

AGENTES DE RISCO QUÍMICO

Por: Albertinho Barreto de Carvalho

I - CLASSIFICAÇÃO DOS AGENTES QUÍMICOS

1.0 - VIAS DE INGRESSO NO ORGANISMO HUMANO.

2.0 - TIPOS DE AERODISPERSÓIDES.

2.1 - Dimensões das Partículas/Diâmetro Aerodinâmico.

2.2 - Ingresso no Aparelho Respiratório (Frações inalável, torácica e respirável)

2.3 - Poeiras Contendo Sílica Livre Cristalizada

2.4 - Poeiras Contendo Fibras de Amianto.

2.5 - Outros Tipos de Poeiras.

2.6 - Alguns Ramos de Atividades onde há Exposição a Fumos, Névoas, Neblinas, Gases e Vapores.

II - ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL .

1.0 - ETAPAS DE UMA AVALIAÇÃO.

2.0 - CARACTERIZAÇÃO BÁSICA

2.1 - Informações a Serem Obtidas

3.0 - LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS.

4.0 - OBJETIVOS DA AVALIAÇÃO AMBIENTAL.

5.0 - GRUPOS HOMOGÊNEOS DE EXPOSIÇÃO-GHE

5.1- Definição

5.2- Priorização

6.0 - ESTRATÉGIA DE COLETA DE AMOSTRAS DE AR

6.1 - Amostra Pessoal (Individual)

6.2 - Amostra de Área (Ambiente ou Ponto Fixo).

6.3 - Classificação das Amostras Segundo a Duração da Coleta

6.4 - Programação de uma Avaliação Ambiental

7.0 - NÚMERO DE AMOSTRAS A COLETAR - NÚMERO DE RESULTADOS

7.1 - Recomendação da NR - 15

7.2 - Segundo a AIHA

7.3 - Segundo a NIOSH/OSHA

7.4 - Segundo a ACGIH

8.0 - REAVALIAÇÕES/FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM.

III - AMOSTRAGEM DE GASES E VAPORES E AERODISPERSÓIDES

1.0- PRINCÍPIOS BÁSICOS DA AMOSTRAGEM.

2.0- COLETA DIRETA: USO DE BAGS (SACOS).

3.0- COLETA INDIRETA - MÉTODOS DE CONCENTRAÇÃO

3.1- Absorção

3.2- Adsorção

3.3- Retenção em Filtros.

4.0- SEPARADORES GRANULOMÉTRICOS DE PARTÍCULAS

4.1- Definição e Tipos

4.2- Ponto de Corte e Curvas de Separação

4.3- Recomendações da NR -15.

5.0- BOMBAS DE AMOSTRAGEM DE AR

6.0- MONITORES PASSIVOS: Aplicação - Vantagens - Limitações - Validação.

7.0- QUANTIFICAÇÃO

7.1 - Métodos de Análise

7.2 - Instrumentos de Leitura Direta

7.3 - Método Analítico: interpretação e aplicação

8.0- CAUSAS DE ERROS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÊNDICE

CÁLCULO DE ÍNDICE DE RISCO PARA SOLVENTES ORGÂNICOS

AGENTES DE RISCO QUÍMICO

I - CLASSIFICAÇÃO DOS AGENTES QUÍMICOS

- **GASES:** quando só existe como gás na temperatura e pressão ambiente (25°C e 760 mmHg).

Ex.: hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, etano, propano, butadieno, SO₂, NO_x, H₂S.
- **VAPORES:** quando o gás pode coexistir com o líquido ou sólido na temperatura e pressão ambiente. (É a fase gasosa de uma substância que é líquida à temperatura ambiente).

Ex.: vapor de gasolina, de naftalina, de benzeno, etc.
- **AEROSSÓIS:** (ou aerodispersóides) - dispersão de partículas sólidas ou líquidas em um gás, no caso, o Ar.

Ex.: fumaça, spray, fuligem, fumos de solda, etc.

1.0 - VIAS DE INGRESSO DOS AGENTES QUÍMICOS NO ORGANISMO HUMANO

- inalação: principal via (grande área alveolar)
- cutânea: absorção pela pele (ex. substâncias lipo-solúveis)
- ingestão: acidental - costume/manias - inalar partículas contendo substâncias nela adsorvidas,...

A frequência respiratória do ser humano é de cerca de 15 atos por minuto, mas pode subir até 4 vezes este valor durante esforço físico.

O volume de ar trocado por dia é de cerca de 12 metros cúbicos, correspondente a uma massa de ar de 15 Kg.

Qualquer agente químico presente no ar, exerce, portanto, efeitos potencialmente danosos sobre as funções pulmonares e sobre todo o organismo.

2.0 - TIPOS DE AEROSSÓIS (AERODISPERSÓIDES):

- **POEIRAS:** partículas sólidas dispersas no ar a partir de processos mecânicos (demolições, perfurações, varrimento, esmerilhamento, movimentação de veículos, etc.) e naturais (erupções vulcânicas, ventanias, etc). Podem ser originadas de produtos químicos como, fertilizantes, pigmentos, agrotóxicos, medicamentos, etc. Os diâmetros de partículas suspensas variam entre $1\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$, dependendo de como são originadas e lançadas no ar.

Ex.: poeiras de carvão, de cimento, de sílica, metálicas, de madeiras, de fibras, de medicamentos, de agrotóxicos, de polímeros, etc.

- **FUMOS:** partículas sólidas, produzidas por condensação de substâncias que são sólidas em condições normais de T e P. ($0,001\mu\text{m}$ a $0,5\mu\text{m}$).

Ex.: fumos metálicos, fumos de solda, de asfalto, etc.

- **NÉVOAS:** partículas líquidas produzidas por ruptura mecânica de líquidos. ($> 0,5\mu\text{m}$).

Ex.: spray de desodorantes, de lubrificantes (ex.: WD), de inseticidas caseiros, etc.

- **NEBLINA:** partículas líquidas formadas pela condensação de vapores de substâncias que são líquidas em condições normais de T e P ($< 0,5\mu\text{m}$)

Ex.: orvalho, neblinas ácidas e alcalinas (em galvânicas), condensação de vapores de substâncias químicas (orgânicas e inorgânicas).

- **FUMAÇA:** são constituídas por gases, vapores, partículas sólidas e líquidas resultantes de combustão incompleta ($< 0,1\mu\text{m}$).

Ex.: queima de lixo, de pneus, queimadas em geral, etc.

2.1 - DIMENSÕES DAS PARTÍCULAS

É o principal parâmetro que governa o comportamento de um aerossol. O tempo que uma partícula permanece no ar depende do seu tamanho, peso específico e da velocidade de vento.

Examinadas ao microscópio, as partículas não são perfeitamente esféricas. Elas, têm formas variadas e irregulares.

A dimensão das partículas é dada, geralmente, pelo **Diâmetro Aerodinâmico**.

2.1.1 - Diâmetro Aerodinâmico das Partículas (DAP)

“É o diâmetro de uma partícula de forma esférica e de densidade unitária que tem um comportamento igual ao da partícula em exame”. (Ex.: velocidade de sedimentação).

Leva em consideração o comportamento da partícula. É o parâmetro mais utilizado.

TABELA 1. Grandeza Aproximada de Algumas Partículas

Tipo	diâmetro(μm)
fumaça de cigarro	0,01 - 1,0
fumos de óleo	0,03 - 1,0
poeira de carvão	1 - 100
poeira de cimento	3 - 100
negro de fumo	0,01 - 0,3
fumos e poeiras metalúrgicas	0,001 - 100
fumos de ZnO	0,01 - 10
fumos alcalinos	0,1 - 5
poeiras de fitofármacos	0,5 - 10

2.2 - INGRESSO DAS PARTÍCULAS NO APARELHO RESPIRATÓRIO

O ingresso de partículas no aparelho respiratório depende de fatores tais como frequência respiratória, dimensão das partículas e velocidade do vento.

O **trato respiratório** é compreendido por:

- **vias aéreas superiores:** boca, nariz, orofaringe, laringofaringe, nasofaringe, laringe;
- **região traqueobronquial:** traquéia, brônquios, terminais dos bronquíolos;
- **região de troca gasosa:** bronquíolos respiratórios, dutos alveolares, sacos alveolares.

Tradicionalmente as partículas têm sido denominadas genericamente de “poeiras” e os critérios de avaliação da exposição ocupacional vêm baseando-se nos conceitos de POEIRA TOTAL e POEIRA RESPIRÁVEL, ou mais apropriadamente, PARTÍCULAS TOTAIS (ou FRAÇÃO TOTAL) e PARTÍCULAS RESPIRÁVEIS (ou FRAÇÃO RESPIRÁVEL).

No entanto, em função das dimensões, forma, densidade e fluxo respiratório, as partículas (não só de poeiras) após ingressarem via nariz e boca, vão se depositando em diferentes regiões do trato respiratório e em diferentes proporções. Na Figura 1 encontra-se a curva de deposição de partículas no trato respiratório segundo a ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), a ISO (International Standards Organization) e a CEN (European Standardization Committee). As curvas referem-se às frações INALÁVEL ($< 100 \mu\text{m}$), TORÁCICA ($< 25 \mu\text{m}$) e RESPIRÁVEL ($< 10 \mu\text{m}$), que são os novos critérios a serem considerados nas avaliações de exposição ocupacional ou de contaminação dos ambientes de trabalho por aerodispersóides.

Os dispositivos utilizados para as coletas das frações acima descritas são chamados de Seletores de Partículas ou Separadores Granulométricos de Partículas (ver capítulo específico), cuja performance é baseada na curva de deposição das partículas no trato respiratório.

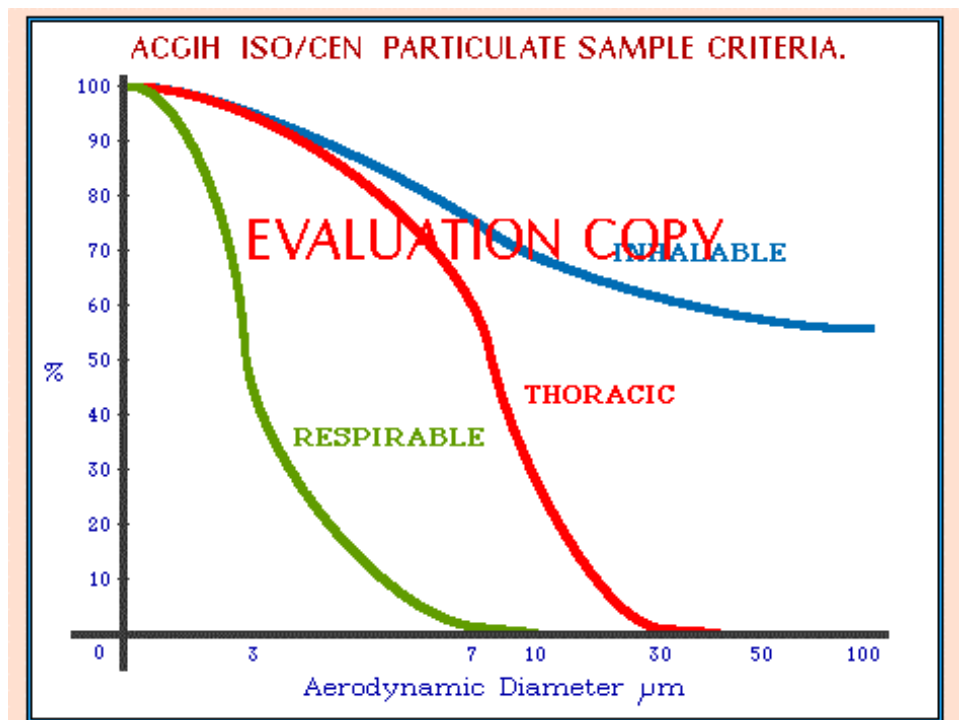


Figura 1. Curvas de deposição de partículas no trato respiratório da ACGIH/ISO/CEN

2.3 - POEIRAS CONTENDO SÍLICA LIVRE CRISTALIZADA (SiO₂)

- É encontrada em grandes quantidades na crosta terrestre (cerca de 60% desta), como parte de rochas, minérios, areias, etc..

- Existe na natureza em três formas:

- quartzo
- tridimita
- cristobalita

- A forma cristalizada do quartzo é a de maior importância, pois causa a PNEUMOCONIOSE (alteração produzida no tecido pulmonar) conhecida como **SILICOSE**.

- **Outras formas de SÍLICA (SiO₂) encontradas na natureza:**

a) Criptocristalina:

- calcedônia
- trípoli
- pedernal

b) Amorfa:

- sílica coloidal

- gel de sílica
- opala

TABELA 2. Ramos industriais e fontes de geração de poeiras silicóticas.

Ramo Industrial	Fonte de Geração
Construção Civil	Blocos de pedra, granito, concreto, quartzo decorativo, areia
Metalomecânica	Tijolos refratários, areia para moldes de fundição, jateamento de areia, polimento abrasivo de metais, etc
Mineração (de ouro, carvão, diamante...)	Perfuração e retirada de minério, lavra por explosivos, transporte e moagem, etc.
Cerâmica	Preparação de massa, torneação a seco, preparação de formas refratárias, esmaltação a revólver, carga e retirada de peças de forno, polimento a seco de produtos acabados, etc.
Vidro	Manuseio de matérias-primas (areia), carga de forno, corte de tijolos refratários, manutenção dos fornos, etc.
Cimento	Movimentação de matérias-primas, processo em geral até a carga dos fornos, varrimento, etc.

Fonte: Fundacentro - RISCOS QUÍMICOS

2.4 - POEIRAS CONTENDO FIBRAS DE AMIANTO (ASBESTO)

O AMIANTO é um composto de silício (silicato), reconhecidamente **CANCERÍGENO** (câncer dos pulmões) e responsável por uma pneumoconiose chamada de ASBESTOSE. Pertence à classe das fibras naturais minerais.

Existe nas formas:

a) classe das serpentinas (rochas metamórficas)

- **crisotila (asbesto branco) - predominante no Brasil**
- metaxite
- xilotilo, etc.

b) classe dos anfíbolios (rochas metamórficas)

- amosita (asbesto marrom)
- crocidolite (asbesto azul)
- actinolita (asbesto marrom) - (menos utilizadas)
- tremolita - (“ “)
- antofilita (asbesto azul) - (“ “ “)

2.4.1 - Fontes de exposição ocupacional a AMIANTO

Atividades de extração, movimentação e estocagem, Indústria de Cimento-Amianto, produção de isolantes térmicos, atividades de remoção de sistemas contendo amianto, atividades de limpeza nos setores citados, etc.

2.5 - OUTROS TIPOS DE FIBRAS MAIS CONHECIDOS

De talco, de rutilo, de algodão, de sisal, de bagaço de cana, de linho, de lã, de vidro, acrílicas, polivinílicas, de poliéster, de produtos naturais celulósicos e protéicos, etc.

2.6 - OUTROS TIPOS DE POEIRAS

Poeira de cimento, poeiras metálicas, poeira de calcário, poeira de negro de fumo, poeira de gesso, poeiras de agrotóxicos (inseticidas, fungicidas), poeiras de pigmentos de tintas, etc.

2.7 - FUMOS

Os fumos de maior importância são os metálicos (na forma elementar, como óxidos ou sais metálicos), embora outros como, fumos de asfalto e fumos produzidos por combustão incompleta (que contém HPA's - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos), mereçam igual atenção.

Ex.: fumos de solda, fumos de chumbo, cobre, óxido de zinco, cloreto de zinco, pentóxido de vanádio (V₂O₅), sílica, níquel, sulfeto de níquel, óxido de magnésio, óxido de ferro, asfalto (petróleo), cloreto de amônio, etc.

TABELA 3: Alguns ramos industriais/atividades onde há exposição a fumos.

Ramo industrial/atividade	Fumos
Soldagem - depende dos metais a serem soldados, do tipo de eletrodo, do tipo de solda (arco submerso, eletrodo revestido, TIG, etc), do gás usado, etc.	fumos de cromo, níquel, manganês, zircônio, vanádio, óxidos e fluoretos de cálcio, titânio, zinco, cobre, manganês, cromo, chumbo, molibidênio, estrôncio.
Indústria Siderúrgica e Fundições - depende da composição das matérias-primas (aço, ferro).	fumos de óxido de ferro, óxido de manganês, HPA's, cromo VI, cromo III, chumbo, níquel, zinco, etc.
Usinas de Asfalto/Ind. Const. Civil.	fumos de asfalto (pode conter HPA's)
Ind. Químicas/Petroquímicas e de Petróleo - oficinas, manutenção, fornos, caldeiras, incineradores.	fumos de HPA's, fumos de solda, etc.
Indústria de Coque	fumos de HPA's (benzopireno)

2.8 - NÉVOAS E NEBLINAS

TABELA 4. Ramos industriais/atividades com geração de neblinas/névoas

Ramo industrial/atividade	Neblina/Névoa
Galvanoplastia - zincagem, cromação, oxidação anódica, etc.	neblinas ácidas (H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , HF, HCl, ác. oxálico, ác. crômico), alcalinas (NaOH, Na ₃ PO ₄), cianúricas (NaCN, Zn(CN) ₂ , Cu ₂ (CN) ₂ , crômicas (CrO ₃), metálica (Hg), etc.
Metalomecânica (laminação, máquinas e utensílios, etc.)	neblina ácida (H ₂ SO ₄), neblinas alcalinas (NaOH, Na ₃ PO ₄), neblinas crômicas, névoas de óleos, etc.
Oficinas mecânicas (veículos), postos de lavagem e lubrificação, etc.	névoas de óleos, de gasolina, de lubrificantes e anticorrosivos, etc.
Indústria de Vidro	névoa de óleo.

2.9 - GASES E VAPORES

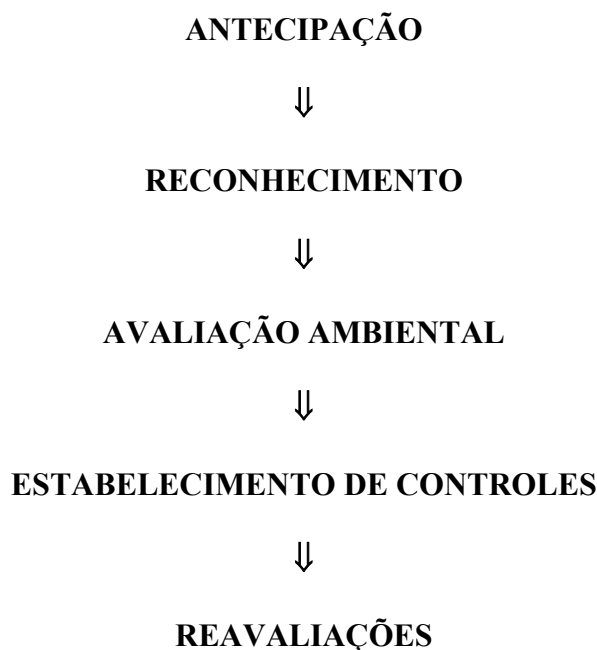
TABELA 5. Ramos industriais/atividades com geração de gases e vapores.

Ramo industrial	Gases(g) e Vapores(v)
Gráfica e Calçados	vapores de solventes orgânicos (hexano, tolueno, xilenos, querosene, gasolina).
Indústria Química, Petroquímica, Petrolífera, Siderúrgica	etano(g), eteno(g), 1,3 butadieno(g), benzeno(v), tolueno(v), xilenos(v), nafta(v), gasolina(v), H ₂ S(g), SO ₂ (g)...
Tintas	álcoois(v), ésteres(v), cetonas(v), vapores de solventes orgânicos.
Papel	H ₂ S(g), mercaptanas(g), SO ₂ (g), cloro(g), tetracloreto de carbono(v), tricloroetileno(v), outros solventes(v)

II - ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO PARA A PREVENÇÃO E MONITORAMENTO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

1.0 - ETAPAS DE UMA VALIAÇÃO

Compreende as seguintes fases:



(*1) O processo de avaliação deve envolver todos os trabalhadores, inclusive os das empreiteiras, que deverão discutir e participar de todas as etapas.

(*2) Os controles serão abordados em disciplina específica.

- Na legislação brasileira, esta estratégia está contemplada no **Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA**, instituído pela NR 9.

- Outros Programas constantes da Portaria 3.214, tais como, o Programa de Prevenção da Exposição Ocupacional ao Benzeno - **PPEOB**, Anexo A3 da NR 15, e o Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção - **PCMAT**, NR 18, são complementares ao **PPRA** da NR 9.

A Estratégia de Avaliação deve ser parte integrante do conjunto de ações da empresa que compõem a Política de Vigilância para a Saúde dos Trabalhadores, devendo estar articulado com todos os dispositivos legais das NR's, principalmente com o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional-**PCMSO**, instituído pela NR 7.

“A antecipação envolve a análise de projetos de novas instalações, métodos ou processos de trabalho, ou de modificações dos já existentes, visando identificar os riscos potenciais e introduzir medidas de proteção para sua redução ou eliminação” . Esta fase é anterior às avaliações ambientais e deverá ser discutida em módulo específico.

2.0 - CARACTERIZAÇÃO BÁSICA/RECONHECIMENTO

Envolve o estudo detalhado do sistema: Homem - Ambiente - Processo Produtivo.

Envolve a coleta inicial de informações e a visita aos locais de trabalho com vistas a caracterização dos processos e atividades, a definição dos Grupos Homogêneos de Exposição e a priorização dos agentes de riscos a serem avaliados, assim como, das medidas de controle a serem implantadas.

Os dados levantados são de vital importância para a definição da ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL e dos GRUPOS HOMOGÊNEOS DE EXPOSIÇÃO (GHE's).

2.1 - INFORMAÇÕES A SEREM COLETADAS

- Inventário completo dos agentes químicos utilizados na empresa. Deve incluir as matérias-primas, os produtos, os subprodutos, os aditivos, os solventes, os catalizadores, os resíduos gerados, enfim, todos os agentes químicos que possam estar presentes nos diversos ambientes de trabalho, incluindo os laboratórios e oficinas de manutenção.
- Descrição completa do processo produtivo (ciclo produtivo), informando as quantidades dos agentes químicos processadas e geradas em cada fase.
- Relação, características e localização dos equipamentos que contenham ou por onde circulem agentes químicos.
- Relação de todas as possíveis fontes de emissão de agentes químicos para a atmosfera (ventes, selos de bombas, flanges, válvulas, etc.).
- Diagrama de bloco ou fluxograma simplificado e layout da planta industrial contendo as disposições dos equipamentos e fontes de emissão já relacionados.
- Número de trabalhadores por função, descrição das funções, dos locais de trabalho e das atividades.
- Análise das operações e tarefas visando a determinação da zona de trabalho, do tempo de permanência do trabalhador em cada local, da periodicidade das tarefas, a identificação e avaliação dos equipamentos de proteção individual e coletivo etc..
- Configuração e ventilação do local de trabalho (ambiente aberto ou fechado? muito ventilado ou pouco ventilado?)
- Características climáticas (temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica);

- Interferência de áreas vizinhas (da própria empresa e de outras).

3.0 - LIMITES DE EXPOSIÇÃO

3.1 - CONCEITOS

Vigente na ocasião da criação da NR - 15 (Limites de Tolerância)	CONCEITO DA OIT (1977)
São as concentrações dos agentes químicos presentes nos ambientes de trabalho sob as quais os trabalhadores podem ficar expostos durante toda a sua vida laboral sem sofrer danos à saúde.	São as concentrações das substâncias dispersas na atmosfera sob as quais <u>supõe-se que quase todos os trabalhadores</u> possam estar expostos, dia a dia, sem efeitos adversos à saúde.

A OIT utiliza a expressão LIMITES DE EXPOSIÇÃO (Conferência Internacional/1977)

3.2 - OUTRAS DENOMINAÇÕES PARA LIMITES DE EXPOSIÇÃO

- Limites de Tolerância (LT): Brasil/NR - 15
- Concentração Máxima Aceitável (MAC): Rússia e Holanda.
- Valores Limites de Tolerância (TLV): EUA/ACGIH.
- Limites Permissíveis de Exposição (PEL): EUA/OSHA.
- Nível de Exposição Recomendado (REL): EUA/NIOSH
- Limites de Exposição para Ambientes de Trabalho (WEEL): EUA/AIHA

3.2.1 - Outros Tipos de Limites

- Valor de Referência Tecnológico - VRT - NR 15, Anexo 13-A - Brasil (exclusivo para o benzeno).
- Concentração de Referência Técnica (TRK): DFG/Alemanha - utilizado como base para o estabelecimento do Valor de Referência Tecnológico para o Benzeno.

3.3 - APLICABILIDADE DOS LIMITES DE EXPOSIÇÃO

Destina-se à **PRÁTICA DA HIGIENE INDUSTRIAL**

- Controle dos Ambientes de Trabalho.
- Prevenção de Riscos para a Saúde dos Trabalhadores.

Não podem ser utilizados:

- diretamente como Padrões de Qualidade do Ar nas avaliações ou controles referentes à ***Poluição Atmosférica***;

- em condições ambientais e de trabalho diferentes daquelas para as quais foram estabelecidos.

