumas observações notou-se que os trabalhadores tinham contaminação grosseira das mãos e faziam suas refeições sem lavá-las e em locais inadequados, inclusive aquecendo suas marmitas sobre os fornos de fusão de chumbo. Apenas medidas de higiene pessoal e oferecimento de local adequado para refeição solucionou o problema.

5.4.7. Influência do hábito de fumar

Além do já referido no item 5.3.3.1 (decomposição da substância pela brasa do cigarro), o hábito de fumar pode influenciar a susceptibilidade individual a diversos agentes tóxicos em razão da variedade de interações entre os diversos compostos presentes na fumaça do cigarro, citando-se alguns: os aromáticos polinucleares, monóxido de carbono, benzeno, nicotina, acroleina, alguns pesticidas e cádmio e em menor escala chumbo e outros metais pesados. (recorda-se que chumbo e cádmio podem ser acumulados no organismo).

As interações podem ocorrer basicamente em virtude de uma competição com o mesmo sítio de ligação para transporte no organismo (por exemplo, asfixiantes) e, ou, no mesmo mecanismo de biotransformação com uma enzima em particular. Por exemplo, diversos constituintes da fumaça do cigarro podem aumentar a atividade das enzimas do citocromo P450, enquanto outros podem reduzir esta atividade, estes componentes da fumaça do cigarro podem ainda interferir nos mecanismos de biotransformação de solventes e até de alguns medicamentos.

Fumantes de grande número de cigarros por dia e durante longo período podem também apresentar considerável redução dos mecanismos de defesa do organismo, como a motilidade ciliar do sistema respiratório entre outros, prejudicando a resposta imediata a algum estímulo químico, ou mecânico no caso de particulados.

Veja mais detalhes sobre o hábito de fumar em relação à Higiene Ocupacional no item 5.12.2.

5.4.8. Influência do álcool

O alcoolismo ou a exposição ocupacional a etanol pode influenciar a susceptibilidade a diversos agentes tóxicos e de diversas maneiras:

a. Alteração da taxa de absorção e distribuição pelo organismo, como por exemplo, aumentando a taxa de absorção gastrintestinal do chumbo ou em outro exemplo, diminuindo a absorção pulmonar de vapores de mercúrio por inibição da oxidação do mercúrio que é essencial para sua retenção na corrente sanguínea.

b. O etanol pode influenciar na susceptibilidade a várias substâncias por modificações de curto período do pH e aumento do potencial redox, resultado do metabolismo do etanol a acetaldeído ou a acetato, produzindo o equivalente de nicotinamida adenina dinucleotídeo reduzida (NADH) e hidrogênio.

c. Mesmo pequenas doses de etanol podem resultar em uma série de consequências como:
   - redistribuição do chumbo acumulado por um longo período, liberando chumbo ativo no organismo;
   - troca do zinco por chumbo em enzimas e afetando sua atividade, ou ainda o etanol pode influenciar na distribuição do chumbo e outros metais e metaloides como o cálcio, ferro, cobre e selênio e aumentando a excreção urinária.

Estes efeitos mencionados podem ser aumentados se considerarmos que algumas bebidas alcoólicas destiladas podem possuir contaminação por chumbo ou cobre. Deve ser lembrado ainda que o etanol pode competir com as enzimas do citocromo P450, reduzindo assim a capacidade do organismo de biotransformar diversas substâncias.

5.4.9. Influência de medicamentos

O uso continuado de diversos medicamentos pode influenciar a susceptibilidade à ação de agentes químicos principalmente porque diversos medicamentos podem se ligar a proteínas plasmáticas,

influenciando o transporte, distribuição ou excreção destes, aumentando ou diminuindo a atividade de enzimas importantes no metabolismo dos agentes químicos e alterando assim o efeito observado.

5.4.10. Influência da exposição simultânea a outras substâncias

Mudanças na susceptibilidade a efeitos adversos devido à interação entre várias substâncias, como visto nos itens anteriores, tem sido mais detalhadamente estudada em animais havendo falta de estudos epidemiológicos mais relevantes em humanos e em trabalhadores. Isto é preocupante se considerarmos as eventuais diferenças de respostas entre humanos e ratos e outros mamíferos. Por outro lado, alguns estudos referem interações entre apenas duas substâncias, sendo que são possíveis interações diversas com grande número de substâncias e demais fatores intervenientes, simultaneamente ou não. Muitas destas interações são ainda desconhecidas.

Devemos reforçar uma das condutas básicas da Higiene Ocupacional: Sempre levar a exposição ocupacional ao nível mais baixo possível, independentemente de já estar abaixo de um limite aceitável, inclusive este limite pode ser modificado como o avanço do conhecimento.

Interações entre substâncias no organismo

a. **Interação aditiva** – Duas ou mais substâncias embora absorvidas por diferentes vias de penetração, com frequência possuem toxicocinética e toxicodinâmica semelhantes e podem provocar a mesma ação tóxica no mesmo órgão-alvo, originando por consequência efeitos aditivos. Solventes industriais, por exemplo, podem ser aditivos na depressão do sistema nervoso central e, ou, na irritação pulmonar, tanto se absorvidos por via cutânea ou como respiratória. Esclarece-se que uma vez absorvido por via oral o solvente atinge a corrente sanguínea e pode ser eliminado por via respiratória provocando aí a irritação.

b. **Interação sinérgica (ou sinergética)** - Uma substância pode ter sua ação facilitada por outra. Um exemplo é uma substância na forma de pó e nesta forma dificilmente poderá

penetrar através da pele integra e ser absorvida, porém, se houver exposição simultânea a um solvente industrial, como no caso de lavagem de mãos com "thinner" (solvente utilizado para diluição de tintas). O solvente poderá dissolver a substância sobre a pele e a seguir ser absorvido, servindo de veículo para a substância, aumentando em muito o risco de absorção. De forma semelhante um creme ou pomada medicinal que é absorvida pela pele carregando consigo o princípio ativo (medicamento).

c. **Interação antagônica (antídotos, ou antivenenos)** - Duas substâncias tóxicas, isoladamente, podem produzir diferentes efeitos deletérios ao organismo, mas, se absorvidas simultaneamente ou num curto intervalo de tempo, podem reagir entre si, com resultados diferentes e antagônicos. Como exemplo, cita-se a intoxicação por chumbo ou arsênico em cujo tratamento pode-se utilizar como antídoto, o EDTA-Ca (edetato de cálcio ou etileno diamim tetra-acetato de cálcio), ou o BAL - British Anti Lewisite (dimercapto propanol). Tanto o EDTA como o BAL possuem elevada toxicidade e agem sobre os rins, mas em doses corretas e sob supervisão médica, podem formar complexos que favorecem a excreção urinária dos metais, com a consequente redução dos efeitos.

Interações toxicológicas

a. **Interação aditiva** - Duas substâncias, mesmo que não reajam entre si e apresentem diferentes mecanismos de ação no organismo, poderão ainda originar efeitos aditivos, como no caso de asfixiantes simples e químicos, se presentes simultaneamente. Os asfixiantes simples, gases inertes (ex. nitrogênio, argônio etc.) reduzem a pressão parcial do oxigênio no ar que chega aos pulmões, baixando a oxigenação sanguínea. Por outro lado, um asfixiante químico, como o monóxido de carbono, reduz a capacidade do sangue de transportar oxigênio dos pulmões às células e por sua vez, o cianeto impede a utilização do oxigênio pela célula. Embora por três mecanismos diferentes as três substâncias no final produzem o mesmo efeito de redução do nível de oxigênio na célula, comprometendo a respiração celular, responsável pela produção de energia, reduzindo assim diversos metabolismos e

provocando, por exemplo, narcose, dificuldade de raciocínio e até a morte. Veja mais detalhes no item 4.5.1.

Outro exemplo desta interação é o caso de combustão incompleta em certos processos industriais ou mesmo em incêndios. Nestes casos pode-se ter a presença simultânea de monóxido de carbono e dióxido de carbono, quimicamente semelhantes, porém, com propriedades toxicológicas bem distintas. O monóxido de carbono possui maior toxicidade e bloqueia o transporte de oxigênio para as células, o dióxido de carbono de toxicidade menor é quase inerte, mas ativa o mecanismo de controle da respiração pulmonar, aumentando o volume total de ar respirado em um dado período. Isto também acontece quando fazemos exercício físico e ficamos ofegantes, o acumulo de dióxido estimula a respiração pulmonar.

Desta forma, se o ar inspirado contiver dióxido e monóxido de carbono juntos poderá haver em consequência maior ventilação pulmonar (maior volume de ar respirado durante um dado período e, portanto, maior absorção do monóxido em relação ao que seria absorvido nas mesmas condições com a mesma concentração apenas de monóxido.

b. **Interação antagônica** - Outro exemplo de efeito antagônico é do metanol absorvido simultaneamente com etanol. O metanol produz seu efeito basicamente devido à sua oxidação a aldeído fórmico e ácido fórmico que são as substâncias que realmente agem dentro do organismo. O etanol segue o mesmo caminho sendo por sua vez, oxidado a anidrido e ácido acético que não possuem a toxicidade dos “fórmicos”. Isto ocorre por competição com o mesmo mecanismo de oxidação. Tendo muito etanol no organismo, este não consegue oxidar todo etanol e também o metanol, baixando assim a quantidade de “fórmicos” presentes, daí ser útil provocar a embriagues por etanol no casos de intoxicação por metanol.

Outro exemplo é na intoxicação por cianeto, o paciente não consegue utilizar o oxigênio que chega à célula por bloqueio da respiração celular. Uma forma de antagonizar o efeito é retirando o cianeto da circulação e impedindo que ele chegue às células. Isto pode ser feito

com a utilização de uma substância metahemoglobinizante, como o nitrito de amila que transforma a hemoglobina normal que se liga ao oxigênio em metahemoglobina que tem a capacidade de se ligar ao cianeto, assim formando a cianometahemoglobina. Isto diminui o nível de cianeto circulante e livre para agir nas células o que, ao menos em tese, pode controlar uma intoxicação por cianetos.

c. **Interação sinergética.** Numa intoxicação por uma substância metahemoglobinizante, cujo exemplo mais comum é o fenol, o paciente pode ter falta de oxigenação nas células em virtude de diminuição no transporte de oxigênio, pois parte da hemoglobina foi transformada em metahemoglobina (que é azul e não transporta oxigênio), a exposição ou administração simultânea de cianeto não produzirá efeito antagônico e sim efeito sinérgico, potencializando a falta de oxigênio nas células, colocando em risco a vida do paciente, pois as células já estão com falta de oxigênio e agora com o cianeto o pouco que chega não é utilizado.

Outras interações no organismo

Outras Interações biológicas podem ocorrer, como nas estudadas pela cronobiologia e cronotoxicologia, que são as diferentes reações do organismo humano a um determinado stress químico em relação às diferentes horas do dia em que houve exposição e ou absorção. O conhecimento destas interações é de grande importância para a Higiene e Toxicologia Ocupacional, para uma correta fixação de um LEO e efetivo controle da exposição do trabalhador. Há possibilidade ainda de que um somatório de efeitos ocorra em decorrência de exposição simultânea a agentes estressores de origem distinta, mas de efeitos combinados, como o Tolueno e o Ruído que se somam na produção de surdez ocupacional, que aparece inclusive em exposição abaixo do Limite de Tolerância Biológica.

5.5. Relações dose-efeito e dose-resposta

As relações dose-efeito e dose-resposta são fundamentais para uma correta fixação de um LEO, contudo devemos considerar inicialmente algumas dificuldades no processo de como medir estas variáveis.

5.5.1. Dimensões da dose

Idealmente, dose de uma substância é a quantidade desta, presente no sítio de ação dentro do organismo, mais especificamente, num órgão e neste, dentro de uma célula e nesta ainda, dentro de uma organela onde encontra uma molécula sensível à sua ação, uma enzima, por exemplo, onde efetivamente se dá a ação tóxica de inibição da atividade desta enzima, que é fisiologicamente necessária e cujo efeito de diminuição em sua atividade se observará no próprio órgão ou mesmo em outros pontos do organismo, pelo excesso ou falta de uma terceira substância.

Esta que seria a dose mais correta e indicada do ponto de vista teórico da Toxicologia, não encontra embasamento prático, sendo quase impossível avaliar a dose desta forma. Na prática da Higiene Ocupacional, a única forma viável de estimar indiretamente a dose de um agente químico a que um grupo de trabalhadores está exposto, é através da medida da concentração no ar e de tal forma, que represente o melhor possível esta exposição.

Deve ser considerado que a medida da concentração no ar de um agente químico à qual o trabalhador está exposto, não mede a massa total que realmente penetra no organismo, embora esteja diretamente relacionada. Vários fatores podem favorecer ou dificultar a penetração de uma substância no organismo, tais como: propriedades físico-químicas da substância, ventilação e perfusão pulmonar, integridade da pele, tempo de contato etc. como já referido em itens anteriores.

Após penetrar, a substância poderá ou não ser absorvida, ou seja, passar para a corrente sanguínea, dependendo de fatores como: perfusão pulmonar, concentração sanguínea, tamanho das partículas, lipossolubilidade etc. A importância da passagem para a corrente sanguínea é que a substância poderá atingir as mais diversas partes do organismo inclusive o órgão alvo, no qual exercerá sua

ação tóxica ao atingir os pontos sensíveis dentro das células. Nesta fase, diversos fatores intervêm, no aparecimento do efeito, positiva ou negativamente, tais como: biotransformação, eliminação, diluição, depósito etc. Ver mais detalhes no Capítulo 4.

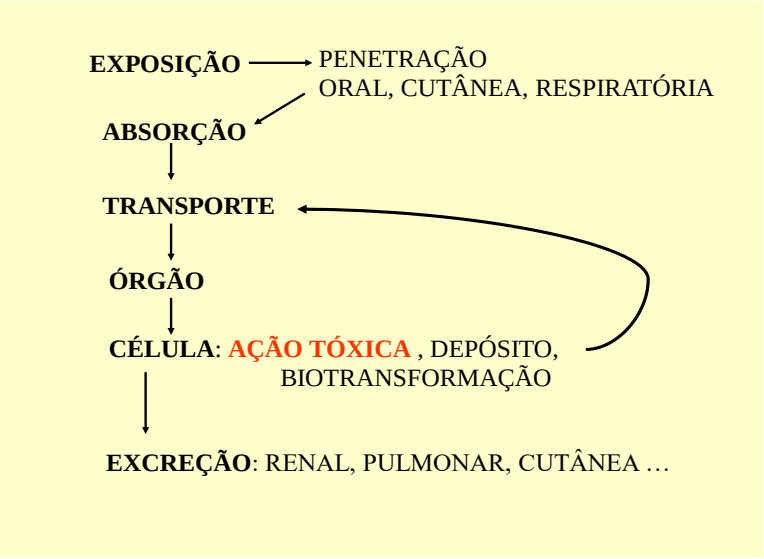


Figura 5.2. Esquema básico da absorção, distribuição e excreção de um xenobiótico.

Diversos fatores intervêm desde a exposição até a chegada da substância no sítio ativo dentro de uma dada célula, que é exatamente o ponto em que deveria ser medida a dose. Isto nos dá uma ideia da aproximação a ser feita, ao se afirmar que a dose está relacionada diretamente com a concentração no ar e assumir esta, como uma estimativa da dose a qual o trabalhador está exposto. Daí a importância de uma avaliação feita da forma mais rigorosa possível para que se eliminem pelo menos os maiores erros desta estimativa.

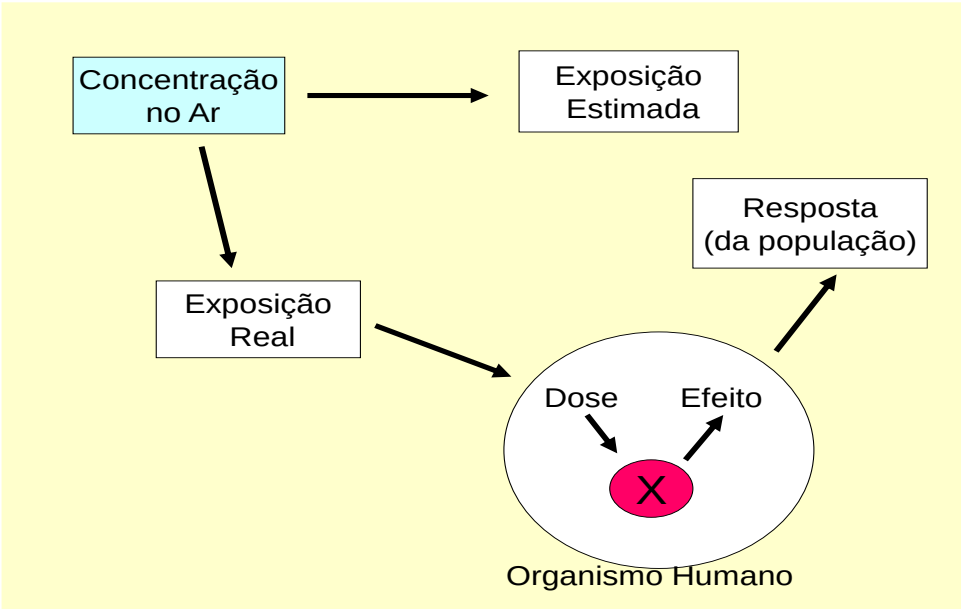


Figura 5.3. Exposição Real e Estimada

5.5.2. Dimensões do efeito

Idealmente, o efeito de um xenobiótico observado sobre o organismo humano deve ser mensurável na prática para que seja correlacionado adequadamente com a dose. Assim, de pouco valor são os sintomas, que são subjetivos, como sonolência ou dores em geral, contudo na falta de um sinal mensurável, sintomas podem ser utilizados. Preferencialmente procuram-se sinais que possam ser mais facilmente observados, medidos e colocados em uma escala numérica, como taxa sanguínea de uma dada substância, por exemplo.

Um agente químico, por sua vez, pode produzir múltiplos efeitos, assim cada caso deve ser estudado em particular, a fim de se fixar um efeito que tenha utilidade prática e seja o mais precoce possível. Uma vez que se busca uma dose relacionada a *não efeito* ou um *efeito mínimo aceitável*, preferencialmente o efeito escolhido não deve ser deletério o que nem sempre é possível. Por exemplo, o H_2S – gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio tem seu TLV baseado na irritação do trato respiratório superior e comprometimento do sistema nervoso central e estes efeitos, em exposições próximas ao TLV, são ainda aceitáveis, assim pode-se ter alguma variação na concentração acima e abaixo do TLV, garantindo-se, porém, que a média esteja abaixo. Observa-se que concentrações mais elevadas de H_2S podem levar a um comprometimento do sistema nervoso que

pode ser fatal.

Em alguns casos não se tem uma graduação tão ampla entre um efeito aceitável e o inaceitável, ou mesmo um indicador biológico mais precoce em relação ao efeito grave que se deseja evitar, ou seja, pequenas flutuações na concentração acima do TLV já provocam efeitos inaceitáveis. No caso dos irritantes primários, que atuam no sistema respiratório e cujos primeiros sinais e sintomas aparecem em baixas concentrações e já são de irritação pulmonar grave, isto determinará então que o padrão estabelecido seja *teto*, ou seja, determina-se a dose relacionada ao menor efeito aceitável e nenhuma concentração acima deste padrão deve ser tolerada ou aceita. Por exemplo: TDI – tolueno diisocianato ou HCL – cloreto de hidrogênio (gás ou ácido clorídrico)

Outras substâncias apresentam múltiplos efeitos e de diferente gravidade, como o benzeno que pode provocar leucemia, leucopenia, irritação do aparelho respiratório ou depressão do sistema nervoso, para citar apenas quatro diferentes efeitos e de diferentes gravidades. Num outro exemplo, no caso do monóxido de carbono o efeito que se deseja evitar é a deficiência de oxigenação celular no sistema nervoso central, mas na impossibilidade prática de medir este feito, geralmente considera-se como indicador de efeito o teor de carboxihemoglobina no sangue. Deve-se lembrar, porém, que o teor de uma substância no sangue é mais um indicador de dose do que de efeito, assim cada caso deve ser estudado em particular e considerar o melhor indicador de dose e de efeito, não havendo um protocolo único e padronizado para todas as pesquisas neste assunto.

5.5.3. Relação dose-efeito

A maioria das substâncias produz um efeito no organismo humano que é dependente da dose, ou seja, aumentando a dose aumenta o efeito. Esta relação é também conhecida como determinística, pois a dose determina o efeito. Algumas substâncias seguem uma relação dose-efeito que não é proporcional a dose, ou seja, o aumento da dose não necessariamente aumenta o efeito e inversamente também, uma diminuição da dose pode não diminuir o efeito, ou ainda uma pequena dose pode produzir um grande efeito. Esta última relação é também conhecida como não determinística ou ainda estocástica ou aleatória.

A dose zero.

Se, numa atitude radical, fosse desejável reduzir a zero a exposição ocupacional, poderíamos nos deparar com alguns problemas. Inicialmente, concentração zero de uma substância é quimicamente impossível, pois, pode-se apenas dizer que em um dado local há uma concentração menor que o limite inferior de detecção do método de medição utilizado. Por outro lado, mesmo admitindo que seja possível concentração zero, isto poderá ser incompatível com a vida humana.

Para algumas substâncias, por exemplo, os oligoelementos como o níquel, manganês, cobalto, magnésio, cobre e outros, sua ausência total leva à incapacidade do organismo humano de executar diversas funções bioquímicas fundamentais ao equilíbrio fisiológico. Em contrapartida o excesso destes mesmos elementos pode levar à doença ocupacional, ou mesmo câncer, como no caso do níquel.

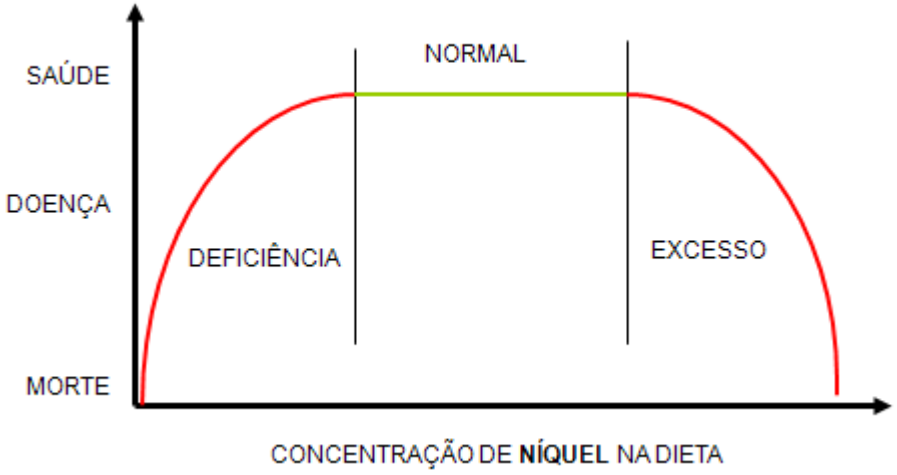


Figura 5.4. Níquel é carcinogênico, mas também essencial à vida.