3.4 - LIMITES DE EXPOSIÇÃO MAIS UTILIZADOS NO BRASIL

NR - 15 (Anexos 11, 12, 13 e 13A)

a) LIMITE DE TOLERÂNCIA - MÉDIA PONDERADA NO TEMPO (ANEXO 11)

- são aqueles que, na tabela de Limites de Tolerância **não têm a coluna VALOR TETO assinalada**;

- são válidos para jornadas de trabalho de até 48 horas/semana;

- podem ocorrer concentrações acima do valor fixado, desde que obedçam a um **Valor Máximo Permissível** que não pode ser ultrapassado em momento algum da jornada. As concentrações momentâneas maiores do que o LT devem ser compensadas por concentrações menores, de modo que, a média ponderada para a jornada (C_{MPT}) seja inferior ao valor fixado. O Valor Máximo é calculado através da seguinte expressão:

$$\text{Valor Máximo} = \text{L.T.} \times \text{F.D.}$$

onde, L.T. = Limite de Tolerância

F.D. = Fator de Desvio, obtido a partir do Quadro 1, abaixo

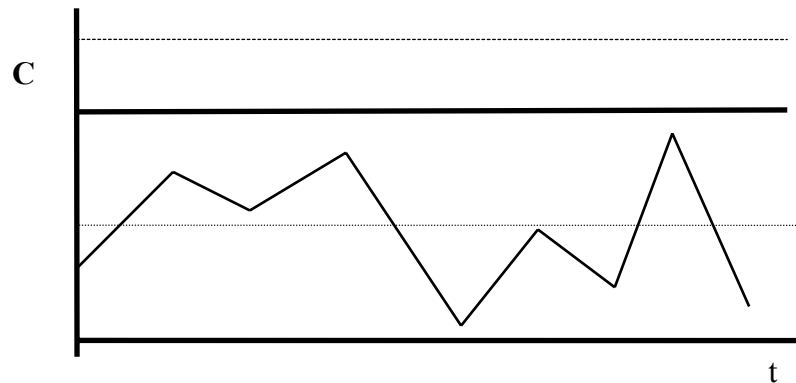
QUADRO 1. Fatores de Desvio em função do LT.

L.T. (ppm ou mg/m ³)	Fator de Desvio (F.D.)
$0 < LT \leq 1$	3
$1 < LT \leq 10$	2
$10 < LT \leq 100$	1,5
$100 < LT \leq 1000$	1,25
$LT > 1000$	1,1

Caso o Valor Máximo seja superado, considera-se uma situação de **RISCO GRAVE E IMINENTE (RGI)**.

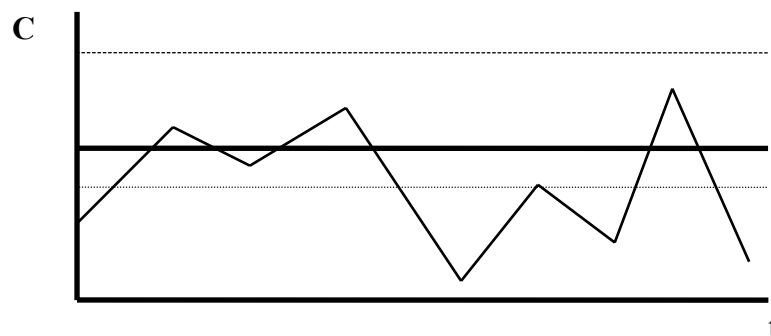
Podemos ter, portanto, as seguintes situações:

1) Situação de CONFORMIDADE, com todas as Concentrações momentâneas menores do que o LT e o Valor Máximo $\Rightarrow C_{MPT} < LT$



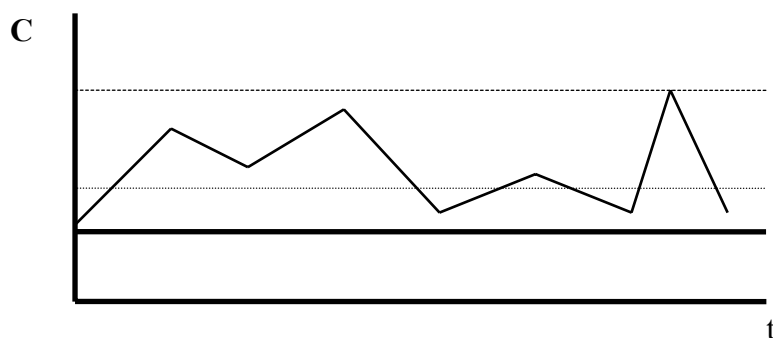
onde, C = concentração do agente químico
 t = período da jornada de trabalho
 ————— = valor do LT
 ————— = concentração igual ao Valor Máximo Prmitido
 ————— = concentração média ponderada no tempo (C_{MPT}) obtida

2) Situação de CONFORMIDADE, com a $C_{MPT} < LT$, todas as concentrações momentâneas $<$ Valor Máximo mas algumas $> LT$



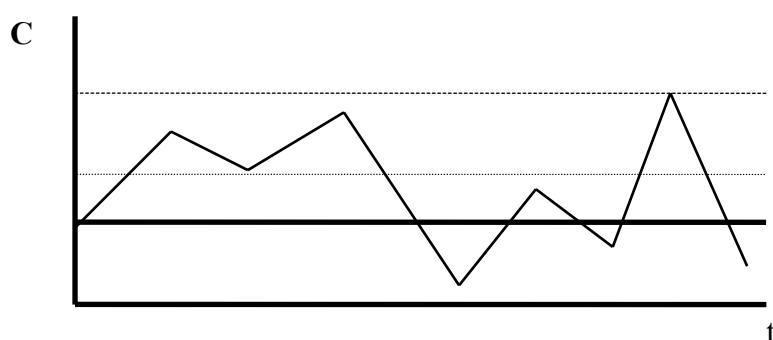
onde, C = concentração do agente químico
 t = período da jornada de trabalho
 ————— = valor do LT
 ————— = concentração igual ao Valor Máximo Prmitido
 ————— = concentração média ponderada no tempo (C_{MPT}) obtida

3) Situação de NÃO CONFORMIDADE, com a $C_{MPT} > LT$ e todas as concentrações momentâneas $> LT$, mas $<$ Valor Máximo.



onde, C = concentração do agente químico
 t = período da jornada de trabalho
 — = valor do LT
 = concentração igual ao Valor Máximo Prmitido
 = concentração média ponderada no tempo (C_{MPT}) obtida

4) Situação de NÃO CONFORMIDADE, com $C_{MPT} > LT$ e a maioria das concentrações momentâneas $> LT$, mas todas $< \text{Valor Máximo}$.



onde, C = concentração do agente químico
 t = período da jornada de trabalho
 — = valor do LT
 = concentração igual ao Valor Máximo Prmitido
 = concentração média ponderada no tempo (C_{MPT}) obtida

5) Situação de NÃO CONFORMIDADE, com $C_{MPT} < LT$ e apenas uma concentração momentânea $> \text{Valor Máximo} \Rightarrow \text{RISCO GRAVE E IMINENTE}$.



onde, C = concentração do agente químico
 t = período da jornada de trabalho
 — = valor do LT
 = concentração igual ao Valor Máximo Prmitido
 = concentração média ponderada no tempo obtida

b) LIMITES DE TOLERÂNCIA - VALOR TETO

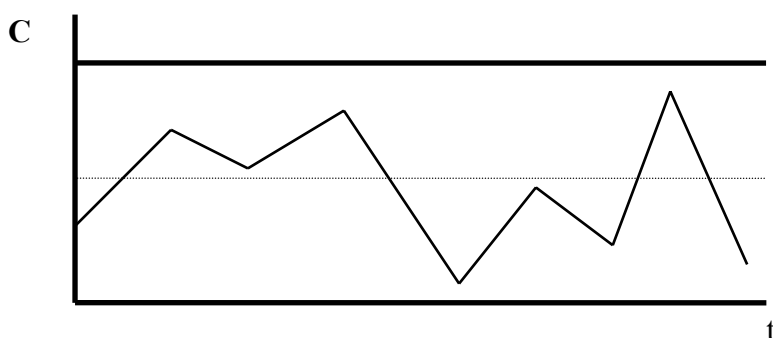
É a concentração máxima, média ponderada pelo tempo, que não pode ser excedida em momento algum da jornada de trabalho.

- na tabela de LT vem assinalado a coluna **VALOR TETO**;
- são válidos para jornadas de até 48 horas/semana;
- não se aplicam os Fatores de Desvio.

Valor Máximo = Valor Teto

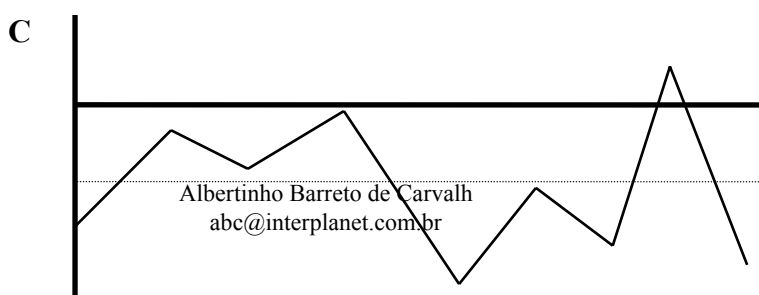
Podem ocorrer as seguintes situações:

1) Situação de CONFORMIDADE \Rightarrow somente se todas as concentrações momentâneas forem $< LT - VALOR TETO \Rightarrow C_{MPT} < LT$



onde, C = concentração do agente químico
 t = período da jornada de trabalho
 — = valor do LT = **VALOR TETO** = **VALOR MÁXIMO**
 = concentração média ponderada no tempo (C_{MPT}) obtida

2) Situação de NÃO CONFORMIDADE \Rightarrow se apenas uma concentração momentânea for $> LT \Rightarrow$ Mesmo que $C_{MPT} < LT$



t

onde, C = concentração do agente químico
t = período da jornada de trabalho
 = valor do LT - **VALOR TETO = VALOR MÁXIMO**
..... = concentração média ponderada no tempo (C_{MPT}) obtida

c) LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA “ASFIXIANTE SIMPLES”(ANEXO 11)

-“Determinam que nos Ambientes de Trabalho, onde houver a presença de Asfixiantes Simples, a **concentração mínima de OXIGÊNIO** deverá ser **18% em volume**.

- se a concentração de oxigênio for < 18% \Rightarrow **RISCO GRAVE E IMINENTE**.

Os Asfixiantes Simples são gases à temperatura ambiente.

- Acetileno
- Arsina (Arsenamina)
- Etano
- Etileno (Eteno)
- Hélio
- Hidrogênio
- Metano
- Neônio
- Óxido Nitroso (N_2O)
- n-Propano
- Propileno

d) LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA POEIRAS MINERAIS (ANEXO 12)

d.1) ASBESTOS (AMIANTO)

- até 28/11/91: estabelecido em 4 fibras > $5\mu m$ por cm^3 , independente do tipo;

- **atual**: - para fibras respiráveis - 2 fibras/ cm^3 , para asbesto CRISOTILA;

- **os asbestos da classe dos anfíbios estão PROIBIDOS**.

Fibras Respiráveis de Asbestos: aquelas com diâmetro inferior a $3\mu m$, comprimento $\geq 5\mu m$ e relação comprimento/diâmetro $\geq 3:1$.

d.2) MANGANÊS E SEUS COMPOSTOS (Port. 8 de 05/10/92)

- **Para poeiras:** **até 5 mg/m³ no ar** (extração, tratamento, moagem, transporte do minério e outras operações) (LT-MP).
- **Para fumos:** **até 1 mg/m³ no ar** (metalurgia, fabricação de compostos de manganês, fabricação de baterias e pilhas secas, fabricação de vidros especiais e cerâmicas, fabricação e uso de eletrodos de solda, fabricação de produtos químicos, tintas e fertilizantes, e outras operações) (LT-MP).

(*) jornada de até 8 horas/dia

e) SÍLICA LIVRE CRISTALIZADA (QUARTZO)

O LT para a sílica cristalizada é calculado a partir da sua concentração na poeira coletada, utilizando as expressões abaixo.

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

mppdc = milhões de partículas/décimetro cúbico.

- “fórmula válida para amostras tomadas com impactador (impinger) no nível da zona respiratória e contadas pela técnica de campo claro”.

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

- amostras coletadas utilizando um seletor de partículas (cyclone).

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

(*) Os valores de LT obtidos são Média Ponderada no Tempo, válidos para jornadas de até 48 horas semanais.

ATENÇÃO!! - A legislação brasileira não define LT's para poeiras não silicóticas. Portanto, não se deve utilizar as fórmulas acima para calcular LT's para poeiras isentas de sílica, simplesmente substituindo a %quartzo por zero. Em concentrações muito baixas de quartzo na poeira (mas nunca se garante "0"), o limite de detecção do método é o valor mais baixo que poderia ser utilizado para se ter uma estimativa, mas a legislação brasileira é omissa neste ponto. Nestes casos, recorre-se a fontes internacionais (ACGIH, NIOSH, OSHA, etc).

f) ATIVIDADES E OPERAÇÕES CONSIDERADAS INSALUBRES (Anexo 13)

- Estabelece a “relação das atividades e operações envolvendo agentes químicos, consideradas insalubres em decorrência de inspeção realizada no local de trabalho. **Excluem-se desta relação as atividades ou operações com os agentes químicos constantes dos Anexos 11 e 12”.**

- Não existe valores de LT para os agentes químicos constantes deste anexo. O que existe é uma classificação das diferentes atividades e operações como insalubridades graus máximo, médio e mínimo, para um mesmo agente (Tabela 6).

f.1 - Substâncias Cancerígenas (Anexo 13)

Substâncias ou procesos em que não se deve permitir qualquer exposição ou contato, por qualquer via. Não existem valores de LT e se os processos não forem hermetizados considera-se situação de **Risco Grave e Iminente - RGI**

- 4 - amino difenil (p-xenilamina); - produção de benzidina; - beta-naftilamina; - 4 - nitrodifenil

f.2 - Anexo 13 -A (Benzeno)

- Estabelece o Valor de Referência Tecnológico Média Ponderada no Tempo, VRT-MPT, para o benzeno, para uma jornada de 8 horas diárias. Diferente do LT, o VRT se refere “à concentração de benzeno no ar considerada **exequível do ponto de vista técnico**”.

- O VRT-MPT foi definido em acordo tripartite e deve ser considerado como referência para programas de melhoria contínua dos ambientes de trabalho. **O cumprimento do VRT é obrigatório e não exclui o risco à saúde.**

- Admite dois valores de VRT-MPT:

- **1,0 parte por milhão em volume (1 ppmv) para as Indústria Químicas/Petroquímicas, de Petróleo, etc.**

- **2,5 ppmv para as Indústrias Siderúrgicas.**

(*) o VRT-MPT não abrange as produtoras de álcool anidro e aquelas empresas que estão proibidas de usar o benzeno a partir de 01/01/97.

TABELA 6. Atividades/Operações envolvendo agentes químicos

Agente Químico	Grau de insalubridade	Atividade/Operação
	máximo	extração e manipulação de arsênico, fabricação de tintas, parasiticidas e inseticidas à base de arsênico, pintura a pistola com pigmentos de compostos de arsênico em recintos limitados ou fechados. conservação de peles e plumas, depilação de peles,

Arsênico	médio	metalurgia de minérios arsenicais, operações de galvanotécnica à base de compostos de arsênico, emprego de inseticidas e parasiticidas, pintura manual com pigmentos à base de arsênico, etc.
	mínimo	empalhamento de animais com composto à base de arsênico, pintura manual com pigmentos de compostos de arsênico ao ar livre, fabricação de tafetá “siré”.
Carvão	máximo	trabalho permanente no subsolo em corte, furação e desmonte, carregamento no desmonte, etc.
	médio	demais atividades permanentes do subsolo (operações de locomotiva, condutores, engatadores, bombeiros, madeireiros, trilheiros e eletricitistas).
	mínimo	atividades permanentes na superfície (operações a seco, com britadores, peneiras, classificadores, carga e descarga de silos...)
Chumbo	máximo	fabricação de compostos de chumbo (carbonato, arseniato, cromato mênio, litargírio, esmaltes, vernizes, cores, pigmentos, tintas, óleos, pastas, líquidos,...), fabricação e restauração de acumuladores, pilhas e baterias, fabricação e emprego de chumbo tetraetila e tetrametila, fundição e laminação de chumbo, de zinco velho, cobre e e latão, vulcanização de borracha pelo litargírio, pintura a pistola tintas a chumbo.
	médio	aplicação e emprego de esmaltes, vernizes, cores, pigmentos, tintas, óleos, pastas, líquidos e pós à base de chumbo, fabricação de porcelana com esmaltes à base de chumbo, pintura e decoração manual com pigmentos à base de chumbo em recintos fechados, tinturaria e estamparia com pigmentos à base de chumbo, etc.
	mínimo	pintura a pistola ou manual com pigmentos à base de chumbo ao ar livre.

3.5 - LIMITES DE EXPOSIÇÃO DA ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

Diferente dos LT's brasileiros, os TLV's-TWA da ACGIH são revisados anualmente, gerando a publicação "Threshold Limit Values (TLVs) for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices (BEIs)".

- Ao contrário da NR-15, a ACGIH propõe classes para substâncias carcinogênicas dos tipos A1, A2, A3, A4 e A5, onde:

A1 = Confirmado carcinogênico para humanos (Ex.: benzeno, asbestos).

A2 = Suspeito de ser carcinogênico para humanos (Ex.: acrilonitrila).

A3 = Carcinogênico para animais (Ex.: acetaldeído, hidrazina)

A4 = Não classificado como carcinogênico humano (Ex.: cromo III)

A5 = Não suspeito como carcinogênico humano (Ex.: tricloroetileno)

a) TLV - TWA (Média Ponderada pelo Tempo)

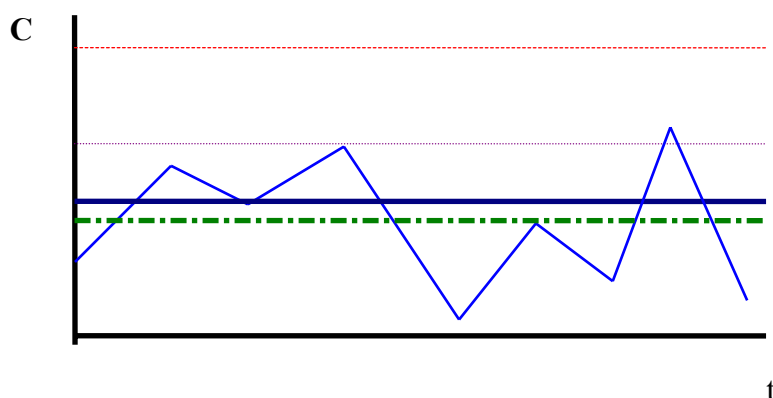
- São similares aos LT - MP da NR - 15 e serviram de base para o estabelecimento dos mesmos.

- São estabelecidos para jornadas de 8 horas/dia e 40 horas/semana.

- Não admite Valores Máximos Permitidos calculados a partir de Fatores de Desvio (FD).

“Os níveis de exposição dos trabalhadores podem exceder a 3 vezes o TLV-TWA por não mais do que um total de 30 minutos durante um dia de trabalho, e em nenhuma circunstância eles devem exceder a 5 vezes o TLV-TWA, garantindo ainda que o TLV-TWA não seja excedido na jornada”.

(*) O Valor Máximo passa a ser a concentração = $5 \times \text{TLV-TWA}$



onde, C = concentração do agente químico
t = período da jornada de trabalho (8 horas)
— = concentração do TLV-TWA
- - - = concentração igual a 5 X TLV-TWA
..... = concentração igual a 3 TLV-TWA
- . - . - = concentração média ponderada no tempo (C_{MPT}) obtida

b) TLV - STEL (Exposição de Curto Tempo)

"Concentração em que os trabalhadores podem estar expostos continuamente por um curto período de tempo (15 minutos) sem sofrer:

- a) irritações
- b) danos crônicos ou irreversíveis aos tecidos
- c) narcose em grau suficiente para aumentar a probabilidade de danos acidentais, prejudicar a segurança pessoal ou reduzir substancialmente a eficiência do trabalho;

e desde que o TLV-TWA diário não seja excedido".

- não é um TLV independente \Rightarrow complementa o TLV-TWA
- não deve ser excedido em momento algum da jornada mesmo se o TLV-TWA estiver sendo obedecido;
- as exposições acima do TLV-TWA até o TLV-STEL não devem ser maiores do que 15 minutos e não devem repetir-se mais do que 4 vezes por dia;
- deve ocorrer um intervalo de, pelo menos, 60 minutos entre as exposições sucessivas;

c) TLV - CEILING (Valor Teto)

- Similar ao LT VALOR TETO da NR-15.
- É definido para jornadas de 8 horas/dia e 40 horas/semana;
- Se não for possível amostragem instantânea, admite-se amostragem por tempo em torno de 15 minutos, exceto para aquelas substâncias que causam irritação imediata quando expostas por curto período de tempo.

d) TLV para misturas

"Quando duas ou mais substâncias que atuam sobre o mesmo sistema orgânico estiverem presentes, devem-se considerar seus efeitos combinados, mais do que os individuais".

"Na falta de informações contrárias, os efeitos de diferentes riscos devem ser considerados como aditivos". Nestes casos o TLV é calculado pela fórmula abaixo.

$$\frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \dots + \frac{Cn}{Tn}$$

- C1 = concentração atmosférica observada
- T1 = limite de tolerância correspondente

- quando a soma é $> 1 \Rightarrow$ o TLV foi excedido
- quando a soma é $< 1 \Rightarrow$ o TLV não foi excedido

Quando houverem razões para acreditar que os efeitos das substâncias não são aditivos mas independentes, deve-se considerá-las individualmente. Neste caso, o TLV será excedido quando pelo menos uma das frações for > 1 .

e) TLV para Sílica Livre

- Ao contrário da NR-15, a ACGIH não mais utiliza fórmulas para o cálculo de TLV.
- Estabelece valores diferentes para as diferentes formas de sílica livre (ACGIH 2002):

- cristobalita:	0,05 mg/m ³	(fração respirável) (*)
- quartzo:	0,05	" "
- tridimita:	0,05	" "
- tripoli:	0,1	" "

(*) **Atenção:** trata-se de concentrações da sílica e não da poeira

f) TLV para Asbestos

- Todas as formas de Asbesto são classificadas como carcinogênicas (grupo A1 da ACGIH).
- Estabelecia valores diferenciados para os diferentes tipos (até 1999).

- amosita:	0,5 fibras/cm ³
- crisotillo:	2 " "
- crocidolita:	0,2 " "
- outras:	2 " "

- Atualmente (ACGIH 2002), adota um valor único para todas as formas = 0,1 f/cc

g) TLV para Poeiras Não Especificadas de Outra Forma (PNOS) - ACGIH 2002

Para aquelas partículas que não existe nenhuma evidência de efeito tóxico específico. Apesar de não causar fibroses ou efeitos sistêmicos, elas não são biologicamente inertes.

São definidas como sendo aquelas que não contêm ASBESTO em qualquer nível e o teor de sílica cristalina é menor do que 1%.

TLV-TWA = 10 mg/m³ (fração inalável)

TLV-TWA = 3 mg/m³ (fração respirável)

3.6 - LIMITAÇÕES DOS LIMITES DE EXPOSIÇÃO

- Não se aplicam a todos os trabalhadores (suscetibilidade individual).
- Refletem apenas o nível de conhecimento atual (experiência industrial, experiências com animais, estudos epidemiológicos) e sofrem alterações constantes (lista anual da ACGIH).
- Só consideram a INALAÇÃO como única forma de ingresso no organismo.
- Não consideram as interações entre agentes tóxicos:
 - interações físico-químicas no ambiente;
 - interações físico-químicas no organismo;
 - interações biológicas.
- Sofrem interferência política no seu estabelecimento.

Não devem ser considerados como limites entre concentrações seguras e perigosas

3.7 - DIVERGÊNCIAS ENTRE PAÍSES

LIMITES DE EXPOSIÇÃO TWA (PARA 8 HORA)

Substância	ACGIH	OSHA	DFG/TRK	NR-15
Chumbo	50µg/m ³	50µg/m ³	10µg/m ³	100µg/m ³
Tolueno	50ppm	200ppm	50ppm	78ppm
Cloreto de Vinila	1ppm	10ppm	TRK	156ppm
1,3 Butadieno	2ppm	5ppm-C	TRK	780ppm
Benzeno	1,6mg/m ³ (*)	3mg/m ³	TRK	(**)

(*) 0,5 ppm (1,6 mg/m³) TLV-TWA e 2,5 ppm (8 mg/m³) TLV-STEL

(**) A NR-15, anexo 13A, reconheceu o Benzeno como carcinogênico e aboliu o seu LT, adotando os VRT's (1,0 ppmv e 2,5 ppmv)

3.8 - O QUE DIZ A NR - 9 - CONCEITO DE NÍVEL DE AÇÃO

*“Deverão ser adotadas as medidas necessárias e suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que forem verificadas **uma ou mais** das seguintes situações:*

- a) identificação, na fase de antecipação, de risco potencial à saúde;*
- b) constatação, na fase de reconhecimento, de risco evidente à saúde;*
- c) quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15 ou, na ausência destes, os valores de limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos;*
- d) quando, através do controle médico...”*

NÍVEL DE AÇÃO (NA)

“...considera-se nível de ação o valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições a agentes ambientais ultrapassem os limites de exposição. As ações devem incluir o monitoramento periódico da exposição, a informação aos trabalhadores e o controle médico.”

(...)

“a) para agentes químicos, a metade dos limites de exposição ocupacional considerados de acordo com a ...”.

4.0 - OBJETIVOS DA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

- 1 - Conhecer os níveis de concentração em locais determinados.
- 2 - Conhecer as exposições efetivas dos trabalhadores durante um determinado período de tempo.
- 3 - Identificar e monitorar fontes de emissões.
- 4 - Adotar medidas de controle e avaliar a eficácia das mesmas.
- 5 - Comparar os resultados de concentração com Valores de Referência estabelecidos.

5.0 - GRUPOS HOMOGÊNEOS DE EXPOSIÇÃO (GHE)

Nas situações onde o número de trabalhadores da empresa é grande, é praticamente inviável, por razões técnicas e financeiras, proceder a avaliação da exposição de cada trabalhador, avaliando-os individualmente. Nestes casos, recorre-se à formação de grupos de trabalhadores com exposições similares e de cada grupo formado, um determinado número de trabalhadores (subgrupo) será então monitorado. Os resultados obtidos com o subgrupo devem ser representativos dos grupos de origem. Este é o conceito de Grupos Homogêneos de Exposição - GHE.

5.1 - DEFINIÇÃO

Corresponde a um grupo de trabalhadores que experimentam exposição semelhante a um mesmo agente químico de forma que, o resultado fornecido pela avaliação de UM SUBGRUPO DE TRABALHADORES, seja representativo da exposição do restante dos trabalhadores do grupo de origem.

Os trabalhadores de um mesmo GHE devem:

- executar as mesmas atividades;
 - utilizar os mesmos equipamentos de proteção;
 - cumprir a mesma jornada de trabalho;
 - estar expostos ao mesmo agente de risco.
- Um mesmo trabalhador pode pertencer a vários GHE's, já que ele pode estar exposto a diferentes agentes químicos, ou mesmo, a diferentes agentes de riscos
- Cada GHE selecionado previamente tem que ser confirmado estatisticamente com os dados de avaliações ambientais individuais representativos do grupo.

TABELA 7. GHE para diferentes agentes de riscos

GHE	Componentes	Ag. Químico/Ag. de Risco
01	A, B, C, D, E, F, G, H, I	Benzeno, Tolueno e Xilenos
02	A, B, F, H, L	Mercúrio/Radiação Ionizante
03	I, J, L, M, N, O	Gás Sulfídrico (H ₂ S), Ruído

Os trabalhadores das empresas contratadas cujo monitoramento seja realizado pela contratante, deverão ser incluídos nos GHE da contratante (ver Quadro 2 - apresentação dos GHE).

A empresa deverá manter em seus arquivos todas as informações utilizadas para a constituição dos GHE (descrição das tarefas, funções e cargos, descrição das atividades, tempo aproximado gasto no desenvolvimento da atividade, frequência das atividades, etc.) As informações mínimas são as do Quadro 3.

5.2 - ANÁLISE QUALITATIVA DO RISCO E PRIORIZAÇÃO

- Esta uma etapa do Reconhecimento/Caracterização importante pois é possível, mesmo antes de realizar qualquer avaliação ambiental, estabelecer e implantar algumas medidas de controle (coletivo ou individual) ou mudanças de procedimentos, em situações consideradas CRÍTICAS e, portanto, de elevada prioridade.

- Como, quase sempre, é impossível monitorar todos os trabalhadores da empresa numa mesma campanha de monitoramento e para todos os agentes de riscos simultaneamente, **é necessário definir prioridades**, em termos de agentes de riscos e de GHE's a serem avaliados.

São considerados os seguintes fatores:

- grau de exposição (contato com o agente);
- efeitos à saúde (reversível, irreversível, crônico, agudo, risco de vida, etc.);
- potencial de risco: união dos 2 fatores acima.

GRUPOS HOMOGÊNEOS DE EXPOSIÇÃO (GHE)

QUADRO 2

GHE	Critério de Seleção Adotado	Total de Trabalhadores	Atividades Principais	Grau de Prioridade	Local /Área de Trabalho	Momento de > exposição

QUADRO 3

GHE:

Nº Total de Trabalhadores:

Nome dos Trabalhadores	Regime de Trabalho (turno/adm)	Funções/Cargos	Atividades Desenvolvidas	Frequência de atividades	Tempo em cada atividade	Local /Área de Trabalho	Empresa em que trabalha	Momento de > exposição

TABELA 8. Grau de exposição

Grau	Descrição	Critério
0	Não exposto	Quando as concentrações (C) observadas são < 10% do LE.
1	Baixa exposição	Quando as concentrações observadas são < 50% do LE (NA)
2	Exposição moderada	Exposição freqüente em $C < NA$ ou infreqüente em $NA < C < LE$
3	Alta exposição	Exposição freqüente em $C \sim LE$ ou infreqüente em $C > LE$
4	Exposição muito alta	Exposição freqüente em $C > LE$

Fonte: ACGIH: Air Sampling Instruments... 8th edition. 1995

TABELA 9. Efeito à saúde

Grau	Descrição	Comentários
0	Nenhum	Nenhum efeito à saúde. Nenhuma doença, nenhum tratamento necessário.
1	Moderado	Efeitos reversíveis, com suspeita de conseqüências. Não requer nenhum tratamento médico. Raramente envolve enfermidade.
2	Sério	Efeitos violentos mas reversíveis. Requer tratamento médico. Geralmente envolve enfermidade e afastamento.
3	Crítico	Efeitos irreversíveis, não tratáveis. Requer mudança de estilo de vida. Gera incapacidade para a atividade.
4	IDLH	Ameaça de vida; incapacidade total; lesão ou enfermidade.

Fonte: ACGIH: Air Sampling Instruments... 8th edition. 1995

TABELA 10. Potencial de risco (Prioridade)

Efeito à saúde	Prioridade				
4	Média	Alta	Alta	Máxima	Máxima
3	Baixa	Média	Alta	Alta	Máxima
2	Baixa	Média	Média	Alta	Alta
1	Insignifi-cante	Baixa	Média	Média	Alta
0	Insignifi-cante	Insignifi-cante	Baixa	Baixa	Média
Exposição	0	1	2	3	4

Fonte: ACGIH: Air Sampling Instruments... 8th edition. 1995

Deve-se estar atento para situações onde, por exemplo, o trabalhador esteja exposto a um agente químico carcinogênico. Nestes casos, pela TABELA 8, uma situação que poderia ser definida como grau 2 de exposição (exposição moderada), poderia ser mais convenientemente definida como grau 3 ou 4, já que, não é possível definir uma concentração atmosférica segura para a exposição ocupacional a uma substância química carcinogênica. Deve prevalecer, portanto, o **Julgamento Profissional** do Higienista Ocupacional.

Deverá ser registrado o critério adotado para a priorização de monitoramento dos GHE.

As alterações ocorridas nos GHE e nas prioridades de monitoramento dos mesmos deverão constar em relatórios que comporão a atualização anual do PPEOB (Relatório Anual de Atualização e Avaliação do PPEOB).

6.0 - ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM DO AR

PRIMEIRO PASSO: determinar QUANDO, ONDE, COMO e POR QUANTO TEMPO avaliar, segundo os objetivos definidos.

SEGUNDO PASSO:

- realizar as coletas de amostras de ar;
- determinar as concentrações no ar;
- análise dos dados, julgamento, ...

ATENÇÃO! Deve-se considerar as situações de operação normal, manutenções, paradas preventivas e corretivas e pré-operacionais das empresas.

Quando Realizar as Amostragens?

- Significa determinar o momento ideal para se fazer as amostragens, isto é, quais os dias da semana ou do mês, ou meses do ano ou do semestre, quais os momentos da jornada de trabalho, qual o turno de trabalho, etc.

- Esta escolha pode ser feita com base, principalmente, no julgamento profissional do Higienista ou, aleatoriamente quando for necessário tratamento estatístico dos dados. Neste caso, procede-se a escolha aleatória de quanto coletar as amostras.

Onde Realizar as Coletas de Amostras?

- Significa determinar se a coleta de amostra(s) deve ser feita no ambiente ou no próprio trabalhador, isto é, definir o(s) tipo(s) de amostra(s) a coletar.

- Para as amostras de ambiente, significa determinar, ainda, o local ideal para posicionar o sistema de coleta de amostra (posto de trabalho, zona de trabalho, próximo da fonte de emissão, no centro do ambiente, etc).

Como Realizar as Coletas/Medições?

- Neste momento, deve-se escolher as técnicas instrumentais de coleta/medição em função do agente químico a ser avaliado.

Por Quanto Tempo Avaliar?

- Significar definir o período de tempo a que se refere a avaliação: se quer avaliar apenas a jornada, ou o semestre ou o ano de trabalho.

- Significa, também, definir a estratégia de coleta das amostras obtidas, ou seja, se as amostras serão de duração prolongada, ou de curta duração, ou instantâneas, etc.

6.1 - AMOSTRA PESSOAL (INDIVIDUAL)

Determinação da concentração do agente químico no ar, na zona de respiração do trabalhador. O sistema de coleta é fixado no próprio trabalhador, na altura da zona de respiração. Supõe-se obter resultados representativos da exposição do trabalhador;



Figura 2. Amostragem pessoal

6.2 - AMOSTRA DE ÁREA (AMBIENTE, OU PONTO FIXO)

Determinação da concentração do agente químico no ar, em determinado local ou ambiente de trabalho.

- o sistema de coleta é posicionado em um ponto fixo, geralmente na altura média da zona de respiração dos trabalhadores.

6.2.1 - Finalidades das Amostras de Área

- Implantação de medidas de controle e avaliação da eficácia das mesmas.
- Conhecer a concentração de um agente químico no ar em um determinado ambiente de trabalho, a qual os trabalhadores estariam expostos se ali estivessem durante o período avaliado.
- Realizar avaliações em tempo real através do uso de instrumentos de leitura direta, com registro dos resultados e acoplados ou não a sistemas de alarme.
- Acompanhar a variação das concentrações do agente químico no ar em função do tempo (ex.: variações sazonais, diferentes turnos de trabalho), do processo produtivo e da mudança de eficiência de sistemas de proteção coletiva implantados.

As avaliações de área e pessoais são complementares.

A avaliação de área pode ser uma alternativa aceitável para uma estimativa da exposição ocupacional.

6.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS SEGUNDO A DURAÇÃO DAS COLETAS

6.3.1 - Amostra Única (Simples Completa)

Quando uma única amostra é coletada continuamente durante todo o período avaliado.

Ex.: Uma única amostra é coletada durante toda a jornada de trabalho. O resultado da Concentração do agente químico na amostra coletada será a Concentração Média Ponderada para o período avaliado.

6.3.1.1 - Características da Amostra Única

- São úteis para o confronto direto com valores de referência estabelecidos para um determinado período de tempo (Ex.: LT-MPT p/ 8 horas).

O resultado de concentração obtido já é a própria concentração média ponderada no tempo para o período avaliado.

Não fornece informações adicionais referente as variações de concentração ao longo do período avaliado.

Reduz o custo da avaliação.

São mais vulneráveis a fatores que afetam a eficiência da coleta (saturação do sistema de coleta, breakthrough, variações na vazão da bomba. etc.).

6.3.2 - Amostra Consecutivas - Múltiplas Completas

Quando várias amostras são coletadas durante o período avaliado, sendo que, o tempo total da coleta deve ser igual a duração do referido período.

Nestes casos, a Concentração Média Ponderada no Tempo do período avaliado é obtida através da expressão abaixo.

Cálculo da C_{MPT} (em ppmv ou mg/m³):

$$C_{MPT} = \frac{C_1 \times t_1 + C_2 \times t_2 + \dots + C_n \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

(*) cada concentração individual é determinada como no caso anterior, em mg/m³ ou ppmv.

6.3.2.1 - Características das Amostras Consecutivas

Também são úteis para o confronto direto com valores de referência estabelecidos para um determinado período de tempo.

Fornecem muitas informações sobre o andamento da exposição ou da concentração do agente químico no ambiente ao longo do período avaliado.

Eleva o custo da avaliação devido ao aumento do número de amostras a serem analisadas.

São menos vulneráveis aos fatores que afetam a eficiência da coleta.

6.3.3 - Amostras Parciais

A amostragem do período em estudo pode ser feita através da coleta de uma amostra única ou de amostras múltiplas, sendo que, neste caso, o tempo total da coleta é inferior ao da duração da atividade avaliada. No caso de Amostras Múltiplas Parciais, a C_{MPT} é calculado como no caso anterior.

6.3.3.1 - Características das Amostras Parciais

Só podem ser utilizadas para o confronto com Valores de Referência se o tempo total da coleta corresponder a, pelo menos, 70% da duração do período avaliado (ex.: 5,6 horas para uma jornada de 8 horas).

As amostras múltiplas parciais também fornecem muitas informações sobre o andamento da exposição ou da concentração do agente químico no ambiente ao longo do período avaliado, mas também elevam o custo da avaliação.

Também são menos vulneráveis aos fatores que afetam a eficiência da coleta;

6.3.4 - Amostras de Curta Duração e Instantâneas (ACD/AI)

As ACD são aquelas cujo tempo de coleta é de, no máximo, 15 minutos, enquanto que, as AI são aquelas cujo tempo de coleta é de, no máximo, 5 minutos.

Na realidade, as ACD seriam aquelas coletadas por um período inferior a 30 minutos. Em razão de os TLV-STEL da ACGIH serem padrões de 15 minutos, este tempo de coleta passou a ser adotado para definir as ACD.

6.3.4.1 - Cálculo da Concentração Média Ponderada no Tempo

Uma amostra de curta duração fornece a C_{MPT} do período da coleta;

Ex.: uma amostra de 15 minutos fornece uma concentração média ponderada para o tempo de 15 minutos.

Quando se utiliza amostras de curta duração ou instantâneas para avaliações de períodos maiores, a C_{MPT} é calculada através da média aritmética dos resultados individuais obtidos, pois os tempos de coleta das amostras são iguais.

$$C_{MPT} = C_{MA} = \frac{C1 + C2 + ... + Cn}{n}$$

(*) em mg/m^3 ou ppmv

6.3.4.2 - Características das ACD e AI

São úteis para avaliações de situações de picos de concentração, que, geralmente, são mascarados pelas demais estratégias.

São ideais para a avaliação da exposição ocupacional ou da contaminação do ambiente de trabalho durante atividades executadas em períodos de curta duração (ex.: coleta de amostras de processo, leitura de equipamentos, limpeza de máquinas, etc.).

É a estratégia de coleta mais adequada para a avaliação da Conformidade com Limites de Tolerância - Valor Teto ou Valor Máximo Permitido e com TLV's - STEL(ACGIH).

Requerem um mínimo de 8 coletas/medições para se poder fazer o confronto com valores de referência que não sejam valor teto ou valor máximo. Isto quer dizer que não se pode realizar a comparação direta (estatisticamente) de um único resultado de uma amostra ou medição de curta duração ou instantânea com Limites de Exposição Média Ponderada de 8 horas. Para tal, são necessários um mínimo de 8 medições, realizadas aleatoriamente, dentro do período em avaliação.

Para o caso acima, deve-se estar seguro de que as concentrações são uniformes ao longo do período avaliado. Por isso, não são recomendadas para avaliações de períodos de longa duração (ex.: jornada de trabalho), já que, seriam necessárias muitas coletas/medições para reduzir a dispersão dos dados. Logicamente, quando se estiver avaliando uma substância com Limites de Exposição Valor Teto, Valor Máximo ou de Curta Duração, um único resultado acima destes limites poderá ser suficiente para o higienista tomar uma decisão de implementar controles, baseando-se no seu julgamento profissional da situação como um todo. Este resultado deverá ser documentado juntamente com a análise da situação e as medidas adotadas, mas não poderá ser considerado no conjunto dos dados que serão submetidos ao tratamento estatístico do programa de higiene.

A NR 15, anexo 11, no entanto, admite utilizar a estratégia de coletas/medições instantâneas para a avaliação da concentração de agentes químicos nos ambientes de trabalho e confrontá-las com o Limite de Tolerância para 8 horas.

As AI são muito utilizadas por Instrumentos de Leitura Direta (ILD) e, por isso mesmo, são úteis para o controle contínuo de áreas, acionamento de alarmes, etc..

Em situações não críticas, os momentos de se realizar as coletas/medições devem ser escolhidos aleatoriamente.

6.4 - PROGRAMAÇÃO DE UMA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

<p>AVALIAR CONTAMINAÇÃO DO AMBIENTE, ESTABELECE MEDIDAS DE CONTROLE E AVALIAR A EFICIÊNCIA DAS MESMAS, DISPARAR ALARMES, MONITORAMENTO DE ÁREAS CONTROLADAS...</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Amostragem de área (no ambiente) de acordo com a(s) fonte(s) de contaminação. - Pode usar qualquer das estratégias de coleta de amostras
<p>AVALIAR EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL DE TRABALHADORES, INDIVIDUALMENTE OU EM GHE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Amostragem pessoal (individual) na zona de respiração. - Amostragem de área na zona de respiração. - Pode usar qualquer das estratégias de coleta de amostras.

Historicamente e por razões mais políticas do que técnicas, tem se investido maiores esforços nas avaliações de exposição ocupacional, ou seja, nas amostragens individuais de trabalhadores. As avaliações de ambiente (ponto fixo), visando o conhecimento, o controle e até mesmo a eliminação da contaminação dos locais de trabalho, não tem sido priorizadas. Mesmo sabendo-se que a melhor forma de prevenir a exposição é melhorando o ambiente de trabalho, os trabalhadores com exposições acima do aceitável têm sido, na melhor das hipóteses, afastados dos locais contaminados, ou têm sido obrigados a utilizar equipamentos de proteção individuais, geralmente desconfortáveis e inadequados para uso por períodos longos de tempo.

7.0 - NÚMERO DE AMOSTRAS

O número de amostras requerido depende dos objetivos da avaliação, da variação das concentrações no espaço e no tempo e se será dado tratamento estatísticos aos mesmos para subsidiar a DECISÃO.

Para a avaliação perfeita da exposição ocupacional, cada trabalhador potencialmente exposto deveria ser avaliado individualmente e durante todas as jornadas de trabalho. Em empresas com grande número de trabalhadores isto é praticamente impossível, tanto por questões técnicas (número de profissionais envolvidos no acompanhamento, número de equipamentos necessários, tempo, etc.) como por questões financeiras (hora profissional, custo de análises, custo de equipamentos, etc.).

Por outro lado, é difícil estimar o número ideal de amostras necessárias para uma perfeita caracterização da contaminação atmosférica de um ambiente de trabalho como função do espaço e do tempo.

É bom ter claro que não existe uma regra perfeita para a escolha correta do número de amostras ou mesmo para uma perfeita caracterização de um cenário de contaminação dos locais de trabalho ou de exposição ocupacional.

ALTERNATIVA:

Uma alternativa aceitável é recorrer ao processo de amostragem estatística para estimar o modelo de exposição ou contaminação verdadeiro a partir de um número pequeno de amostras. É óbvio que, quanto mais amostras maior será a confiança no resultado da avaliação.

7.1 - RECOMENDAÇÃO DA NR - 15

7.1.1 - Anexo 11 - Para Avaliação Ambiental

A NR - 15 só fazia referência ao **NÚMERO DE AMOSTRAS INSTANTÂNEAS** a serem coletadas, com leitura direta da concentração ou não, para a avaliação ambiental durante a jornada de trabalho.

- Segundo a NR - 15, devem ser coletadas, no mínimo, 10 amostras instantâneas para cada ponto, na zona de respiração do trabalhador, sendo que, entre cada coleta ou medição de concentração deve haver um intervalo de, no mínimo, 20 minutos.
- A concentração média ponderada no tempo é obtida calculando-se a média aritmética das concentrações instantâneas.
- Cada uma das concentrações instantâneas obtidas não deve ser superior ao Valor Máximo Permissível (RISCO GRAVE E IMINENTE) ou ao LT-VALOR TETO. Caso contrário, o LT estará superado, mesmo que a média aritmética das concentrações seja inferior ao próprio LT.

ATENÇÃO!! A estratégia de avaliação instantânea não é recomendada para avaliações de turno inteiro de trabalho, a menos que se possa garantir que as concentrações se distribuem uniformemente ao longo da jornada de trabalho ou período avaliado ou que as medições sejam realizadas por meio de instrumentos de leitura direta, continuamente e com registro das medições. Infelizmente, a NR-15 não dá qualquer orientação a respeito.

7.1.2 - Instrução Normativa 01, Anexo 13 - A - (Para o Benzeno)

Atualmente, a Instrução Normativa nº 001 (Avaliação das Concentrações de Benzeno em Ambientes de Trabalho) do Anexo 13-A, da NR - 15, estabelece **um número mínimo de 5 resultados** para se proceder uma avaliação de uma situação (exposição ocupacional ou contaminação ambiental). Estes resultados, no entanto, podem ser obtidos por diferentes estratégias de coleta de amostras, e não somente, pelas amostragens instantâneas.

Quer dizer também que um único resultado pode ser composto por uma única amostra ou por várias amostras.

Exemplo: A avaliação de uma jornada de trabalho (8 horas) pode ser feita com uma única amostra coletada durante as 8 horas (já fornece o resultado de média ponderada das 8 horas), ou por meio da coleta de 4 amostras consecutivas durante as 8 horas, ou por 8 amostras consecutivas de 1 hora cada, ou por 32 amostras consecutivas de 15 minutos durante as mesmas 8 horas. **Todas estas amostras comporão um único resultado de jornada.** Logicamente, a coleta de uma amostra única é a mais simples e barata, embora tenha suas limitações, conforme já discutido anteriormente.

Deve-se estar atento, portanto, para não haver confusão entre o que quer dizer número de amostras a serem coletadas e número de resultados para se proceder uma avaliação.

Obviamente, estamos falando de avaliação estatística da situação. O higienista pode se utilizar da avaliação qualitativa ou de um número menor de resultados para, por julgamento profissional, tomar uma DECISÃO.

Apesar da IN 01 ser direcionada ao Benzeno, a sua orientação por perfeitamente ser adotada para qualquer outro agente químico.

7.2 - SEGUNDO A AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION - AIHA

De acordo com a publicação “A Strategy for Occupational Exposure Assessment”, da AIHA, um mínimo de **6** resultados são requeridas para se fazer uma estimativa válida do **intervalo de confiança em torno da concentração média**.

Para uma estimativa da **Variância**, é recomendável mais do que **11** resultados.

Para um número (n) de resultados $< 6 \Rightarrow$ **grande incerteza**.

Com $n = 10 \Rightarrow$ **obtem-se aproximação razoável sobre a distribuição da concentração/exposição**.

Com $n \geq 30 \Rightarrow$ **avaliação rigorosa**.

O programa estatístico **LOGAN**, da DU PONT/AIHA, restringe a um máximo de **18 resultados**, para a caracterização de um cenário de uma simples exposição.

LOGAN/AIHA: $6 \leq n \leq 18$.

Se, com 18 resultados não se consegue chegar a uma decisão de ACEITABILIDADE da situação, deve-se implementar medidas para reduzir a contaminação do ambiente de trabalho ou a exposição do(s) trabalhador(es).

7.2.1 - Critério para GHE's segundo AIHA/LOGAN

Devem ser obtidos, no mínimo, 6 resultados para cada GHE.

Para um dado GHE, as 6 amostras devem ser atribuídas aleatoriamente a diferentes trabalhadores, nos diferentes dias do período de interesse.

Na AVALIAÇÃO INICIAL, o programa LOGAN recomenda 6 amostras coletadas em, pelo menos, três diferentes dias de trabalho.

Os dias em que serão realizadas as coletas de amostras, assim como, o trabalhador ou trabalhadores nos quais serão realizadas as coletas, **deverão ser escolhidos aleatoriamente.**

ATENÇÃO!!

- O GHE deve ser o mais HOMOGÊNEO possível.**
- Amostras de situações específicas devem ser coletadas à parte.**

7.3 - RECOMENDAÇÕES DA NIOSH/OSHA

A estratégia de amostragem da NIOSH só faz referência ao número de amostras/medições a serem obtidas, quando se trata de avaliações de curta duração e instantâneas e de grupos homogêneos de exposição.

Para amostras de curta duração e instantâneas, a NIOSH recomenda que sejam realizadas, no mínimo 8 coletas/medições, escolhidas aleatoriamente dentro do período a ser avaliado, desde que as concentrações se distribuam uniformemente no tempo. Já para os GHE, procede-se da forma descrita a seguir.

7.3.1 - Critério para GHE

Estabelece número de amostras para grupos acima de 8 trabalhadores.

O objetivo é selecionar um subgrupo no qual haja uma grande probabilidade (90%) de conter pelo menos um trabalhador dos 10% dos trabalhadores mais expostos. Este número de amostras só se aplica para os GHE.

A melhor estratégia, no entanto, é tentar selecionar o trabalhador mais exposto em cada processo ou atividade ou aquele(s) mais exposto(s) no GHE.