A não linearidade da relação dose e efeito em baixas em doses é denominado de *Hormesis*. Na origem de uma relação dose-efeito, com dose zero o efeito é zero, mas com um ligeiro aumento da dose pode-se ter inicialmente um efeito "positivo" ou benéfico ao organismo, (BELLE 2002; JAYJOCK et. al 2001), com o aumento da dose este efeito positivo pode diminuir ou ser mascarado lentamente pelo aparecimento de um segundo efeito "negativo".

A Hormesis, que é semelhante ao efeito terapêutico buscado pela Homeopatia e ciências correlatas como a Medicina Antroposófica, é um importante fator que deve ser considerado ao se estabelecer limites de exposição ocupacional, pois indica que para algumas substâncias pode haver uma dose perfeitamente aceitável e inclusive necessária. Este fenômeno ocorre mesmo para as substâncias de elevada toxicidade ou carcinogênicas, o que nos leva a admitir a possibilidade da existência de um Nível (Dose) Relacionada a Não Efeito Observável – NOEL (Non Observed Effect Level).

O NOEL é estabelecido para apenas para algumas substâncias, mas com certeza, indica a possibilidade de existência de um LEO seguro, contrariando a opinião de alguns estudiosos que especificamente em relação às substâncias carcinogênicas, preconizam o "Limite Zero" admitindo que por menor que seja a dose, ainda poderá originar lesões que se acumulariam e finalmente desencadeariam um efeito.

Observa-se a grande dificuldade de estabelecer parâmetros adequados e comparáveis de dose-efeito, recomendando-se sempre o melhor conhecimento possível dos critérios utilizados no estabelecimento do LEO, para se saber exatamente contra o que se está protegendo o trabalhador e realizar uma efetiva proteção e promoção da sua saúde.

Embora com as limitações já referidas na medida da dose, procura-se estabelecer uma correlação entre dose e efeito, esquematicamente representada na figura 5.5. Esta correlação idealmente esquematizada reflete-se na região A na qual para uma dose inicial muito pequena pode-se não encontrar nenhuma correlação com o efeito. É no limite desta região de *homeostase* que se procura colocar a dose limite ou aceitável e que estaria de acordo com o NOEL.

Na região B o efeito já é observado, porém, apresenta-se de forma ainda reversível, ou seja, afastando-se da exposição, o trabalhador volta ao seu estado de saúde normal.

A região C indica uma lesão bioquímica com efeitos irreversíveis, ou seja, mesmo após tratamento médico o paciente apresentará sequelas. No final da região C temos um nivelamento do efeito

máximo que é a morte.

Em alguns casos a região B é grande como, por exemplo, no caso do Chumbo. Já no caso do Manganês ou da Sílica Livre Cristalina, a região B é pequena e facilmente o trabalhador ingressa na região C, sem possibilidade de retorno à condição de saúde normal.

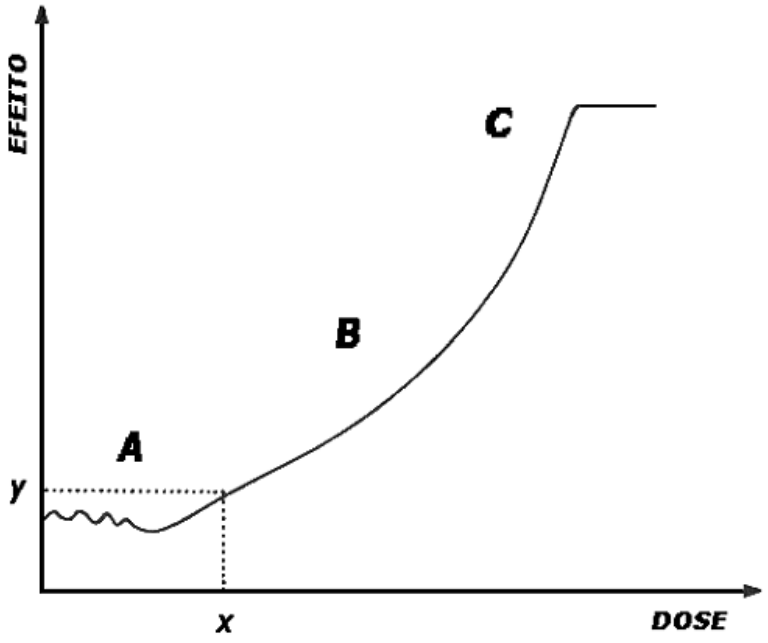


Figura 5.5 Relação dose–efeito. Fonte: Colacioppo (1989)

5.5.4. Relação dose-resposta

Resposta é a quantidade, ou porcentagem, de indivíduos de uma população que apresenta um determinado efeito. Quando há apenas um indivíduo a ser controlado, para uma mesma dose X tem-se, ao menos teoricamente, sempre o mesmo efeito Y observado e pode-se estimar com alguma facilidade o LEO adequado. Se for considerada uma população hipotética de 100 indivíduos exatamente iguais, 100 % dos indivíduos darão a mesma resposta Y quando a dose for X, o que pode ser representado na figura 5.6. por apenas um ponto.

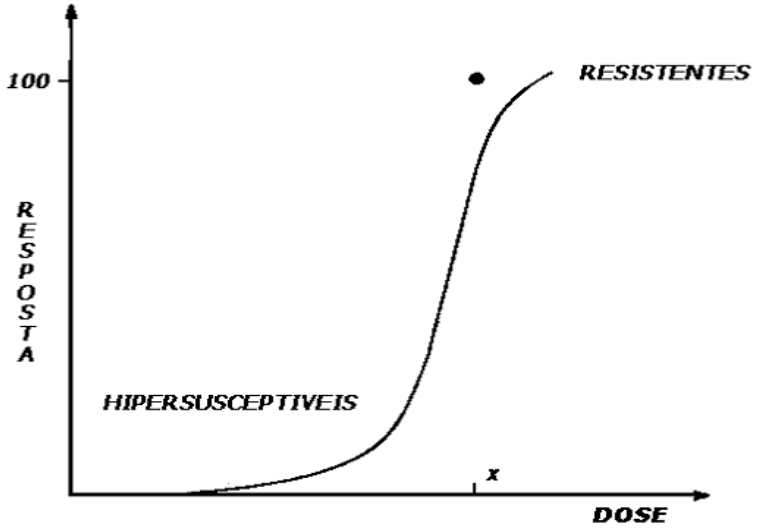


Figura 5.6. Relação dose-resposta para uma população real
Fonte: Colacioppo (1989)

Em uma população real, onde não se encontram indivíduos exatamente iguais, mas apenas semelhantes e com diferenças significativas do ponto de vista médico, toxicológico, fisiológico, hábitos alimentares, ambientes domésticos, comportamento e atividades profissionais etc. A distribuição das porcentagens de resposta em relação a um mesmo efeito, obedece a uma curva sigmoide, como a representada na figura 5.6.

Por esta distribuição verifica-se a existência dos grupos dos hipersusceptíveis e dos resistentes à ação de um agente. O que equivale dizer que ao aumentar a dose para uma população real, em doses inferiores a X já é possível encontrar-se alguns trabalhadores apresentando o efeito considerado, na intensidade Y ou maior, são os hipersusceptíveis. Com a dose X a maioria dos indivíduos apresenta efeito na intensidade Y, é o grupo da população dita normal. Por outro lado, há necessidade de doses superiores a X para que o grupo dos resistentes comece a apresentar o efeito na intensidade Y.

Os hipersusceptíveis devem receber especial atenção e existem meios para isto, através de exames médicos pré-admissionais, pré-funcionais ou periódicos, havendo assim uma relativa facilidade de se identificar o indivíduo mais sensível, ou mesmo de acompanhar o recém ingresso numa dada

função, por seu lado, o próprio trabalhador aos primeiros sinais ou sintomas, pode procurar atenção médica.

Os resistentes, todavia, dificilmente são identificados, pois sistematicamente não apresentam queixas ou sinais e sintomas característicos da exposição, não requerendo atenção especial. Se não houver uma correta avaliação e monitorização da exposição ambiental, pode haver grande risco para este grupo que, justamente pelo fato de serem mais resistentes, podem ficar expostos por mais tempo e a concentrações mais altas, sem efeitos imediatos, mas podem sofrer outros efeitos de em médio e longo prazo, o que dificultaria inclusive o estabelecimento de um nexo causal com o trabalho, principalmente após o desligamento de uma empresa, ou mesmo após a aposentadoria.

5.6. Concentração média e concentração máxima (teto)

Para a maioria das substâncias os LEO's são considerados como valores médios calculados como *médias ponderadas pelo tempo*, MPT, ou seja, cada concentração deve ser ponderada pelo tempo que foi medida ou que representa, considerando-se toda a jornada de trabalho inclusive períodos de “concentração zero”, ou sem exposição.

A estratégia de amostragem é importante para a estimativa da MPT, pois uma única amostra durante toda a jornada fornecerá um único valor correspondente à MPT, mas se forem coletadas duas ou mais amostras deverá ser feita a média. Se amostras tiverem o mesmo tempo de coleta, a média será aritmética simples, se tiverem tempos diferentes deverá necessariamente ser ponderada. Pode-se ter ainda o caso de coletas apenas em um período da jornada e o restante sem exposição, não justificando outras coletas, mas no cálculo da MPT deve ser considerado um resultado zero pelo tempo restante, representando o período de não exposição. A MPT é calculada segundo a equação:

$$MPT = \frac{(T_1 \times C_1) + (T_2 \times C_2) + ... + (T_n \times C_n)}{\text{Somatório de T}}$$

MPT = Média Ponderada pelo Tempo
C = Concentração do agente
T = Tempo que a concentração C existiu, ou de exposição a esta concentração.

Este tipo de média é usado para substâncias cujos efeitos que servem de base para o padrão, aparecem somente a médio e longo prazo, como a maioria dos agentes químicos (no livreto dos TLV´s estes efeitos estão indicados na última coluna dos valores adotados)

Observa-se que o fato de o Limite ser estabelecido para efeito em longo prazo não significa que o agente não possa produzir efeitos em curto prazo. O que diferencia é a dose: em baixas concentrações e por muito tempo originam os efeitos para os quais o limite é estabelecido. Concentrações elevadas mesmo por curto período podem levar a sérios danos saúde e até à morte. (veja valor Teto e STEL).

Nota-se que o elemento básico para cálculo da MPT é (C x T), concentração multiplicada pelo tempo, ou seja, *dose* que depende exatamente da concentração e do tempo, estando inclusive relacionada segundo a equação conhecida como Lei de Haber que pode ser expressa pela equação:

$$\mathbf{C \times T = K}$$

Esta equação indica que para o surgimento de um dado efeito (sinal ou sintoma) deve-se atingir uma constante que é o produto de C x T. Para uma dada concentração há necessidade de um tempo fixo para que ocorra o efeito, ou ainda, se aumentarmos a concentração diminuirá o tempo para aparecimento do efeito e diminuindo a concentração precisaremos de mais tempo até que ocorra o efeito. É claro que esta relação é válida dentro de determinados limites.

Concentrações muito baixas, mesmo por muito tempo não produzem efeito, pois o organismo

humano possui mecanismos de defesa (detoxicação), baseados na diluição, eliminação, depósito e biotransformação da substância, além da restauração da lesão. Assim é infundada a crença que é apenas uma questão de tempo para que incondicionalmente, todos os trabalhadores fiquem doentes, quando expostos a baixas concentrações, pois existem concentrações suficientemente baixas que mesmo com todo o tempo de vida não produzirão efeitos significativos.

Para algumas substâncias de elevada toxicidade de curto prazo, tem-se observado que a concentração a que o trabalhador esteve exposto é mais determinante do aparecimento do efeito que o tempo da exposição, como no exemplo do *cloro, dióxido de enxofre e ozônio*, substâncias altamente irritantes primárias para o sistema respiratório. Uma exposição ao gás cloro em elevada concentração por apenas alguns segundos pode provocar irritação pulmonar que inicialmente é branda, mas que evolui rapidamente para um quadro mais grave e algumas horas após pode ser até fatal. Nestes casos o cálculo de MPT não se aplica e, embora não se conheça especificamente o valor de *n*, segundo ATHERLEY (1985) a correlação seria expressa mais adequadamente pela equação a seguir onde a concentração é exponencialmente ponderada:

$$\mathbf{T \times C^n = K}$$

A utilização da MPT deve sempre estar subordinada ao conhecimento do efeito para o qual o LEO está determinado, como já mencionado. O padrão para o benzeno não está baseado no efeito de curto prazo de depressão do sistema nervoso, ou de irritação das vias aéreas, mas sim no efeito de longo prazo e devido à exposição a baixas concentrações, produzindo alteração no quadro sanguíneo e câncer.

Para substâncias que provocam efeitos graves, mas, em curto prazo, mesmo em baixas concentrações, o padrão é definido como *teto*, ou seja, não se devem permitir flutuações em torno de um valor médio, portanto não se calcula a MPT, os exemplos são as referidas nos TLV´s como teto, indicados com a letra C na coluna STEL, como ácido cianídrico, cloreto de hidrogênio, cloro, acetaldeído entre outros.

5.6.1. Alguns casos particulares

a. Depressores do sistema nervoso central

Alguns casos devem ser considerados individualmente; substâncias como o etanol e o éter etílico provocam depressão do sistema nervoso central, originando anestesia ou narcose que podem comprometer a segurança, devendo-se então buscar, sempre que possível outros efeitos, mais precoces e que ofereçam menos riscos à integridade física dos trabalhadores.

Assim na faixa de concentração do TLV, no caso do etanol o efeito que se busca é de irritação do trato respiratório. No caso do éter etílico, além da irritação do trato respiratório pode ocorrer comprometimento do sistema nervoso central, contudo, espera-se que se obedecido o TLV não ocorrerá efeito significativo.

b. Asfixiantes simples

Agentes que produzem asfixia simples, como metano, nitrogênio, gases nobres, etc., não têm necessariamente um LEO específico estando limitados ao deslocamento do oxigênio atmosférico até um mínimo de 17,4%. (TLV´s) ou 18% (NR-15), admitindo-se que concentrações menores de oxigênio já estejam relacionadas com os efeitos de asfixia.

Observa-se que pressões parciais inferiores aos limites referidos podem ser encontradas facilmente em locais com altitudes superiores a 2.000 metros ou em aeronaves comerciais em voo, o que mostra a dificuldade de estabelecer um limite, principalmente com efeito legal.

c. Substâncias que exercem ação tóxica em muito longo prazo

Para algumas poucas substâncias de ação a muito longo prazo, ou seja, após muitos anos de exposição acima do limite, como quinonas que produzem alteração da pigmentação do olho, pode-se

permitir uma exposição de várias semanas acima do TLV de 0,1 ppm até certo limite (Valor Máximo) e correspondente período abaixo. A avaliação da exposição deve ser feita levando-se em conta o longo período de exposição acima do LEO para aparecimento do efeito.

d. Genotóxicos

Para substâncias mutagênicas, teratogênicas e carcinogênicas, do ponto de vista epidemiológico, há diversas evidências da possibilidade de existência de um limite para a exposição a certas doses bem controladas, sendo possível admitir-se um LEO para essas substâncias, conforme se observa na lista dos TLVs, como por exemplo: asbesto, acrilonitrila, 4-aminodifenil, arsênico e benzeno entre diversos outros agentes químicos carcinogênicos.

Por outro lado é sempre adequada a orientação de que a exposição seja reduzida a um mínimo praticável, como é o caso de algumas substâncias carcinogênicas ou potencialmente carcinogênicas para o homem que a ACGIH lista, sem, contudo estabelecer um valor limite para exposição, por exemplo: benzidina, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno e cloreto de dimetilcarbamila. Para estas substâncias não se tem evidência científica que recomende um LEO.

e. Alergênicos

No caso de substâncias alergênicas o LEO deve ser considerado individualmente para cada trabalhador. É possível que se observem sinais ou sintomas de alérgia logo no primeiro dia de trabalho, ou depois de meses ou mesmo até anos de exposição. Assim todos os trabalhadores expostos a substâncias reconhecidamente alergênicas devem merecer atenção especial da Medicina do Trabalho para diagnosticar eventuais aparecimentos de efeitos.

Os trabalhadores com histórias alérgicas devem igualmente receber atenção especial da Medicina do Trabalho e, se aprovados para uma determinada função com possíveis agentes alergênicos ou sensibilizantes, devem também receber atenção especial da Higiene Ocupacional e na impossibilidade de eliminar a exposição, esta deve ser reduzida ao mínimo possível.

f. Substâncias produtoras de febre dos fumos metálicos

Algumas substâncias produzem um estado febril característico, a febre dos fumos metálicos, sendo o zinco o mais comum, ou a febre dos vapores de polímeros (por exemplo teflon). O quadro febril aparece geralmente após a primeira jornada de trabalho e frequentemente é confundido com estado gripal. Após alguns dias de exposição o efeito desaparece, provavelmente por uma ativação da resistência por mecanismo imunológico (ALGRANTI et. al 2003). Neste caso a equipe de Saúde Ocupacional deve ajustar a exposição individualmente, inclusive no retorno de férias ou ausência da exposição.

5.7. Nível de ação

Para a prática da Saúde do Trabalhador, há necessidade da definição de *exposição ocupacional* a um agente químico. Em situação ideal é possível dizer que não há exposição quando a concentração ambiental for praticamente igual a zero, ou ainda quando o agente não está presente. Por outro lado, porém, se o agente estiver presente, mas em baixas concentrações, qual o nível que estas concentrações devem atingir, para que se considere o trabalhador exposto e se lhe dediquem todas as atenções previstas em um programa de Saúde Ocupacional, incluindo-o na monitorização ambiental e biológica e vigilância da saúde?

Como regra geral, admite-se que a exposição (significativa) se inicia a partir da metade do Limite de Exposição, este valor é denominado Nível de Ação (NA), foi inicialmente definido pela OSHA como:

> *Nível de ação é o ponto a partir do qual as atividades do padrão proposto devem ser iniciadas, como medidas periódicas da exposição através da monitorização ambiental e biológica e controle médico* (LIEDEL, 1977).

Ao se realizar uma medida de exposição e se encontra um valor da concentração de um agente

químico no ar superior ao Nível de Ação, o trabalhador em questão deve ser considerado exposto. Em virtude da variabilidade das concentrações e se fossem medidas ao longo de todo o tempo, há possibilidade de ao menos, 5% de todos os valores reais estarem acima do próprio limite de exposição em um dia não avaliado.

NA = 0,50 LEO

De uma forma geral, este nível é tido por convenção, como 50% do limite de exposição, sendo aceito inclusive pela NR-9.

Em trabalhos mais aprofundados, a partir de avaliações ambientais completas com grande número de amostras, o NA pode ser calculado experimentalmente e é função do desvio padrão geométrico das concentrações, conforme descrito por LIEDEL (1977). No caso da exposição a fumos metálicos em operações de solda MIG, por exemplo, o NA calculado foi de 0,15 do LEO (COLACIOPPO 1985).

5.8. Limites de exposição segundo a ACGIH

A principal fonte de limites de exposição ocupacional, reconhecida mundialmente é a ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* que é uma Associação de profissionais dos Estados Unidos da América, que congrega basicamente higienistas Industriais de entidades governamentais e dentre suas várias atividades voltadas à Higiene Ocupacional, possui um Comitê com a atribuição de editar anualmente os TLV´s, através de estudo detalhado de todas as informações científicas disponíveis adotando-se a seguinte definição (ACGIH 2020):

> *Os TLV´s referem-se a concentrações de substâncias dispersas na atmosfera e representam condições sob as quais supõe-se que quase todos os trabalhadores podem estar expostos dia após dia sem efeitos adversos à saúde.*

Algumas críticas podem ser feitas ao processo de estabelecimento destes valores, como a presença

de membros no comitê que os elabora ligados a empresas ou indústrias químicas, “usuárias” do TLV´s ou produtoras de agentes químicos, situação que foi resolvida há vários anos e conta hoje apenas com pesquisadores, mestres e doutores. Outra crítica é aos próprios valores de TLV´s, recorda-se a existência no passado de processos judiciais em que a foi acusada de recomendar um padrão que não teria protegido efetivamente alguns trabalhadores. Observa-se, todavia, que na definição dos TLV´s está claro o caráter de orientação e não a garantia de proteção total a todos os expostos durante todo o tempo.

Os TLV´s são a melhor fonte atual para padrões de exposição ocupacional a riscos químicos e físicos, pois reúne todas as informações disponíveis na literatura científica mundial, são revisados anualmente e são pouco influenciados por pressão político-social, bastante presente na legislação.

No Brasil os TLV´s da ACGIH são indicados pela Portaria do Ministério do Trabalho 3214 em sua Norma Regulamentadora 9, como o padrão a ser seguido quando não existir um Limite de Tolerância para uma determinada substância na lista dos preconizados na Norma Regulamentadora 15, da mesma portaria, que tem seus valores de Limite de Tolerância baseados nos TLV´s de 1977.

A ABHO – Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais realiza anualmente a tradução e a edição em português do livreto dos TLV´s.

Pela definição, os TLV´s referem-se aos *agentes químicos dispersos na atmosfera* e não a outras formas como sólidos ou líquidos, portanto considera-se apenas a via respiratória como via de penetração, devendo-se também considerar a possibilidade de penetração por outras vias (na tabela dos TLV´s há a indicação de absorção pela pele, quando significativa). Observa-se que em 2019 foi introduzida uma nova categoria de TLV, o Limite de Exposição para Superfície (TLV-SL) que será considerado mais adiante.

A definição dos TLV´s refere-se ainda *às condições sob as quais supõe-se*, ou seja, não há nenhuma garantia explicita ou implícita de uma proteção total, o que está de acordo com a evolução

da Higiene Ocupacional que leva a uma atualização constante, com inúmeros exemplos de modificações nos padrões ao longo dos anos, na grande maioria dos casos com redução dos valores.

Ainda pela sua definição, os TLV´s referem-se a *quase* todos os trabalhadores, indicando que não há possibilidade de se proteger a todos, pois os hipersusceptíveis e resistentes podem não estar adequadamente protegidos e observa-se que *trabalhador*, neste contexto, significa um indivíduo adulto e em condições de saúde que lhe permitam trabalhar, estando por consequência, excluídas outras parcelas da população geral, como crianças, doentes, idosos e mulheres grávidas por exemplo.

Os TLV´s estão relacionados à *exposição* dos trabalhadores, deixando claro que a concentração no ar, isoladamente, não tem significado se não representar a exposição do trabalhador que ocorre ao longo do tempo, dia após dia, 8 horas por dia e 40 horas por semana, durante toda sua vida laborativa.

Os TLV´s não são linhas divisórias entre a segurança e o perigo e não devem ser utilizados por pessoas não treinadas em Higiene Ocupacional, tendo sido desenvolvidos para a prática desta ciência como guia de orientação e não como lei, embora seja bastante desejável, por parte dos especialistas da área jurídica, que se tenha um número que possa ser comparado com outro e pela diferença se conclua se há ou não violação da lei, ou, se deve ou não ser concedido um dado benefício.

Mesmo obedecendo ao padrão, ou seja, mantendo as exposições sempre abaixo do TLV e nunca o ultrapassando, pode haver uma pequena porcentagem dos trabalhadores apresentando algum desconforto e uma porcentagem menor ainda poderá ter uma condição preexistente agravada ou mesmo desenvolver uma doença ocupacional.

Os TLV´s não se aplicam para avaliação do ar de uma comunidade, pois nesta estão presentes todos os segmentos da população humana, além de ter-se uma exposição contínua de 24 horas por

dia. Os TLV´s são estabelecidos para trabalhadores apenas e como já mencionado, para uma exposição de 8 horas por dia e 40 horas semanais.

Não devem ser utilizados para estimar a toxicidade de uma dada substância, pois os TLV´s são estabelecidos como consequência desta e outras propriedades toxicológicas associadas a dados epidemiológicos e de Higiene Ocupacional e não o inverso.

Os TLV´s não devem ser utilizados, como prova de existência, ou não, de uma doença ocupacional, pois a concentração de um agente químico acima do TLV, em um dado local de trabalho, ou atividade, não significa necessariamente que o trabalhador esteja exposto ou mesmo doente, ou que sinais ou sintomas eventualmente presentes sejam derivados da exposição ao agente químico.

Envenenamento ou intoxicação ocupacional é o conjunto de sinais e sintomas que revelam o desequilíbrio orgânico produzido pelo agente químico em questão.

Pelo conceito de envenenamento citado, uma concentração elevada no local de trabalho ou atividade, significa apenas que há um forte indício de que a exposição ao agente químico pode estar provocando algum efeito, contudo. Somente o pessoal da área médica poderá estabelecer o diagnóstico, observando o *conjunto de sinais e sintomas* apresentados pelo paciente (trabalhador), sendo a concentração no ar apenas um sinal.

A ACGIH adverte que os TLV´s não devem ser adotados por países cujas condições diferem daquelas existentes nos Estados Unidos da América. Esta é uma afirmação que bem reflete a cautela com que foram elaborados. Observa-se, contudo, que se fossem estabelecidos aqui no Brasil, por um comitê brasileiro e semelhante ao da ACGIH, as fontes de informações e dados científicos que serviriam de base para os valores brasileiros seriam as mesmas, pois são raros os trabalhos científicos brasileiros ligados a este tema e as conclusões de pouco divergiriam. Restando algumas possíveis e eventuais adaptações às condições brasileiras.

Na tabela dos TLV´s, há a indicação do limite em ppm ou mg/m^3 relativos à *média ponderada*

pelo tempo – time weighted average (TLV-TWA) para cerca de 640 substâncias. Apresenta a indicação da possível *absorção cutânea* para 105 substâncias mostrando que a proteção apenas da via respiratória poderá não ser eficaz. Para outras 36 substâncias apresenta a indicação *teto* (ceiling) para as quais o limite não deve ser ultrapassado em momento algum da jornada de trabalho. A mesma tabela indica ainda as substâncias potencialmente carcinogênicas e as reconhecidamente carcinogênicas para homens e animais, havendo indicação de TLV para algumas delas, como já comentado.

5.8.1. Limite para exposição de Curto Período - TLV-STEL

Para a situação particular de alguns momentos de elevada concentração e restante da jornada com exposição reduzida, pode-se obter uma média ponderada pelo tempo abaixo do TLV-TWA, originando uma falsa segurança, no passado utilizava-se um fator de desvio para calcular o quanto poder-se-ia ultrapassar o TLV,

Tabela 5.2. Fator de desvio para cálculo do Valor Máximo em função do TLV utilizado até a década de 1980.

TLV em ppm ou mg/m3	Fator de Desvio
0 a 1	3
1 a 10	2
10 a 100	1,5
100 a 1000	1,25

A ACGIH questionou bastante a tabela de desvios, (esta tabela ainda permanece na Legislação Brasileira), buscando inclusive suas origens e principalmente as bases toxicológicas para tal, sem que se conseguisse uma explicação adequada, pois substâncias com menor TLV e portanto de maior toxicidade têm o maior fator de desvio, o que do ponto de vista toxicológico não está correto.

Outro fato é que havia evidências de casos particulares em que diferentes níveis para exposição de curto período poderiam, ou deveriam, ser seguidos como padrão e não aqueles determinados pela

utilização de um fator de desvio genérico.

Assim, após estudos deste assunto como alternativa, fator de desvio genérico foi abolido e introduzido o Limite de Exposição de Curto Período – TLV-STEL (Short Term Exposure Limit):

> *O TLV-STEL refere-se às concentrações a que os trabalhadores podem estar expostos continuamente por um curto período sem sofrer irritação, lesão tissular crônica ou irreversível e narcose a ponto de comprometer sua segurança.*

O TLV-STEL não substitui o TLV-TWA, sendo um complemento da média ponderada pelo tempo, que permite uma avaliação das flutuações.

Mas, o que é um curto período?

O TLV-STEL não deve ser ultrapassado em momento algum da jornada de trabalho, podendo ser apenas atingido por 15 minutos, 4 vezes ao dia e com intervalos mínimos de uma hora.

Agora temos um parâmetro mais de acordo com a toxicologia, pois como sabemos a dose é proporcional à concentração e ao tempo, assim limitando a exposição a 15 minutos e no mínimo 1 hora de intervalo, damos tempo ao organismo para realizar os já referidos mecanismos de detoxicação, reduzindo assim a carga corpórea, ou a quantidade total do agentes tóxico presente no organismo em um determinado tempo. Por outro lado, atende também ao fato de que diferentes substâncias podem ter diferentes TLV-STEL.

	Faixa de concentração	SIGNIFICADO
STEL =>	Maior que o STEL	NÃO DEVE SER ADENTRADA, podendo apenas ser atingida por 15 minutos, 4 vezes ao dia e com intervalos mínimos de uma hora.
TWA =>	Acima do TWA até o STEL	PODE SER ADENTRADA DIVERSAS VEZES, desde que não ultrapasse o valor do TLV-STEL e que haja correspondentes períodos na faixa abaixo, garantindo que a Média (MPT) seja inferior ao TLV-TWA.
NA =>	0,50 até o TWA	NÍVEL DE AÇÃO, considera-se o trabalhador exposto, se a média ou alguma das medidas estiver nesta faixa.
"ZERO"=>	Menor que 0,50 do TWA	EXPOSIÇÃO ACEITÁVEL quando todas as medidas estiverem nesta faixa. ("não exposição")

TEMPO →

Figura 5.7. Faixas de concentração e significado para substâncias que possuem um valor definido de TLV-STEL

Na figura 5.7 temos as faixas e significado em relação ao NA, TLV-TWA e TLV-STEL e como exemplo na figura 5.8. a seguir temos uma curva de concentrações encontradas em uma atividade hipotética e os máximos recomendados de acordo com os conceitos do TLV-STEL:

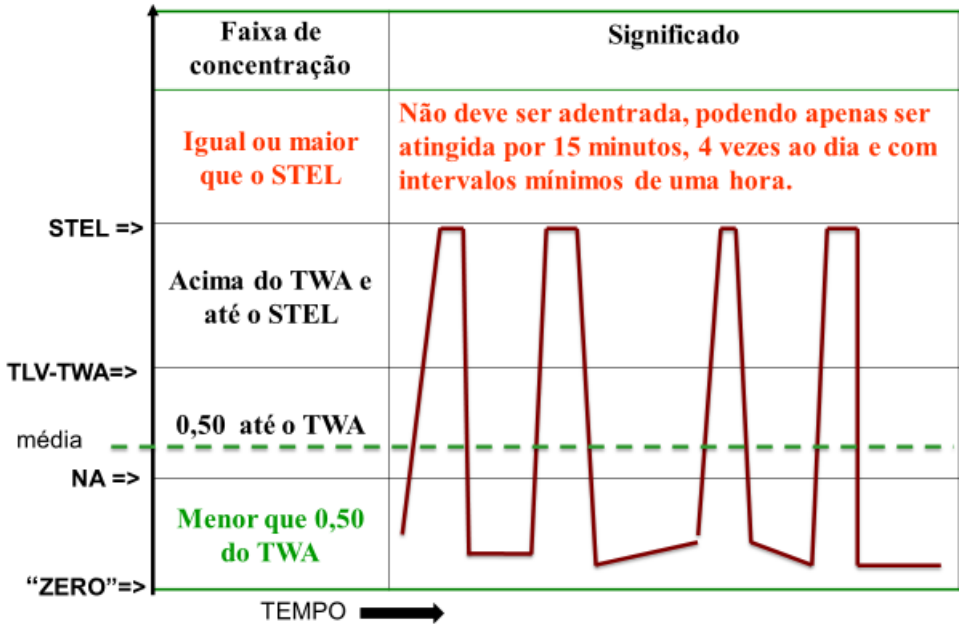


Figura 5.8. Curva hipotética de máximo recomendado para um agente tóxico com TLV-STEL definido.

Estes valores e períodos devem ser considerados como guias para que a carga corpórea do organismo do trabalhador permaneça em um nível aceitável. Sendo de proposição relativamente recente são sujeitos a alterações, como se tem observado anualmente. Infelizmente não há dados toxicológicos suficientes para estabelecer um TLV-STEL adequado e confiável para um grande número de substâncias.

Porquanto não haja base científica sólida, é aconselhável manter a exposição dentro de determinados limites de flutuação, além de manter a média ponderada pelo tempo abaixo do TLV-TWA. Considerando os estudos clássicos publicados pelo NIOSH (LIEDEL, 1977) e analisando a flutuações normalmente encontradas em exposições ocupacionais, considerando ainda que 5% dos valores das exposições com desvio padrão geométrico de 2,0 excedem 3,13 vezes a média geométrica que representa o valor médio da exposição do grupo, o comitê que estabelece os TLV´s, conclui que a exposição não está sob controle adequado se houver flutuação superior a esta. Simplificando estes conceitos a ACGIH afirma:

Para substâncias que não possuem um TLV-STEL definido, nas exposição de curta duração os níveis podem ser superiores a 3 (três) o TLV-TWA, por não mais de 15 minutos a cada vez e por no máximo 4 vezes em um dia de trabalho, com espaçamento de uma hora entre cada uma delas, sob nenhuma circunstância a exposição pode exceder 5 (cinco) vezes o valor TLV-TWA quando medido como MPT para 15 minutos. Além disto o TLV-TWA não pode ser excedido durante a jornada de 8 horas.

Os significados destas faixas de concentração são resumidos e apresentados na figura 5.9.

	Faixa de concentração	SIGNIFICADO
5 X =>	+ que 5 X TWA	NÃO DEVE SER ADENTRADA em nenhuma hipótese.
3 X =>	3 a 5 X o TWA	PODE SER ATINGIDA E ADENTRADA por 15 minutos, 4 vezes ao dia e com intervalos de uma hora.
TWA =>	1 a 3 X o TWA	PODE SER ATINGIDA E ADENTRADA diversas vezes, desde que haja correspondentes períodos na faixa abaixo, garantindo uma Média (M PT) inferior ao TLV-TWA.
0, 50 =>	0,50 até o TWA	NÍVEL DE AÇÃO, considera-se o trabalhador exposto, se a média ou alguma das medidas estiver nesta faixa.
"ZERO" =>	0 a 0,49 do TWA	EXPOSIÇÃO ACEITÁVEL quando todas as medidas estiverem nesta faixa. ("não exposição")

TEMPO →

Figura 5.9. Faixas de concentração e significado para substâncias que não possuem um valor definido de TLV-STEL

Na figura 5.9 temos as faixas e significado em relação à fração e múltiplos do TLV-TWA para substâncias que não possuem uma TLV-STEL definido e como exemplo na figura 5.10 a seguir temos uma curva de concentrações encontradas em uma atividade hipotética e os máximos recomendados pela ACGIH:

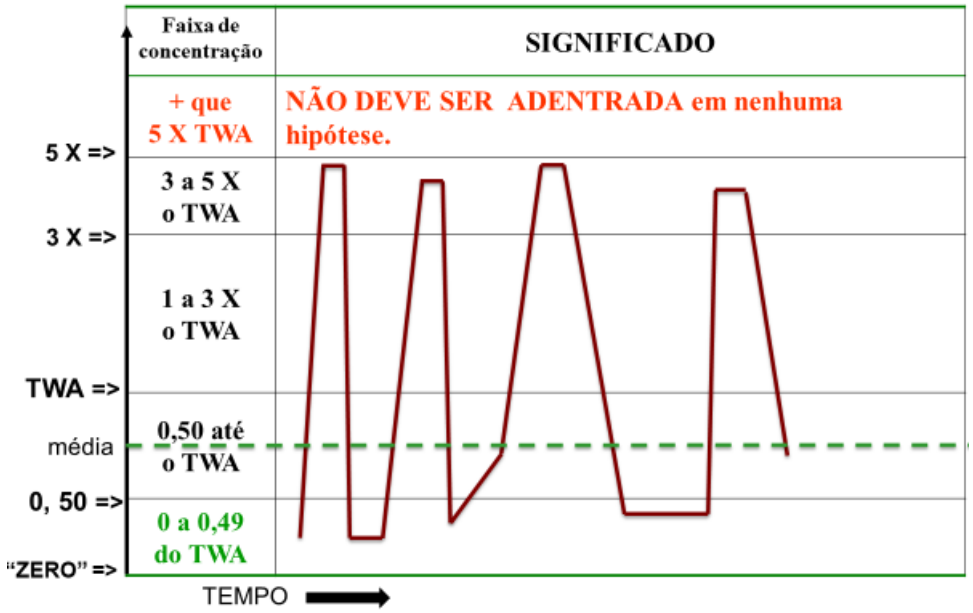


Figura 5.10. Curva hipotética de máximo recomendado para um agente tóxico sem TLV-STEL definido.

Esta orientação é uma forma bastante simplificada da distribuição log-normal das exposições, mas é considerada conveniente para a prática da Higiene Ocupacional. Se a exposição for mantida dentro dos limites recomendados, o desvio padrão geométrico - DPG será próximo de 2,0 e o objetivo final da recomendação será atingido.

Em resumo, quando houver uma TLV-STEL este deve ser seguido, na sua ausência deve-se utilizar a regra geral indicada. Contudo a ACGIH considera possível que para uma substância em particular se tenha condições diferenciadas, por exemplo, período diferente de 15 minutos, mas desde que haja informação científica e toxicológica adequada.

É conveniente observar que anteriormente a 2016 os desvios para substâncias sem TLV-STEL era calculado de forma diferente.

5.8.2. Limite para superfícies - TLV-SL

A partir de 2019 a ACGIH recomenda um novo limite, o TLV-SL, *Threshold Limit Values – Surface Limit,* que é a concentração sobre a superfície de um equipamento ou instalação de um local de trabalho que não resultará em efeito adverso após contato direto ou indireto.

Este é uma valor que complementa os outros TLV´s, (TWA, STEL e C), especialmente para as substâncias sensibilizantes (DSEN e RSEN / pele e aparelho respiratório) provendo um critério quantitativo de aceitabilidade de material depositado em superfícies e quantificados como mg/ cm^2 Usualmente para efeitos sistêmicos e de acordo com a notação PELE o TLV-SL corresponde à dose permitida pelo TLV-TWA por um período de 8 horas, com ressalva para os casos específicos em que haja dados para concentração em superfícies. Ainda são poucos os estudos deste assunto e os TLV-SL podem ser originados por pesquisas em animais e os resultados extrapolados para o homem.

Observa-se ainda que em alguns casos de sensibilidade respiratória após contato cutâneo, o julgamento profissional é importante para controle da exposição e embora seja um avanço a criação desta categoria de limite, ainda não há nenhum TLV-SL adotado.

5.8.3. Apêndices

Para melhor entendimento a aplicação dos TLV, a ACGIH apresenta em anexos 8 apêndices que basicamente orientam e respondem às questões mais frequentemente formuladas sendo bastante recomendada a sua leitura:

A – Classificação dos agentes químicos segundo a carcinogenicidade.
B – Particulados não classificados de outra maneira.
C – Critério para amostragem de particulados em suspensão com seleção de tamanho.
D – Espécies de árvores comercialmente importantes (USA) suspeitas de induzir sensibilização.
E – TLV´s para misturas e efeito aditivo.
F – Conteúdo mínimo de oxigênio no ar.
H – Método de cálculo recíproco para certas misturas de vapores solventes hidrocarbonetos refinados.

Pela sua aplicabilidade prática merece destaque o apêndice E, como segue.

Apêndice E - Limites para exposição simultânea a substâncias com mesmo efeito.

Um trabalhador frequentemente está exposto a mais de um agente num mesmo período e um dado efeito deletério à saúde pode estar sendo provocado por duas ou mais substâncias presentes simultaneamente, havendo possibilidade de diversas interações como foi visto anteriormente, inclusive mediado por outra via de penetração que não a respiratória. Assim, o higienista deve conhecer os dados toxicológicos das substâncias envolvidas nos processos ou atividades e controlar adequadamente a exposição do trabalhador, o que pode ser feito através de dois passos:

a. busca de informações toxicológicas de todas as substâncias envolvidas em uma dada exposição ocupacional, identificando efeitos deletérios semelhantes que possam ser aditivos, como por exemplo, vapores de solventes com ação sobre o sistema nervoso central ou irritação das vias respiratórias, ou ainda poeiras e fumos com ação sobre o pulmão e a função pulmonar e

b. após a medição das exposições, realiza-se uma somatória das concentrações (C), ou suas médias, divididas pelos seus respectivos limites de exposição (L) conforme equação a seguir:

$$\text{Somatória} = \frac{C1}{L1} + \frac{C2}{L2} + \frac{Cn}{Ln}$$

Se esta somatória for maior que 0,50 o NA para a mistura estará ultrapassado e se superior a 1,00, o LEO estará ultrapassado. Percebe-se que por esta forma de interpretação dos resultados, considera-se a fração de cada limite que é "utilizado" respectivamente por cada substância, como se pode observar no exemplo da tabela 5.3.

A relação entre a exposição medida e seu respectivo limite pode ser considerada como *Índice de Exposição* – IE:

$$IE = \frac{C}{L}$$

Cada metal em particular produz diferentes efeitos sistêmicos no organismo humano, porém os óxidos metálicos provocam efeitos pulmonares aditivos antes de sua absorção pela corrente sanguínea. Assim os resultados do exemplo da tabela a seguir concordam com os efeitos observados na população estudada que apresentou efeitos pulmonares mais significantes que os sistêmicos.

Tabela 5.3. Exposição a fumos de alguns metais em operações de solda MIG e respectivos Índices de Exposição (IE) individuais e somatório.

Metal	IE
Cádmio	0,008
Chumbo	0,062
Cobre	0,246
Cromo	0,006
Ferro	0,525
Manganês	0,347
Níquel	0,045
Zinco	0,004
Somatório	**1,243**

Deve ser lembrado ainda que uma única substância pode produzir diferentes efeitos, assim a somatória deve ser feita conhecendo-se os efeitos para os quais a substância teve seu limite estabelecido e ainda contra quais destes efeitos se quer proteger o trabalhador. Na tabela dos TLV´s há uma coluna específica (Base do TLV) que indica o efeito para o qual o TLV foi estabelecido o que facilita esta interpretação.

5.9. Algumas outras fontes de Limites de Exposição Ocupacional

Embora os TLV´s da ACGIH sejam os mais difundidos e aceitos mundialmente, outras fontes podem ainda ser consultadas principalmente em casos específicos, entre diversas possibilidades são citadas algumas:

5.9.1. PEL´s / OSHA

Níveis de Exposição Permitidos (PEL – *Permissible Exposure Levels*) são limites que tem força de lei nos Estados Unidos e são elaborados pela OSHA – Occupational Safety and Health Administration que é um órgão fiscalizador do Ministério do Trabalho daquele país. Podem ser facilmente acessados por internet, embora desatualizada, a OSHA possui uma legislação bastante abrangente e incluiu instruções de coleta, análise e interpretação de resultados que podem ser úteis em diversos casos.

Como um órgão do governo depende de um processo bastante burocrático e demorado e passando pelo Congresso, o que leva a uma dificuldade na atualização, contando com poucas atualizações desde sua criação em 1968.

5.9.2. WEELG´s / AIHA /

Guias de Exposição Ambiental em Locais de trabalho. (WEELG *Workplace Environmental Exposure Levels Guides*). São recomendações feitas pela AIHA - *American Industrial Hygiene Association* - USA, de Limites para substâncias que usualmente ainda não constam de outras listas, mas que possuem alguma indicação na literatura técnica e referem-se às exposições usuais e continuas. Podem ser facilmente acessados por internet.

5.9.3. AIHA / ERPG´s

Guias para Planejamento de Resposta para Emergências. (ERPG´s = *Emergency Response Planning Guidelines*), são recomendações de níveis ambientais e outras atividades feitas pela AIHA -

American Industrial Hygiene Association - USA, que podem ser utilizadas no planejamento de medidas de controle para situações de emergência. É semelhante do IDLH do NIOSH, porém mais completo com recomendações de intervenção para controle. Podem ser acessados via internet.

5.9.4. MAK´s / DFG

Concentrações Máximas em Locais de Trabalho. (MAK´s – *Maximale Arbeitsplatz Konzentration*), são estabelecidos pelo *Deutsche Forschungsgemeinschaft* da DFG – República Federal da Alemanha. Legislação bem elaborada e possuindo algumas substâncias não encontradas em outras fontes.

5.9.5. REL´s / NIOSH

Níveis de Exposição Recomendados. (REL´s - *Recomended Exposure Levels*) Padrões recomendados pelo NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health* do Ministério da Saúde dos Estados Unidos, embora seja uma entidade ligada a um Ministério não tem força de lei nos USA, sendo um órgão semelhante à nossa Fundacentro.