Quando isto não é possível, procede-se a escolha aleatória do subgrupo, cujo número de trabalhadores é o indicado pela TABELA 11. Pode-se utilizar uma tabela de números aleatórios (Random);

TABELA 11. Número de Trabalhadores do Sub-Grupo a ser Avaliado em Função do Tamanho do GHE

Número de Trabalhadores do Grupo	Nº de Trabalhadores do Subgrupo
8	7
9	8
10	9
11 - 12	10
13 - 14	11
15 - 17	12
18 - 20	13
21 - 24	14
25 - 29	15
30 - 37	16
38 - 49	17
50	18
∞	22

Fonte: NIOSH: Occupational Exposure Sampling Strategy Manual

- Exemplo de determinação do nº de amostras

Grupo = 26 trabalhadores (numerá-los de 1 a 26)

Nº de resultados necessárias (tabela) = 15

Tabela de nº aleatórios (1º número da coluna 10 e demais menores do que 26) = 11, 20, 8, 1, 9, 14, 13, 25, 23, 7, 22, 18, 19, 10, 3.

Procede-se a coleta das amostras nos trabalhadores com estes números.

7.4 - RECOMENDAÇÕES DA ACGIH.

Não tem, a exemplo da AIHA, uma publicação específica a respeito mas, segundo James C. Rock, em Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants, capítulo 2, oitava edição, 1995, adota o mesmo critério da AIHA/LOGAN. Acrescenta, ainda, algumas informações a respeito dos GHE, relatadas a seguir.

7.4.1 - Critério para GHE

Para GHE com muitos trabalhadores, é razoável obter um número de resultados igual à raiz quadrada do número de trabalhadores do grupo. O número de resultados do subgrupo será:

$$n = N^{1/2}$$

onde, n = número de resultados a serem obtidos.

N = número de trabalhadores do GHE.

- Para GHE's pequenos (ex.: com 16 trabalhadores), sempre que o n obtido for menor do que 6, deve-se arredondar o número de resultados para este valor sempre que for necessário realizar tratamento estatístico.

- Para checar a homogeneidade do GHE é apropriado coletar o dobro desse número (n) de resultados e calcular a variância. \Rightarrow

$$n = 2N^{1/2}$$

Este número de resultados pode significar que:

- a) Quando for possível identificar o trabalhador mais exposto: deve-se obter n resultados deste trabalhador, em n dias consecutivos ou escolhidos aleatoriamente.
- b) Quando não for possível identificar o trabalhador mais exposto: deve-se obter n resultados em n dias consecutivos ou escolhidos aleatoriamente, sendo que, os trabalhadores nos quais serão realizadas as coletas também deverão ser escolhidos aleatoriamente.

TABELA 12. N° Aleatórios da NIOSH para Subgrupos de Trabalhadores

TABLE 3.2. TABLE OF RANDOM NUMBERS FOR PARTIAL SAMPLING*

ROW COLUMN	1 5 10 15 20 25																								
	1	5	10	15	20	25																			
1	05	57	23	06	26	23	08	66	16	(11)	73	28	81	56	14	62	82	45	65	80	36	02	76	55	63
	37	78	16	06	57	12	46	22	90	97	78	67	39	05	63	60	51	02	07	16	75	12	90	41	16
	23	71	15	08	82	64	87	29	01	(20)	46	72	05	80	19	27	47	15	76	51	58	67	06	80	34
	42	67	98	41	67	44	28	71	43	(08)	(39)	47	76	30	26	72	33	69	92	51	95	23	26	85	76
	05	83	03	84	32	62	83	27	48	83	(23)	19	84	90	20	20	50	87	74	93	51	62	10	23	30
6	60	46	18	41	23	74	73	51	72	90	40	52	95	41	20	89	48	98	27	38	81	33	83	82	94
	32	80	64	75	91	98	09	40	64	89	29	99	46	35	69	91	50	73	75	92	90	56	82	93	24
	79	86	53	77	78	06	62	37	48	82	71	00	78	21	65	65	88	45	82	44	78	93	22	78	09
	45	13	23	32	01	09	46	36	43	66	37	15	35	04	88	79	83	53	19	13	91	59	81	81	87
	20	60	97	48	21	41	84	22	72	77	99	81	83	30	46	15	90	26	51	73	66	34	99	40	60
11	67	91	44	83	43	25	56	33	28	80	99	53	27	56	19	80	76	32	53	95	07	53	09	61	98
	86	50	76	93	86	35	68	45	37	83	47	44	52	57	56	59	64	16	48	39	26	94	54	66	40
	56	73	38	38	23	36	10	95	16	(01)	(10)	01	59	71	55	99	24	88	31	41	00	73	13	80	62
	55	11	50	29	17	73	97	04	20	39	20	22	71	11	43	00	15	10	12	35	09	11	00	89	05
	25	54	33	87	92	92	04	49	73	96	57	53	57	08	93	09	69	87	83	07	46	39	50	37	85
16	41	48	67	79	44	57	40	29	10	34	58	63	51	18	07	41	02	39	79	14	40	68	10	01	51
	03	97	71	72	43	27	36	24	59	88	82	87	26	31	11	44	28	58	99	47	83	21	35	22	88
	90	24	83	48	07	41	56	68	11	(14)	17	75	48	68	08	90	89	63	87	00	06	18	63	21	91
	98	98	97	42	27	11	80	51	13	(13)	(03)	42	91	14	51	22	15	48	67	52	09	40	34	60	85
	74	20	94	21	49	96	51	69	99	85	43	76	55	81	36	11	88	68	32	43	08	14	78	05	34
21	94	67	48	87	11	84	00	85	93	56	43	99	21	74	84	13	56	41	90	96	30	04	19	68	73
	58	18	84	82	71	23	66	33	19	(25)	65	17	90	84	24	31	75	36	14	83	86	22	70	86	89
	31	47	28	24	88	49	28	69	78	62	23	45	53	38	78	65	87	44	91	93	91	62	76	09	20
	45	62	31	06	70	92	73	27	83	57	15	64	40	57	56	54	42	35	40	93	55	82	08	78	87
	51	49	87	12	27	41	07	91	72	64	63	42	06	66	82	71	28	36	45	31	99	01	03	35	76
26	69	37	22	23	46	10	75	83	62	94	44	65	46	23	65	71	69	20	89	12	16	56	61	70	41
	93	67	21	56	98	42	52	53	14	86	24	70	25	18	23	23	56	24	03	86	11	06	46	10	23
	77	56	18	37	01	32	20	18	70	79	26	85	77	89	28	17	77	15	52	47	15	33	35	12	75
	37	07	47	79	60	75	24	15	31	63	25	93	27	66	19	53	52	49	98	45	12	12	05	09	32
	72	08	71	61	73	46	59	60	37	58	22	25	20	84	30	02	03	62	58	58	38	04	06	89	94
31	55	22	48	46	72	50	14	24	47	67	84	37	32	84	82	54	97	13	69	85	20	09	80	46	75
	69	24	99	90	70	29	34	25	33	(23)	12	69	90	50	38	93	84	32	28	95	03	65	70	90	12
	01	86	77	18	21	91	66	11	84	65	48	75	26	94	51	40	51	53	31	29	77	69	05	25	07
	51	43	94	06	80	61	34	28	46	28	11	48	48	94	50	65	06	63	71	06	19	35	05	32	56
	58	78	02	85	80	29	67	27	44	(07)	57	23	20	28	22	62	97	59	62	13	41	72	70	71	07
36	33	75	88	51	00	33	56	15	84	34	28	50	16	65	12	81	56	43	54	14	63	37	74	97	59
	58	60	37	45	62	09	95	93	16	59	35	22	91	78	04	97	98	80	20	04	38	97	13	92	30
	72	13	12	95	32	87	99	32	83	65	40	17	92	57	22	68	98	79	16	23	53	56	56	07	47
	22	21	3	16	10	52	57	71	40	49	95	25	55	36	95	57	25	25	77	05	38	05	62	57	77
	97	94	83	67	90	68	74	88	17	(22)	38	01	04	33	49	38	47	57	61	87	15	39	43	87	00
41	09	03	68	53	63	29	27	31	66	53	39	34	88	87	04	35	83	69	52	74	93	16	52	01	65
	29	95	61	42	65	05	72	27	28	(18)	09	85	24	59	46	03	91	55	38	62	51	71	47	37	38
	81	96	78	93	47	41	38	36	33	95	05	90	25	72	85	23	23	30	70	51	55	93	23	84	83
	44	52	20	81	21	57	57	85	00	47	26	10	87	22	45	72	03	5	75	23	38	38	56	77	97
	68	91	12	15	08	02	18	74	56	79	21	53	53	41	77	15	07	39	87	11	19	25	62	19	30
46	29	33	77	60	29	09	25	09	42	28	07	15	43	67	55	29	58	75	84	06	19	54	31	16	53
	54	13	39	19	29	64	97	73	71	61	78	03	24	02	93	86	69	76	74	28	08	98	84	38	23
	75	16	85	64	64	93	85	68	08	84	15	41	57	84	45	11	70	13	17	60	47	80	10	13	00
	36	47	17	08	78	03	92	85	18	42	95	48	27	37	99	98	81	94	44	72	05	95	42	31	17
	29	61	08	21	91	23	76	72	84	98	26	23	66	54	86	88	95	14	82	57	17	99	15	28	99

*Reproduced from Table A-36 of Natrella (3.1), with permission of the Rand Corporation, "A Million Random Digits," The Free Press, 1955.

8.0 - REAVALIAÇÕES/FREQÜÊNCIA DAS AMOSTRAGENS

Estabelece o intervalo de tempo a partir do qual deve-se proceder uma nova avaliação, considerando que neste intervalo de tempo nenhuma alteração de processo, produção, atividade, GHE, etc., ocorreu. Significa, então, um intervalo de tempo mínimo para se proceder uma nova avaliação. Geralmente coincide com a atualização/avaliação do próprio Programa de Prevenção de Riscos adotado pela empresa.

A OSHA define o **NÍVEL DE AÇÃO** como sendo **1/2 Limite de Exposição Permissível**, a partir do qual devem ser tomadas as seguintes medidas:

- se $C > TLV$, a coleta de amostras deve ser mensal até que se tenha $C < TLV$.
- se $1/2 TLV < C < TLV$ ($NA < C < TLV$), a coleta deve ser bimensal;
- se em duas coletas consecutivas, com intervalo de uma semana, $C < 1/2 TLV$ ($C < NA$) não é preciso fazer mais coletas até que uma nova situação a justifique;

- em todos os casos, os trabalhadores devem ser treinados e informados e a vigilância médica deve atuar.

A NR 9 estabelece também o $NA = 1/2 LT$, a partir do qual deve-se iniciar as ações de modo a prevenir exposições acima do LT.

A NR-15, Anexo 13-A, através da instrução normativa 01 (IN 01), estabelece a frequência de monitoramento para o Benzeno, baseando-se no Índice de Julgamento I, que pode ser seguida para outros compostos químicos.

A ACGIH propõe que o Grau de Risco pode ser usado como uma boa base para definir a frequência de reavaliações (monitoramento) (TABELA 13).

TABELA 13. Reavaliações em função do grau de risco

Grau de Risco	Frequência de reavaliações
Muito alto	Contínuo
Alto	Mensal ou quadrimestral
Moderado	Quadrimestral ou anual
Baixo	De um a três anos
Insignificante	De três a cinco anos

Fonte: ACGIH - Air Sampling Instruments - 8th edition - 1995.

Qualquer alteração do processo, atividade, função, ambiente ou GHE, requer uma nova avaliação.

O Higienista deve, sempre que possível, caminhar pelos locais de trabalho para observar as atividades desenvolvidas, se nada mudou, se novas situações surgem. A rotina de trabalho, por exemplo, pode levar o trabalhador a mudar o procedimento de uma determinada atividade (inconscientemente), mudando conseqüentemente, o perfil de sua exposição.

III - AMOSTRAGEM DE GASES E VAPORES E AERODISPERSÓIDES

1.0 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DA AMOSTRAGEM

A amostragem de ar envolve:

- escolha dos métodos de coleta e análise (direta ou indireta);
- implantação e otimização de métodos analíticos;
- determinação e estudo dos fatores influentes e possíveis interferentes na coleta e análise do contaminante de interesse - validação do método;
- estudo da sensibilidade do método analítico e determinação do seu limite de detecção
- validação do método;
- testes em laboratório e em campo - validação;
- calibração de bombas.

O laboratório irá definir ou subsidiar a escolha do método analítico (amostragem e análise), segundo os objetivos da avaliação ambiental.

O laboratório deve validar o método e desenvolver ou participar de programas de controle de qualidade, visando uma maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Deverá haver uma perfeita compreensão da metodologia analítica (coleta e análise) para a correta definição de alguns parâmetros básicos de amostragem como, vazão e tempo de coleta, volume de ar a ser coletado, quantidade mínima de contaminante necessária para a quantificação, interferências químicas, transporte, estabilidade e armazenamento das amostras, etc.

AGÊNCIAS QUE PUBLICAM MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE AR

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA)
- Environmental Protection Agency (EPA), etc.

TUDO QUE VOCÊ NECESSITA PARA A MAIORIA DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DO AR

Bombas de amostragem
Calibradores de vazão para as bombas (digital, bolhometro de sabão, etc)
Meios de coleta (líquidos, filtros, adsorventes, sacos...)
Amostradores ou Monitores Passivos
Medidores de umidade e temperatura do ar.

2.0 - MÉTODOS DE COLETA DIRETA

Envolve a coleta direta de uma amostra de ar sem que haja a separação do contaminante de interesse.

Os dispositivos mais empregados nas coletas diretas são as seringas de gás calibradas, os frascos e ampolas de vidro evacuados e os sacos ou bexigas.

Estes métodos não têm sido muito utilizados devido, principalmente, à limitação do volume de ar coletado, que depende do volume do recipiente de coleta.

Ex.: uma seringa de 500 mililitros só poderá coletar, no máximo, 500 mililitros isto é, 1/2 litro de ar. Da mesma forma, uma ampola de vidro de 1 litro só poderá coletar 1 litro de ar.

Esta limitação restringe enormemente a aplicabilidade do método, principalmente nos casos de baixas concentrações do contaminante no ar. Além disso, a coleta com estes dispositivos (exceto os sacos) é feita em um tempo muito curto, gerando basicamente amostras do tipo INSTANTÂNEAS, dando um caráter restritivo ao método.

Outros problemas como perdas por adsorção nas paredes, permeação, vazamentos, reações químicas, estabilidade da amostra, etc., estão associados a este método, limitando-o mais ainda.

Dentre os dispositivos de coleta direta mais utilizados estão os SACOS ou "BAGS", que são fabricados com materiais inertes (teflon, polietileno, etc) e em volumes variáveis, geralmente entre 1 e 300 litros. A coleta com sacos é feita com auxílio de bombas de amostragem (ver item específico), que aspira o ar para dentro do saco. As amostras obtidas neste caso podem ser do tipo MÉDIA PONDERADA NO TEMPO, referente ao período avaliado.

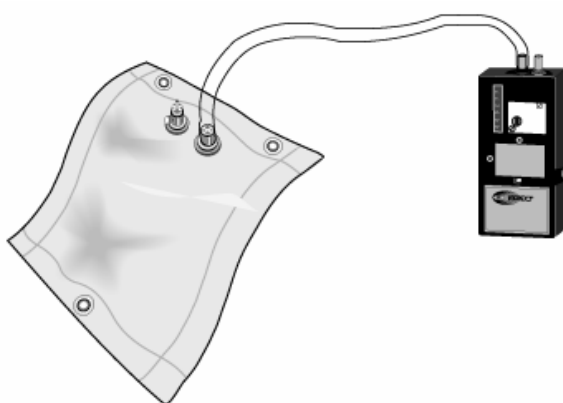
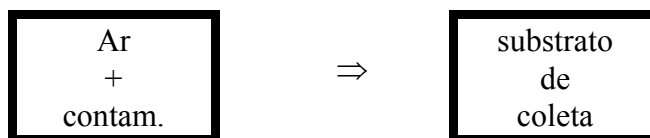


Figura 3. Coleta de amostra de ar direta, com auxílio de uma bomba de amostragem portátil

Bombas dotadas com saídas de exaustão (descarga) podem ser utilizadas para empurrar o ar para dentro de sacos de amostragem, conectados por meio de tubos de teflon.

Os sacos contendo as amostras podem ser analisados em campo, por meio de instrumentos de leitura direta, ou serem levados para o laboratório, para posterior análise por cromatografia a gás ou outro método adequado.

3.0 - MÉTODOS DE CONCENTRAÇÃO (COLETA INDIRETA)



$$C = \frac{\text{Quantidade do contaminante}}{\text{Volume de ar coletado}}$$

- a) Absorção - impingers e borbulhadores contendo um líquido absorvedor.
- b) Adsorção - sólidos adsorventes contidos em um suporte.
- c) Retenção em filtros de membrana

3.1 - MÉTODO DE ABSORÇÃO

Consiste em fazer o ar passar (ou borbulhar), por um determinado período de tempo, através de um LÍQUIDO, no qual o contaminante ficará retido. Desta forma, o contaminante é separado do ar e concentrado no líquido absorvedor. O volume de ar coletado e a concentração do contaminante no ar determinarão a quantidade do contaminante presente no líquido. O substrato de coleta, neste caso, é o líquido.

Este método é geralmente utilizado para coleta de gases e vapores e, eventualmente, para aerodispersóides.

A duração da coleta depende de:

- capacidade do líquido absorvedor de absorver o contaminante;
- sensibilidade do método analítico;
- estratégia de avaliação ambiental.

O processo de absorção pode ser FÍSICO ou QUÍMICO. A **absorção física** é aquela na qual o contaminante é dissolvido no líquido absorvedor formando uma fase homogênea, ou solução. Nestes casos, o próprio contaminante é analisado e quantificado.

Ex.: - água ou solução alcalina para coletar acetona no ar;
- água para coletar dimetilformamida no ar.

A **absorção química** é aquela na qual o contaminante reage com o líquido absorvedor (ou com um reagente nele dissolvido) formando um novo composto. O composto formado é, geralmente, quantificado e relacionado estequiometricamente com o contaminante de interesse.

Ex.: - solução de ácido sulfúrico para coletar amônia no ar.

- reação química: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NH}_3 \Rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (analito a ser quantificado)
(sulfato de amônio)

Para utilizar o método de absorção é necessário atender as seguintes exigências:

- o líquido absorvedor deve ter uma eficiência de captura satisfatória para o contaminante;
- a estratégia de coleta deve garantir a captação de uma quantidade de contaminante suficiente para a quantificação;
- para o método de absorção física, o contaminante deve permanecer inalterado na solução até o momento da análise. No caso da absorção química, a mesma condição deve ser atendida para o produto de reação entre o contaminante e o reagente do líquido absorvedor;
- o líquido absorvedor não deve interferir na análise.

Os suportes utilizados para conter os líquidos absorvedores são chamados de borbulhadores, frascos lavadores de gases, frascos absorvedores ou impingers.

3.1.1 - Amostragem de Gases e Vapores com Impingers (Absorção)

Alguns agentes químicos, tais como ácidos, ozônio, cloro e formaldeído podem ser coletados utilizando-se impingers (Figura 4).

Os impingers são frascos de vidro, especialmente desenhados, dentro dos quais é colocado um líquido especificado no método analítico. O ar contaminado é passado através do líquido e o agente químico de interesse é retido por dissolução ou reação química.



Figura 4. Frascos borbulhadores ou impingers, para coletas individuais e de ponto fixo.

Uma bomba de amostragem é usada para aspirar o ar fazendo-o borbulhar no líquido (especificado no método analítico) contido no impinger. O líquido dissolverá ou reagirá quimicamente com o agente químico de interesse.

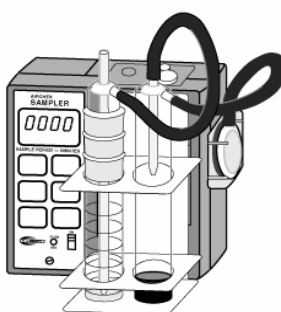


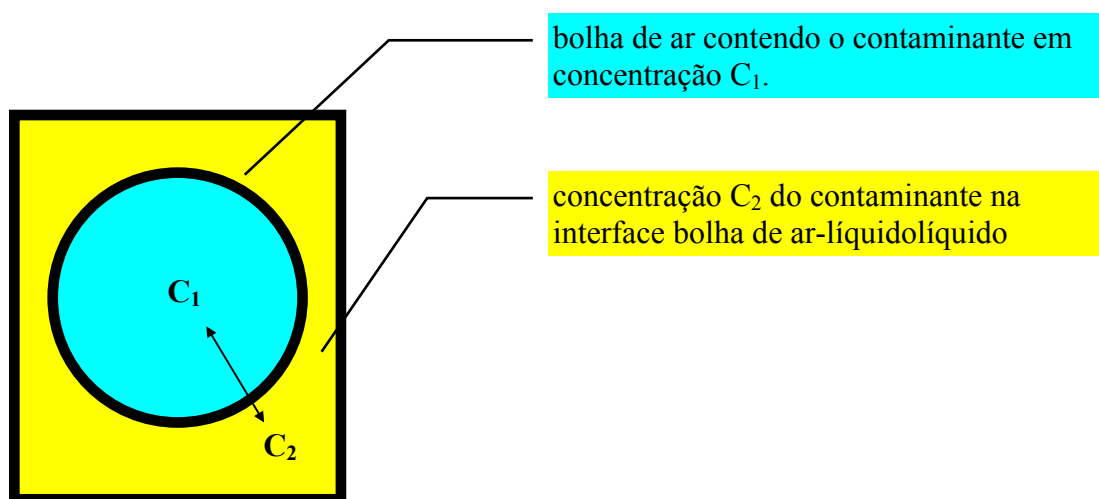
Figura 5. Sistema para coleta com Impinger

O líquido é removido do impinger, transferido para frascos apropriados e enviado para o laboratório, para análise. Se o laboratório for na própria empresa onde a amostra foi coletada, o líquido pode ser transportado no próprio impinger, devidamente fechado (com fita teflon).

O impinger pode ser lavado e reutilizado.

Além de servir de suporte para o líquido absorvedor, os borbulhadores têm um papel essencial de promover um contato íntimo entre o ar e o líquido de modo a facilitar a transferência do contaminante de uma fase para outra. Este contato é feito através do borbulhamento do ar no líquido. Como regra geral, quanto maior o número de bolhas geradas mais efetivo será o contato.

Durante o período de tempo em que a bolha de ar permanece no líquido, o contaminante presente na superfície da bolha mantém contato direto com o líquido, podendo ser dissolvido neste (absorção física) ou reagir com o próprio, formando um novo composto químico (absorção química). O tempo de contato é, portanto, um parâmetro fundamental na eficiência de coleta do contaminante.



Uma vez que o contaminante presente na interface bolha de ar-líquido é capturado pelo líquido, a concentração deste no centro da bolha de ar torna-se maior do que a concentração na superfície da bolha de ar. Por esta razão, o contaminante tende a migrar do centro da bolha de ar para a superfície desta, ou seja, para a interface bolha de ar-líquido. Este processo de absorção-migração-absorção continua, teoricamente, até que a concentração do contaminante no centro da bolha de ar seja reduzida a um valor mínimo de acordo com a Lei de Henry para a absorção física, ou mesmo com a constante de reação para a absorção química.

O processo acima descrito é influenciado por vários fatores e, por esta razão, a eficiência de coleta dos líquidos absorvedores geralmente não atinge a 100%.

3.1.2.- Fatores Influentes na Absorção

- tempo de contato entre a bolha de ar e o líquido;
- velocidade de fluxo de ar durante a coleta (método ativo);
- pressão de vapor do contaminante e estabilidade da solução(para a absorção física);
- estabilidade do composto químico formado (para a absorção química);
- temperatura do ar ao ingressar no borbulhador;
- pressão atmosférica.

3.1.3 - Tipos de Borbulhadores

- a) borbulhadores de septo poroso;
- b) borbulhadores com recheios (ou enchimentos);
- c) borbulhadores com tubo capilar;
- d) miniborbulhadores para amostragem pessoal (mini impingers).

Geralmente são fabricados em vidro e com dimensões variadas, podendo conter volumes de líquidos entre 20 mL a 1000 mL. São constituídos de duas partes: um invólucro externo e um corpo interno, que se unem através de juntas esmerilhadas. Atenção, pois este pode ser um ponto crítico no tocante a vazamentos de ar durante as coletas.

São dimensionados em função do volume de líquido absorvedor e da vazão máxima de coleta.

a) Borbulhadores de Septo Poroso

São os mais utilizados. O septo poroso proporciona a que o ar borbulhe no líquido absorvedor sob forma de um grande número de pequenas bolhas de ar, promovendo um fenômeno de efervescência. São construídos geralmente de vidro sinterizado, mas também podem ser feitos de porcelana. Este último possibilita a construção de poros de dimensões mais uniformes, evitando, assim, caminhos preferenciais do fluxo de ar.

b)Borbulhadores com Enchimento

São aqueles que possuem um material de enchimento em suas partes internas. Estes podem ser sob forma de espirais ou de esferas e têm a função de aumentar a superfície de contato das bolhinhas com o líquido. Apesar de favorecer a eficiência de absorção do contaminante, o enchimento representa uma desvantagem quanto à recuperação quantitativa do líquido absorvedor após a coleta, além da dificuldade na lavagem da grande superfície de contato do enchimento. Além disso, este tipo de borbulhador não permite a realização de coletas com altas vazões de coleta.

c) Borbulhadores com Tubo Capilar

Estes borbulhadores possuem um tubo de dimensões capilares cuja extremidade deve ser de diâmetro reduzido para favorecer a obtenção de pequenas bolhas. Por este mesmo

motivo, a vazão de coleta deve ser reduzida e sempre será inferior à empregada com um borbulhador de septo poroso de dimensões análogas.

d) Miniborbulhadores para Amostragem Pessoal

Diferente dos borbulhadores comuns, que só devem ser utilizados na posição vertical e estáticos, os borbulhadores para amostragem pessoal são desenhados para poderem ser utilizados em posições variadas, já que não devem limitar as atividades dos indivíduos que os utiliza. São do tipo com tubo capilar e de septo poroso.