O NIOSH publica não somente os REL´s que são obras bastante completas, mas também diversas outras publicações de interesse para a Higiene e Toxicologia Ocupacional destacando-se entre outras o *Manual de Métodos Analíticos* que são tidos como referência a nível mundial, da grande maioria das coletas e análises de agentes químicos em locais de trabalho.

5.9.6. IDLH´s / NIOSH

Concentrações no Ar Imediatamente Perigosas à vida ou à Saúde. (IDLH´s *Immideately Dangerous to Life or Health Air Concentration*), Padrões recomendados pelo NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health* do Ministério da Saúde dos Estados Unidos, embora seja uma entidade ligada a um Ministério não tem força de lei nos USA, sendo um órgão semelhante à nossa Fundacentro.

Para substâncias de efeito em curto prazo e com alto risco e toxicidade pode-se contar com os IDLH´s são baseados em evidências científicas e práticas, referem-se à:

> *Concentração máxima que, em uma situação de emergência, um ser humano pode resistir e ter condições de abandonar o local sem equipamentos especiais e sem sofrer danos severos à saúde.*

O IDLH é utilizado basicamente em situações de emergência e para substâncias que podem produzir efeito em curto prazo e graves, como os irritantes primários ou corrosivos, cloro, dióxido de enxofre e outros. O IDLH é superior ao LEO uma vez que prevê uma exposição curta e admite eventualmente algum efeito de menor importância. O posicionamento do IDLH, em relação à magnitude das concentrações de outros indicadores, pode ser observado na tabela 5.4, no exemplo do cloro como segue:

Tabela 5.4 - Concentração de cloro no ar e significado em relação à Saúde do Trabalhador

Concentração no ar em ppm	**Significado ou Efeito**	**Fonte e ano que foi feita a recomendação**
1000	Fatal em poucas inspirações.	ILO 1989
40 a 60	Sérias lesões em 30 a 60 minutos de exposição	ILO 1989
100	Pode ser fatal	ILO 1989
30	Tosse intensa	ILO 1989
25	**IDLH**	**NIOSH 1999**
6	Irritação de garganta	ILO 1989
0,5 a 1,5	Limiar do Olfativo	NAUS 1975
0,8	LT-MPT	NR-15 1978
0,4	Nível de Ação	NR-15 / NR-9
0,4	TLV-STEL	ACGIH 2017
0,1	TLV-TWA	ACGIH 2017
0,05	Nível de Ação	ACGIH 2017

Nota-se que embora o cloro seja um agente químico de elevada toxicidade e risco, atualmente não tem seu limite de exposição definido pela ACGIH como teto, devendo, pois a média obedecer ao TLV de 0,1 ppm, embora o efeito determinante do limite seja irritação do trato respiratório o limite não está baseado em efeitos agudos. Por outro lado, os valores que compõem a média devem obedecer a um TLV-STEL de 0,4 ppm o que limita a eventual irritação citada.

O IDLH por sua vez está situado em níveis mais elevados de concentração, que originam irritações mais intensas, mas ainda suportáveis, sendo recomendado, por exemplo, como referencial para o alarme de abandono de área em locais de descarga ou manuseio de cilindros de cloro líquido que devem dispor de equipamentos para medição instantânea e contínua. Muitas vezes, considerando as condições do local e a ventilação, entre outros intervenientes, pode-se utilizar um fator de segurança ajustando a concentração para abandono de área em uma dada fração do IDLH.

Por outro lado, deve ser observado que há dificuldade prática do ponto de vista da higiene ocupacional, na medição de concentrações de cloro em longos períodos, com coletas de longa duração, sendo mais comuns e comercialmente disponíveis os equipamentos de leitura direta e instantânea. Estes dados de avaliação de curto período devem ser adequadamente interpretados à luz dos limites disponíveis.

Observa-se ainda que na Tabela 5.4 os anos indicados nas fontes são os anos em que foram feitas as recomendações, revelando que muitos permanecem inalterados até o presente pelo fato de serem definitivos e não necessitarem de maiores estudos, ou ainda, justamente pela falta de maiores estudos permanecem desatualizados.

5.9.7. OEB / NIOSH

Agrupamento das Exposições Ocupacionais. *(*OEB - *Occupational Exposure Banding)* Procedimentos recomendados pelo NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health* do Ministério da Saúde dos Estados Unidos, para situações em que não se dispõem de LEO´s é uma forma rápida e acurada de agrupar agentes químicos que não possuem um limite de exposição

ocupacional definido, em categorias ou faixas de concentração para determinação provisória de um limite e utilizando-se de todas as informações técnicas e científicas disponíveis em relação aos potenciais riscos à saúde.

Um OEB não é estabelecido para substituir um LEO, mas serve com um ponto de início para orientar as decisões da administração de uma empresa.

Basicamente o processo de estabelecimento de um OEB consta da obtenção de maior conjunto de informações possíveis e a seguir classificar segundo o sistema globalmente harmonizado (GHS - *Globally Harmonized System*) conforme o *H-Code* e finalmente colocar as substâncias em uma das 5 categorias.

Tabela 5.5 – Proposta de agrupamento das exposições segundo o NIOSH

OEB	Concentração alvo para particulados (mg/m^3)	Concentração alvo para gases e vapores (ppm)
A	>10 mg/m^3	>100 ppm
B	>1 to 10 mg/m^3	>10 to 100 ppm
C	>0.1 to 1 mg/m^3	>1 to10 ppm
D	>0.01 to 0.1 mg/m^3	>0.1 to 1 ppm
E	≤0.01 mg/m^3	≤0.1 ppm

O procedimento está bem detalhado no documento disponível via internet no sitio:
DOI: https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2019132

5.9.8. WEL´s / HSE-UK

Limites de Exposição para Locais de Trabalho – (WEL´s, HSE, UK – *Workplace Exposure Limits, Health and Safety Executive , United Kingdon)* Edição de 2020, legislação do Reino Unido (Grã Bretanha), bem completa e abrangente com exemplos práticos detalhados e aplicação dos limites. É bastante recomendada a sua consulta. www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh.pdf

5.10. Norma regulamentadora 15 - NR-15 / anexos 11, 12 e 13 / LT´s

Anteriormente a 1978 muito pouco se tinha de legislação relativa à avaliação da exposição ocupacional. Esta avaliação podia ser realizada com padrões escolhidos pelo próprio avaliador e através de critérios, até subjetivos em alguns casos. Desde aquela época, e ainda nos dias atuais, verifica-se uma nítida preocupação de se utilizar à legislação brasileira em avaliações da exposição ocupacional com a finalidade de instruir processos judiciais (caracterização da insalubridade, aposentadoria especial ou indenizações) e, não raramente, feita de forma simples e até simplista, sem a preocupação clara de avaliar a real exposição do trabalhador envolvido.

Pela primeira vez na história da Saúde do Trabalhador no Brasil, um grande passo foi dado em 1978, quando foi introduzido o Limite de Tolerância (LT) na Legislação Brasileira. A Portaria Ministerial 3214 de 8-6-78 (BRASIL 1978) instituiu diversas Normas Regulamentadoras (NR´s) das atividades de Higiene Segurança e Medicina do Trabalho. Entre as diversas NR´s situa-se a de número 15 que trata das atividades insalubres, e nos seus anexos 11, 12, 13 e 13A trata da avaliação da exposição a agentes químicos.

Esta norma foi elaborada de forma simples e adequada ao Brasil da época, que praticamente nada fazia em avaliações ambientais, com poucas exceções e ainda hoje, existem empresas ou entidades que não têm condições de cumprir a legislação por mais simples que seja.

Mais de tres décadas se passaram e é preciso aperfeiçoar e adequar a legislação, mas para isto deve-se ponderar entre o idealmente desejável, o tecnicamente necessário, o que é praticamente exequível e finalmente o que pode ou deve ser legalmente exigido

Todas NR´s estão passando por um processo de atualização e aguardamos para breve a finalização dos trabalhos, esperando-se poder dispor de uma legislação atual e adequada à população trabalhadora brasileira, enquanto isto o que temos é o que se segue.

No item 15.1 da NR-15 (Brasil 1978) encontra-se a definição de Limites de Tolerância:

> ***Entende-se por Limite de Tolerância, para os fins desta norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante sua vida laboral.***

Pelo Anexo 11 da citada norma consideram-se insalubres as atividades que se desenvolvem com exposição acima dos limites de tolerância às substâncias constantes do Quadro 1.

Ao comparar os dois itens, fica claro que se esperam danos à saúde se houver exposição acima dos LT e por outro lado a “solução" é a caracterização da insalubridade, ou seja, o pagamento de um adicional no salário do trabalhador exposto, o que contraria frontalmente os princípios da Higiene Ocupacional.

O texto pode ser interpretado como que o dano à saúde, referido na definição de LT, está limitado a ocorrer durante a vida laboral, deixando sérias dúvidas quanto a danos a vida *extra-laboral*, como no caso de surdez profissional, ou diversos efeitos de agentes químicos que não impedem o trabalhador de trabalhar, mas causam sérios prejuízos ao convívio social, familiar ou afetivo. Alguns efeitos podem aparecer tardiamente e observados apenas na vida *pós-laboral* como no caso de doenças de efeitos em longo prazo, por exemplo, câncer ou pneumoconiose, em que os primeiros sinais ou sintomas podem aparecer após a aposentadoria.

Visto desta forma, os LT´s segundo a legislação brasileira, não consideram os possíveis efeitos à reprodução como a teratogênese e outros, que podem ser observados tanto pela exposição da mulher, como também do homem que trabalha.

O higienista deve controlar todos os agravos à saúde, provenientes do trabalho e preservar a saúde do trabalhador em todos os seus aspectos e não apenas os diretamente relacionados com a capacidade laboral. Deve considerar o trabalhador como ser humano, existindo dentro de uma comunidade e não apenas entre as "quatro paredes" de uma empresa.

O Anexo 11 da NR-15

No título do anexo 11 já se verifica a preocupação de se "atrelar" a insalubridade aos Limites de Tolerância, e este é transformado em ponto a partir do qual se caracteriza a insalubridade, dando uma falsa impressão de que a insalubridade pode ser facilmente caracterizada em qualquer local de trabalho. São raros, porém, os casos de exposição acima do Limite de Tolerância, nos quais pode-se caracterizar a insalubridade nos moldes deste anexo.

No item 7 do anexo 11 encontra-se a tabela para cálculo do Valor Máximo que é o valor que não pode ser ultrapassado, sob pena de caracterização de risco grave e iminente, exigindo-se controle imediato da exposição, inclusive paralisando as atividades se necessário.

Para substâncias de efeito em longo prazo, a ACGIH fornecia antigamente, uma orientação de quanto poderia flutuar a concentração, sendo calculado um Valor Máximo de flutuação, que não deveria ser ultrapassado em momento algum, mantendo-se ainda a média ponderada pelo tempo abaixo do TLV-TWA. Estes valores eram determinados multiplicando-se o TLV-TWA por um fator de desvio conforme tabela a seguir e foi incorporado ao anexo 11:

Tabela 5.6. Fator de desvio para cálculo do Valor Máximo em função do Limite de Tolerância

LT em ppm ou mg/m³	Fator de Desvio
0 a 1	3
1 a 10	2
10 a 100	1,5
100 a 1000	1,25
maior que 1000	1,12

Fonte: NR-15 anexo 11

Observa-se que estes fatores de desvio, estabelecidos empiricamente não possuem uma explicação técnica adequada, pois permitem maior flutuação nas exposições justamente para as substâncias de menor TLV-TWA e, portanto de maior toxicidade.

Por outro lado, verifica-se que tanto o limite em ppm ou em mg/m3 tem seu valor absoluto relacionado com um mesmo fator, o que origina dúvidas em sua aplicação, uma vez que para substâncias de maior peso molecular a diferença entre os valores em ppm e mg/m^3 é bastante significativa. Diversas substâncias podem ter um LT em ppm em uma faixa e em mg/m^3 em outra, daí a dúvida de qual unidade utilizar.

Do ponto de vista da insalubridade, para que esta seja caracterizada, deve-se ter um valor médio ponderado pelo tempo superior ao Limite de Tolerância, sem, contudo, que nenhum dos valores de concentração que serviram de cálculo para a média ultrapasse o Valor Máximo. Mesmo em ambientes com algum controle a flutuação é frequentemente superior a 3 vezes o valor médio, assim é muito difícil existir na prática uma exposição com flutuações não superiores ao fator de desvio.

Por exemplo, a insalubridade para uma substância cujo LT é 1 ppm, é caracterizada quando a média das concentrações encontradas for superior ao Limite (1 ppm), porém, nenhum valor que foi utilizado para compor a média seja superior ao Valor Máximo de 3 ppm ou de 2 ppm, dependendo se considerarmos o Limite de 1 na faixa de 0 a 1 ou na faixa de 1 a 10.

Além da dúvida de qual Valor Máximo utilizar, as duas faixas de variabilidade admitidas, embora diferentes, são muito estreitas e na prática seria o mesmo que admitir ser possível manter a exposição (concentração no ar respirável) em um valor quase constante durante todo o tempo, o que não é possível para a grande maioria das atividades profissionais. Por exemplo, uma atividade com exposições de DPG (desvio padrão geométrico) de 2,5, o que é relativamente comum, admite pelo menos 5 % das exposições medidas superiores a 3,13 vezes a média. (O fator de desvio Tabela 5.6, é no máximo 3).

No item 8 do mesmo anexo 11, define-se que será excedido o LT se a média das concentrações ultrapassar os valores dos Limites de Tolerância. Observa-se que a média aritmética só pode ser utilizada se as coletas forem em tempos iguais e por toda a jornada de trabalho, o que nem sempre se realiza. Havendo tempos diferentes, a média deve ser ponderada pelo tempo. Por outro lado se for feita amostragem em um grupo homogêneo em relação ao risco, a média que representaria a exposição do grupo é a média geométrica das médias individuais de cada elemento do grupo.

No item 10 define-se que os valores listados referem-se a jornadas semanais de até 48 horas semanais inclusive, não deixando possibilidade de se considerar exposições de 44 horas ou qualquer outro valor menor, ou mesmo trabalho em turnos. Do ponto de vista prático deve-se seguir a orientação da ACGIH para a grande maioria das substâncias sem qualquer correção, pois como se sabe o Limite de Exposição é um guia de orientação e nunca um número absoluto e divisório entre o risco e a segurança, principalmente na atual realidade brasileira.

Ressalta-se que segundo esta norma a insalubridade não é caracterizada apenas com o limite de tolerância, mas também por inspeção no local de trabalho, sem, contudo, haver uma definição clara do que deve ser feito ou verificado numa inspeção, nem definição do que é local ou posto de trabalho.

Há indicação de absorção cutânea para algumas substâncias e de uma estratégia de amostragem mínima de 10 amostras instantâneas, em cada posto de trabalho, com intervalo de 20 minutos, que

deve ser observada. Esta estratégia, porém, não é aplicável em muitas situações, como no caso de metais ou de material particulado, para os quais não se dispõe de métodos e técnicas para uma coleta instantânea. Por outro lado, coletar 10 amostras com intervalos de 20 minutos pode não significar nada em relação à exposição dos trabalhadores, se não houver uma correta distribuição das coletas ao longo do tempo e do espaço.

Está previsto que as 10 amostras devem ser coletadas em cada local de trabalho. Se local de trabalho significa o local em que se encontra cada um dos trabalhadores, em médias e grandes empresas, ter-se-á um número de amostras absurdamente elevado e tecnicamente desnecessário, sem considerar ainda a necessidade de repetição das medições da exposição ao longo do tempo. Em contrapartida se local de trabalho for considerado a empresa ou um edifício ou seção, podemos ter um número extremamente reduzido de amostras, que de pode não representar a exposição dos trabalhadores.

Para asfixiantes simples e para substâncias de limite teto, não há possibilidade de caracterizar insalubridade, apenas risco grave e iminente.

Neste anexo encontra-se ainda a indicação do *grau de insalubridade* a ser considerado, no caso de sua caracterização: mínimo, máximo ou médio. Aparentemente o critério utilizado para esta classificação foi a maior ou menor toxicidade, não levando em conta a periculosidade, ou seja: as condições de exposição e a capacidade intrínseca das substâncias de produzirem dano à saúde nestas mesmas condições. O maior problema, contudo, é a atribuição de grau de insalubridade para substâncias de limite de tolerância de VALOR TETO, o que leva a pensar que se pode caracterizar insalubridade para este tipo de substâncias, o que não é correto, pois o item 4 do mesmo anexo diz:

> "Na coluna - Valor Teto - estão assinalados os agentes químicos cujos LT não podem ser ultrapassados em momento algum da jornada de trabalho"

Portanto, não é possível caracterizar-se insalubridade para substâncias de LT - Valor Teto o que é tecnicamente correto, porém, por exemplo, no quadro correspondente, temos a indicação de Valor Teto para o LT do ácido clorídrico juntamente com a indicação de se for caracterizada (erroneamente) a insalubridade, esta deve ser de grau máximo.

O Anexo 12 da NR-15

Neste anexo encontra-se o limite para asbesto, mais recentemente atualizado e que descreve com detalhes o único método de análise para agentes químicos em nossas NR´s.

Encontra-se ainda referência ao método de coleta de material particulado para medição de sílica, o qual permite ainda a coleta com impinger, dando inclusive o limite em milhões de partículas por decímetro cúbico de atmosfera - mppdc . Esta forma de coleta e avaliação há muito foi abandonada por não refletir a real exposição do trabalhador, pois além da dificuldade da coleta com impinger, que é de vidro apresentando um risco de quebra relativamente grande, permite a fragmentação das partículas durante a coleta, associada à grande dificuldade em se fazer contagem de partículas por microscopia. Portanto, é um método que não deve ser utilizado.

A coleta como particulado inalável (total) também não deve ser utilizada, pois não reflete os atuais conhecimentosd do assunto. Assim, deve-se dar preferência a avaliação como particulado respirável, coleta com filtro precedido por ciclone seletor seguido de análise por difração de raios X conforme o próprio anexo também recomenda.

O Anexo 13 da NR-15

Este anexo como um todo foi uma tentativa de se abranger substâncias que não foram incluídas nas 138 dos anexos anteriores e cuja única finalidade seria a de caracterizar a insalubridade, o que se faz *apenas com a inspeção no local de trabalho*, não sendo dada nenhuma base para esta caracterização, além de serem nomeadas as substâncias e ou operações que ensejariam a insalubridade.

Este anexo não tem nenhum valor para a prática da Higiene Ocupacional, do ponto de vista técnico e científico. Se quiséssemos abranger todas as outras substâncias não listadas nos anexos anteriores para caracterizar a insalubridade, dever-se-ia ter aqui listadas milhares de substâncias de maior uso industrial dentre as milhões de substâncias disponíveis comercialmente e que potencialmente oferecem risco à saúde, além da definição do que deve ser feito em uma inspeção no local de trabalho.

Este anexo além de não contribuir em nada, ainda promove alguma confusão, por exemplo, ao deixar implícito que qualquer óleo mineral é carcinogênico, o que tem levado às diversas demandas legais e até mesmo a modificações de processos industriais, onde na realidade o óleo mineral utilizado não possui a alegada carcinogenicidade.

O Anexo 13A / Benzeno

Acrescentado posteriormente é dedicado somente ao benzeno e embora não indique um limite, indica um VRT – *Valor de Referência Tecnológico* e proibe a utilização na maioria dos processos industriais , permitindo apenas em alguns poucos locais específicos. Está bem redigido, inclusive apresenta a metodologia de coleta de amostras e interpretação e apresentação dos resultados.

5.11. Outros índices ou padrões em Higiene e Toxicologia Ocupacional

5.11.1. Limiar Olfativo

Para diversas substâncias o odor é uma característica que pode ser utilizada para a identificação de sua presença, contudo o sentido do olfato é influenciado por diversos fatores intervenientes que dificultam em muito uma avaliação, mesmo que qualitativa. Odores muito distintos podem ser distinguidos, mas dificilmente se diferencia, por exemplo, benzeno de tolueno ou chlorotene de percloretileno.

Há grande variação no limiar olfativo de uma pessoa para outra como no caso dos cianetos para os

quais existem pessoas muito mais sensíveis que a maioria. Pode também haver variação no Limiar Olfativo na mesma pessoa em diferentes horas do dia ou situações, como estados fisiológicos ou mesmo exposição anterior ao mesmo odor ou odores diferentes, ou ainda, exposição simultânea a diversas substâncias.

A sensibilidade do olfato pode ser reduzida a praticamente a zero por algumas substâncias que "saturam" o órgão olfativo. O caso mais conhecido é do sulfeto de hidrogênio, ou gás sulfídrico, que possui um limiar bastante baixo, ou seja, é percebido facilmente, mas que após poucos minutos deixa de ser percebido, dando a falsa impressão de haver diminuído a concentração no ar, este fato eleva sobremaneira o risco de uma superexposição, o que já levou diversos trabalhadores a acidentes fatais, inclusive os socorristas.

Algumas substâncias são simplesmente inodoras, independentemente de sua toxicidade como no caso do monóxido de carbono, o que eleva bastante o risco de superexposição e já foi igualmente causador de diversos acidentes fatais, onde o monóxido aparece praticamente puro. No caso específico de combustão incompleta de matéria orgânica, outras substâncias presentes e que possuem odor, podem agir como alerta, reduzindo o risco.

Assim, não é simples a determinação de um limiar olfativo que seja amplamente utilizado na prática da Higiene Ocupacional, embora para algumas substâncias existam estudos e algumas recomendações, outras ainda apresentam valores muito divergentes, outras nem tanto.

De uma forma geral o que se pode concluir é que para as substâncias que possuem odor, geralmente este aparece em concentrações inferiores ao limites de exposição ocupacional podendo ser utilizado como indicativo da presença da substância, mas como foi referido, este fato deve ser utilizado com a devida cautela, pois não se aplica a todas as substâncias, nem a todas as pessoas e nem durante todo o tempo. (NAUS 1975; DALTON 2000)

5.11.2. Risco relativo

Para a prática da Higiene Ocupacional e quando há necessidade de escolha entre dois ou mais agentes químicos voláteis pode-se calcular a taxa de Risco Relativo (RR) segundo a equação:

$$RR = \frac{\text{Evaporação}}{\text{Limite de Exposição}}$$

Por esta relação verifica-se que agentes químicos com maior toxicidade usualmente apresentam um LEO menor e, quanto menor for o limite maior será o RR. Por outro lado, com maior taxa de evaporação, pode-se atingir com maior facilidade altas concentrações no ambiente, aumentando assim o RR.

A medida ou estimativa da evaporação, sempre em relação a um padrão, como o éter etílico considerado como 1, pode indicar a quantidade evaporada por unidade de tempo fixo, ou indicar o tempo para evaporação de um dado volume fixo. No caso de ser considerado o tempo, um valor maior que o padrão representa *maior tempo* de evaporação e, portanto, *menor volatilidade e menor risco*. Quando se estima a volatilidade como tempo, este deverá ser colocado no *denominador* da equação do RR.

O RR é mais uma "ferramenta" que o higienista pode lançar mão, por exemplo, na etapa de reconhecimento de riscos, ou quando deve autorizar a compra de um produto e deve escolher entre vários deles para uso em uma dada atividade, ou ainda para substituição de outros que apresentam maior risco.

5.12. Casos particulares de LEO´s

5.12.1. Limites de exposição ocupacional para mulheres

Em nosso meio tem-se observado nas últimas décadas a crescente participação feminina na população economicamente ativa e uma questão frequentemente levantada é se a proteção dos LEO´s

é a mesma, tanto para homens como para mulheres.

Inicialmente deve-se considerar que com exceção dos efeitos sobre a reprodução, não há razões para se considerar a mulher mais ou menos susceptível à ação de produtos químicos que o homem.

Para a mesma dose absorvida (mg da substância por kg da pessoa em um dado período), somente em alguns raros casos o organismo feminino apresenta resposta diferente do masculino, devido a diferenças no metabolismo, provocadas por diferentes hormônios envolvidos, como por exemplo, na biotransformação do benzeno durante a gravidez, quando há uma inibição da glicuroniltransferase dificultando a produção de derivados do ácido glicurônico, que seriam mais facilmente excretados pela urina.

De uma forma geral pode-se aceitar que a proteção dada por um padrão de exposição para o homem produz basicamente a mesma proteção para a mulher, conforme alguns fatos considerados a seguir.

Segundo o Prof. Edoardo Algranti, o volume de ar respirado por um homem em um período de 8 horas de trabalho é tipicamente considerado como 10 metros cúbicos. Considerando que a mulher possui 2/3 da capacidade pulmonar do homem, o volume de ar respirado será de cerca de 6 metros cúbicos.

Para uma exposição ocupacional a uma substância de LEO igual a 10 mg/m^3 e assumindo por hipótese que há penetração total por via respiratória, retenção e absorção total pela corrente sanguínea, a carga corpórea potencial será de 100 mg para o homem e de 60 mg para a mulher.

Considerando o peso médio de 70 Kg para o homem e de 50 Kg para a mulher, a dose será de 1,4 mg/kg para o homem e de 1,2 mg/kg para a mulher. O que leva à conclusão que de uma forma geral o LEO oferece basicamente a mesma proteção tanto para o homem quanto para a mulher, sendo claro que casos particulares que estão distantes dos valores médios aqui utilizados devem ser considerados isoladamente, independentemente de ser homem ou mulher.

Embora a via respiratória seja a principal, a via cutânea pode ser significativa em diversas situações e apesar de eventual diferença das áreas de pele do homem e da mulher, não há referência a estudos que comprovem uma diferença significativa do ponto de vista da Higiene Ocupacional, nem tampouco relativa às diferenças de permeabilidade a agentes químicos embora se observe maior frequência nos casos de dermatoses em mulheres.

Outro fato que pode ser levado em conta é o diferente teor de lipídeos que é de 20 a 25% em peso para mulheres e 10 a 15% para os homens. Este fato pode influir na toxicocinética de um agente químico de duas formas:

a - O maior teor de gordura leva à maior capacidade de armazenar substâncias lipossolúveis, o que pode servir de mecanismo de defesa, impedindo que se atinja uma alta taxa sanguínea, com consequente menor efeito em curto prazo e,

b - o maior teor de gordura, por outro lado, pode aumentar a carga corpórea (depósito) de uma substância lipossolúvel, o que favorecerá a manutenção da taxa sanguínea por mais tempo, embora a níveis baixos, o que pode aumentar a possibilidade de aparecer um efeito a médio e longo prazo.

Assim, é difícil predizer se há maior ou menor influência do teor de gordura nos possíveis efeitos sobre o homem ou sobre a mulher.

Embora não existam valores definidos exclusivamente para mulheres, eventualmente são encontradas na literatura algumas sugestões de redução ou mesmo redução a zero, mais baseados na gravidez e proteção ao feto.

Assumindo uma atitude bastante prevencionista, poder-se-ia considerar um LEO específico para homens e outro para mulheres, considerando apenas as substâncias que possuem uma toxicidade

alterada pelos hormônios femininos, ou ainda, as que reconhecidamente possuem efeitos sobre reprodução, tais como: contraceptivos - que impedem a fecundação; mutagênicos - que produzem mutação, ou seja, alteração no código genético celular, ou, teratogênicos - que produzem má formação do feto. Este posicionamento leva a um aspecto prático de como considerar um ambiente com homens e mulheres trabalhando em conjunto. Se for obedecido o LEO para mulheres, devemos utilizar medidas extremamente rigorosas (e desnecessárias para os homens e talvez até para as mulheres não grávidas ou não em idade fértil). Se por outro lado o ambiente for dividido deverá ser controlada a ida de mulheres ao local de trabalho dos homens, além dos eventuais processos judiciais de discriminação na contratação inicial do empregado ou empregada.

A melhor postura para a Higiene Ocupacional, quando se depara com este tipo de situação, é reduzir a exposição das mulheres ao menor valor possível, a zero de preferência e se necessário for, proibir o uso da substância ou o trabalho de mulheres em determinadas funções. Devemos considerar a gravidade do risco a que estariam expostas com consequências imprevisíveis e irremediáveis como no caso de má formação do feto que pode ocorrer por uma exposição nos 3 primeiros meses, quando a gravidez pode ainda não ser do conhecimento da mulher ou mesmo ser disfarçada ou escondida por ela, com receio de ser dispensada.

Ressalta-se que no caso da teratogênese a responsabilidade do higienista ocupacional é grande, pois cabe a ele, juntamente com outros profissionais, permitir o trabalho de mulheres em determinadas atividades. Os efeitos podem ser observados em poucos meses ou até após vários anos, no caso, por exemplo, de uma alteração no desenvolvimento físico ou intelectual da criança. Outros efeitos podem demorar mais de 20 anos, quando, por exemplo, a filha da mulher trabalhadora, que teve uma má formação de seus óvulos, gerar agora um neto da trabalhadora que foi exposta ao agente teratogênico, este poderá manifestar a má formação e com grande dificuldade para se estabelecer um nexo causal.

Num caso semelhante ao exemplo anterior, talvez possamos “escapar” da Lei, por longo período, mas, com certeza, não “escapamos” de nós mesmos. Se soubermos que há possibilidade de danos à saúde de alguém e não tomarmos providências, saberemos que ao menos uma parcela da culpa pode ser nossa.

5.12.2. Limites de exposição ocupacional e hábito de fumar

Ao avaliar a exposição do trabalhador a um dado agente químico o higienista ocupacional deve estar atento a fatores intervenientes na exposição, para tanto deve ser considerada, dentre outros fatores, a possível exposição extra laboral, ou seja, não relacionada diretamente com a atividade ou o local de trabalho. O hábito de fumar é um exemplo e fator importantíssimo, que pode levar à exposição bastante significativa, pois além das interações já referidas no item 5.3, deve-se considerar que centenas de substâncias são encontradas na fumaça de cigarro.

Na tabela 5.7, são listadas apenas as que apresentam LEO´s, para que se possa estimar a grande diferença dos níveis tecnicamente aceitos para uma exposição ocupacional e os voluntariamente inalados pelo fumante e são apresentadas as máximas concentrações de algumas substâncias encontradas na fumaça de cigarros e os respectivos limites de exposição ocupacional da ACGIH (2019). Mesmo considerando a possibilidade de haver alguma diluição durante o ato de fumar, ou ainda que um dado cigarro forneça concentrações mais baixas, as diferenças entre o esperado na fumaça de um cigarro e o máximo aceitável para uma exposição ocupacional são enormes.

Pelas altas concentrações encontradas na fumaça de um cigarro, o fumante pode ser considerado como fonte poluidora de um local de trabalho, que pode levar outros trabalhadores não fumantes a uma exposição ao fumo. Desta forma o dito "fumante passivo" deve ser alvo de atenção da Higiene Ocupacional, assunto que é objeto de legislação especifica em diversos países, inclusive com estabelecimento de nexo causal entre doença pulmonar em não fumante que trabalhou no mesmo ambiente de trabalho com fumantes.

Tabela 5.7 – Concentrações máximas, em partes por milhão em fumaça de cigarro e os respectivos TLV´s.

Substância	A	B	A / B
	Concentração na fumaça	TLV-TWA	
Acetaldeído	3.200	C 25	128
Acetileno	31.000	18% O_2	---
Acetona	1.100	250	4,4
Acroleina	150	C 0,1	1.500
Amônia	300	25	12
Dióxido de Carbono (CO_2)	92.000	5.000	18,4
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	250	0,2	1.250
Formaldeído	30	0,1	300
Gás Cianídrico (HCN)	1600	C 4,7	340,4
Gás Sulfídrico (H_2S)	40	1	40
Metanol	700	200	3,5
Monóxido de Carbono (CO)	42.000	25	1.680

Observações * = Fonte: ROSENBERG, 1981
TLV = Threshold Limits Values (ACGIH 2019)
C = Ceiling (teto) T = valor teto.

Ao acender um cigarro, o trabalhador fumante "apaga" todo o trabalho da Higiene e Toxicologia Ocupacional.

Outro fato que deve ser considerado é a possibilidade de interação, entre os diversos agentes encontrados na fumaça do cigarro e os decorrentes de uma atividade profissional, como no caso do asbesto cuja correlação está bem definida, havendo potencialização do efeito pulmonar (câncer). Outras substâncias, tais como poeiras pneumoconióticas, ou mesmo outras que provocam efeitos sistêmicos, estão sendo estudadas havendo bons indícios de interação aditiva ou sinérgica.

Pode haver ainda interação diretamente no cigarro, como no caso de fumar em local com gases ou vapores. A brasa do cigarro atinge temperaturas de cerca de 800ºC o suficiente para provocar a

reação de decomposição de diversas substâncias, como por exemplo, solvente clorado, originando fosgênio, substância altamente irritante para as vias respiratórias (TLV = 0,1 ppm), que foi inclusive utilizada como gás de guerra.

Pelo exposto vemos que o higienista ocupacional deve não só apoiar os programas de controle de tabagismo, como também o banimento do fumo nos locais de trabalho dentro de programas de ambientes livres de tabaco.

5.12.3. Limites de Exposição Ocupacional para jornadas não usuais.

Na tentativa de se adaptar o LEO às pequenas diferenças de jornada semanal de trabalho, verifica-se que pode ser eventualmente adequada para algumas situações e substâncias que podem acumular-se no organismo, mas que é desnecessária para diversas outras substâncias que possuem meia vida biológica curta (solventes voláteis, por exemplo), caso em que não haverá alteração na carga corpórea em função de uma pequena variação no tempo de exposição.

A adaptação dos LEO´s às jornadas não usuais tem sido estudada, já há algum tempo, sendo o trabalho clássico de BRIEF e SCALA (1973), um dos primeiros a considerar a extensão da jornada de trabalho como determinante para a redução proporcional do LEO, com uma fórmula relativamente simples para cálculo do fator de redução (f):

$$\boldsymbol{f} = \frac{8}{\boldsymbol{h}} \times \frac{24 - \boldsymbol{h}}{16}$$

Onde ***h*** é o número de horas da jornada e poderia ser aplicado a um LEO tido como média ponderada pelo tempo ou teto, com exceção dos agentes que produzem apenas irritação.

Este fator ***f*** foi utilizado para adaptação da lista dos TLV´s de 1977 e que passaram a constituir o Quadro 1 do Anexo 11 da NR 15. Apenas para melhor entendimento desta redução, ao refazer o cálculo verificou-se que há discrepância no fator utilizado (***f*** = 0,78) e o fator que pode ser

calculado (***f*** = 0,75). Na ocasião tínhamos 48 horas de jornada semanal em uma semana de seis dias que incluía o sábado. Para não se trabalhar aos sábados a jornada diária passou para de 9 horas e 36 minutos o que equivocadamente gerou ***h*** *= 9,36 horas*, sendo que o correto seria ***h*** *= 9,60 horas*. Observa-se que esta diferença é citada apenas para melhor entendimento da adaptação e não leva a nenhuma modificação significativa na proteção do trabalhador.

A partir deste trabalho pioneiro, diversos outros trabalhos têm sido realizados no sentido de completar, ou melhorar a adaptação, introduzindo conceitos como a meia-vida biológica da substância envolvida. Um aprofundamento neste assunto e considerações mais detalhadas sobre a proteção oferecida pelos TLV´s atuais podem ser encontradas na bibliografia consultada constante em anexo.

Antes de tudo, porém, deve ser considerado que os Limites de Exposição Ocupacional têm sido estabelecidos como guias de orientação e baseados nas estimativas de exposições ocupacionais. Tanto a fixação dos limites como as estimativas da exposição em que estes têm sido baseados, *são estimativas* e, na maioria das vezes, não permitem a construção de uma correlação dose-efeito e dose-resposta adequada, o que equivale dizer que os limites têm sido estabelecidos segundo um critério mais especulativo e político-social, do que técnico e científico, conforme já referido há alguns anos por TORKELSON (1983).

Este fato nos leva a admitir, por exemplo, que um LEO de 100 ppm, não significa exatamente 100 ppm, mas algo entre 90 e 110 ppm ou mesmo um intervalo ainda maior. Assim, 100 é o valor central, referencial, de uma faixa que não se sabe exatamente sua amplitude. Assim havendo informação científica suficiente uma modificação de 50% ou menos do limite pode ser considerada sem muitas ressalvas, mas fica muito frágil uma proposta de corrigir um valor de 100 para 95, por exemplo.

Esta linha de pensamento nos leva a acreditar que os valores estimados como LEO´s possuem uma faixa de variação suficientemente ampla para englobar pequenas variações que podem ser

observadas no organismo humano, como gênero, raça e idade, ou ainda fatores relativos ao ambiente ou ocupação como: clima, organização do trabalho, turnos de trabalho e duração das jornadas. Ou seja, estas variações podem ser relativamente pequenas e serem mascaradas pelas incertezas que temos na fixação do LEO.

Esta situação tem se modificado ao longo dos anos. Com o avanço das pesquisas acadêmicas, os LEO´s têm sido atualizados sistematicamente e por outro lado a Higiene Ocupacional, cada vez mais técnica e científica, pode fornecer estimativas cada vez melhores da exposição real dos trabalhadores. Nossa principal referência de LEO´s, os TLV´s, são revisados anualmente, com alterações em diversos deles. Estas alterações preponderantemente são de redução dos valores, com raras exceções de aumento e baseadas em descobertas de alterações da saúde ou indicadores de exposição ou de efeito, cada vez mais precoces.

Centenas de substâncias são estudadas e caminha-se lentamente para uma diminuição da amplitude de variação dos LEO´s, aumentando gradativamente sua precisão e exatidão, não chegando, é claro, a uma concentração única, precisa e exata, mas tendendo a ela.

Com a melhoria da precisão do LEO, alguns fatores intervenientes no efeito observado, que anteriormente não eram evidenciados, atualmente estão sendo colocados mais em evidência. Um exemplo é o caso da *cronotoxicologia* e o *trabalho em turnos* que estuda os efeitos tóxicos relacionados com o ciclo circadiano que tem aplicabilidade cada vez maior nas modificações das jornadas de trabalho, que originam *exposições não usuais*, ou seja, diferentes das 8 horas diárias e 40 horas semanais.

5.12.4. A extrapolação de valores para a população brasileira

Numa adaptação para as condições brasileiras, a portaria ministerial 3214 de 1978, em sua Norma Regulamentadora número 15, anexo 11, faz uma versão reduzida e simplificada dos TLV´s de 1977, e introduziu os Limites de Tolerância, apenas para as substâncias para as quais na época possuíam tubos indicadores (colorimétricos) para avaliação instantânea e respectivos valores de

limites reduzidos com um fator de 0,78, calculado em virtude da diferença na jornada de 40 para 48 horas semanais. Se considerarmos o ponto de vista técnico e científico, eventualmente podemos não concordar com esta extrapolação, todavia devemos também considerar alguns pontos conforme segue.

Além de todas as dificuldades das pesquisas em laboratório com animais, na expectativa de reproduzir todas as condições enfrentadas por um trabalhador, a extrapolação dos resultados para o homem, mesmo com auxílio da epidemiologia e estatística, ainda é bastante difícil. Para uma jornada usual a adaptação ou importação de valores de um TLV da ACGIH pode ser considerado adequado, por exemplo, para um trabalhador alemão de 1,95m e 90 Kg com uma esposa que também trabalha e tem um ou dois filhos e os rendimentos lhes permitem ter todos os itens básicos de moradia e saúde e parar de trabalhar na sexta-feira às 15 horas e ir passar o fim semana nos Alpes.

Por outro lado este mesmo TLV pode não ser adequado para um trabalhador brasileiro originário do nordeste com 1,50m e 55 kg, com esposa que trabalha na economia informal, com 5 ou 6 filhos, com salários insuficientes para as suas necessidades básicas, trabalhando e vivendo em ambiente pouco saudável, com doenças endêmicas e que além das 40 horas semanais de trabalho, ainda trabalha em subemprego, com poucas horas de lazer e com outros estresses de origem sócio familiar, somando-se ainda diferentes condições climáticas.

Esta forma de pensamento leva-nos à necessidade de criação de LEO´s genuinamente brasileiros e ainda mais, regionais, pois seria lícito considerar que um valor único não possa ser aplicado da mesma forma no norte e no sul do Brasil. Contudo, recorda-se que atualmente os LEO´s são guias de orientação e não linhas divisórias extremamente sensíveis e nítidas entre risco e segurança e que as diferenças levantadas para diferentes trabalhadores, podem ser ainda insignificantes ante as atuais incertezas do LEO.

Por sua vez a realidade brasileira é rica em contrastes, é possível encontrar trabalhadores expostos a agentes químicos e praticamente não recebendo atenção da equipe de Saúde ou eventualmente

até pior, como no caso de trabalhadores avulsos e braçais, ou em faxina industrial, que infelizmente em alguns casos, ainda podem ser classificados como quase escravos. Por outro lado, é possível encontrar também trabalhadores extremamente qualificados, de elevado nível sócio econômico, trabalhando em indústrias sofisticadas com características de primeiro mundo, isto sem se considerar os funcionários administrativos ou "executivos" que para todos os efeitos também são considerados trabalhadores, pela equipe de Saúde do Trabalhador.

Assim, para os trabalhadores do primeiro grupo a Higiene Ocupacional, ou mesmo a Segurança do Trabalho, são assuntos menos prioritários, pois a alimentação, segurança pública e emprego são prioritários e fundamentais para que continuem vivos e trabalhando. Para estes, apenas uma atuação básica da equipe de Saúde do Trabalhador com medidas de Higiene e Toxicologia Ocupacional que reduzam a exposição ocupacional a valores próximos aos limites de exposição ocupacional já serão de grande valia e raramente pode-se fazer mais que isto.

Para os trabalhadores do segundo grupo, por exigências até dos próprios trabalhadores, necessitamos desenvolver um LEO para uma substância nova, ou efetuar a adaptação do LEO a uma condição de trabalho não usual, ou mesmo introduzir medidas de controle para apenas reduzir um desconforto (às vezes já pequeno) de uma determinada operação.

Finalmente deve ser lembrado que os TLV são baseados nas melhores informações disponíveis mundialmente e não apenas as baseadas em populações dos Estados Unidos da América, não se esperando assim grandes diferenças, mas é conveniente que sejam desenvolvidos estudos e pesquisas de Higiene e Toxicologia Ocupacional no sentido de atender às necessidades da nossa população e que reflitam a nossa realidade.

5.13. Bibliografia consultada e complementar.

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Fundamentals of Industrial Hygiene**. Cincinnati (OH).

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **ACGIH – Lawsuit settled – A time for reflection and rededication.** Cincinnati (OH); 2001b Available at <URL:http//www.acgih.org> [2002 dez].

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Limites de exposição (TLV´s) para substâncias químicas e agentes físicos e limites biológicos de exposição**. Cincinnati (OH); 2019. Tradução da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais: São Paulo (SP); 2019.

AIHA American Industrial Hygiene Association. **WEEL – Workplace environmental exposure levels guide.** Fairfax (VA).

AIHA American Industrial Hygiene Association. **Odor thresholds for chemicals with established occupational health standards** Fairfax (VA); 1997

Algranti E et al. Patologia respiratória relacionada com o trabalho. in Mendes R. **Patologia do trabalho.** *2ª Edição* São Paulo (SP); Atheneu, 2003 v.1.

Atherley GA. **Critical review of time-weighted average as an index of exposure and dose, and of its key elements.** *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; (46) Sept.

Belle Newsletter, **The role of hormesis in Industrial Hygiene** / Occupational Health. *Belle Newslletter* 2002; (10) 3.

Brasil, Ministério do Trabalho. **Portaria ministerial número 3214**, *normas regulamentadoras número 1 a 28 e anexos*. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 28/12/1978.

Brief RS e Scala RA. **Occupational exposure limits for novel work schedules**. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1973; Junho.

CEN European Committee for Standardization. **Workplace atmospheres - Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for Comparison with limit values and measurement strategy.** European Standard EN 689, 1995.

Colacioppo S. e Smolensky M. **A importância do estudo da ritmicidade biológica para a Higiene e Toxicologia Ocupacional**. in Fischer FM Moreno CR e Rotemberg L *Trabalho em Turnos e Noturno na Sociedade 24 Horas,* São Paulo (SP): Editora Atheneu; 2003.

Colacioppo S. **Avaliação da exposição ocupacional a fumos de solda**. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 1985; 49 (13).

Cook WA. **Occupational exposure limits worldwide**. Cincinnati (OH): ACGIH; 1987.

Cralley LS and Cralley LV. **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): John Wiley; 2010.

Dalton PH et al. **Evaluation of odor and sensory irritation thresholds for methyl isobutyl ketone in Humans.** *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2000; 61:340-350.

Della Rosa HV, Martins I, Siqueira MEPB e Colacioppo S. **Monitoramento ambiental e biológico.** in *Fundamentos de Toxicologia.* Oga S. Editor, São Paulo (SP): Atheneu 2014.