O uso de líquidos absorvedores tóxicos (solventes orgânicos) ou corrosivos (ácidos, bases) deve ser evitado, para não expor o indivíduo a um risco adicional. A água ou soluções aquosas muito diluídas constituem-se nos líquidos absorvedores ideais para uso em amostragem pessoal.

3.1.4 - Concentrações Mínima e Máxima Determináveis

A duração da coleta para um dado volume de líquido, V_{ABS} , e velocidade de fluxo, F , depende de:

- quantidade mínima detectável pelo método analítico, Q_{MD} ;
- eficiência de coleta do líquido absorvedor.

$$Q_{MD} = C_{MD} \times V_{ABS}$$

onde, C_{MD} = concentração mínima detectável pelo método

Sendo a concentração ambiental do contaminante, $C_{AMB} = Q/V$ e $V = F \times t$

onde, Q = quantidade do contaminante no ar (em mg ou μg);
 V = volume de ar (em litros, L);
 t = tempo de coleta (em min).

Conhecendo a concentração ambiental pode-se determinar o volume mínimo de ar a ser coletado (V_m) através da seguinte expressão:

$$V_m = Q_{MD} / C_{AMB} \Rightarrow V_m = C_{MD} \times V_{ABS} / C_{AMB}$$

A concentração máxima determinável ($C_{m\acute{a}x}$) está relacionada com a eficiência de coleta.

3.1.4.1 - Eficiência de Coleta

É o parâmetro que mede a capacidade de absorção dos líquidos absorvedores. É determinada medindo-se as concentrações do contaminante na entrada (afluente) e na saída

(efluente) do borbulhador. Conforme já foi dito, devido a vários fatores, esta eficiência de coleta quase nunca atinge os 100%.

Para o cálculo da Eficiência de Coleta (EC) utiliza-se a equação abaixo.

$$(\%) EC = \frac{C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}}{C_{\text{afluente}}} \times 100$$

3.1.4.2 - Melhorando a Eficiência de Coleta

Para melhorar a eficiência de coleta costuma-se colocar dois ou mais borbulhadores em série, de modo que, a parte do contaminante que não ficar retida (absorvida) no primeiro borbulhador (por saturação do líquido absorvedor ou por limitações na eficiência de absorção) seja capturada no segundo borbulhador, e assim sucessivamente.

Quanto mais borbulhadores conectados em série maior será a Eficiência de Coleta do contaminante.

Os líquidos absorvedores de cada borbulhador são analisados para determinar a quantidade (q_i) do contaminante em cada um deles.

Para dois borbulhadores conectados em série teremos:

$$(\%) EC = \frac{q_1 + q_2}{Q} \times 100$$

onde, q_1 = quantidade do contaminante determinada no primeiro borbulhador;
 q_2 = quantidade do contaminante determinada no segundo borbulhador;
 Q = quantidade do contaminante na entrada do primeiro borbulhador.

Na prática, geralmente a quantidade, Q , do contaminante não é conhecida previamente. Sabe-se, no entanto, que a quantidade do contaminante presente no primeiro borbulhador, q_1 , é proporcional à quantidade, Q , na entrada do mesmo. Esta proporcionalidade, X (fração do contaminante absorvida nos borbulhadores em relação à quantidade na entrada dos mesmos), se repete em tantos quantos sejam os borbulhadores conectados em série. Isto é:

$$q_1 = XQ; \quad q_2 = X(Q - q_1); \quad q_3 = X [Q - (q_1 + q_2)]; \dots$$

Desta forma, temos que:

$$Q = q_1 / X \quad \text{e} \quad X = q_2 / (Q - q_1)$$

logo,

$$X = 1 - q_2 / q_1 \quad \text{e} \quad Q = \frac{q_2^2}{q_1 - q_2}$$

Teoricamente, a Eficiência de Coleta seria dada por:

$$EC = q_1 + q_2 / Q$$

substituindo o valor de Q teremos:

$$(\%) EC = \left[1 - \left(\frac{q_2}{q_1} \right)^2 \right] \times 100$$

Para n borbulhadores conectados em série:

$$(\%) EC = \left[1 - \left(\frac{q_2}{q_1} \right)^2 + \left(\frac{q_3}{q_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{q_n}{q_{n-1}} \right)^2 \right] \times 100$$

A Eficiência de Coleta, EC, deve ser reprodutível e maior do que 75% (acima de 95%, de preferência).

Em linha de máxima, sempre que a quantidade do contaminante encontrada no segundo borbulhador for maior do que 50% da quantidade encontrada no primeiro borbulhador (a quantidade de líquido absorvedor em cada borbulhador deve ser a mesma), a EC deve ser considerada muito baixa e o método deve ser abandonado.

3.2 - MÉTODO DE ADSORÇÃO

Consiste na retenção de um ou mais contaminantes do ar na superfície de um determinado material sólido. Em outras palavras, a adsorção representa a capacidade de um

material sólido de reter em sua superfície os contaminantes, gases e vapores, presentes no fluxo de ar que passa através do referido sólido.

O processo de adsorção pode ser FÍSICO ou QUÍMICO.

A **adsorção física** é reversível e é causada somente por forças físicas entre o adsorvente e o adsorvido (ou adsorbato), não havendo qualquer reação química. Por esta razão, é mais fácil a recuperação do(s) contaminante(s) para análise laboratorial. É o processo de maior interesse na amostragem de gases e vapores devido à possibilidade de capturar um número muito grande de contaminantes presentes no ar, ainda que o número de sólidos adsorventes não seja tão grande.

Características da Adsorção Física:

- as ligações adsorvente/adsorvido são do tipo Van der Waals;
- não é específico (ocorre sobre quase todas as superfícies a baixa temperatura);
- a velocidade de adsorção é alta - não necessita de energia de ativação;
- não é seletivo para substâncias individuais ou mesmo para classes de substâncias;
- sofre influência negativa da temperatura.

A **adsorção química** é causado por forças físicas e químicas e tem lugar toda a vez que ocorre uma reação entre a superfície do adsorvente e o adsorvido. A adsorção química é irreversível e a recuperação ou dessorção do(s) contaminante(s) para a análise é diversificada.

Características da Adsorção Química:

- a velocidade de adsorção depende da cinética de reação. É possível prever a energia de ativação necessária (reação endotérmica) ou a energia liberada sob forma de calor (reação exotérmica);
- o composto formado pode alterar a superfície do adsorvente (adsorção ativada);
- por ser um processo irreversível é mais difícil recuperar o contaminante adsorvido;
- para amostragem de gases e vapores requer a definição de um sólido adsorvente específico para cada contaminante de interesse.

Na TABELA 14 encontra-se alguns sólidos adsorventes utilizados nos métodos de coleta por adsorção.

Para as substâncias orgânicas o mais empregado é o carvão ativado, seguido pelos polímeros porosos, carbonos grafitizados, sílica-gel e enchimentos de colunas.

TABELA 14. Exemplo de Sólidos Adsorventes

Sólido Adsorvente	Descrição
Carvão Ativo	de côco, de madeira, de petróleo, mineral, de osso, de sangue
Carbono Grafitizado	carbotraps, graphon, carbopacks e carbocromo
Polímeros Porosos	tenax, porapacks, chromosorbs, resinas XAD,
Enchimento de Colunas	silicone sobre celite, carbowax 1540, OV 17, SE 30, ...
Peneiras Moleculares	graus 5A e 13X, carbosieve, carboxen
Sílica Gel	Silica Gel
Alumina	Alumina
Espuma de Poliuretano (PUF)	PUF

3.2.1 - Suporte para Sólidos Adsorventes

Os sólidos adsorventes são utilizados geralmente contidos em tubos de vidro ou de aço ou em suportes tipo câmaras.

Sistema	Suporte
ativo	tubos de vidro ou de aço de dimensões variadas
passivo	tubos de vidro, câmaras ou monitores de várias formas, materiais e dimensões

As dimensões dos suportes são variadas e dependem da quantidade de adsorvente utilizada, ou seja, da capacidade de coleta desejada, ou de requisitos do procedimento de análise (dimensões da câmara de dessorção do equipamento de dessorção térmica).

3.2.2 - Amostragem de Gases e Vapores com Tubos Adsorventes

Muitos métodos de amostragem requerem o uso de tubos adsorventes para a amostragem de gases e vapores. Os vapores orgânicos são os compostos mais comumente coletados com tubos adsorventes.

Um tubo adsorvente é um pequeno tubo de vidro, normalmente preenchido com duas camadas de um mesmo material sólido adsorvente. A segunda camada (ou segunda seção), também chamada de backup, é utilizada para avaliar a ocorrência de breakthrough, ou seja, a eficiência da coleta (Figura 6).

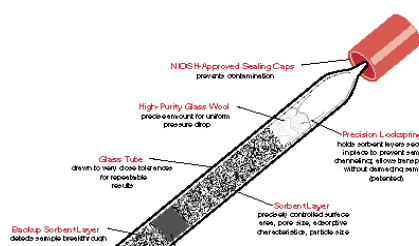


Figura 6. Tubos adsorventes, de vidro

O adsorvente a ser utilizado estará especificado no método analítico. A literatura científica (revistas, periódicos, livros) poderá apontar para sistemas alternativos desenvolvidos para eliminar limitações daqueles até então utilizados. Um dos maiores desafios é a tendência crescente de se reduzir as concentrações dos limites de exposição e, conseqüentemente, as dos locais de trabalho, exigindo maior sensibilidade e confiabilidade da metodologia analítica. Deve-se, portanto, estar atento e manter-se atualizado.

3.2.2.1 - Procedimento de Coleta de Amostras de Ar

As extremidades do tubo são quebradas e um volume conhecido de ar é passado através do mesmo, usando uma bomba de amostragem de ar, calibrada previamente para a vazão especificada pelo método.

Os agentes químicos são retidos na primeira camada de adsorvente. A segunda camada, também chamada seção back-up, será analisada separadamente para avaliar a ocorrência de breakthrough.

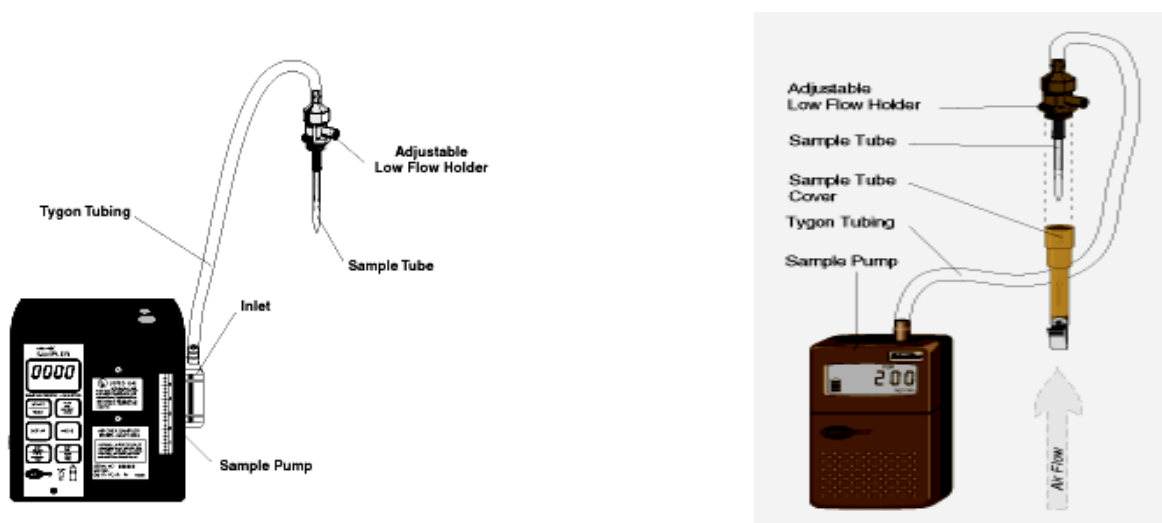


Figura 7. Sistemas de Coleta com Tubo Adsorvente

TABELA 15. Exemplo de Tubos de Vidro Usados para Carvão Ativado

Parâmetros do tubo	Tipo de tubo		
	Standard	Large	Jumbo
altura (mm)	68	110	110
diâmetro externo (mm)	6	8	10
diâmetro interno (mm)	4	6	8
mg de carvão (1a. seção)	100	470	840
mg de carvão (2a. seção)	50	235	235

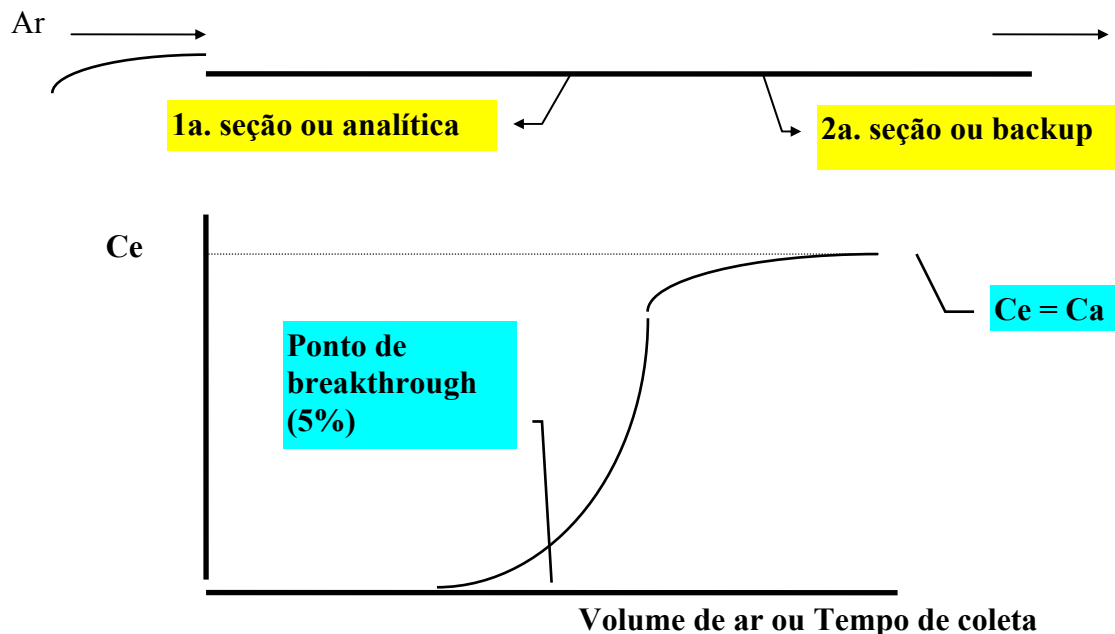
(*) o mais utilizado é o STANDARD.

TABELA 16. Aplicação dos Sólidos Adsorventes

Adsorvente	Monômero	Mesh	Substância
Carvão ativo e grafites	carbono	20 - 40	hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, ésteres, cetonas, cloroderivados, álcoois, etc
Sílica-gel	SiO ₂ .nH ₂ O	20 - 40	hidrocarbonetos aromáticos, aminas aromáticas, álcoois, etc
Alumina	Al(OH) ₃		formaldeído
Tenax	2,6-difenil-p-fenileno óxido	(*)35-60 60-120	PCB's, N-nitrosodimetilamina, 2-aminopiridina, benzeno, etc.
Porapacks (P,A,R,S,N,T)	Est/Dvb(P); EtVb/DVb(A) VP(R,N), ETG/DMAC (T), Vpdina (S)	(*)50-80 80-120	anidrido acético, B,T,X, butanol, acetona, acroleína, acrilonitrila,...
Chromosorbs (101 a 108)	Est/DVb (101,102); PEST (103,106); ACN/DVb (104); PA (105); EA (107,108)	(*)80-100 20-80	nitrometano, phosdrin, formaldeído, Hcl, acetato de vinila, 2-nitropropano, endrin, ...
Resinas XAD (1,2,4,7,8,9,11)	Est/DVb (1,2,4); EA (7,8); sulfóxido (9); amida (11)	20-50 35-50 20-200	fitofármacos organofosforados, chumbo tetraetila, diclorvos, HPA's, metilmetacrilatos,

3.2.3 - Mecanismo de Adsorção no Tubo - Ocorrência de Breakthrough





C_a ; C_e = concentração do contaminante no afluente (C_a) e efluente (C_e) do tubo

Figura 8. Mecanismo de Adsorção e Gráfico de Breakthrough

3.2.3.1 - Ponto de Breakthrough

É o parâmetro utilizado para medir a Eficiência de Coleta com tubos adsorventes. É o ponto a partir do qual começa-se a detectar uma concentração do contaminante no efluente do tubo, ou seja, o momento em que o adsorvente não consegue mais reter o contaminante. É o parâmetro que mede a eficiência de coleta para os tubos contendo adsorventes. A NIOSH assume como **ocorrência de breakthrough** o momento em que é detectada uma concentração do contaminante no efluente do tubo igual a 5% da concentração no afluente. Outros valores, no entanto, podem ser assumidos (ex.:1%). O **ponto de breakthrough** é dado pelo tempo de coleta ou volume coletado até a ocorrência do mesmo.

Na prática, no entanto, o objetivo é evitar a ocorrência do breakthrough, ou seja, garantir que se proceda uma coleta eficiente do contaminante, sem que haja saturação do adsorvente e perdas do contaminante de volta para o ambiente. Com esta finalidade, a maioria dos tubos adsorventes são confeccionados com duas seções do adsorvente, sendo que, a segunda seção, também chamada de **backup**, contém uma quantidade menor do mesmo substrato da primeira seção, e deve ser analisada igualmente à primeira seção para o controle da eficiência de coleta.

Encontrar quantidades do contaminante de interesse na seção backup não quer dizer ainda que a amostra está invalidada ou perdida.

Para tubos com duas seções de adsorvente e onde a segunda seção contém metade da quantidade de adsorvente contida na primeira seção, a NIOSH sugere que, caso seja encontrado na seção backup até 25% da quantidade de contaminante encontrada na primeira seção, a amostra deverá ser considerada válida. Nestes casos, somam-se as quantidades de

contaminante encontradas nas duas seções e determina-se a concentração no ar. Por outro lado, quando o breakthrough for maior do que 25% a amostra deverá ser considerada inválida pois, pode ter ocorrido perdas de contaminante para o ambiente. Nestes casos, pode-se somar as quantidades de contaminante das duas seções e determinar a **concentração mínima presente**. Este resultado, no entanto, só deve ser utilizado para subsidiar o julgamento profissional, não devendo, pois, ser juntado aos resultados que serão utilizados para o tratamento estatístico.

breakthrough(q_2/q_1) \leq 25% \Rightarrow	amostra válida \Rightarrow	tratamento estatístico
breakthrough (q_2/q_1) $>$ 25% \Rightarrow	amostra inválida \Rightarrow	julgamento profissional

onde, q_1 e q_2 são, respectivamente, as quantidades de contaminante encontradas na primeira e segunda seção.

TABELA 17. Exemplo de Alguns Parâmetros de Amostragem para Tubos com 100 Mg De Carvão Ativo.

Substâncias	C (*) (mg/m ³)	TLV-TWA (mg/m ³)	Vazão (L/min)	Tempo de breakthrough (min)	Quantidade coletada (mg)
Benzeno	149,1	1,6	0,190	240	6,8
Tolueno	2294	375	0,190	62,6	27,2
Cicloexano	1650	1050	0,190	40	12,5
Etanol	3770	1900	0,200	8	6,0

(*) C = concentração de teste

3.2.4 - Fatores Influentes na Eficiência de Coleta

A eficiência de coleta é afetada por:

- fatores climáticos (umidade relativa e temperatura);
- presença de outros contaminantes (competitividade);
- tipo de adsorvente usado;
- vazão da bomba durante a coleta;
- duração da coleta;
- capacidade do adsorvente.

3.2.5 - Recuperação do Contaminante para Análise

Para a determinação qualitativa e quantitativa de substâncias coletadas sobre os adsorventes, é necessário, primeiramente, removê-las do leito do adsorvente. O processo de remoção do(s) contaminante(s) retido(s) no leito dos sólidos adsorventes é chamado de **dessorção**.

Os métodos de dessorção podem ser:

a) **dessorção química** ou extração com solvente: consiste em extrair o contaminante adsorvido empregando-se a técnica da extração com um solvente orgânico.

b) **dessorção térmica**: consiste em remover o contaminante através da passagem de um fluxo de gás inerte sobre o adsorvente em temperatura elevada.

A eficiência com que os contaminantes são removidos (dessorvidos ou recuperados) dos sólidos adsorventes é chamada de **eficiência de dessorção**. É determinada pela relação entre a quantidade do contaminante dessorvido (q) e a quantidade originalmente existente sobre o adsorvente, ou seja, a quantidade adicionada (Q).

$$(\%)ED = q/Q \times 100$$

3.2.5.1 - Dessorção Química

Consiste em remover o sólido adsorvente do seu suporte (tubo ou câmara) e transferi-lo para frascos de vidro de volume apropriado. Para quantidades de adsorvente em torno de 100 mg costuma-se utilizar frascos de vidro com capacidade entre 2 e 3 mililitros. Em seguida adiciona-se um volume adequado de solvente de extração e espera-se por um determinado tempo para completa dessorção. Por recomendação do método NIOSH 1500 - 1501 e outros, para 100 mg de carvão ativo geralmente utiliza-se um mililitro de dissulfeto de carbono e espera-se por, pelo menos, 30 minutos, com agitação ocasional (manual ou em agitador tipo Vortex), antes da análise quantitativa. O(s) contaminante(s) permanecem em solução com o solvente.

Tem sido o método mais utilizado devido à sua praticidade e à possibilidade de se realizar várias determinações quantitativas por amostra. Na TABELA 18 encontram-se alguns adsorventes e solventes de extração mais utilizados.

Atenção!! Para os tubos contendo duas seções, cada seção deve ser dessorvida (com igual quantidade de solvente) e analisada separadamente.

3.2.5.2 - Dessorção Térmica

Consiste na volatilização e arraste dos contaminantes retidos no adsorvente. Teoricamente não deveria existir limitações na aplicação da dessorção térmica para a recuperação de substâncias adsorvidas, quaisquer que sejam. Na prática, no entanto, existem fatores relacionados com a cinética de dessorção e de reações que devem ser levados em consideração.

Algumas substâncias podem sofrer reações de decomposição ou de síntese catalisadas pelo adsorvente (ex.: carvão ativado) e favorecidas pela temperatura elevada de dessorção. Estas reações dependem, principalmente, do tempo de permanência da substância a alta temperatura e em contato com o adsorvente. Significa que é necessário manter a velocidade de reação inferior à de dessorção. A temperatura é, pois, o parâmetro a ser trabalhado para o controle destes fenômenos.

TABELA 18. Sólidos Adsorventes e Solventes de Dessorção Empregados

Adsorvente	Solvente de Extração (Dessorção)
Carvão Ativado	Dissulfeto de Carbono, Cloreto de Metileno, Metanol + Dissulfeto de Carbono (5:95 v/v), ...
Sílica - Gel	Água, Dimetilsulfóxido (DMSO), Acetona, Dissulfeto de Carbono + Água, Isopropanol, o-Xileno, ...
Resinas XAD	Hexano, Cloreto de Metileno, Dietiléter, Pentano, Tolueno, Acetato de Etila, Dissulfeto de Carbono, ...
Tenax	Xilenos, Tetracloreto de Carbono,
Porapak	Acetato de Etila, Acetona, Hexano, ...
Chromosorb	Iso-octano, Acetato de Etila, ...

A temperatura não influencia de maneira igual a dessorção de todos os compostos orgânicos. Para o benzeno coletado sobre carvão ativo, a temperatura não interfere significativamente sobre a eficiência de dessorção. Já para o butanol e tricloroetileno, quanto maior a temperatura menor a eficiência de dessorção. Para outros compostos como tolueno, hexano, etilbenzeno, metilisobutilcetona e octano, observa-se uma temperatura máxima ideal para dessorção de cada um deles, algumas delas coincidentes. Isto quer dizer que, não existe uma temperatura máxima ótima para todos os compostos presentes em uma mistura. Por esta razão, é recomendável trabalhar com programação de temperatura, começando-se, por exemplo, com uma temperatura mínima para os compostos mais leves, elevando-se gradativamente (a 30, 40 ou 50 °C/min) até a temperatura máxima recomendada (ex.: 400 °C).

3.2.5.3 - Métodos Operacionais de Dessorção Térmica

1 - O tubo com adsorvente usado na coleta é colocado em série com a coluna cromatográfica em um cromatógrafo à gás sendo que, o próprio gás de arraste da coluna, aquecido à temperatura de dessorção é utilizado para dessorver e eluir os contaminantes adsorvidos.