Fischer FM et. al. **Toluene-induced hearing loss among rotogravure printing workers**. *Scandinavian Journal of Work Environmental Health* 1997; 23 (4):289-298.

Freitas NBB e Arcuri ASA. **Valor de referência tecnológico (VRT)** a nova abordagem do controle da concentração de benzeno nos ambientes de trabalho. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 1997; 89-90:71-85.

ILO International Labour Office, **Encyclopaedia of occupational health and safety**. Parmeggiani L. Editor, 3rd Edition, Geneva: 1989.

Jayjock MA Lewis PG e Lynch JR. **Quantitative level of protection offered to workers by ACGIH threshold limit values occupational exposure limits**. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2001; (62) Jan/Feb.

Klaassen CD. Editor. **Casarett and Doull´s TOXICOLOGY the basic science of poisons**. 6th Edition, New York (NY): Mac Graw-Hill; 2015.

Mendes, Rene; Organizador. **Dicionário de Saúde e Segurança do Trabalhador** 1ª Ed. Proteção 2018

Naus A. **Olphactoric properties of industrial matters**. Praga (CZE): Charles University; 1975.

Nighswonger T. **Where do you set the standard?** Available at <URL:http// www.occupationalhazards.com/news_loader.asp?articleID=22025>[2019]

NIOSH [2019]. Technical report: **The NIOSH occupational exposure banding process for chemical risk management.** By Lentz TJ, Seaton M, Rane P, Gilbert SJ, McKernan LT, Whittaker C. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2019-132, https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2019132.

Oga, Seizi, Camargo e Batistuzzo, **Fundamentos de Toxicologia** 4ª Ed. Atheneu 2014.

OSHA Occupational Safety and Health Administration. **Permissible exposure levels.** Available at <http://search.osha-slc.gov/search97cgi/s97is.dll>[2019].

Patty FA. (Ed.) **Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): Interscience Publisher; 1948.

Raymond Agius, **Occupational Exposure Limits For Therapeutic Substances.** Ann ocnp. Vol. 33. No 4, pp. 555-562, 1989**.**

Rosenberg J. **Tabagismo** São Paulo (SP): Almed-Edusp; 1981.

Smolensky, M. H. Paustenbach, D. J. and Shcving, L. E. **Biological rhythms shiftwork and Occupational Health**. in Cralley L.S. and Cralley L.V. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York(NY): John Wiley; 1985.

Telišman S. **Effects of age, sex and other factors,** *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* - International Labour Office, 4th Edition, Vol. 1 - Pages 33.1-33.74, 1997

United Kingdon ***WEL´s, HSE, UK – Workplace Exposure Limits, Health and Safety Executive*** Edição de 2020, www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh.pdf

Verma DK. **Adjustment of occupational exposure limits for unusual work schedules.** *Am. Ind. Hyg. Ass. J*. 2000; 61:367-374

Vinay Kumar, **Health-Based Occupational Exposure Limits in Pharmaceutical or Chemical Manufacturing.** http://dx.doi.org/10.17140/TFMOJ-2-115 acessado em jan/2020

WHO IPCS. World Health Organization. International Program on Chemical Safety, *Environmental health criteria 211* – **Health effects of interactions between tobacco use and exposure to other agents,** Geneva: 1999.

CAPÍTULO 6. Avaliação da Exposição Ocupacional a Agentes Químicos

Conhecendo os limites de exposição ocupacional que são os padrões de referência, pode-se realizar o processo de avaliação da exposição que se inicia com o reconhecimento do risco e dos fatores intervenientes na exposição ocupacional e na própria avaliação.

Em Higiene Ocupacional, a avaliação da exposição ocupacional a um agente químico, através de uma medida da concentração na atmosfera e a comparação dos resultados com o limite de exposição ocupacional, é usualmente denominada simplesmente *avaliação ambiental*.

A avaliação ambiental não é uma atividade simples de medição de concentração. Muito mais que medir a concentração de um agente químico no ar, estima à exposição ocupacional a este agente. Considerando-se este âmbito bem maior, na prática da Higiene Ocupacional, diversas questões são frequentemente formuladas e devem ser respondidas adequadamente, sob pena de se comprometer todo o processo de avaliação.

Exemplos de questões:

O que medir ou analisar?
Onde medir ou coletar amostras?
Quantas amostras coletar?
Quantos funcionários avaliar?
Por quanto tempo deve-se coletar uma amostra?
Quando avaliar novamente?
A avaliação ambiental deve ser simultânea com a avaliação biológica?

Para responder a estas e outras questões similares, deve-se planejar o processo de avaliação e executá-lo adequadamente. Para tal, diversas etapas devem ser seguidas de forma sistemática conforme indicado a seguir:

a. Definição do objetivo da avaliação;
b. Conhecimento dos locais de trabalho e atividades a avaliar;
c. Identificação das substâncias presentes e reconhecimento do risco de exposição ocupacional;
d. Definição da estratégia de amostragem;
e. Coleta de amostras;
f. Análise do material coletado;
g. Cálculos dos resultados e estimativa da exposição ocupacional;
h. Comparação com limites de exposição ocupacional;
i. Comparação com os dados da avaliação e monitorização biológica**.**

6.1. Objetivos de uma avaliação.

Uma avaliação ambiental poderá ter diversos enfoques, tais como:

- Descobrir o que está causando determinados sinais ou sintomas nos funcionários;
- Atender notificação de um agente de fiscalização, reclamação trabalhista ou outro processo judicial;
- Identificar as substâncias eventualmente presentes;
- Verificar a eficiência de uma medida de controle instalada;
- Realizar estimativa da exposição ocupacional dentro de um Programa de Higiene Ocupacional de Monitorização Ambiental e Biológica.

No primeiro caso, é muito difícil para o higienista ir a um local de trabalho no presente a fim de avaliar a exposição ocupacional que ocorreu no passado e que provocou os sinais e sintomas, hoje detectados em um funcionário. Não que seja de todo impossível, mas será sempre uma estimativa, partindo-se da premissa que o observado hoje poderá ser bastante próximo, mas nunca exatamente igual ao que aconteceu no passado.

Idealmente deve-se ter um Programa de Monitorização Ambiental e Biológica com uma série histórica de dados que permitam a qualquer tempo estabelecer, ou refutar o nexo causal, entre a exposição ocupacional e eventual quadro clínico ou reclamação trabalhista, além de possibilitar introduzir medidas de controle, sempre que necessárias

Nos casos de processos judiciais, notificações etc., embora não se possa esquecer os aspectos técnicos e científicos envolvidos, os aspectos legais são prioritários e, sempre que possível, estes assuntos devem ser conduzidos por profissionais da área jurídica, cabendo ao higienista dar apenas o suporte técnico.

Uma avaliação pode ainda ser realizada para testar a eficiência de uma dada medida de controle, como por exemplo, um sistema de ventilação. Neste caso são coletadas amostras geralmente em pontos fixos, antes e depois das modificações, tomando-se o cuidado de manter invariáveis todos os demais fatores intervenientes.

Finalmente, dentro de um programa de Higiene e Toxicologia Ocupacional as avaliações são realizadas de forma sistemática e repetitiva de modo a acompanhar a exposição ocupacional e introduzir medidas de controle sempre que necessárias. Numa situação ideal, a qualquer momento, qualquer membro da equipe de Saúde do Trabalhador ou o próprio trabalhador pode ter acesso às informações e resultados das avaliações ambientais e biológicas a que ele foi submetido, contando para isto, inclusive, com o respaldo das Normas Regulamentadoras.

6.2. Alguns conceitos

Uma vez que não se pode, nem é necessário, medir a exposição ocupacional de todos os funcionários, durante todos os dias de trabalho ao longo de suas vidas, a avaliação e a monitorização ambiental estão necessariamente baseadas em *amostragem*, que não deve ser confundida com a *coleta* de amostras, assim, é interessante fixar alguns conceitos utilizados em Higiene e Toxicologia Ocupacional.

6.2.1. Amostragem

Amostragem é o conjunto de procedimentos empregados na estimativa da exposição ocupacional, que permitem obter amostras representativas e resultados com confiabilidade determinada em função da precisão e exatidão das técnicas utilizadas.

6.2.2. Coleta de amostras

Coleta de amostras é o procedimento prático de coletar uma porção do agente químico, geralmente presente na atmosfera e na zona respiratória de um funcionário, com equipamento de coleta específico.

6.2.3. Avaliação da exposição ocupacional

Avaliação da exposição ocupacional é a medida da concentração de uma dada substância no ar, que representa a exposição do trabalhador, seguida de comparação com um padrão adequado, geralmente o Limite de Exposição Ocupacional.

6.2.4. Monitorização ambiental

Monitorização ambiental é a avaliação sistemática e repetitiva da exposição ocupacional, através da medida da concentração de um dado agente químico, no local de trabalho que represente esta exposição, seguida de comparação com um padrão adequado e visando a introdução ou modificação de medidas de controle sempre que necessárias.

6.2.5. Monitorização biológica

Monitorização biológica é a avaliação sistemática e repetitiva da exposição ocupacional através da medida da concentração de um agente químico em um fluido biológico, de seu produto de biotransformação ou de sua ação tóxica, visando a introdução ou modificação de medidas de controle sempre que necessárias.

6.3. Identificação do agente e reconhecimento do risco.

Tão importante como *porque* avaliar é saber *o que* avaliar. Entre milhares de substâncias químicas potencialmente presentes em um local de trabalho, devemos ter certeza do que procurar e o reconhecimento de um risco químico de forma correta e completa é de suma importância, pois da definição exata *do que* se pretende avaliar depende toda a estratégia de amostragem.

Assinala-se que em 2017 o CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (www.cas.org) ultrapassou o registro de mais de 100.000.000 de substâncias químicas conhecidas, das quais mais de 10.000.000 estão comercialmente disponíveis e cerca de 350.000 são de uso industrial comum, o que indica a eventual dificuldade de identificação se não se dispuser de fontes seguras de informações.

São pontos básicos da fase de reconhecimento:

a. Identificar as substâncias presentes.
b. Conhecer seus produtos de transformação ou degradação decorrentes do processo produtivo.
c. Conhecer o comportamento das substâncias, após sua liberação no local de trabalho.
d. Conhecer as propriedades toxicológicas, tais como vias de penetração, efeitos a curto, médio e longo prazo, toxicidade, efeitos aditivos, limites de exposição ocupacional e interação com outros agentes químicos ou físicos.
e. Avaliar o risco da substância provocar exposição ocupacional significativa.

Em determinadas situações de difícil identificação dos agentes químicos presentes, pode-se completar a fase de reconhecimento já com algumas amostras, geralmente coletadas na pior situação, com o intuito de se conhecer as substâncias presentes. Esta seria uma *Avaliação Preliminar*, cujos resultados podem auxiliar a direcionar a estratégia de amostragem para uma Avaliação Completa da exposição ocupacional.

6.4. Conhecimento dos locais de trabalho e atividades a serem avaliadas.

Uma vez conhecida a substância, devemos conhecer o local e as atividades envolvidas a fim de determinar os fatores intervenientes na exposição e levantar os dados básicos, para a elaboração

de uma estratégia de amostragem. Não existe um procedimento único de avaliação que possa ser aplicado a todo e qualquer caso, pois diversos são os fatores intervenientes na exposição e na avaliação, que deve ser realizada de tal forma que permita sua reprodução no futuro, dentro de um programa de monitorização e que origine resultados comparáveis ao longo do tempo. Assim, com relação aos locais de trabalho e atividades a avaliar deve-se conhecer detalhadamente os seguintes itens:

6.4.1. Área

É importante definir a área onde se realiza a avaliação, utilizando-se referências fixas, como galpões, colunas, grandes equipamentos e estações de trabalho, de forma a se identificar corretamente o local e futuramente poder-se reavaliar.

6.4.2. Número de expostos

A determinação do número de expostos deve ser feita no local e por observação detalhada da situação, considerando-se todos os funcionários presentes e expostos ao longo do tempo e observando-se os diversos fatores intervenientes na exposição, tais como:

a. Funções, tarefas ou atividades

É fator determinante da exposição, contudo, um funcionário que não manuseia um produto químico, pode estar exposto pela proximidade de um local, como no caso do ajudante de pintor ou de soldador.

b. Turnos, turmas e horários de trabalho

O número total de funcionários de uma seção pode estar dividido em diversos períodos de trabalho, originando a necessidade de se definir se a avaliação será realizada tendo em vista o posto de trabalho ou função, ou será focalizada num determinado funcionário, acompanhando-o, por exemplo, quando realiza rodízio de função ou de local, ao longo da sua jornada ou mesmo mudando de horário ou turno. Deve-se observar ainda que em empresas com dois ou mais turnos de trabalho, é possível encontrar tarefas que são executadas somente num determinado horário, o

que origina exposições diferentes em cada turno, devendo-se assim, avaliar cada turno, como um grupo isolado.

c. Movimentação de materiais e de pessoal

O local onde se realiza uma tarefa nem sempre é o mesmo e nem sempre os funcionários permanecem fixos em um posto de trabalho, assim estas variáveis devem ser observadas detalhadamente. Casos típicos são os operadores de indústria química, supervisores, e pessoal de controle de qualidade e manutenção. Por outro lado um material que pode ser a fonte da exposição, como por exemplo, um solvente que foi aprovado para utilização em pintura num dado local, pode estar sendo levado para outro para limpeza. O próprio processo pode ainda movimentar o material de uma seção para outra.

6.4.3. Frequência e duração da exposição

É importante conhecer-se a frequência com que determinada tarefa é executada, ao longo de uma jornada, ou mesmo da semana ou de meses e considerar-se ainda as informações toxicológicas. Como exemplos, no caso do chumbo, o Saturnismo que ocorre com exposições relativamente baixas e de longo prazo, outros agentes caracterizam-se pelo efeito de curto prazo, como o gás clorídrico que provoca irritação imediata do sistema respiratório.

6.4.4. Ritmo de trabalho e produção

A variabilidade no ritmo de trabalho e do tipo de peça ou produto sendo produzido pode interferir ou não na exposição ocupacional. Por exemplo, em uma indústria química, operando em sistema fechado, pouca diferença há em relação à exposição do operador se o equipamento está produzindo uma ou outra quantidade de litros do produto por hora. Já num sistema aberto onde deve ser feita à carga manual de reatores, com mais produção, podemos ter mais cargas por hora e, portanto, mais exposição. Num outro exemplo, um soldador na mesma cabine, com as mesmas condições ambientais e de trabalho pode ter exposição diferente dependendo da peça que está sendo soldada, pois embora sejam semelhantes algumas peças podem receber mais solda que outras.

6.4.5. Ventilação e condições climáticas

Pode-se ter uma atividade executada em local dependente da ventilação artificial, controlada e constante, como por exemplo, cabines de pintura de indústria automobilística, com temperatura, umidade e velocidade do ar sob rígido controle. Por outro lado, existem locais menos exigentes onde os sistemas de ventilação podem funcionar independentemente do processo produtivo, possibilitando a realização de uma operação até com a ventilação desligada.

Outros locais ainda dependem exclusivamente das condições climáticas, são as atividades realizadas em locais externos ou em indústrias abertas, como Química e Petroquímica, não possuindo paredes ou telhados, recebem influência direta das condições climáticas, devendo-se sempre verificar temperatura, velocidade e direção dos ventos ao longo do dia e sua possível interferência na exposição ocupacional e nas avaliações, no caso de chuva, por exemplo.

6.5. Amostragem da exposição ocupacional

Durante a visita preliminar deve-se verificar a possibilidade de utilização dos equipamentos de coleta, pois existem fatores que determinam, favorecem ou mesmo impedem a realização de um determinado tipo de coleta, como, por exemplo, quando há necessidade de coleta de amostras pessoais, porém somente se dispõe de equipamento de grande porte, como o elutriador vertical para poeira de algodão. Em locais com campo magnético muito forte há necessidade de se utilizar bombas de coleta com baterias blindadas, pois estas podem perder a carga elétrica, reduzindo o tempo de coleta de amostras. Em locais com possibilidade de vazamentos de inflamáveis, deve-se utilizar equipamentos que não produzam faíscas (“intrinsecamente seguros”). Em locais com umidade acima de 85% deve-se utilizar elementos de captação adequados e que não sofram o efeito da umidade elevada.

Baseados nos dados obtidos conforme descrito anteriormente pode-se elaborar a estratégia de amostragem, para tanto convém rever alguns conceitos básicos para este assunto, comumente utilizados em língua portuguesa e relativos à Higiene Ocupacional:

a. **Estratégia de amostragem** é o conjunto de procedimentos elaborados de forma sistemática que estabelece os métodos e técnicas de coleta de amostras.
b. **Método** é o conjunto amplo de todos os procedimentos utilizados na avaliação, exemplo: coleta de vapores de solventes por adsorção e análise por cromatografia em fase gasosa
c. **Técnica** é o detalhamento específico de uma determinada operação, exemplo: utilizar tubos coletores de alta capacidade e com uma camada prévia de sulfato de sódio para eliminar a influência da umidade do ar

6.6. Elaboração de uma estratégia de amostragem para estimativa da exposição

6.6.1. Método empregado.

Ao se definir o método a ser empregado devem ser considerados todos os procedimentos, desde a coleta até a análise do material, devendo necessariamente ser feito contato prévio com o laboratório que irá analisar, pois um pequeno detalhe pode pôr a perder todo o trabalho de campo.

6.6.2. Equipamentos para coleta.

Diversos equipamentos podem ser considerados e devem ser escolhidos de forma criteriosa, dependendo do agente e de fatores como o tempo de coleta necessário e a metodologia empregada. Alguns permitem a coleta por várias horas, outros por apenas alguns minutos. A eficiência de coleta de um determinado coletor pode ser alta para uma substância e nula para outra e assim por diante.

O laboratório tem meios de indicar o elemento de captação (filtro, tubo absorvente etc.) mais adequado à coleta pretendida, além de fornecer indicações do tempo mínimo e máximo de coleta,

conservação de amostras etc., o que pode inclusive determinar a escolha do equipamento. Um estudo mais detalhado deste assunto é feito nos itens 6.7. Coleta de Amostras e em 6.8. Análise do Material Coletado.

6.6.3. Pessoal necessário para realizar e acompanhar as coletas de amostras

A coleta de amostras nunca é uma atividade automatizada ou realizada pelo próprio trabalhador. Há sempre necessidade de acompanhamento das coletas, pois diversas podem ser as causas de obtenção de um resultado mais alto ou mais baixo que o esperado. Todos os fatores intervenientes devem ser observados e anotados de forma a poderem ser interpretados, ou mesmo explicar adequadamente um resultado.

Por outro lado, ao se estabelecer uma estratégia que prevê a coleta em dois ou três turnos ou em horários não usuais, deve-se ter pessoal capacitado e treinado para o acompanhamento nestes horários. Outra dificuldade com o pessoal de coleta é a entrada em locais perigosos ou de difícil acesso, ou ainda setores controlados por questões de segurança patrimonial. Um estudo mais detalhado deste assunto é feito no item 6.7. Coleta de Amostras.

6.6.4. Amostras pessoais e em pontos fixos.

Geralmente é dada preferência à coleta de amostras pessoais, pois o interesse maior é a proteção do trabalhador eventualmente exposto. Contudo, em alguns casos isso não é possível. Como exemplo a galvanoplastia, onde o operador transfere sequencialmente um cesto de peças de um tanque para outro e está exposto aos diversos vapores ou neblinas, implicando em diversos equipamentos de coleta, o que nos obrigaria a colocar no trabalhador diversos equipamentos, o que não é prático nem confortável e pode inclusive alterar a rotina de trabalho.

Outra alternativa seria realizar uma coleta em cada dia o que prolongaria o período de coleta. Se for possível a *procura de pior situação*, utiliza-se para isto um ponto fixo na proximidade de cada tanque, simulando-se a presença do trabalhador naquele ponto durante todo o período avaliado.

Uma outra situação semelhante é quando uma determinada máquina é utilizada por diversos funcionários, como por exemplo, um tanque de lavagem de peças de uso coletivo.

A coleta em ponto fixo pode ser indicada ainda, quando não se tem uma fonte definida e pontual, como por exemplo, em uma área na qual se deseja verificar a extensão da contaminação do ar, oriunda de uma seção próxima.

Ao se realizar a *procura de melhor situação,* utiliza-se a coleta em ponto fixo, pois quando se suspeita que mesmo na melhor situação, simulando um trabalhador parado na posição de menor possibilidade de exposição, esta ainda é elevada, indica a necessidade urgente de medidas de controle. Por outro lado, ao se realizar a *procura de pior situação,* ainda pode ser utilizada a coleta em ponto fixo, pois se na pior situação possível a exposição ainda é aceitável, não há necessidade de intervenção.

No caso de modificações de uma medida de controle a avaliação em um ponto fixo pode ser a mais indicada, desde que se possa reproduzir a situação antes e depois da modificação, obtendo-se resultados realmente comparáveis, tendo como única variável à medida de controle.

6.6.5. Avaliações de funcionários e de funções

No início de uma jornada um trabalhador que está num posto de trabalho realizando uma dada tarefa pode trocar de posto com outro trabalhador, depois de alguns minutos, horas ou dias. Neste caso o que fazer? Passa-se o equipamento de coleta para o outro que realiza a mesma função, ou deixa-se com o primeiro trabalhador?

Tudo depende do que se quer avaliar. Se a exposição ocupacional é originada na função e se procura a pior situação de permanência no posto de trabalho durante toda a jornada e visa-se introduzir medidas de controle específicas no local, ou se queremos avaliar a exposição real dos trabalhadores, originada nos diversos postos de trabalho possíveis durante uma jornada, não esquecendo que as estratégias de amostragem devem ser elaboradas de forma tal, que ao se

obterem os resultados, estes permitam direcionar as medidas de controle, indicando os locais ou momentos em que devem ser realizadas as intervenções.

6.6.6. Grupos homogêneos de risco (GHR)

Para efeito de amostragem e considerando os fatores intervenientes anteriormente citados, a população total dos funcionários eventualmente expostos deve ser dividida em grupos homogêneos, em relação ao risco que se pretende avaliar.

Um grupo é homogêneo em relação a um dado risco, quando o avaliador sem auxílio de instrumentos, não pode identificar um funcionário com maior ou menor risco de exposição ocupacional.

Alguns critérios podem ser utilizados para a divisão em GHR:

a. **Espaciais**, por exemplo: Departamento, Seção, Setor, Unidade Industrial
b. **Temporais**, por exemplo: Turno, Turma, Dias ou Horários
c. **Funcionais**, por exemplo: Operadores, Supervisores, Mecânicos

Quando em um GHR for identificado, ainda na fase de planejamento, um funcionário com maior exposição por um motivo qualquer, este não deverá fazer parte do grupo homogêneo, devendo ser avaliado mesmo que seja em um grupo de apenas um funcionário.