2 - O tubo adsorvente é colocado em um forno de dessorção apropriado sendo que, após dessorvidos, os contaminantes são condensados em um “trap criogênico” com nitrogênio líquido, para em seguida, serem injetados, por meio de uma válvula de gás, no cromatógrafo, onde ocorrerá o processo de separação em coluna cromatográfica, à temperatura programada ou não.

3 - Os contaminantes são dessorvidos à vácuo e são acumulados em um reservatório (ou câmara) à parte. A injeção no cromatógrafo à gás se dará mediante uma válvula de gás e poderá ser feita imediatamente após a dessorção ou depois de algum tempo.

TABELA 19. Vantagens e Desvantagens das Dessorções Química e Térmica

Dessorção	Vantagens	Desvantagens
Química	<ul style="list-style-type: none"> - não requer aparelhos especiais; - é muito fácil de ser realizada; - permite a realização de inúmeras análises por amostra desorvida; - as amostras dessorvidas podem ser guardadas (por dias) para análises posteriores. - os tubos geralmente possuem uma seção de backup para controle da eficiência de coleta. 	<ul style="list-style-type: none"> - envolve o uso de solventes tóxicos, como o dissulfeto de carbono, o hexano, etc.; - os tubos adsorventes não são reutilizados, elevando o custo; - o pico do solvente pode interferir na análise do contaminante de interesse; - os resultados não são conhecidos rapidamente devido ao tempo de dessorção necessário; - o contaminante é diluído no solvente, reduzindo a sensibilidade do método; - é necessário duas análises por tubo devido à seção backup.
Térmica	<ul style="list-style-type: none"> - não envolve a manipulação de solventes tóxicos; - não há interferência de picos do solvente na análise; - permite a reutilização dos tubos de coleta (cerca de 2 anos); - os resultados são conhecidos em um tempo bem menor pois não há manipulação da amostra; - alta sensibilidade, por não haver diluição com solvente; 	<ul style="list-style-type: none"> - alto custo dos equipamentos; - a maioria dos equipamentos existentes (tipos 1 e 2) não permite a reinjeção da amostra (repetir a análise); - não existe temperatura ótima para todos os compostos de uma mistura - pode haver problemas durante a divisão da amostra (split) antes da coluna; - os tubos não possuem backup.

TABELA 20. Fatores Influentes nas Eficiências de Dessorção Química e Térmica

Método de Dessorção	Fatores Influentes
Química	<ul style="list-style-type: none"> - quantidade do contaminante coletado; - quantidade do solvente de dessorção; - polaridade do solvente de dessorção e dos contaminantes coletados; - temperatura e tempo de dessorção; - mistura de contaminantes na amostra; - tipo de adsorvente e lote de fabricação; - umidade relativa durante a coleta; - interação entre solvente e adsorvente.

Térmica	<ul style="list-style-type: none"> - temperatura e tempo de dessorção; - tipo do adsorvente; - características físico-químicas dos contaminantes; - reações de decomposição, polimerização ou síntese por influência da temperatura e da ação catalítica do adsorvente; - vazão do gás de dessorção.
----------------	---

Em razão disto deve-se seguir as seguintes recomendações:

- deve-se determinar a Eficiência de Dessorção (ED) para diferentes misturas e sempre que mudar de fabricante ou lote do adsorvente utilizado;
- não utilizar as ED de substâncias individuais quando estas estiverem presentes em misturas;
- realizar, sempre que possível ou necessário, uma análise preliminar qualitativa do ambiente a ser avaliado.

3.2.6 - Métodos para Determinação da Eficiência de Dessorção

Determinar a ED quer dizer conhecer com que eficiência um determinado solvente ou uma determinada condição de dessorção térmica remove a quantidade do contaminante inicialmente presente no adsorvente. A adição de uma quantidade conhecida do contaminante sobre o adsorvente é, pois, a primeira etapa de um método de determinação da ED. Alguns métodos de adição do contaminante podem ser utilizados para ambas as técnicas de dessorção (química e térmica).

- 1) Injeção direta do contaminante líquido (puro) sobre o adsorvente, seguido de dessorção e análise.
- 2) Injeção direta do contaminante em solução com um solvente apropriado (geralmente o próprio solvente de dessorção) sobre o adsorvente, seguido de dessorção e análise.
- 3) Injeção do contaminante em fase vapor sobre o adsorvente, seguido de dessorção e análise.
- 4) Equilíbrio de fase entre uma solução padrão do contaminante (no solvente de dessorção) e o adsorvente, seguido de dessorção e análise da solução.
- 5) Após a dessorção e análise da amostra coletada, descarta-se o solvente de dessorção, utilizando um filtro de papel enrolado para a remoção do excesso de solvente. Em seguida, adiciona-se uma nova quantidade do solvente (igual à primeira) e procede-se uma nova dessorção e análise de maneira análoga à anterior. A relação entre a quantidade de contaminante determinada na segunda dessorção e aquela determinada na primeira dessorção é utilizada para calcular a ED. Esta técnica é chamada de **dupla eluição** e tem a vantagem de utilizar a própria amostra coletada, o que leva em conta os fatores influentes presentes no ato da coleta (misturas e umidade relativa). A ED é determinada pela expressão abaixo.

$$ED = 1 - Q_2 / Q_1$$

Apenas os métodos 4 e 5 são de uso exclusivo para a técnica de dessorção química.

3.2.7 - Concentrações Mínima e Máxima Determináveis

A concentração mínima está, do mesmo modo que para o método de absorção, relacionada com a quantidade mínima de contaminante a ser coletada de modo a ser possível a quantificação, ou seja, com o Limite de Detecção do método.

A concentração máxima, por sua vez, depende, do mesmo modo que para os líquidos absorvedores, da capacidade de coleta do adsorvente. A quantidade de adsorvente poderá ser definida em função da quantidade que se está prevendo coletar. Quanto maior a quantidade de adsorvente, maior será a capacidade de coleta.

Em ambos os casos (concentrações mínima e máxima) pode-se trabalhar com parâmetros tais como, vazão e tempo de coleta, de modo a garantir que seja coletada uma quantidade de contaminante detectável pelo método, mesmo em baixas concentrações, ou que o adsorvente não sature (quando em altas concentrações).

3.2.8 - Avanços em Amostragem de Gases e Vapores

Indiscutivelmente o carvão ativo tem sido o adsorvente mais utilizado para a coleta de vapores orgânicos em ambientes de trabalho. Com a necessidade de se ampliar o espectro de compostos a serem coletados ocorreram avanços significativos, principalmente na tecnologia dos adsorventes.

Alguns adsorventes passaram a ser tratados quimicamente, ou lavados ou recoberto com outra substância reativa. Como exemplo temos:

- XAD-2 com HMP (Hexametilpiperidina) para Formaldeído
- Carvão de Petróleo com HBr para Óxido de Etileno
- Anasorb 747 com KOH para SO₂
- Peneira Molecular de Carbono com TEA (Trietanolamina) para NO₂
- XAD-2 com NITC para Aminas Alifáticas

3.2.8.1 - Adsorventes "Beaded" (Esféricos)

Um avanço na tecnologia produziu os ADSORVENTES "BEADED", que significa algo como contas de um colar. São esféricos, simétricos e perfurados no centro. Podem ser limpos e recobertos com facilidade, têm performance igual ou melhor do que os demais adsorventes granulados. Têm maior granulometria e por isso permitem o emprego de vazões mais altas, possibilitando a coleta de grandes volumes de ar.

Os mais conhecidos são:

- Anasorb 747 - Carbono grafitizado: coleta de Fosfina, Metanol, Etanol, Óxido de propileno, Halotano, Enflurano e Isoflurano (Métodos da OSHA).
- Anasorb 727 - Polímero poroso: coleta de Terpenos, Cicloexanona, o-Cloroestireno, alfa-Metilestireno.

- Anasorb CMS - Peneira Molecular de Carbono: coleta de Acetona, Metiletilcetona, Cloreto de Metileno, Cloreto de Vinila e Gases Anestésicos (Métodos da OSHA).

3.2.8.2 - Tubos com Múltiplas Camadas

Têm sido desenvolvidos TUBOS COM MÚLTIPLAS CAMADAS DE ADSORVENTES para permitir a coleta de diferentes classes de compostos ao mesmo tempo (ex.: composto polares e apolares, leves e pesados, aromáticos e clorados, etc.), bem como, tubos versáteis para a coleta simultânea de vapores e aerodispersóides (ex.: vapores e fumos de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos-HPA, pesticidas, DNT, TNT, Ftalatos).

3.2.8.3 - PUF

Também já pode ser encontrado no mercado tubos contendo PUF (Espuma de Poliuretano), que tem sido especificado nos métodos da EPA para pesticidas organoclorados, polibifenilas cloradas, etc., bem como, combinações de PUF/Adsorvente (Tenax, XAD-2, etc.)

3.2.8.4 - FILTROS TRATADOS

Um grande avanço para a coleta de COMPOSTOS INSTÁVEIS é o emprego de FILTROS TRATADOS.

Os filtros são tratados quimicamente de modo que o composto químico de interesse, instável, reage na superfície do filtro produzindo um composto mais estável para estocagem e análise.

Existem filtros tratados para uma variedade de substâncias químicas, tais como: Fluoretos, Dióxocianatos, Metileno Bisfenil Isocianato, Glutaraldeído, Aminas Orgânicas, Mercaptanas, Sulfeto de Hidrogênio, Anidrido Acético, Cloro, Bromo, Dióxido de Enxofre.

3.3 - COLETA DE PARTÍCULAS COM FILTROS - RETENÇÃO EM FILTROS

A coleta de material particulado (poeiras, fibras, fumos, névoas e neblinas) é feita fazendo-se o ar passar através de um filtro de membrana colocado em um suporte, geralmente chamado "cassete". O diâmetro do filtro, tipo e tamanho do poro variam de acordo com o material que será coletado e estará especificado no método.

Para a coleta de poeiras contendo sílica livre cristalizada, por exemplo, utiliza-se geralmente filtros de PVC, enquanto que a coleta de fumos metálicos geralmente é feita com filtros de éster de celulose. Filtros de membrana de PTFE (Politetrafluoretileno) são utilizados para a coleta de poeiras alcalinas. Filtros de fibra de vidro poderiam coletar fibras de amianto mas a contagem microscópica das fibras seria impossível. Por isso, o filtro utilizado é de nitrato de celulose ou misturas de éster de celulose (TABELA 21).

O diâmetro dos filtros geralmente é em torno de 25 mm, podendo chegar a 37 mm, para as coletas individuais. Já o tamanho do poro é variável. Para a coleta de fibras pode ser de 0,8 µm ou 1,2 µm.

Cerca de 80% da superfície de um filtro é porosa. Um filtro de amostragem de ar pode conter milhões de poros muito menores do que o diâmetro de um cabelo humano (que é de cerca de 30 µm).

TABELA 21. Tipos de Filtros de Membrana e Aplicações

Tipo de Filtro	Abreviação	Aplicação
Éster de Celulose Misturado	MCE (de: Mixed Cellulose Ester)	Metais, fumos de solda, asbestos e outras fibras.
Cloreto de Polivinila	PVC	Sílica, cromatos e análise gravimétrica de poeira total e respirável.
Politetrafluoroetileno	Teflon or PTFE	PM10, aerossol de pesticidas ácidos, PNAs, poeiras alcalinas, solventes.
Fibra de Vidro		Análise gravimétrica de pesticidas, isocianatos e poluentes atmosféricos.
Membrana de Prata		Bromo, cloro e demeton.

Os suportes de filtro podem variar em função do particulado a ser coletado. O suporte de filtro para poeiras silicóticas, por exemplo, é bem diferente do utilizado para a coleta de fibras de amianto.

A aquisição de acessórios de amostragem de particulados deve prever todas os elementos previstos pelo método analítico, sob pena de haver dificuldades no momento da coleta ou mesmo da preparação do sistema de amostragem.

Os filtros têm que ser pesados antes e após a coleta para se saber a quantidade de particulado coletada. A pesagem dos filtros, no entanto, é um processo delicado que demanda um alto controle do laboratório de gravimetria, já que a umidade do ar é um fator de forte influência na determinação do peso do filtro. Alguns laboratórios necessitam de, pelo menos, três horas de estabilização das amostras antes da pesagem dos filtros. Os procedimentos de pesagem antes e após a coleta, assim como, as condições climáticas, têm que ser os mesmos.

A saturação dos filtros durante as coletas faz com que o material coletado se desprenda durante o manuseio da amostra, invalidando-a para a análise quantitativa.

Após a pesagem, os filtros podem ser submetidos a outros tipos de análises como:

- difratometria de raios-x, para a análise de sílica livre e amianto.
- espectrofotometria de absorção atômica, para a análise de metais.

Um outro tipo de análise é a contagem microscópica, muito utilizada para a contagem de fibras de amianto, por exemplo.

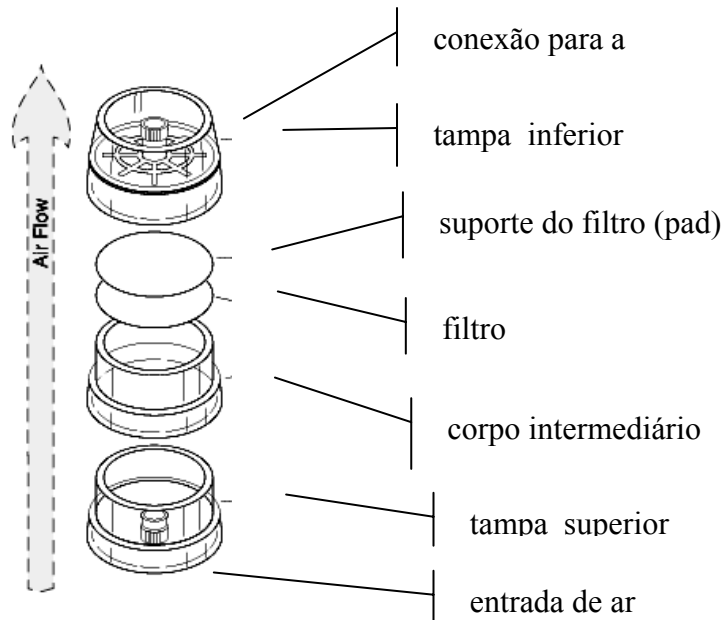


Figura 9. Conjunto filtro de membrana e cassete para a coleta de partículas

4.0 - SEPARADORES GRANULOMÉTRICOS PARA POEIRAS

As partículas aerodispersas são distribuídas em classes granulométricas definidas em uma faixa de diâmetro mais ou menos ampla. O conhecimento da distribuição granulométrica é necessário para uma correta determinação do risco relativo ao aparelho respiratório.

Os separadores granulométricos são utilizados para separar frações de poeira na faixa de granulometria de interesse. O seu funcionamento é função das dimensões das partículas e da velocidade de ingresso das mesmas. São caracterizados pela **curva de separação** em relação à **dimensão da partícula** \Rightarrow eficiência de ingresso (Figura 1).

4.1 - Ponto de Corte dos Seletores de Partículas

O termo “ponto de corte” (cut-point), ou simplesmente “corte” é usado para descrever a performance dos seletores de partículas. O “ponto de corte” refere-se ao tamanho das

partículas que o seletor irá separar (conduzir ao filtro de coleta) com uma determinada eficiência, geralmente de 50%.

Partículas menores do que as do “ponto de corte” (50%) serão coletadas com uma eficiência maior ($> 50\%$).

Partículas maiores do que as do “ponto de corte” (50%) serão coletadas com uma eficiência menor ($< 50\%$).

Fração Inalável \Rightarrow o CORTE de 50% é feito em $100\mu\text{m}$, ou seja, as partículas com este diâmetro serão coletadas com 50% de eficiência.

Fração Torácica \Rightarrow o CORTE de 50% é feito em $10\mu\text{m}$.

Fração Respirável \Rightarrow o CORTE de 50% é feito em $5\mu\text{m}$, $4\mu\text{m}$, ou $3,5\mu\text{m}$, a depender do critério adotado, como será visto a seguir.

As partículas de maior interesse são as que constituem a Fração Respirável, que é composta de todas as partículas com diâmetro aerodinâmico $\leq 10\mu\text{m}$ e com ponto de corte em 3,5, 4 ou $5\mu\text{m}$, a depender do critério adotado. A deposição de partículas de diâmetro entre $6\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$ nos alvéolos é relativamente pequena, já que, a maior parte destas fica depositada nas vias aéreas superiores e região traqueobronquial.

Para entender o por que de três pontos de corte diferentes para fração respirável, é preciso conhecer um pouco da história sobre a sua conceituação.

4.2 - Breve Histórico da Definição de Fração Respirável

Em 1952, o British Medical Research Council (BMRC) adotou uma definição de poeira respirável como sendo a fração que atinge a região alveolar dos pulmões. O BMRC definiu como fração respirável as partículas com um corte de 50% em $5\mu\text{m}$.

Em 1959, a definição do BMRC foi adotada pela Johannesburg Conference on Pneumoconiosis.

Em 1961, em um encontro promovido pela U. S. Atomic Energy Commission's Office of Health and Safety, a fração respirável foi definida como a porção de fração inalável que penetra até as porções não-ciliadas da região de troca gasosa dos pulmões. O corte de 50% foi definido em $3,5\mu\text{m}$.

Em 1968, a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) definiu fração respirável seguindo o conceito adotado pela U. S. Atomic Energy Commission. ACGIH definiu o corte de 50% em $3,5\mu\text{m}$. Esta definição foi adotada pela NR-15, em 1978, atualmente em vigor.

Para se chegar a um consenso em nível mundial sobre a definição de poeira respirável nos locais de trabalho, foi desenvolvida uma curva compromisso, com um “ponto de corte” de 50% em $4\mu\text{m}$, que passou a ser adotada pela ACGIH/ISO/CEN (Figura 1).

É usual considerar como **Fração Respirável** a fração constituída de partículas cujo diâmetro é menor do que 5 µm. No entanto, a deposição alveolar de partículas com este diâmetro é em torno de 25% do total de partículas que ingressam no trato respiratório. A maior parte das partículas maiores do que 5 µm se depositam em outros sítios, enquanto que, a maior parte das partículas menores do que 0,5 µm são reexaladas.

Deve-se estar atento para as seguintes considerações: o fato de as partículas de diâmetro > 5 µm serem retidas predominantemente no trato respiratório superior não significa que não possam causar danos à saúde, pois, além de poderem causar desconforto e irritação das vias respiratórias, podem estar impregnadas por produtos químicos tóxicos (ex.: vapores orgânicos adsorvidos em partículas sólidas) ou serem originadas dos próprios (ex.: fumos de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos), agravando ainda mais o risco à saúde. Além disso, não se deve esquecer que partículas de tamanho < 10 µm alcançam os pulmões, ainda que em pequenas proporções. Da mesma forma, partículas < 0,5 µm, apesar de terem baixo tempo de retenção no organismo, podem atingir, inclusive, a corrente sanguínea, representando um sério risco para a saúde.

4.3 - Separadores Mais Conhecidos

Elutriadores: mais utilizados na coleta de poeiras de algodão, de madeira, etc.

Ciclones: os mais difundidos - utilizados nas coletas de fração respirável de poeiras.

Impactadores: de cascata, virtual, etc. Mais utilizados em estudos de poluição atmosférica e quando se quer conhecer, além da concentração, a granulometria das partículas em estudo.

A NR-15 recomenda a utilização de um separador granulométrico para coleta de fração respirável de poeira contendo sílica (ciclone) com as seguintes características:

QUADRO 4. Características do Seletor de Partículas da NR -15

Diâmetro Aerodinâmico (µm) (esfera de densidade unitária)	% de passagem pelo seletor
≤ 2	90
2,5	75
3,5	50
5,0	25
10,0	zero

Pelo quadro acima, observa-se que o CORTE em 50% é feito em 3,5 µm, que era o valor anteriormente adotado pela ACGIH, que hoje adota 4 µm. Como foi dito anteriormente, um CORTE em 4 µm significa que a quantidade de partículas coletadas será maior do que se o CORTE for em 3,5 µm. Isto é, o novo critério da ACGIH é mais conservativo.

O ciclone é o seletor de partículas da fração respirável cujo nome é devido à rotação do ar em seu interior, similar ao de uma centrífuga. As partículas mais pesadas caem para um depósito do ciclone, de onde serão descartadas, enquanto que as mais leves sobem para serem coletadas em um filtro.

Os ciclones são construídos em plástico ou metal e devem obedecer à curva de deposição de referência (Ex.: ACGIH/ISSO/CEN). Para obedecerem à curva de deposição segundo a qual foram construídos, deve-se obedecer a vazão de coleta estipulada para o fabricante.

Significa dizer que a vazão de coleta, nestes casos, não é um parâmetro que se pode variar como nas coletas de gases e vapores. Alterar a vazão de um ciclone significa alterar o seu próprio comportamento, ou seja, o CORTE de 50% não será o esperado.

No Brasil é habitual utilizar o ciclone de nylon Dorr-Oliver, que obedece ao antigo critério da ACGIH (atende a NR 15). Neste caso, a vazão de coleta recomendada é sempre de 1,7 L/min. Com esta vazão o ciclone fará o CORTE de 50% em 3,5 μm .

A SKC INC. fabrica ciclones de alumínio que atendem tanto à curva da ACGIH/ISSO/CEN como à curva do BMRC, mudando-se apenas a vazão de coleta. No primeiro caso a vazão deve ser de 2,5 L/min. No segundo caso, a vazão deve ser 1,9 L/min (para o CORTE em 5 μm do BMRC) (Figura 10).

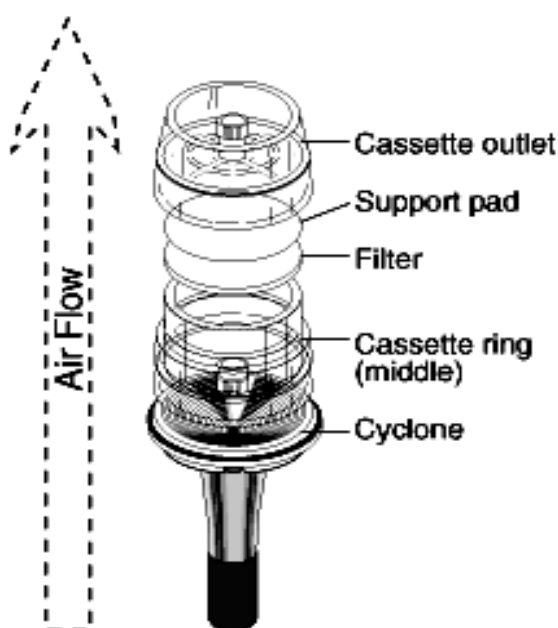


Figura 10. Ciclone de Alumínio da SKC INC. Acoplado a um Cassete com Filtro.

4.4 - Definição de Fibras Respiráveis

Considera-se como **fibras respiráveis** aquelas com diâmetro (geométrico) menor do que 3 μm (micrômetros), comprimento maior do que 5 μm e relação entre comprimento e diâmetro superior a 3:1.

4.5 - Sistemas Alternativos de Amostragem de Aerodispersóides

4.5.1 - Para Frações Inaláveis

A fração inalável é coletada usando um amostrador cujo PONTO DE CORTE de 50% é feito em 100 μm . O primeiro dispositivo foi desenvolvido pelo Instituto de Medicina Ocupacional da Escócia - o IOM Sampler (Figura 11), e pode ser encontrado no mercado nos modelos de plástico ou de aço. O modelo de aço, apesar de mais pesado, tem sido recomendado em razão de não apresentar os problemas associados à presença de carga eletrostática, identificados nos modelos em plástico.

As coletas de partículas totais utilizando sistemas de cassete com filtros de membrana, na realidade não correspondem ao que se considera como fração inalável, já que, nestes casos, o corte de 50% não é feito em 100 μm e sim em torno de 60 μm . Isto significa que, apesar do nome particulado total, a quantidade de partículas coletadas com o IOM (fração inalável) será maior (cerca de duas vezes mais) do que a coletada com o uso de sistemas convencionais de filtros em cassetes. Por esta razão, NÃO SE DEVE utilizar sistemas de cassete com filtro para coletas de material particulado cujo limite de exposição seja definido como Fração Inalável. Ex.: TLV-TWA para PNOS = 10 mg/m³ - Fração Inalável (ACGIH 2002).

Atualmente, existem outros modelos de amostradores para Fração Inalável disponíveis no mercado e alguns estudos comparativos já vêm sendo realizados visando avaliar o desempenho dos mesmos.



Figura 11. Amostrador IOM para coleta de Fração Inalável

No IOM, o filtro de 25 mm é colocado dentro de um suporte que ficará alojado dentro do dispositivo. O conjunto suporte + filtro é pesado antes e depois da coleta, após

estabilização em ambiente controlado. Para seguir a curva de deposição, a coleta deve ser feita à vazão de 2 L/min.

4.5.2 - Fração Torácica

É definida para os materiais que são perigosos quando depositados em qualquer local da traquéia e região de troca gasosa. O corte de 50% é feito em 10 μm .

Não existem dispositivos de coleta comercialmente disponíveis utilizando bombas e filtros ao mesmo tempo. Existem instrumentos de leitura direta, cujos funcionamentos são baseados no princípio ótico da dispersão de luz. São disponíveis para se obter medidas em tempo real das concentrações de partículas aerodispersas e operam com base no princípio de que a quantidade de luz dispersa é proporcional à concentração de partículas.