Verifica-se assim que estes critérios, sendo um pouco subjetivos, podem ser mais ou menos exigentes, notando-se que quanto mais grupos forem criados, maior será o número total de avaliações a serem feitas.

6.6.7. Número de funcionários a serem amostrados em cada GHR

Em cada GHR será escolhido aleatoriamente um grupo amostral, que representará o grupo, sendo, porém menor e proporcional em número de funcionários. A técnica mais aceita para esta escolha é a descrita no Manual de Estratégias de Amostragem do NIOSH onde LIEDEL (1977) nos fornece tabelas com 90 e 95% de confiança, que no grupo amostral teremos pelo menos um funcionário nos 10% mais altos níveis de exposição. Esta técnica é também conhecida como "a procura do homem mais exposto".

Na tabela 6.1, verifica-se que em grupos com 7 ou menos funcionários, para uma confiança de 90% e com 11 ou menos funcionários, para uma confiança de 95%, devem ser avaliados todos os componentes dos grupos, não havendo amostragem.

Tabela 6.1 – Tamanho do grupo amostral com grau de confiança de 90 e 95%.

Confiança de 90%		Confiança de 95%	
Grupo Homogêneo	**Grupo Amostral**	**Grupo Homogêneo**	**Grupo Amostral**
8	7	12	11
9	8	13-14	12
10	9	15-16	13
11-12	10	17-18	14
13-14	11	19-21	15
15-17	12	22-24	16
18-20	13	25-27	17
21-24	14	28-31	18
25-29	15	32-35	19
30-37	16	36-41	20
38-49	17	42-50	21
50	18	51 e +	29
51 e +	22		

Nota: Número de pessoas a serem escolhidas e amostradas para que se tenha uma probabilidade de 90 ou 95% de ter pelo menos uma nos 10% superiores de níveis de exposição.
Fonte: (LIEDEL, 1977)

6.6.8. Número de amostras a serem coletadas em cada funcionário e tempo de coleta.

Tanto o número de amostras a serem coletadas em cada trabalhador, como a duração de cada coleta depende basicamente dos seguintes fatores:

a. Substância que se deseja avaliar: suas propriedades físicas, químicas e toxicológicas.

b. Condições de trabalho e ambientais.

c. Métodos e técnicas empregadas.

Substâncias de efeito imediato e grave, como no caso do gás cloro, que produz grande irritação do sistema respiratório e pode ser fatal, há necessidade de monitorização constante, com coletas de curta duração, com poucos segundos de intervalo e sistema de análise instantânea e alarme que inicie um procedimento de emergência e abandono de área.

Em outros casos mais comuns, as medidas podem ser de algumas horas, como, por exemplo, a coleta de mercúrio, chumbo, solventes etc., cujos efeitos sobre o organismo só aparecem em exposição de médio e longo prazo.

Deve-se sempre consultar a metodologia para a coleta e a análise substância, pois é fundamental que o tempo de coleta seja suficiente para se obter material em quantidade mínima para análise, por exemplo, não há metodologia comercialmente disponível para avaliação de sílica livre cristalina com coleta de curtos períodos, para os níveis de concentração usualmente encontrados em ambientes de trabalho, devendo-se realizar coletas de amostras únicas de toda jornada.

Com relação ainda à duração das coletas, uma questão frequente é se, há ou não necessidade de interromper a coleta durante os períodos de não atividade, como paradas para café, banheiro, almoço e outras rotineiras ou não. Usualmente todas as interrupções normais durante uma dada atividade são consideradas como integrantes desta atividade. O horário de almoço, embora considerado de trabalho do ponto de vista trabalhista, pela Higiene Ocupacional é geralmente considerado período de não exposição, não sendo avaliado. Lembramos que os limites de

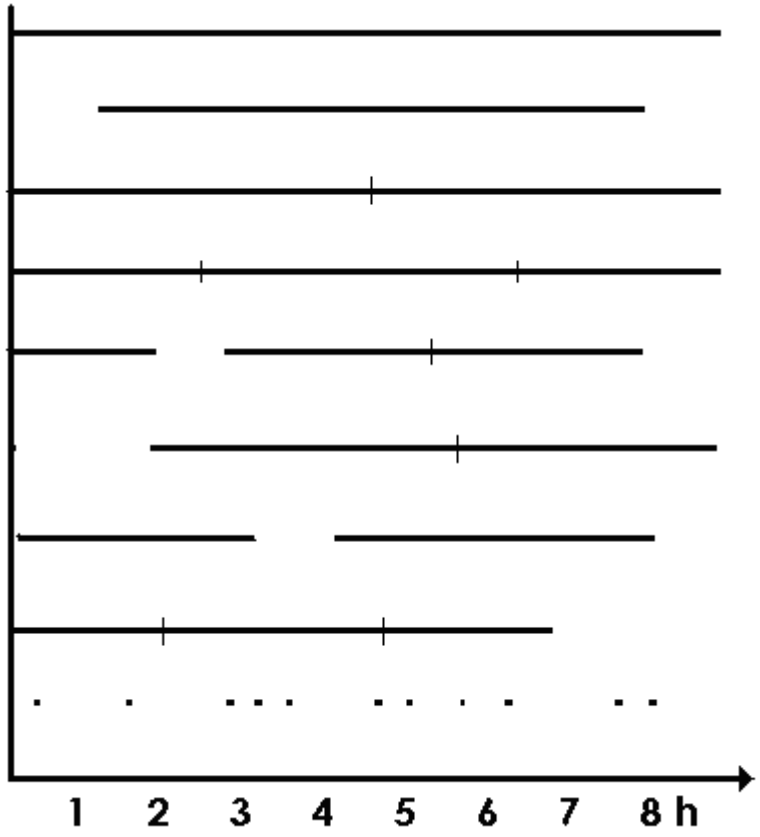
exposição ocupacional estão estabelecidos para uma jornada de 8 horas diárias de trabalho, o que exclui o intervalo para refeição.

Não devem ser esquecidas as jornadas não usuais, como turnos de 6, 8, 12 ou mesmo até 24 horas, em muitos casos sem intervalo para refeição, que muitas vezes é feita no próprio local de trabalho. Cada caso deve ser estudado isoladamente.

Para uma jornada de 8 horas, uma amostra única de 8 horas nos dá diretamente a estimativa da média ponderada pelo tempo naquele período, porém pode-se querer verificar se há diferença entre o período da tarde e o da manhã, se forem realizadas tarefas diferentes nestes períodos, assim é desejável que se faça coleta de duas amostras durante a jornada.

Seguindo o raciocínio acima, uma estratégia que pode ser considerada é a de se medir todos os diferentes níveis de exposição, ao longo da jornada, com uma série de amostras, por exemplo, 8 amostras de uma hora cada, ou ainda, no limite deste raciocínio, uma série de amostras instantâneas e coletadas ao longo de toda a jornada o que fornece o nível de exposição a cada instante. Como vimos do ponto de vista toxicológico esta estratégia não é indicada para todas as substâncias, e por outro lado poderá ou não ser tecnicamente realizável, ou mesmo economicamente viável.

Um resumo da duração e número de amostras ao longo de uma jornada padrão de 8 horas, pode ser visto na figura a seguir em que são indicadas as coletas de amostras de várias formas:



Fonte: (LIEDEL 1977) com adaptações.

Figura 6.1. Número de amostras e duração da coleta ao longo de uma jornada de trabalho de 8 h

Possibilidades de coleta de amostras:

a. Cobrindo todo o período.

b. Cobrindo parte ou partes do período (nunca inferior a 70% do total).

c. Uma única amostra de longa duração.

d. Várias amostras consecutivas de longa duração (mais de 1h cada).

e. Várias amostras instantâneas ou de curta duração (alguns minutos cada).

No caso de avaliação através da coleta de amostras de curta duração, ainda segundo o trabalho classico de Liedel, (1977), temos os seguintes números de amostras a serem coletadas:

Tabela 6.2. Número de amostras de curta duração para avaliação da exposição a uma substância com LEO teto, em função do limite de confiança.

Limite de confiança	Duração de cada coleta		
	15 min.	10 min.	5 min.
0,90	16	17	22
0,95	19	21	28

Fonte: (LIEDEL, 1977)

Para substâncias de efeito em curto prazo e LEO com valor teto, a estratégia pode ser a de procura de pior situação, ou seja, deve-se acompanhar as atividades e avaliar somente nos momentos de maior possibilidade de exposição.

Para substâncias de efeito de longo prazo, a estimativa da média ponderada pelo tempo deve ser baseada preferencialmente em amostras de longa duração sendo que a utilização de amostras instantâneas é a pior alternativa, contudo se for utilizada, as coletas devem ser realizadas em intervalos de tempo aleatórios e fixos, independentemente da atividade ou tarefa.

6.6.9. Dias e horários das coletas de amostras

Tendo conhecimento dos fatores intervenientes na exposição e estabelecidos os critérios básicos da estratégia de amostragem mencionados anteriormente, pode-se agora agendar a coleta para determinados dias que representem dias normais de produção e exposição ocupacional. Dependendo do caso, estas avaliações podem ser realizadas no inverno e repetidas no verão, ou ainda realizadas nos 3 turnos, de um mesmo dia ou em dias diferentes, se houver razão para isto.

Observa-se ainda que a recomendação técnica é de se realizar, num mesmo grupo homogêneo, pelo menos 3 avaliações (repetidas em 3 dias na mesma situação) para efeito de confiabilidade no resultado e aumento da chance de se encontrar situações de maior exposição.

6.6.10. Conservação e transporte de amostras

Os critérios para conservação e remessa de amostras devem ser previamente definidos e em contato com o laboratório que irá realizar as análises, dentro da metodologia validada. Para algumas substâncias o tempo decorrido entre a coleta e análise é curto e crítico, devendo-se articular muito bem o prazo para não se perder as amostras. Por outro lado, a maioria das substâncias permite tempo razoável de até vários dias, ou semanas entre a coleta e a análise. Para um grande grupo de substâncias a conservação geralmente se faz por refrigeração.

6.7. Coleta de amostras

A coleta de amostras de agentes químicos na atmosfera é uma importante fase da avaliação ambiental e antes de se planejar as atividades de coleta deve-se além da identificação da substância, conhecer como esta se apresenta dispersa na atmosfera.

Uma substância pode estar dispersa na atmosfera a *nível molecular* como:

a. **Gás** - estado natural aeriforme de uma substância nas condições usuais de temperatura e pressão.
b. **Vapor** - estado aeriforme de uma substância que nas condições usuais de temperatura e pressão é um líquido

Ressalta-se que os estados acima são para as condições usuais, ou sejam, 20°C e 760 mmHg, que são diferentes das Condições Normais de 0°C e 760 mmHg.

Uma substância pode também estar dispersa na atmosfera como *material particulado (aerodispersóides)*:

a. **Poeira** – partículas sólidas em suspensão na atmosfera e resultantes da desintegração mecânica de substâncias orgânicas ou inorgânicas.
b. **Fumo** – partículas sólidas em suspensão na atmosfera e resultantes da condensação de vapores, geralmente de metais em fusão e seguida de oxidação.
c. **Neblina ou névoa** – partículas líquidas em suspensão na atmosfera, resultante da condensação de vapores, ou da dispersão mecânica de líquidos.
d. **Fumaça** – mistura de gases, vapores, partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera, resultante da combustão incompleta de substâncias.

Dependendo da forma como uma substância se encontra na atmosfera, de suas propriedades físicas e químicas e ainda do tempo de coleta de amostra necessário, diversos meios de coleta podem ser empregados.

6.7.1. Coleta de um volume da atmosfera

Uma forma relativamente simples de se coletar uma amostra é coletar um volume de toda atmosfera, por exemplo, coleta de alguns litros de ar em um saco plástico. Muitas limitações deste método não permitem uma aplicabilidade prática.

São particularmente indicados para coleta em ponto fixo e em elevadas concentrações como gás de escapamento de automóveis ou emissões fugitivas, quando se quer identificar os gases ou vapores presentes. No caso de exposição ocupacional em baixas concentrações, a massa da substância coletada é geralmente insuficiente para análise, ou ainda o fato de estar diluída no ar, necessita então de uma fase prévia de concentração no laboratório. A coleta de um volume de atmosfera não se aplica a material particulado em suspensão, nem a grandes volumes.

6.7.2. Coleta com análise instantânea

Pode-se detectar a presença ou mesmo estimar a concentração de uma substância no ar diretamente com papéis reativos, tubos indicadores ou instrumentos de leitura direta. A maioria destes

instrumentos aplica-se à medição de gases e vapores, sendo alguns aplicáveis à medição de material particulado.

Papéis reativos

Papéis reativos podem ser empregados de maneira simples apenas como identificação da presença da substância, como por exemplo, gás sulfídrico utilizando-se papel impregnado com solução de acetato de chumbo, este fica cinza ou negro pela formação de sulfeto de chumbo e podem ser utilizados apenas como alerta.

Tubos Indicadores

Tubos indicadores, ou colorimétricos, utilizam aproximadamente a mesma técnica de reações coloridas, porém mais elaborados, permitindo estimar a concentração pela intensidade ou tamanho da cor desenvolvida. São bastante práticos não exigem grande treinamento, mas por outro lado são específicos para cada substância ou grupo de substâncias e são basicamente indicados para avaliações de curta duração.

Instrumentos de leitura direta

Instrumentos de leitura direta podem ser genéricos como os “snifers” (“cheiradores”), que apenas detectam a presença de uma substância sem identificá-la, outros mais completos como os cromatógrafos portáteis, podem identificar e quantificar um agente químico presente em um dado local. Temos ainda equipamentos portáteis, com sensores específicos para algumas substâncias, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, formaldeído etc. São, todavia, equipamentos de elevado custo, devendo ser manuseados por técnicos treinados e geralmente dedicados a avaliações de curta duração, sendo de bastante utilidade em situação de emergência ou não rotineira.

6.7.3. Coleta do contaminante

Com a finalidade de aumentar o tempo de coleta e a representatividade da amostra em relação à jornada avaliada e ainda poder utilizar os recursos de um laboratório bem instalado, pode-se coletar apenas o contaminante. Para tal, os métodos mais utilizados são:

Adsorção – retenção de um gás ou vapor em um sólido, por exemplo, carvão ativo.

Absorção – retenção de um gás ou vapor em um líquido, por exemplo, água.

Filtração – retenção de material particulado em um filtro, por exemplo, filtro membrana de PVC – policloreto de vinila.

No caso particular da adsorção, podemos utilizar o processo passivo ou ativo. No primeiro temos os *amostradores passivos* ou *dosímetros* que utilizam a técnica de passagem através de uma membrana e retenção por adsorção, em uma camada de carvão ativo sem auxílio de bombas de amostragem. São bastante práticos e simples de utilizar, sendo empregados geralmente para avaliações de longo período.

Os demais métodos utilizam um elemento de captação acoplado a uma bomba aspirante, que é geralmente portátil e deve ter sua vazão conhecida e calibrada antes e depois de cada coleta e o volume final coletado corrigido para as condições usuais a que se referem os limites de exposição ocupacional.

6.8. Análise do material coletado

Para uma correta análise do material coletado, como dito anteriormente, deve haver sempre contato prévio com o laboratório para definição do elemento de captação, tempo de coleta e condições de armazenamento e transporte, além do fornecimento de outras informações necessárias para a análise, como temperatura de coleta, pressão e ou altitude e definição clara do que deve ser analisado. Diversos casos de perda de amostras poderiam ser evitados com este contato prévio.

O laboratório deve ainda dispor de metodologia validada para as análises, ou seja, utilizar métodos reconhecidos ou recomendados, utilizar padrões certificados, geradores de atmosfera padrão e seguir os protocolos de validação recomendados por entidades reconhecidas, onde é descrita a metodologia de coleta de amostras simultâneas em número adequado, por exemplo, pelos menos 5 amostras em cada concentração, variando desde 0,1 a 3 vezes o LEO, verificando a estabilidade, condições de armazenamento, recuperação, sensibilidade, precisão, exatidão, saturação etc., além de seguir ainda programas de controle de qualidade intra e extra-laboratorial o que determina a confiabilidade dos resultados.

6.9. Cálculos e interpretação dos resultados da estimativa da exposição ocupacional

Após receber uma listagem de resultados de análises das amostras, algumas questões são frequentemente formuladas:

a. Pode-se comparar diretamente cada resultado com o LEO?

b. É possível utilizar um valor médio?

c. Como calcular uma média que represente o grupo?

d. A dispersão dos resultados obedece a uma distribuição normal?

e. O quão seguro é um valor ligeiramente abaixo do LEO?

f. Resultados abaixo do LEO garantem-nos que nunca teremos exposição acima deste?

6.9.1. Média Ponderada pelo Tempo (MPT)

Como visto anteriormente para substâncias de toxicidade em longo prazo e para cada trabalhador avaliado é calculada uma MPT, que é média aritmética entre as concentrações encontradas durante a jornada e ponderadas, pelo tempo que cada uma representa.

$$MPT = \frac{(T_1 \times C_1) + (T_2 \times C_2) + \ldots\ldots + (T_n \times C_n)}{\text{Somatório de T}}$$

MPT = Média Ponderada pelo Tempo
C = concentração do agente
T = tempo que a concentração existiu ou tempo de exposição de um trabalhador a esta concentração.

Num exemplo, para uma jornada de 8 horas de um pintor exposto a vapores de um solvente, foram coletadas 3 amostras sequenciais de 2 horas cada e obtidos os seguintes resultados:

Tabela 6.3. Exemplo de resultados obtidos em uma avaliação ambiental

Amostra	Tempo de coleta	Concentração
1	2 h	20 ppm
2	2 h	30 ppm
3	2 h	40 ppm

Para cálculo da MPT coloca-se no numerador: (20x2) + (30x2) + (40x2) e no denominador o somatório de T, ou seja, 6 horas do total das amostras, ou 8 horas referentes à jornada completa. Para saber-se o que entra no denominador deve-se conhecer a exposição. Se o período amostrado (6 horas) é semelhante ao restante não amostrado (2 horas), os valores obtidos neste período de 6 horas são representativos da MPT daquele dia e de todos os outros dias, assim o denominador é 6. O que origina uma MPT igual a 30 ppm

Se por outro lado, foram avaliadas apenas 6 horas, porque nas 2 horas restantes não havia exposição e este período restante de 2 horas é considerado como parte da jornada, a *concentração zero* deve fazer parte do cálculo: (20x2) + (30x2) + (40x2) + (0x2) no numerador e **8** no denominador, originando uma MPT igual a 22,5 ppm.

No segundo caso, o trabalhador tendo 2 horas de exposição zero tem uma média para a jornada, inferior àquela que estaria, se ficasse exposto 6 horas. A *Carga Corpórea* que é quantidade total absorvida do agente tóxico, como se denomina em Toxicologia, é menor no segundo caso em relação ao primeiro.

Conforme discutido no item 11.6, recorda-se que o elemento básico da MPT, (C x T) é a concentração que representa a exposição ocupacional multiplicada pelo tempo que existiu. Este é o conceito de *dose* em toxicologia. *A dose correta diferencia o veneno do medicamento,* dizia Paracelcius e extrapolando para a Higiene Ocupacional, para se obter um efeito há necessidade de *exposição* durante um dado *tempo*.

6.9.2. Estimativa de médias para um GHR

Se num GHR de 20 trabalhadores, por exemplo, escolhermos um grupo amostral de 13. Para cada um dos 13 trabalhadores escolhidos, calcula-se a MPT e a seguir atribui-se uma única média para o grupo todo, inclusive para os trabalhadores amostrados ou não.

Se os resultados das avaliações fossem distribuídos segundo uma curva normal, poder-se-ia fazer uma média aritmética das MPT e esta seria a média para todos os 20 trabalhadores. Contudo, segundo LIEDEL (1997) a distribuição das concentrações faz-se segundo uma curva log-normal. Para as concentrações usualmente encontradas em ambientes de trabalho, a distribuição é log-normal, pois são encontrados poucos valores elevados, altas concentrações não aparecem com muita frequência, somente por curtos períodos. Por outro lado, além de se acumularem próximas ao zero, as concentrações de uma substância no ar não possuem valor negativo.

A importância deste fato é que a média para uma curva normal é a *média aritmética,* mas para uma curva log-normal a média é *geométrica* e que conforme o desvio padrão geométrico, as diferenças entre as duas médias pode ser de até cerca de 50 % como se observa na Tabela a seguir.

Tabela 6.4. Desvio padrão geométrico-DPG, média geométrica-MG, de distribuição de valores que possuem a mesma média aritmética MA

DPG	MG	MA
1,2	9,8	10
1,5	9,2	10
2,0	7,9	10
3,0	5,5	10

Fonte: LIEDEL (1977)

6.9.3. Comparação com os limites de exposição ocupacional

Cálculo do Índice de Exposição - IE

Em virtude de ter-se um limite diferente para cada substância, uma forma de simplificar a visualização a comparação com os limites de exposição ocupacional é a utilização do IE. Inicialmente deve ser feita levando em conta primeiro o tipo de efeito para o qual o limite foi estabelecido e se de valor máximo, teto ou MPT conforme discutido anteriormente e a seguir calcular o índice de exposição. como segue

$$IE = \frac{C}{LEO}$$

Onde: IE = Índice de Exposição
C = concentração ou médias das concentrações
LEO = Limite de Exposição Ocupacional

Sempre que o IE for igual a 1 a exposição é igual ao limite, se superior a 1 estará acima do limite. Se acima de 0,5 estará acima do Nível de Ação, e assim por diante.

Cálculo do Índice de Exposição para exposição simultânea de substâncias com efeitos aditivos.

Conhecendo-se os efeitos para os quais foi recomendado o LEO é possivel considerar a realição da somaória das exposições isolada a cada uma das substâncias, conforme inclusive indicado no Apendice E do Livreto dos TLV´s. A forma mais simples de se sabaer o efeito para o qual o limite foi recomendado é consultar o citado livreto e encontra-se na última coluna da tabela: ***Base do TLV.*** Os casos mais comuns em que existem efeitos aditivos e há necessidade do somatória, são os os vapores de solventes orgânicos alguns dos metais presentes nos fumos em operações de solda, conforme já referido no capitulo anterior, item 5.8.3.

No caso de exposição simultânea a substâncias de efeito aditivo o IE é calculado como segue:

$$IE = \frac{C1}{L1} + \frac{C2}{L2} + \ldots + \frac{Cn}{Ln}$$

Onde C1 = Concentração ou média da substância 1
L1 = Limite da substância 1

Comparação dos valores e médias obtidas em uma avaliação

A comparação dos valores das concentrações, médias e índices de exposição pode ser resumida na tabela a seguir.

Tabela 6.5. Concentrações e médias obtidas em uma avaliação ambiental e referências

Funcionários no grupo amostral	Concentrações medidas em um dia ou período					MPT	MG	MG/LEO
	1	2	3	4	5			
1	x	x	x	x	x	x		
2	x	x	x	x	x	x		
3	x	x	x	x	x	x		
4	x	x	x	x	x	x		
5	x	x	x	x	x	x		
6	x	x	x	x	x	x		
...								
N	x	x	x	x	x	x	x	x
Comparar com	**NA** LT–VT ou VM TLV-C ou STEL					**NA** LT-MPT TLV-TWA	**NA** LT-MPT TLV-TWA	**IE**

Notas: LEO = Limite de Exposição Ocupacional
LT-VM = Limite de Tolerância -Valor Máximo (Brasil)
LT-VT = Limite de Tolerância -Valor Teto (Brasil)
LT-MPT = Limite de Tolerância - Média Ponderada pelo Tempo (Brasil)
MG = Média Geométrica
MG/LEO = IE = Índice de Exposição
NA = Nível de Ação
NR-15 = Norma Regulamentadora 15 (Brasil)
TLV-C = Threshold Limit Value - Ceiling (ACGIH)
TLV-STEL = TLV - Short Term Exposure Level (ACGIH)
TLV-TWA = TLV - Time Weight Average (ACGIH)
X = Valor encontrado.

Na tabela anterior são indicadas as principais comparações a serem feitas com os valores das concentrações obtidas, em uma avaliação da exposição ocupacional a um agente químico. O IE geralmente é calculado com a MG ou ainda com a MPT, contudo, pode ser também calculado para todas as concentrações individuais medidas em um determinado dia ou período, o que é útil nos casos de elaboração de relatórios e apresentações onde pode melhorar o entendimento, principalmente quando se trata de diversas substâncias com efeitos aditivos ou não, mas com limites diferentes.

6.9.4. Estimativa da probabilidade de ultrapassar o limite de exposição ocupacional

De posse dos resultados das concentrações que representam a exposição ocupacional num dado período, estes são comparados com os padrões e, considerando-se um resultado abaixo do LEO e as variações normais do processo produtivo, uma questão bastante pertinente a ser levantada neste

momento é se existe possibilidade de haver exposição acima do LEO em um outro período qualquer, quando da visita de uma fiscalização, por exemplo.

Existem alguns métodos estatísticos diferentes para realizar esta estimativa, todos, porém, baseados na variação dos resultados obtidos, pois quanto maior for à variabilidade das concentrações em um dado local ou atividade, maior será a probabilidade de se ter um valor elevado. Os 2 métodos mais difundidos são:

a. Indicado pelo NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health / USA (LIEDEL 1977).

b. Indicado pelo INRS – Institute Nationale de Recherche et de Securité / França. (HERVÉ BAZIN 1989).

Considere-se um caso prático, de um grupo de soldadores de uma grande indústria metalúrgica, da Grande São Paulo, expostos homogeneamente a fumos metálicos, e divididos em vários grupos homogêneos em ralação à exposição. Um destes grupos, com 46 soldadores que executam basicamente as mesmas tarefas e operações de solda MIG (Metal-Inert Gas).

Segundo o critério estatístico de amostragem, destes 46 soldadores, foram escolhidos aleatoriamente 17 e realizada a coleta de amostras de fumos metálicos na zona respiratória de cada um destes. Cada amostra teve a duração de cerca de 90% da jornada e repetida em 3 dias, gerando um total de 51 amostras. Em cada amostra foram analisados os metais: manganês cobre e ferro.

a. Estimativa segundo o NIOSH

Conforme a recomendação deste método, para cada metal foi calculada a média ponderada pelo tempo de cada soldador amostrado e a Média Geométrica – MG para os grupos e a seguir calculados o IE – Índice de Exposição, o LCS – Limite de Confiança Superior e o LCI – Limite de Confiança Inferior e o DPG – Desvio Padrão Geométrico, conforme indicado.

LCS = IE + CV

LCI = IE – CV

CV = Coeficiente de Variação = desvio padrão / média (veja observação a seguir)

Observa-se que neste exemplo os dados a serem analisados não são resultados de medidas simples, como a mensuração do comprimento de diversos objetos semelhantes, mas sim, é uma conjunto de medidas como, tempo, volume de ar, análises em laboratório, calibração de instrumentos, etc além dos diversos possiveis erros. Assim o CV não é calculado simplesmente pela fórmula, mas sim é feita uma estimativa do CV total que englobaria todas variáveis envolvidas no processo de avaliação que no presente caso estima-se em 0,24.

Os resultados constam da Tabela a seguir:

Tabela 6.6. Parâmetros obtidos na avaliação da exposição a fumos metálicos em um grupo de soldadores

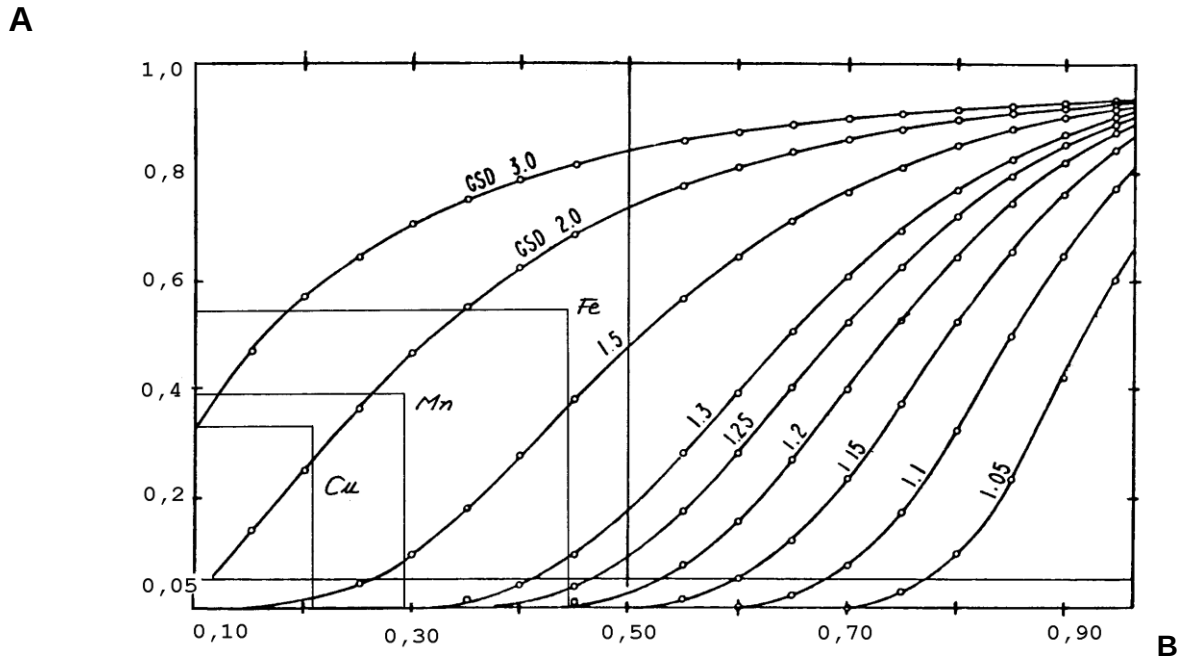
Metal	LEO mg/m³	MG mg/m³	DPG	IE	CV	LCS	LCI
Manganês	1,0	0,30	1,92	0,30	0,24	0,53	0,05
Cobre	0,2	0,04	2,19	0,20	0,24	0,44	0,00
Ferro	5,0	2,23	1,79	0,45	0,24	0,68	0,22

Notas: LEO = Limites de Exposição Ocupacional, vigente à época
MG = Média Geométrica
DPG = Desvio Padrão Geométrico (das MG)
IE = Índice de Exposição
LCS = Limite de Confiança Superior (do IE)
LCI = Limite de Confiança Inferior (do IE)
Fonte: ANAMI e COLACIOPPO (1992) (com adaptações).

Pela tabela anterior, observa-se que no caso do ferro, há variação dos resultados, mas pode-se afirmar, com 95% de confiança, que a exposição a estes fumos está bastante próxima de 2,23 mg/m^3 (IE de 0,45) e compreendida entre 0,68 e 0,22 do LEO. Contudo, devido à variabilidade dos resultados a exposição não permanece sempre baixa, podendo estar em alguns períodos acima do LEO.

Para estimar a probabilidade de ultrapassar o LEO utiliza-se o gráfico da Figura 6.1, que fornece, conforme o desvio padrão geométrico, as curvas de risco de ultrapassar o LEO em pelo menos 5%

das concentrações medidas, em um dia qualquer. Assim, temos as chances de ultrapassar o LEO em cerca de 40% para o Manganês, 35% para o Cobre e 55% para o Ferro.



A = Coeficiente de confiança (probabilidade) que ao menos 5% ou mais dos trabalhadores tenham uma exposição real diária superior ao LEO; **B =** Índice de Exposição em um dia; **GSD =** Desvio Padrão Geométrico;
Fonte: Liedel (1977)

Figura 6.1. Curvas de risco de super exposição para medidas de média ponderada pelo tempo para jornadas de 8 horas.

b. Estimativa segundo o INRS.

HERVÉ-BAZIN (1989), recomenda uma análise mais simples dos resultados, indicada inclusive pela Norma EM 689 da Comunidade Européia (CEN, 1989), que indica ainda outras interpretações estatísticas interessantes. O método propõe que se calcule para cada substância e para cada grupo homogêneo um valor μ segundo a equação:

$$\mu = \text{Log LEO} - \frac{\text{Log MG}}{\text{DPG}}$$

Onde LEO = Limites de Exposição Ocupacional
MG = média geométrica
DPG = desvio padrão geométrico.

O valor de μ calculado, deve ser utilizado para determinação da probabilidade de se encontrar um valor superior ao LEO em um dia qualquer, utilizando-se para isto a Tabela 6.7 a seguir:

Tabela 6.7 Probabilidade (%) de se encontrar um valor de exposição ocupacional acima do LEO, em função da variável μ

μ	%	μ	%	μ	%
0,0	50	1,0	16	2,0	2,5
0,1	46	1,1	14	2,1	2,0
0,2	42	1,2	12	2.2	1,5
0,3	38	1,3	10	2,3	1,0
0,4	34	1,4	8	2,4	0,9
0,5	31	1,5	7	2,5	0,7
0,6	28	1,6	6	2,6	0,5
0,7	24	1,7	5	2,7	0,4
0.8	21	1,8	4	2,8	0,3
0.9	18	1,9	3	2,9	0,2
				3,0	0,14

Fonte: HERVÉ-BAZIN (1989)

Para o exemplo do grupo de soldadores, encontram-se os seguintes valores:

a. para manganês μ = 0,27 e probabilidade de 42 %
b. para o cobre μ = 0,3 e probabilidade de 38%
c. para ferro μ = 0,1 e probabilidade de 46%.

Segundo a recomendação do método, probabilidades abaixo de 0,1% de ocorrência de uma concentração acima do LEO são aceitáveis e superiores a 5% são inaceitáveis. Probabilidades intermediárias são inconclusivas, devendo ser objeto de estudo mais completo. Desta forma,

segundo este método, encontra-se respectivamente 42, 38 e 46% de probabilidade de termos uma exposição acima do LEO, havendo, portanto necessidade de introdução de medidas de controle.

Pelos dois exemplos de interpretação anteriores, verifica-se que as probabilidades encontradas, embora próximas não são exatamente iguais, pois no primeiro exemplo as probabilidades são geradas por um gráfico e por consequência os valores são aproximados. Observa-se ainda que no método do NIOSH temos a probabilidade de 5% das medições excederem o LEO, enquanto que o INRS indica a probabilidade de qualquer medida ser superior ao LEO.

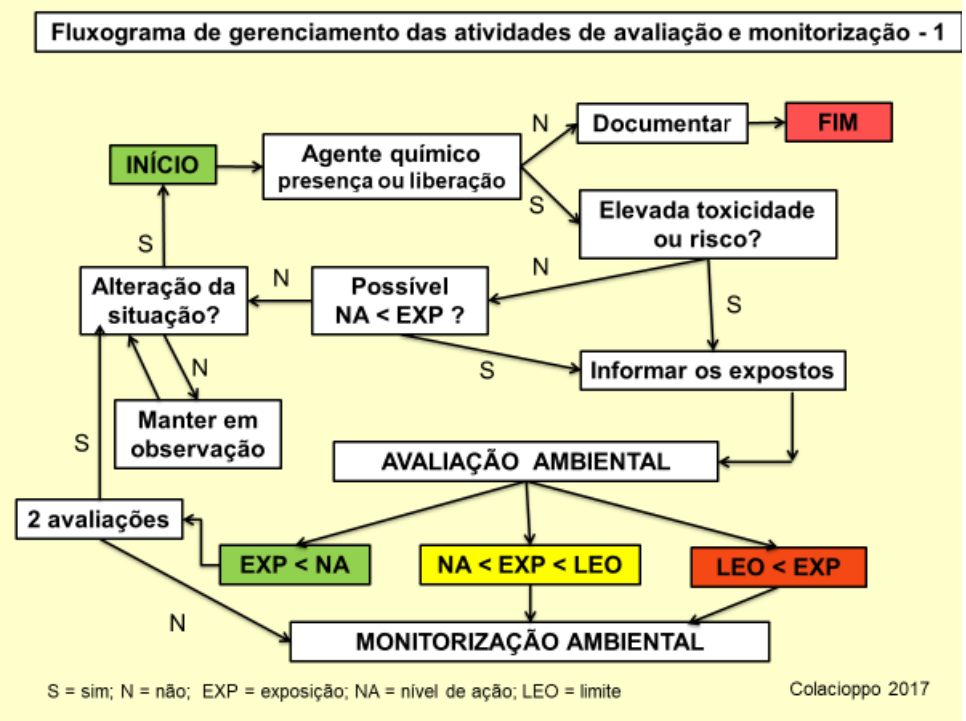
Deve ser considerado ainda que estas interpretações estatísticas e adaptações de limites para jornadas não usuais devem ser realizadas somente em casos específicos e de exposição próxima ao LEO, com controle adequado e dentro de um programa de monitorização ambiental e biológica, uma vez que estes limites são baseados em estimativas e suposições, não oferecendo garantias que um determinado valor de concentração seja um número absoluto e exato a ponto de se realizarem sistematicamente adaptações matemáticas de ajuste em qualquer avaliação.

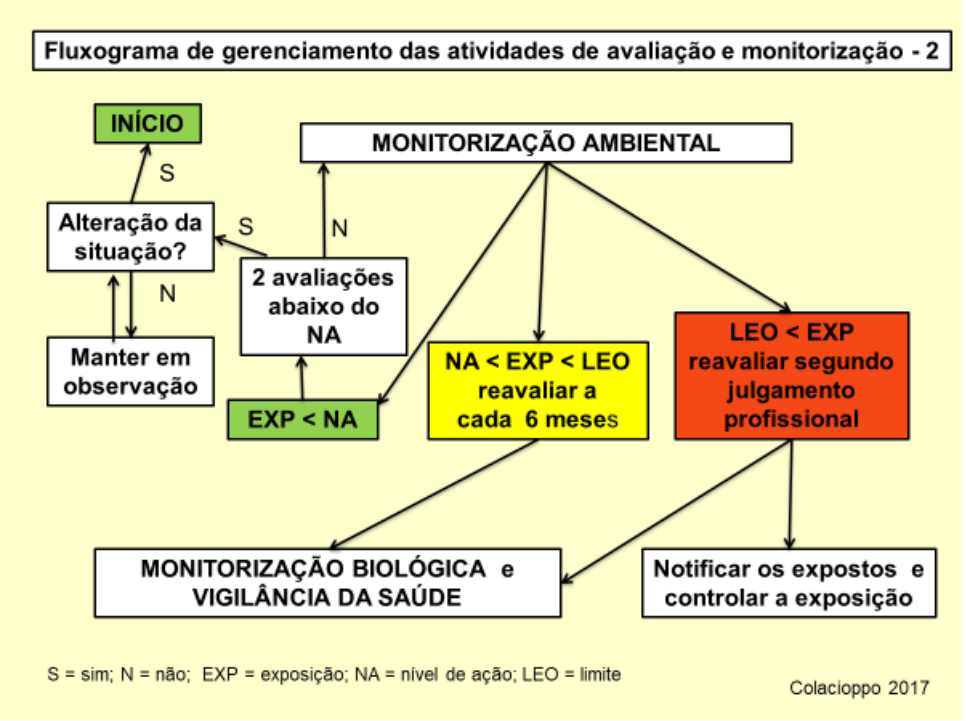
6.10. Considerações finais

A exposição ocupacional a agentes químicos só pode ser adequadamente avaliada ou estimada com os conhecimentos da Higiene e da Toxicologia Ocupacional, não prescindindo ainda do concurso da Medicina do Trabalho, da Química, da Toxicologia Analítica, da Estatística, da Educação e ainda diversas outras ciências. Torna-se claro, que assuntos relativamente complexos como a Avaliação e a Monitorização da exposição ocupacional só poderão ser corretamente realizados seguindo ainda as orientações e determinações da administração da empresa e da legislação pertinente.

Assim, estas atividades devem ser realizadas de forma adequada dentro do PPRA – Programa de Proteção de Riscos Ambientais ou PGR - Programa de Gerenciamento de Riscos e articuladas com

os demais programas como o PCMSO, PPR e outros que vierem a ser criados e subordinados a um programa maior de Saúde do Trabalhador. Apresenta-se a seguir uma sugestão de fluxograma para estas atividades.





A Frequência das avaliações certamente são determinadas por critério profissional do Higienista Ocupacional que deve levar em consideração todos os fatores enviolvidos, cita-se a seguir uma sugestão clássica de Morton Corn:

FREQUÊNCIA DAS AVALIAÇÕES

RESULTADOS	~ NA	~ 0,5 NA	< 0,5 NA
CONTROLE	RUIM	RAZOÁVEL	ADEQUADO
TOXICIDADE	ALTA	MODERADA	BAIXA
LIMIAR OLFATIVO	>LEO	>LEO	< LEO
FREQÜÊNCIA	3 MESES	6 MESES	1 ANO

MORTON CORN 1986

6.10. Bibliografia consultada e complementar.

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Fundamentals of Industrial Hygiene**. Cincinnati (OH).

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Limites de exposição (TLV´s) para substâncias químicas e agentes físicos e limites biológicos de exposição**. Cincinnati (OH); 2020. Tradução da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais: São Paulo (SP); 2020.

AIHA American Industrial Hygiene Association. **WEEL – Workplace environmental exposure levels guide.** Fairfax (VA).

Atherley GA. **Critical review of time-weighted average as an index of exposure and dose, and of its key elements.** *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; (46) Sept.

Brasil, Ministério do Trabalho. **Portaria ministerial número 3214**, *normas regulamentadoras número 1 a 28 e anexos*. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 28/12/1978.

Brief RS e Scala RA. **Occupational exposure limits for novel work schedules**. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1973; Junho.

CEN European Committee for Standardization. **Workplace atmospheres - Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for Comparison with limit values and measurement strategy.** European Standard EN 689, 1995.

CHRIS *US Cost Guard* – **Chemical hazards response information system manual, 2002**. Available at <URL:http//www.chrismanual.com>[2019].

Colacioppo S. **Avaliação da exposição ocupacional a fumos de solda**. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 1985; 49 (13).

Cralley LS and Cralley LV. **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): John Wiley; 2010.

Della Rosa HV, Martins I, Siqueira MEPB e Colacioppo S. **Monitoramento ambiental e biológico.** in *Fundamentos de Toxicologia.* Oga S. Editor, São Paulo (SP): Atheneu 2014.

Freitas NBB e Arcuri ASA. **Valor de referência tecnológico (VRT)** a nova abordagem do controle da concentração de benzeno nos ambientes de trabalho. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 1997; 89-90:71-85.

Hevé-Bazin B. **Guide d´évaluation de l´éxpesiton au risque toxique sur les lieux du travail par échantiliogane de l´atmosphère**. *Cahiers de Notes Documentaires* 1989; 135 (2 º Trim.): 265-288.

ILO International Labour Office. *Occupational safety and health Series 72*. **Tecchnical and ethical guidelines for workers' health surveillance.** Geneva; 1998.

ILO International Labour Office, **Encyclopaedia of occupational health and safety**. Parmeggiani L. Editor, 3rd Edition, Geneva: 1989.

Klaassen CD. Editor. **Casarett and Doull´s TOXICOLOGY the basic science of poisons**. 6th Edition, New York (NY): Mac Graw-Hill; 2015.

Liedel NA. et al. **Occupational exposure sampling strategy manual**. NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati (OH): DHEW (NIOSH) publication 77-173; 1977

Mendes, Rene; Organizador. **Dicionário de Saúde e Segurança do Trabalhador** 1ª Ed. Proteção 2018

Nighswonger T. **Where do you set the standard?** Available at <URL:http// www.occupationalhazards.com/news_loader.asp?articleID=22025>[2019]

NIOSH [2019]. Technical report: **The NIOSH occupational exposure banding process for chemical risk management.** By Lentz TJ, Seaton M, Rane P, Gilbert SJ, McKernan LT, Whittaker C. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention,

National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2019-132, https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2019132.

Oga, Seizi, Camargo e Batistuzzo, **Fundamentos de Toxicologia** 4ª Ed. Atheneu 2014.

OSHA Occupational Safety and Health Administration. **Permissible exposure levels.** Available at <http://search.osha-slc.gov/search97cgi/s97is.dll>[2019].

Patty FA. (Ed.) **Industrial Hygiene and Toxicology**. New York (NY): Interscience Publisher; 1948.

Raymond Agius, **Occupational Exposure Limits For Therapeutic Substances.** Ann ocnp. Vol. 33. No 4, pp. 555-562, 1989**.**

Smolensky, M. H. Paustenbach, D. J. and Shcving, L. E. **Biological rhythms shiftwork and Occupational Health**. in Cralley L.S. and Cralley L.V. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York(NY): John Wiley; 1985.

Verma DK. **Adjustment of occupational exposure limits for unusual work schedules.** *Am. Ind. Hyg. Ass. J*. 2000; 61:367-374

Vinay Kumar, **Health-Based Occupational Exposure Limits in Pharmaceutical or Chemical Manufacturing.** http://dx.doi.org/10.17140/TFMOJ-2-115 acessado em jan/2020