4.5.3 - Sistemas de Coleta para Avaliações Indoor (PM 2,5 e PM 10)

Define-se como PM 10 o material particulado com diâmetro aerodinâmico $< 10 \mu\text{m}$ e como PM 2,5 o material particulado com diâmetro aerodinâmico $< 2,5 \mu\text{m}$.

Estes critérios têm sido adotados pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) para avaliações de exposição ambiental ou Indoor.

As coletas de amostras são feitas utilizando-se impactadores de cascata, de simples estágio, para PM 2,5 e PM 10, que operam com vazões de 2, 4 e 10 L/min (Figuras 12 e 13), ou com impactadores do tipo Andersen, para amostragens de grandes volumes de ar (milhares de litros de ar).



Figura 12. Personal Environmental Monitor (PEM), da SKC INC. para PM 2,5 e PM 10. Opera com vazões de 2, 4 e 10 L/min



Figura 13. Microenvironmental Monitor (MEM), da SKC INC., para amostragem de áreas, PM 2,5 e PM 10. Opera com vazão de 10 L/min.

5.0 - BOMBAS DE AMOSTRAGEM DE AR

As bombas de amostragem representam o coração das amostragens de ar realizadas por métodos ATIVOS. Elas são as responsáveis pela coleta do volume de ar desejado. Existem bombas automáticas (a maioria) e manuais (de uso mais restrito).

5.1 - AUTOMÁTICAS

a) Faixa de vazão de 1 até 4000 ml/min

- São utilizadas para:

- coleta individual (pessoal)
- coleta de ambiente (ponto fixo)

- Podem ser utilizadas para a coleta de gases, vapores e aerodispersóides. Bombas com vazões até 1000 mL/min só podem ser utilizadas para coleta de gases e vapores. Bombas para coleta de aerodispersóides devem ter capacidade de operar a vazões acima de 1000 mL/min e até $\cong 4000$ mL/min, para poderem ser utilizadas em coletas individuais.

- Geralmente são alimentadas por baterias recarregáveis (Ni/Cd);
- São as mais utilizadas em Higiene Ocupacional.

b) Alta vazão (> 1000 mL/min)

- Geralmente se aplicam às coletas de ambiente (ponto fixo) e são mais utilizadas em programas de monitoramento atmosférico não ocupacional, onde se necessita de grandes volumes de ar coletado em razão das baixas concentrações, comparativamente aos locais de trabalho.

- São alimentadas geralmente por rede elétrica ou por baterias de grande porte (de automóveis).

Exemplo de aplicação: em monitoramento da qualidade do ar de áreas urbanas, áreas industriais extra-fábrica, de chaminés e áreas remotas, onde se necessita de grandes volumes de amostra.

5.2 - BOMBAS MANUAIS

São aquelas cujo acionamento é feito manualmente. Geralmente têm sido utilizadas com tubos colorimétricos, para a obtenção de resultados imediatos de concentração instantânea de agentes químicos em situações ou locais considerados críticos.

As bombas manuais podem ser de pistão ou do tipo fole (Figuras 14 e 15).



Figura 14. Bomba manual, tipo fole, para uso com tubos colorimétricos.

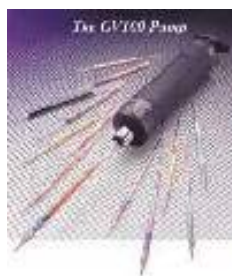


Figura 15. Bomba manual, tipopistão, para uso com tubos colorimétricos.

5.3 - CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA AS BOMBAS DE AMOSTRAGEM

- baixo peso, principalmente para as utilizadas em coletas individuais (cerca de 1Kg ou menos);

- devem possuir baterias recarregáveis (Ni/Cd) (aquelas para coletas individuais) e serem acompanhadas dos respectivos carregadores. A manutenção da carga de baterias é vital;

- devem manter a vazão constante (dentro de 5% para gases e vapores e 10% para poeiras) durante a coleta - compensação de perda de carga;

- devem possuir amortecedor de pulsação.

As bombas automáticas devem ser calibradas antes e após cada coleta para, além de ajustá-las na vazão desejada, ser possível verificar se houve variação da vazão ajustada.

5.4 - CRITÉRIOS PARA ESCOLHA

Deve-se considerar:

- 1 - tipo de agente químico a ser coletado; gás, vapor ou partículas?
- 2 - características técnicas desejadas, tais como: faixa de vazão de coleta que será utilizada de acordo com o método analítico, acessórios para calibração acompanhando o kit e facilidade de manutenção preventiva e corretiva;
- 3 - o substrato de coleta que será utilizado: sólido, líquido ou filtro (porosidade?);
- 4 - características físicas da bomba: peso, dimensões, custo, complexidade operacional.

5.5 - MARCAS MAIS CONHECIDAS

Dentre as marcas de bombas de amostragem mais conhecidas no Brasil encontra-se a Du Pont a MSA, a Gillian, a Dräger, a Supelco, a SKC INC., a Zambelli, etc..



Figura 16. Bomba portátil, de baixa vazão, para amostragem individual e de ponto fixo, adaptada para coleta com sacos (bags). Fonte: SKC Inc.



Albert
abc

Figura 17. Bomba portátil, *AIRCHECK 52 para baixa e alta vazão: 5 a 3000 ml/min*, para amostragem individual e de ponto fixo. Fonte: SKC Inc.



Figura 18. Bomba portátil para baixas vazões (20 a 250 mL/min), para amostragem individual e de ponto fixo. Pocketpump - SKC INC. (Só se aplica para amostragem de gases e vapores)

5.6 - CALIBRAÇÃO DAS BOMBAS DE AMOSTRAGEM

Um dos parâmetros mais importantes da amostragem de ar é o VOLUME DE AR COLETADO. É determinado multiplicando-se a vazão da bomba, em ml/min ou l/min, pelo tempo de amostragem, em minutos.

$$\text{Volume(L)} = \text{vazão (L/min)} \times \text{tempo (min)}$$

Como já foi dito anteriormente, a vazão das bombas de amostragem deve ser calibrada antes de cada coleta e checada imediatamente após o término da mesma, para, além de ajustá-las na vazão desejada, ser possível avaliar a variação ocorrida durante a coleta. Este procedimento é de vital importância para o conhecimento do volume de ar coletado

O termo Calibração deve ser entendido, portanto, como o ato de selecionar e ajustar a vazão da bomba antes da coleta. A checagem da vazão é feita após a coleta e serve para verificar se houve variação após o término da mesma. Portanto:

A calibração da vazão deve ser feita antes de cada coleta e a checagem, após o término da mesma.

A variação de vazão da bomba é determinada da seguinte forma:

$$(\%) \text{Erro} = \frac{|V_i - V_f|}{V_i} \times 100$$

onde, V_i = vazão inicial (em L/min ou ml/min)
 V_f = vazão final

O valor obtido é em módulo, ou seja, sempre positivo.

5.6.1 - Variação (Erro) Admitida

Para coleta de gases e vapores, amostras coletadas com variação de vazão > 5% só podem ser usadas para o julgamento profissional da situação. Não devem entrar no tratamento estatístico.

Para coleta de aerodispersóides pode ser admitida uma variação maior, não devendo ultrapassar a 10%.

A variação da vazão entra no cálculo do coeficiente de variação total do método (CV_T), que é calculado pela expressão abaixo.

$$CV_T^2 = CV_A^2 + CV_B^2$$

onde, CV_T = coeficiente de variação total do método

CV_A = coeficiente de variação do método de análise

CV_B = coeficiente de variação da coleta, geralmente atribuído à variação da bomba.

Nos cálculos do coeficiente de variação total dos métodos, geralmente assume-se a variação da bomba como sendo de 5%. Por isso, recomenda-se manter a variação nestes níveis.

5.6.2 - Instrumentos para Calibração das Bombas

Existem vários métodos e equipamentos para calibração das bombas de amostragem. O mais tradicional e até hoje muito utilizado é o do BOLHÔMETRO DE SABÃO (Figura 19).

Atualmente são disponíveis no mercado calibradores eletrônicos digitais que dispensam o trabalho manual de acionamento de cronômetros e dos cálculos de vazão, fornecendo a vazão automaticamente (Figura 20).



Figura 19. Bolhômetro de Sabão



Figura 20. Calibrador de Vazão Digital

A bomba é conectada ao bolhômetro por meio de uma mangueira de borracha (silicone ou tygon). Ao ser acionada, a bomba aspira o ar que passa através do bolhômetro (que na verdade é uma bureta graduada em volume). A partir de uma solução de sabão gera-se uma bolha que será arrastada através do bolhômetro. O tempo gasto pela bolha para percorrer um determinado volume é medido e a vazão é então calculada através da seguinte fórmula:

$$\text{Vazão} = \frac{\text{volume percorrido pela bolha (ml)}}{\text{tempo gasto (min)}}$$

Durante a calibração é imprescindível que um sistema de coleta idêntico e do mesmo lote do que será utilizado na coleta seja conectado entre a bomba e o bolhômetro, para simular a situação real de campo. A vazão de uma bomba calibrada sem o dispositivo de coleta pode mudar devido à perda de carga imposta pelo dispositivo. Isto é mais grave ainda nas coletas de aerodispersóides (Figuras 21 e 22).

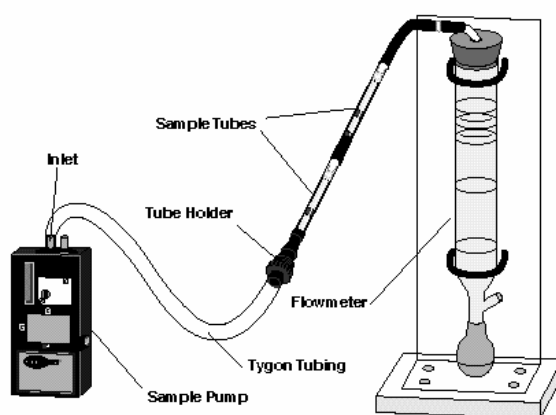


Figura 21. Bomba sendo calibrada para coleta com dois tubos em série.

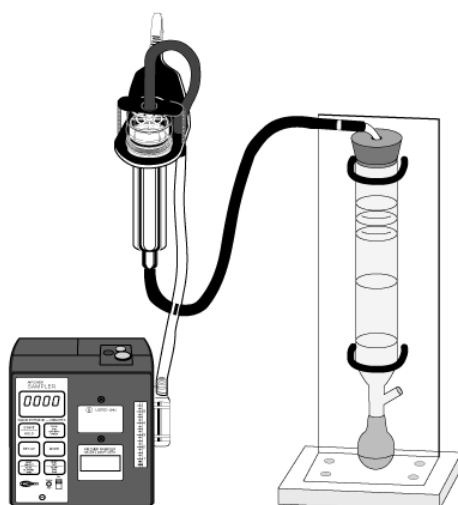
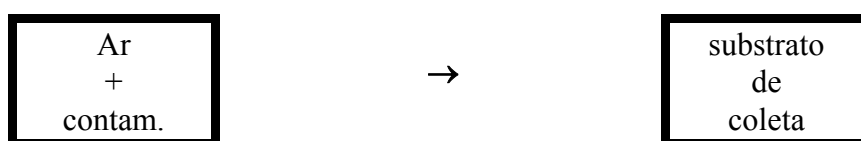


Figura 22. Bomba sendo calibrada para coleta com filtro e ciclone.

6.0 - MONITORES OU COLETORES PASSIVOS

Baseado em leis químicas e físico-químicas os coletores passivos capturam os contaminantes por adsorção/absorção em líquidos ou sólidos, sem auxílio de bombas de sucção.



O funcionamento dos coletores passivos é regido pela lei de difusão de FICK

$$J_i = -D \, dC/dX$$

onde,

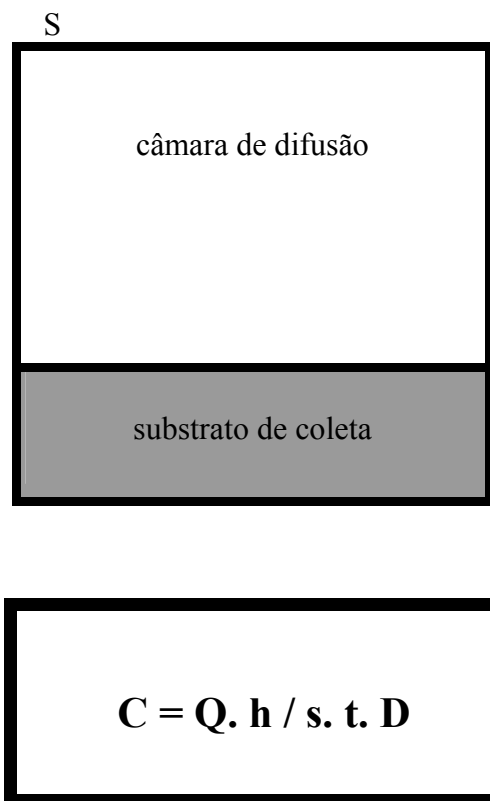
J = fluxo molar por cm^2 de superfície

D = coeficiente de difusão da substância

C = concentração molar em mol/cm^3

X = direção e percurso do fluxo difundente

6.1 - ESQUEMA DE UM COLETOR PASSIVO E CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO



onde, C = concentração do contaminante (mg/m^3)
 Q = quantidade de contaminante adsorvida (ng) (determinada no laboratório)
 h = altura da câmara de difusão (cm)
 S = superfície de exposição (cm^2)
 t = tempo de exposição (coleta) (segundos)
 D = coeficiente de difusão do contaminante (cm^2/seg)

Os parâmetros h e S são constantes relacionadas com as características construtivas do monitor. O coeficiente de difusão (D) é um valor tabelado, específico para cada composto orgânico (TABELA 22). Estes parâmetros combinados determinam a vazão com que o monitor coleta cada composto. Este é o parâmetro geralmente informado pelo fabricante. O técnico só precisa anotar o tempo de coleta que, combinado com a vazão de coleta, fornece o volume de ar coletado. Os fabricantes geralmente fornecem uma fórmula simplificada na qual o técnico substitui apenas a quantidade (Q) determinada pelo laboratório e o tempo de coleta.

6.2 - MODELOS DE COLETORES PASSIVOS EXISTENTES

São geralmente empregados para coletas de amostras individuais mas podem ser utilizados para coletas de ambiente (TABELA 23).

A maioria dos monitores passivos encontrados no mercado são para a coleta de vapores orgânicos. No entanto, existem modelos destinados à coleta específica de vapores de mercúrio inorgânico, por exemplo.

TABELA 22. Coeficientes de Difusão no Ar de Alguns Compostos Orgânicos

Substância	Coeficiente de Difusão (D) (cm²/seg)	Substância	Coeficiente de Difusão (D) (cm²/seg)
Pentano	0,0842	Formiato de Etila	0,0976
Hexano	0,0732	Acetato de Metila	0,0978
Octano	0,0616	Acetato de Etila	0,0861
Benzeno	0,0932	Formiato de Propila	0,0831
Tolueno	0,0849	Formiato de Isobutila	0,0784
Etilbenzeno	0,0755	Acetato de Isopropila	0,0770
Cloreto de Benzila	0,0747	Isobutilacetato	0,0690
Nitrobenzeno	0,0721	Acetato de Amila	0,0610
Anilina	0,0520	Acetato de Butila	0,0672
Tetracloroeto de Carbono	0,0828	Acetona	0,1049
Clorofórmio	0,0888	Metiletilcetona	0,0903
Diclorometano	0,1037	Ácido Fórmico	0,1530
Tetracloroetileno	0,0797	Ácido Acético	0,1236
Tricloroetileno	0,0875	Acetato de Benzila	0,0600
1,1,1 Tricloroetano	0,0794	Etilenodiamina	0,1009
Metanol	0,1520	N Butilamina	0,0872
Etanol	0,1181	Isobutilamina	0,0900
Álcool Isopropílico	0,1013	Dietilamina	0,0993
Álcool Butílico	0,0861	Dimetilformamida	0,0973
Álcool Amílico	0,0710	Acrilonitrila	0,1059
Álcool Isobutílico	0,0880	Dissulfeto de Carbono	0,1054

Fonte: Pozzoli & Maugeri - Igiene Industriale, Campionamento Gas, Vapori, Polveri (1986)

TABELA 23. Modelos de Coletores Passivos para Compostos Orgânicos - Carvão Ativo

Nome	Fabricante	Forma	h(cm)	S(cm ²)	C(mg/m ³)
3500 Org. Vapor	3M	circular	0,95	7,065	C = 2,63Q/D.t Q (µg); t (min)
GASBADGE	ABCOR	retangular	1,31	12,6	C = 137,32Q/D.t Q (µg); t (seg)
PRO-TEK G/BB	DU PONT	retangular	0,386	2,86	C = Q/445.D.t Q (ng); t (min)
PRO-TEK G/AA	DU PONT	retangular	0,386	5,72	C = Q/890.D.t Q (ng); t (min)
ORSA 5	DRÄGER	tubo de vidro	0,5	0,88	C = 0,71Q/D.t Q (ng); t (seg)
TK 200 (*)	ZAMBELLI	circular	0,8	7,065	C = 1,9.Q/D.t Q (µg); t (min)

(*) o único modelo reutilizável, bastando substituir o adsorvente.

- Outras marcas: MSA, SKC, ...etc.

CÁLCULO DA VAZÃO DE COLETA DE MONITORES PASSIVOS

$$\text{Vazão (ml/min)} = \frac{S(\text{cm}^2) \cdot D(\text{cm}^2/\text{seg})}{h(\text{cm})} \times 60 \text{ seg/min}$$

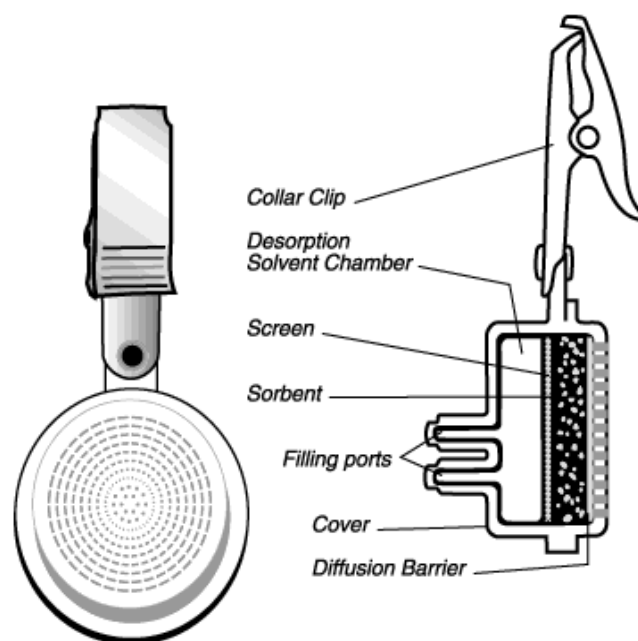


Figura 23. Monitor Passivo Para Compostos Orgânicos Da Skc Inc., Série 575

6.3 - CARACTERÍSTICAS DOS COLETORES PASSIVOS

- Não utilizam bombas para sucção do ar. Por isso são muito cômodos para os trabalhadores e estão isentos dos erros de calibração das bombas.
- São deixados expostos por um determinado tempo durante o qual o vapor do agente químico penetra no substrato de coleta. Após a coleta, os coletores são encaminhados para o laboratório para análise.
- O substrato de coleta é mantido dentro de um suporte, geralmente contendo uma câmara de difusão.
- O tempo de exposição do coletor e a concentração do agente químico no ar é que determinam a quantidade coletada.
- São úteis para avaliações em ambientes fechados, onde a velocidade de vento e as concentrações no ar tendem a serem mais uniformes.
- Aplicam-se às avaliações de jornada inteira de trabalho e de atividades de curta duração (dependendo do agente químico).
- Os substratos de coleta podem ser sólidos adsorventes (carvão ativo, anasorb, etc.), filtros tratados ou mesmo líquidos absorvedores.

6.4 - FATORES INFLUENTES NAS COLETAS COM MONITORES PASSIVOS

- Sofrem forte influência de fatores ambientais como velocidade de vento, temperatura e umidade do ar, etc.
- Sofrem influência da temperatura e tempo de armazenamento antes da análise.
- São relatados fenômenos de difusão reversa em muitos casos de coletas de compostos orgânicos voláteis.
- A presença de misturas de contaminantes pode alterar o comportamento do monitor para o agente de interesse.

Antes de se adotar o uso de monitores passivos convém realizar testes comparativos de campo com outros métodos já consagrados, como os métodos ativos com tubos adsorventes.

A NIOSH recomenda que os monitores passivos sejam testados frente aos seguintes parâmetros:

- Recuperação do Agente Químico de interesse.
- Velocidade e capacidade de coleta
- Difusão reversa
- Estabilidade da amostra
- Tempo de exposição do monitor
- Umidade relativa, temperatura e velocidade facial de vento
- Interferentes
- Exatidão e precisão
- Vida útil

As Tabelas 24 a 27 demonstram o comportamento de um monitor passivo TK 200 em função da velocidade de vento e de características construtivas do monitor.

TABELA 24. Comportamento de um Monitor Passivo em Função de suas Características Construtivas e da Velocidade de Vento Durante a Coleta.

Resistência primária: membrana de polipropileno poroso
 Parâmetros difusivos: $S = 7,065 \text{ cm}^2$; $h = 0,4 \text{ a } 2,4 \text{ cm}$
 Exposição: Atmosfera de Hexano, 100 mg/m^3 , durante 60 minutos

Quantidade de Hexano coletada (em μg)								
Velocidade de vento (m/s)	Altura da Câmara de Difusão (em cm)							
	0,4		0,8		1,6		2,4	
	Teórico	Medido	Teórico	Medido	Teórico	Medido	Teórico	Medido
0,25	467	304	232	204	116	140	76	82
0,50	467	327	232	222	116	132	76	91
0,75	467	360	232	249	116	135	76	94
1,00	467	383	232	259	116	129	76	93
1,25	467	400	232	265	116	128	76	94
1,50	467	410	232	267	116	135	76	92
1,75	467	415	232	267	116	135	76	85
2,00	467	425	232	268	116	131	76	84

fonte: Pozzoli & Maugeri: Igiene Industriale - Campionamento Gas, Vapori, Polveri. 1986

TABELA 25. Comportamento de um Monitor Passivo em Função de suas Características Construtivas e da Velocidade de Vento Durante a Coleta.

Resistência primária: membrana de polipropileno poroso
 Parâmetros difusivos: $S = 12,56 \text{ cm}^2$; $h = 0,4 \text{ a } 2,4 \text{ cm}$
 Exposição: Atmosfera de Hexano, 100 mg/m^3 , durante 60 minutos

Quantidade de Hexano coletada (em μg)								
Velocidade de vento (m/s)	Altura da Câmara de Difusão (em cm)							
	0,4		0,8		1,6		2,4	
	Teórico	Medido	Teórico	Medido	Teórico	Medido	Teórico	Medido
0,25	828	464	414	298	207	186	138	141
0,50	828	590	414	346	207	192	138	146
0,86	828	704	414	375	207	222	138	144
1,25	828	732	414	412	207	246	138	160
1,50	828	744	414	432	207	244	138	160
2,00	828	762	414	443	207	259	138	180
2,50	828	774	414	446	207	266	138	180
2,90	828	779	414	450	207	263	138	180

fonte: Pozzoli & Maugeri: Igiene Industriale - Campionamento Gas, Vapori, Polveri. 1986

TABELA 26. Comportamento de um Monitor Passivo em Função de suas Características Construtivas e da Velocidade de Vento Durante a Coleta.

Resistência primária: membrana de polipropileno poroso
 Parâmetros difusivos: $h = 0,8 \text{ cm}$; $S = 3,14 \text{ a } 19,62 \text{ cm}^2$
 Exposição: Atmosfera de Hexano, 100 mg/m^3 , durante 60 minutos

Quantidade de Hexano coletada (em μg)								
Velocidade de vento (m/s)	Diâmetro da Superfície de Exposição, em cm (S, em cm^2)							
	2 (S = 3,14)		3 (S = 7,07)		4 (S = 12,57)		5 (S = 19,62)	
	Teórico	Medido	Teórico	Medido	Teórico	Medido	Teórico	Medido
0,25	103	90	232	204	414	298	648	339
0,50	103	106	232	222	414	346	648	388
0,75	103	112	232	249	414	360	648	427
1,00	103	121	232	259	414	382	648	469
1,25	103	127	232	265	414	412	648	517
1,50	103	128	232	267	414	432	648	556
1,75	103	129	232	267	414	437	648	611
2,00	103	130	232	268	414	443	648	627
2,50	103	130	232	270	414	446	648	663
3,00	103	129	232	273	414	455	648	695

fonte: Pozzoli & Maugeri: Igiene Industriale - Campionamento Gas, Vapori, Polveri. 1986

TABELA 27. Resposta de Vários Monitores Passivos em Função da Condição de Coleta em atmosfera de Hexano, 100 mg/m^3 , durante 60 minutos

Características do Monitor		Quantidade de Hexano coletada (em μg)					
Altura da Câmara (cm)	Superfície de Exposição (cm^2)	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
0,4	7,0	65	70	77	82	86	88
	12,5	56	71	79	87	88	90
0,8	3,1	87	102	108	117	123	124
	7,0	88	96	107	111	114	115
	12,5	72	84	92	95	100	104
	19,6	52	60	66	73	80	86
1,6	7,0	120	113	116	111	110	116
	12,5	90	92	100	113	118	118
2,4	7,0	107	119	124	122	124	121
	12,5	102	105	107	110	115	116

fonte: Pozzoli & Maugeri: Igiene Industriale - Campionamento Gas, Vapori, Polveri. 1986

7.0 - QUANTIFICAÇÃO

Direta: quando a quantificação é feita já no momento da coleta, isto é, simultaneamente.

Indireta: quando a amostra é coletada e levada para análise no laboratório.

7.1 - MÉTODOS DE ANÁLISE

- a) VOLUMÉTRICOS:
 - iodometria
 - ácido-base
 - complexometria
- b) ESPECTROMÉTRICOS:
 - colorimetria
 - fotometria
 - espectrofotometria UV-visível
 - espectrofotometria de Ab. At.
 - espectroscopia IR
- c) CROMATOGRÁFICOS:
 - cromatografia a gás
 - HPLC
 - GC/MS
- d) OUTROS:
 - difratometria de raios X
 - fluorescência de raios X
 - microscopia
 - gravimetria

7.2 - INSTRUMENTOS DE LEITURA DIRETA

Estes instrumentos realizam a coleta e a análise simultaneamente.

Podem ser:

- tubos colorimétricos
- analisadores portáteis (CO, SO₂, H₂S, HC,...)
- analisadores pessoais
- analisadores de IR
- cromatógrafos portáteis

7.3 - MÉTODO ANALÍTICO: interpretação e aplicação dos métodos do NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health

NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM®), 4th ed. DHHS (NIOSH) Publication 94-113 (August, 1994), Cassinelli, M.E. & O'Connor, P.F. (pfo1@cdc.gov), Eds.

A NIOSH recomenda que seja utilizado o melhor método disponível para realizar cada determinação.

Métodos publicados por outras instituições, tais como a OSHA, MSHA, EPA, ASTM, ISSO, ou mesmo por fabricantes de equipamentos analíticos e de amostragem, podem oferecer vantagens sobre os métodos da NIOSH para uma dada situação.

Um profissional de Higiene Ocupacional deve determinar o protocolo de amostragem considerando a exatidão analítica, o custo e o número ideal de amostras.

Todo método deve ser submetido a uma avaliação inicial para demonstrar a sua performance. Quando um método é usado por um laboratório que não conduziu ou participou da avaliação inicial, o laboratório deve certificar-se de que poderá obter resultados comparáveis.

Os métodos da NIOSH podem necessitar de modificações, e se modificado, devem ser reavaliados.

JUSTIFICATIVA

O método analítico deve atender as exigências legais (Ex.: NR 15, anexos 11, 12 e 13-A, IN 01 do Acordo e Legislação do Benzeno, e/ou normas de qualidade de laboratórios (Ex.: ISO GUIDE 25)).

PARÂMETROS DO MÉTODO ANALÍTICO

1. Limites de Detecção (Analítico e do Procedimento Global)
2. Limite de Quantificação do Procedimento Global
3. Curva de Calibração - Sensibilidade - Faixa de Aplicabilidade
4. Exatidão Global ($f(B_i; CV_T)$)
5. Erro {Bias (B_i)}
6. Volumes Máximo e Mínimo de Amostra
7. Estabilidade da Amostra Capacidade de Coleta - Breakthrough

DEFINIÇÕES

1. Limites de Detecção (Analítico e do Procedimento Global)

- **do Procedimento Analítico (LDPA):** não contempla a etapa de recuperação
- **do Procedimento Global (LDPG):** considera a perda na recuperação do analito

A diferença é que o LDPG é determinado considerando o sistema de coleta e a análise, enquanto que o LDPA só considera a etapa de quantificação, sem o sistema de coleta.

a) Conceitos

É o menor resultado que pode ser distinguível, estatisticamente, do branco. Geralmente é a quantidade de analito que produzirá um sinal algumas vezes (3 ou 5 vezes) maior do que o sinal produzido pelo branco.

Segundo critérios de validação da OSHA

É a menor quantidade de analito que dá uma resposta (R) que é significativamente diferente (3 desvios padrão = 3DP) da resposta do branco de reagentes.

b) Expressão dos Resultados

LDPA: expresso como massa do analito (mg ou µg) por volume de solução padrão

LDPG: expresso como massa do analito (mg, µg) por amostra

Resultados < LD indicam que a massa do analito está entre zero e o LD.

2. Limite de Quantificação (LQ)

a) Conceitos

É a menor quantidade de analito que pode ser determinada com precisão aceitável. A OSHA denomina de Reliable Quantitation Limit (RQL).

É determinado considerando o procedimento global. Geralmente é um valor maior do que o LDPG.

O valor obtido deve pertencer a uma região onde a eficiência de recuperação (ER) do analito seja de, no mínimo, 75%.

Se a ER na região do LQ estimado for < 75%, o novo valor de LQ deverá ser aquele cuja ER seja ≥ 75%.

b) Expressão dos Resultados

O LQ deve ser reportado da mesma forma que o LDPG.

Exemplo de uma determinação gráfica do LDPG e do LQ

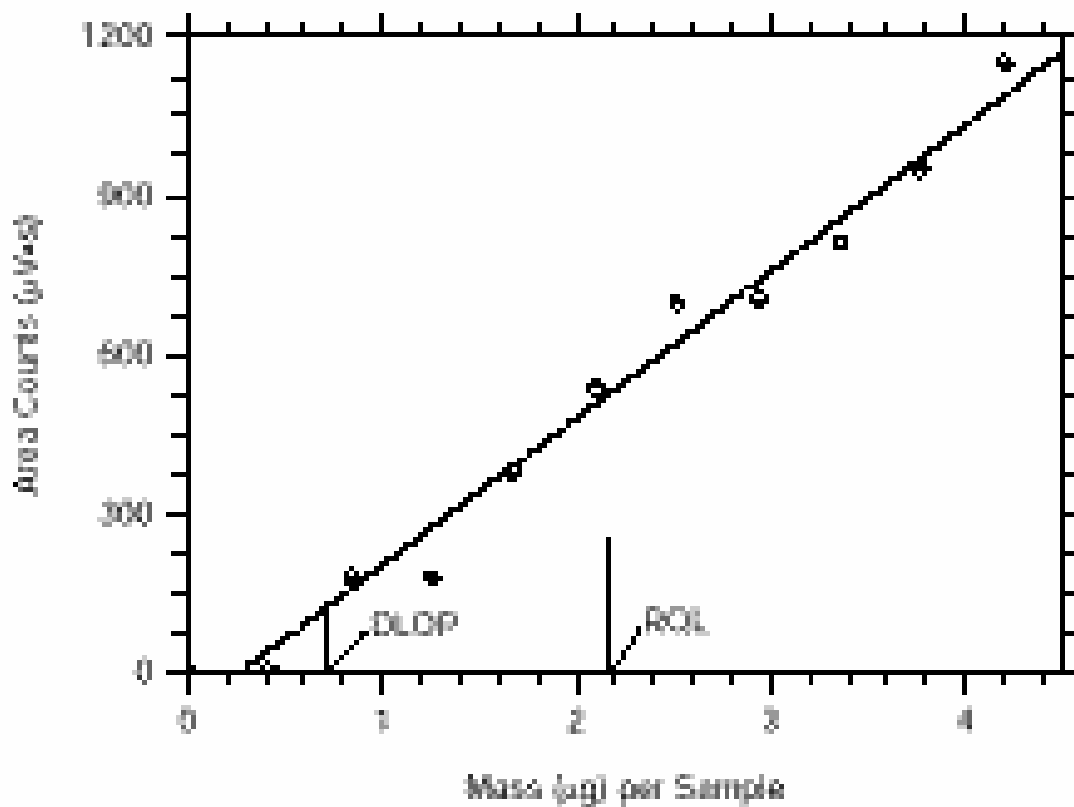
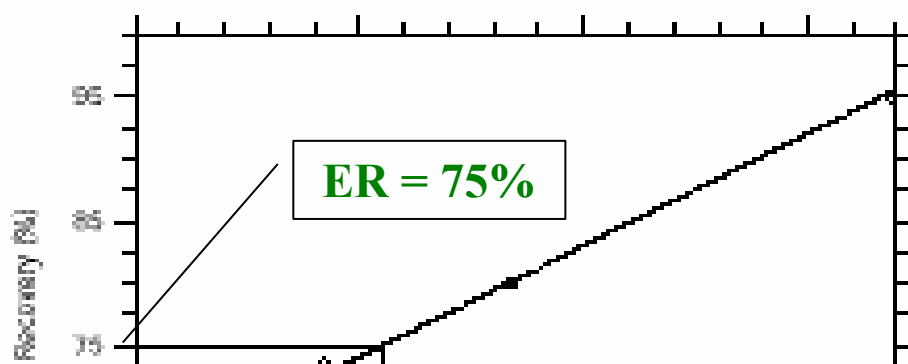


Figure 7. Example of plotted DLOP/RQL data ($Y = 277X - 75.5$).

Fonte: OSHA Analytical Methods Manual, Salt Lake City: OSHA Analytical Laboratory, 1999

Exemplo da determinação do LQ em função da eficiência de recuperação do método



Fonte: OSHA Analytical Methods Manual, Salt Lake City: OSHA Analytical Laboratory, 1999

3. Curva de Calibração - Sensibilidade - Faixa de Aplicabilidade

É definida como a mudança na resposta do instrumento para uma dada mudança na concentração. A sensibilidade é, essencialmente, a inclinação da curva de calibração. É expressa como resposta (R) versus massa por amostra (m) ou volume de solução (ml).

Exemplo:

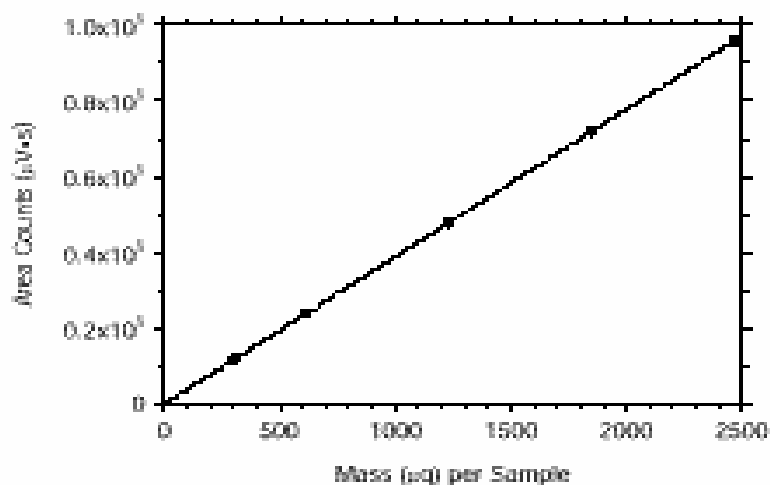


Figure 3.5.2. Calibration curve of [analyte]. ($Y = 38.89X - 65.50$)

Fonte: OSHA Analytical Methods Manual, Salt Lake City: OSHA Analytical Laboratory, 1999

A **faixa de aplicabilidade (range)** corresponde à faixa de quantificação da curva de calibração. Esta, por sua vez, pode ser preparada de modo a ter o seu limite inferior coincidindo com o próprio LQ.

a) Segundo a NIOSH/OSHA

deve cobrir a faixa de 0,25 a 2 vezes o Limite de Concentração

b) Segundo a IN 01/Acordo Benzeno

- dever cobrir a faixa de 1/20 a 3 VRT-MPT (8 horas), ou seja,

0,05 a 3 ppmv para Ind. Quím. e Petroq.
0,12 a 7 ppmv, para Ind. Siderúrgicas

- 1/5 VRT para amostras de curta duração, ou seja,

0,2 ppmv, para Ind. Quím. e Petroq.
0,5 ppmv, para Ind. Siderúrgicas

Deve ser suficiente para quantificar o analito encontrado nas seções back-up dos sistemas de coleta e nas amostras de curta duração.

Podem ser preparadas curvas de alta e de baixas concentrações/quantidades, caso haja problemas de linearidade.

4. Exatidão Global (Overall Accuracy) - Erro do Método

- A NIOSH trabalha com os conceitos de Precision, Bias and Accuracy. A OSHA também adotou este critério por muito tempo.
- A precisão é determinada pelo coeficiente de variação total do método, CV_T , determinado de modo análogo ao da precisão do método analítico.
- No entanto, os testes devem ser realizados tanto com padrões analíticos como com amostras injetadas (spiked) com a mesmas quantidades. Neste caso, deve-se utilizar atmosferas padrão para a coleta de amostras nos vários níveis (ex.: NIOSH = 0,1; 1; 2 TLV; IN 01, NR 15 = 1/20 a 3 VRT).
- CV_T é calculado da seguinte forma:

$$CV_T^2 = (CV_{GERAÇÃO})^2 + (CV_{ANAL})^2 + (CV_{COLETOR})^2$$

$$CV^2 = \frac{\sum f_i (CV_i)^2}{\sum f_i}$$

Cada CV global (chamado de CV pooled) é calculado usando a seguinte equação.

onde,

CV = coeficiente de variação médio global (pooled)

CV_i = coeficiente de variação de cada nível

f_i = graus de liberdade, igual ao número de injeções em cada nível, menos um (6 - 1 = 5)

(*) A precisão pode ser determinada utilizando-se as áreas de picos dos cromatogramas

ERRO OU BIAS (Bi)

É a diferença entre a concentração medida e a concentração verdadeira (medida com método independente). É dado em porcentagem e calculado como abaixo.

$$(\%)B_{ii} = \frac{\text{Conc. medida} - \text{Conc. verdadeira}}{\text{Conc. verdadeira}} \times 100$$

Onde, B_{ii} = bias no nível de concentração i.

Calcula-se o Bi de cada nível e, em seguida, o bias médio com a equação abaixo.

$$\overline{B_i} = \frac{B_{i1}.n_1 + B_{i2}.n_2 + \dots + B_{ii}.n_i}{\sum n_i}$$

O Bias pode ser negativo ou positivo. Utiliza-se o bias médio absoluto. O valor aceitável para o Bias médio absoluto é de, no máximo, 10%

A EXATIDÃO GLOBAL Refere-se à diferença percentual entre a concentração medida e a concentração verdadeira da amostra de ar, considerando o erro e a precisão nas medidas. Este erro não deve exceder a 25%.

É calculada pela equação abaixo.

$$\%EG = \pm (\% \overline{B_i} + 2(\%) \overline{CV_T})$$

IN 01 recomenda um erro integral máximo de 25%.

CÁLCULOS E INTERPRETAÇÃO - MÉTODOS DA NIOSH

EXEMPLO 1 (NIOSH MAM) (NIOSH 1501 - ESTIRENO)

Informações do Método Analítico

Volume de amostra recomendado: 5 L

Faixa (range) de aplicabilidade: 85 a 2560 mg/m³ (20 a 60 ppm)

OSHA PEL: 850 mg/m³ (200 ppm) - Ceiling
425 mg/m³ (100 ppm) - TWA
Vazão recomendada: ≤ 0,2 L/min
Volume de breakthrough(Vb): 21 L em 1710 mg/m³
Volume máximo = 14 L (cerca de 2/3 do Vb)

EXEMPLO 2 (NIOSH MAM) (NIOSH 1009 - Brometo de Vinila)

Informações do Método Analítico

Volume de amostra recomendado: <10 L a ≤ 0,2 L/min
Faixa de aplicabilidade: 1,3 a 145 mg/m³ (0,3 a 33 ppm)
para 6 L de ar (8 a 355 µg/tubo).
Limite de detecção: 3 pg/tubo

(*) supor que o Limite de Quantificação = 8 µg/tubo

8.0 - CAUSAS DE ERROS NA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO

8.1 - FATORES INFLUENTES NA COLETA

a) Tempo de Contato do Contaminante com o Substrato de Coleta (Líquido de Absorção ou Sólido Adsorvente). É Influenciado Por:

- vazão da bomba de coleta
- porosidade do septo do frasco de absorção

- porosidade do sólido adsorvente

quanto maior a vazão da bomba menor será o tempo de contato do contaminante ⇒ compromete a EFICIÊNCIA DE COLETA(absorção ou adsorção)

b) Duração da Coleta.

influi diretamente nas quantidades mínima e máxima detectáveis pelo método em relação a capacidade do substrato

c) Temperatura do Ar no Momento da Coleta

influencia a pressão de vapor do contaminante e, conseqüentemente, a sua retenção no substrato de coleta - QUANTO MAIOR A TEMPERATURA MAIOR A DIFICULDADE DE RETER O CONTAMINANTE

d) Umidade Relativa do Ar no Momento da Coleta.

compete com o contaminante de interesse para ocupar os sítios de adsorção dos sólidos adsorventes - FENÔMENO DA COMPETITIVIDADE - reduzindo, assim, a EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO e a capacidade de retenção

e) Presença de Outros Contaminantes.

provoca efeito similar ao da umidade relativa, indo interferir também na análise

f) Tipo e Quantidade do Substrato de Coleta

influi diretamente na quantidade máxima de contaminante que pode ser coletado sem que ocorra saturação do substrato

A OCORRÊNCIA DE UM ÚNICO FATOR DOS CITADOS ACIMA, OU DE UMA ASSOCIAÇÃO DOS MESMOS, PROVOCA DOIS FENÔMENOS:

- SATURAÇÃO DO SUBSTRATO
- BREAKTHROUGH

8.2 - FATORES INFLUENTES NA ANÁLISE

a) Estabilidade da Amostra

pode ser afetada por reações químicas durante e após a coleta e pela temperatura de estocagem ⇒ como consequência, podem ocorrer fenômenos de migração do contaminante ou decomposição deste, com formação de outras substâncias que originalmente não estavam presentes no local da coleta

b) Presença de Outros Contaminantes no Ar

afeta a EFICIÊNCIA DE DESSORÇÃO do contaminante de interesse devido à mudança de polaridade da mistura e à competitividade

c) Umidade Relativa e Temperatura

influi diretamente na determinação gravimétrica da quantidade de poeira retida sobre os filtros ⇒ afeta a análise gravimétrica

d) Eficiência de Dessorção

é influenciada, também, pela técnica de dessorção utilizada (dessorção química ou térmica), pelo tipo de adsorvente e lote de fabricação, tempo de dessorvimento, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01) PATTY, F. A. Industrial Hygiene and Toxicology. Clayton & Clayton (ed.)
 - Vol. I, parts A and B - General principles.
 - Vol. II, parts A, B and C - Toxicology.
 - Vol. III, parts A and B - Theory and Rationale of Industrial Hygiene Practice.
- 02) CRALLEY, L. V. AND CRALLEY, L. J. Industrial Hygiene Aspects of Plant Operation. MacMillan, New York, NY (1984).
 - Vol. I - Process Flows.
 - Vol. II - Unit Operation and Product Fabrication.
 - Vol. III - Engineering Considerations in Equipment Selection, layout and building design.
- 03) BRIEF, R. S. Basic Industrial Hygiene, A Training Manual. Exxon Corporation, Medial Department Research and Environmental Health Division. New Jersey, 1975. 244p.
- 04) MACEDO, R. Manual de Higiene do Trabalho na Indústria. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1988. 527p.
- 05) NATIONAL SAFETY COUNCIL. Fundamentals of Industrial Hygiene. Barbara A. Plog. (ed), 3rd. ed. USA.
- 06) ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. OIT, Espanha, 1989. V. 1,2 e 3.
- 07) FUNDACIÓN MAPFRE - Curso de Higiene Industrial. Tomo 1 e 2. Espanha, 1983.
- 08) POZZOLI, L , MAUGERI, U. Igiene Industriale - Campionamento Gas, Vapori, Polveri. La Goliardica Pavese. Pavia, 1986. 750p.
- 09) CANDURA, F. Elementi di Tecnologia Industriale a Uso dei Cultori de Medicina del Lavoro. Ed. C. Ge. Pavia, 1974.
- 10) SARTORELLI, E. Trattato di Medicina del Lavoro. Ed. Piccin, 1981, Padova.
- 11) NIOSH. The Industrial Environment; Its Evaluation and Control. Washington, Govt Print. Off., 1973.
- 12) NIOSH. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. Cincinnati OH, 1977.
- 13) NIOSH. Manual of Analytical Methods. Division of Laboratories and Criteria Development, NIOSH. Cincinnati OH.
- 14) AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION (AIHA). A Strategy for Occupational Exposure Assessment. Akron OH.

- 15) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. Cincinnati OH. USA.
- 16) ACGIH. Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants. 7th ed. Cincinnati OH. USA.
- 17) MINISTÉRIO DO TRABALHO. Normas Regulamentoras (NR 5, 7, 9, 13, 15) - Portaria 3214/78. Brasil.
- 18) FANTAZZINI, L. F., SAAD, I. F. S.G., SOTO, J. O. M. G. Riscos Químicos. FUNDACENTRO. São Paulo. 1991.
- 19) MACINTYRE, A. J. Ventilação Industrial e Controle da Poluição. Editora Guanabara S.A. Rio de Janeiro, 1988.
- 20) ACGIH INDUSTRIAL VENTILATION COMMITTEE. Industrial Ventilation - A Manual of Recommended Practice. ACGIH. Cincinnati, OH.
- 21) ASSOCIAZIONE ITALIANA DEGLI IGIENISTI INDUSTRIALI - AIDII - Guide Operative di Igiene Industriale - Strategia di Controllo dei Fattori di Rischio Chimici negli Ambienti di Lavoro. AIDII. Milano, 1990. 63p.
- 22) ACGIH. Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants. 8th ed. Cincinnati OH. USA. 1995.
- 23) ACGIH. Advances in Air Sampling. Lewis Publishers, Inc.. Michigan, 1990
- 24) DINARDI, S. R.. Calculation Methods for Industrial Hygiene. Van Nostrand Reinhold. USA. 1995.

APÊNDICE

SOLVENTES ORGÂNICOS

CARACTERÍSTICAS

As duas principais características que envolvem os solventes orgânicos são o PODER SOLVENTE e a VELOCIDADE DE EVAPORAÇÃO dos mesmos.

Poder Solvente: é tanto maior quanto mais baixo for o seu ponto de anilina e quanto maior for o **teor de aromáticos**.

***Ponto de Anilina:** é a temperatura mais baixa à qual volumes iguais de Anilina e solvente são completamente miscíveis. A quebra do Ponto de Anilina se dá pela aparição clara de uma turvação.*

Velocidade de Evaporação: pode ser expressa em g/cm².s ou em g/min, a depender do método de determinação.

Pode ser determinada pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Vel. evap.} = P^0 \times PM \times D \quad \text{ou} \quad \text{Vel. evap.} = P^0 \times PM \times K \quad (\text{fórmula de Heen})$$

onde, P^0 = pressão de vapor na temperatura da medida (ou a 25 °C)

PM = peso molecular; D = coeficiente de difusão no ar, em cm²/s

K = fator de proporcionalidade, dependente das condições de ensaio.

A temperatura de ebulição tem sido utilizada para classificar um solvente quanto à sua volatilidade.

Solventes Leves: quando a temperatura de ebulição é inferior a 100 °C.

Solventes Médios: quando a temperatura de ebulição está entre 100 e 150 °C

Solventes Pesados: quando a temperatura de ebulição é superior a 150 °C.

Na prática, o que se faz é determinar o ***Índice de Volatilidade ou Velocidade de Evaporação (Ve)*** de um solvente em relação a um solvente de referência, realizando a evaporação de pequenas quantidades dos dois produtos num suporte de papel-filtro e medindo-se precisamente os tempos gastos. O solvente de referência utilizado é o **Acetato de n-Butila**.

$$Ve = \frac{\text{Tempo de evaporação do acetato de n-butila}}{\text{Tempo de evaporação do solvente em estudo}}$$

(*) Norma AFNOR NFT - 30301

A norma da ABNT MB-980, orienta a determinação de V_e a 20 °C, com umidade relativa de 65% e livre de correntes de ar, tomando o **éter etílico** como referência.

O **Índice de Volatilidade** tem sido utilizado, juntamente aos Limites de Exposição Ocupacional, para a definição de **ÍNDICES DE RISCO (IR)** (AFNOR e ABNT) para solventes puros e **ÍNDICES DE RISCO RELATIVO (IRR)** para misturas de solventes.

Nestes casos,

$$IR = \frac{P^o \times PM \times D}{LEO} \quad (\text{para solventes puros})$$

$$IRR_{\text{total, aprox}} = IR_A \times (\%)_A + IR_B \times (\%)_B + \dots + IR_n \times (\%)_n \quad (\text{para misturas})$$

onde, $(\%)_n$ = percentagem em peso do solvente n na mistura.

Considerando os métodos da AFNOR (padrão acetato de n-butila) e ABNT (padrão éter etílico) teremos:

$$\text{Índice de Risco (IR) AFNOR} = \frac{\text{Velocidade de evaporação}}{TLV \text{ (ppm)}} \times 1000$$

$$\text{Índice de Risco (IR) ABNT} = \frac{\text{Velocidade de evaporação}}{LT-NR 15 \text{ (ppm)}} \times 1000$$

ATENÇÃO !! Quanto maior o IR maior o risco para o ambiente de trabalho ou para o trabalhador.