

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

ESTUDO SOBRE A POLUIÇÃO DO AR POR FONTES ESTACIONÁRIAS

AUTOR : EDUARDO AUGUSTO FERREIRA PIERRI

ORIENTADOR : PROF. DR. MARCOS DE MATTOS PIMENTA

= 1988 =

Serviço de Bibliotecas
Biblioteca de Engenharia Mecânica

Quero agradecer a Deus, a meus pais - Neval e Olga -, a minha irmã - Magda -, e a minha namorada - Elaise -, pois o apoio e a compreensão Deles foram muito importantes na execução deste trabalho que é uma pequena introdução sobre o complexo problema da poluição do ar

Quero agradecer também a todos os meus amigos da escola e da CBC Indústrias Pesadas, em especial ao Oscar e à Elisa, que de algum modo colaboraram para que este trabalho se concretizasse

INDICE

1.-	INTRODUÇÃO	01
2.-	NECESSIDADE DE CONTROLE (EFEITO SOBRE A SAÚDE)	02
2.1.-	MATERIAL PARTICULADO	05
2.2.-	ÓXIDOS DE CARBONO	07
2.3.-	DIÓXIDO DE ENXOFRE	08
2.4.-	EMISSIONES ACIDAS GASOSAS	09
2.5.-	OXIDANTES FOTOQUÍMICOS	10
2.6.-	SMOG	11
2.7.-	CRITÉRIOS DE QUALIDADE DO AR	13
3.-	A DIFICULDADE DO CONTROLE	
3.1.-	PADRÃO DE QUALIDADE DO AR	20
3.2.-	PADRÃO DE EMISSÃO	20
		21
4.-	MÉTODOS DE CONTROLE	
4.1.-	CONTROLE POR ÁREAS DE POLUIÇÃO	23
4.2.-	CONTROLE POR FONTES DE POLUIÇÃO	23
4.2.1.-	CONTROLE POR TÉCNICAS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	25
4.2.2.-	CONTROLE PELO PROJETO DOS EQUIPAMENTOS BÁSICOS	26
4.2.3.-	CONTROLE POR SUBSTITUIÇÃO	27
	OU ALTERAÇÃO DAS MATERIAS PRIMAS	28
4.2.4.-	CONTROLE DOS POLUENTES NA EMISSÃO	28
5.-	LEGISLAÇÕES SOBRE POLUIÇÃO	
5.1.-	LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	29
5.1.1.-	LEGISLAÇÃO FEDERAL	29
5.1.2.-	LEGISLAÇÃO ESTADUAL	29
5.1.2.1.-	PROIBIÇÕES E EXIGÊNCIAS GERAIS	31
5.1.2.2.-	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	31
5.1.2.3.-	PADRÕES DE EMISSÃO	31
5.2.-	LEGISLAÇÃO AMERICANA	31
5.2.1.-	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	36
5.2.2.-	PADRÕES DE EMISSÃO	36
5.2.2.1.-	PADRÕES SUBJETIVOS	37
5.2.2.2.-	PADRÕES OBJETIVOS	37
5.2.2.3.-	FORMAS VARIANTES DE PADRÕES DE EMISSÃO	38
5.2.2.4.-	MÉTODOS PARA IMPLANTAÇÃO DOS PADRÕES DE EMISSÃO	40
a).-	CONCEITO DE BOLHA	40
b).-	FONTES SECUNDÁRIAS E FUGITIVAS	41
c).-	FONTES INDIRETAS	41
d).-	OUTROS PADRÕES	42
5.3.-	LEGISLAÇÃO JAPONESA	42
5.3.1.-	QUALIDADE DO AR	59
5.3.2.-	PADRÕES DE EMISSÃO	59
5.3.2.1.-	MATERIAL PARTICULADO (FULIGEM E PÓ)	60
5.3.2.2.-	DIÓXIDO DE ENXOFRE	61
5.3.2.3.-	EMISSIONES DE POLUENTES PERIGOSOS	61
5.3.2.4.-	ÓXIDOS DE NITROGENIO	62
		62

6.-	TÉCNICAS DE CONTROLE DIRETO DA POLUIÇÃO DO AR	
	-EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR	79
6.1.-	INTRODUÇÃO	79
6.2.-	EFICIENCIA DE CONTROLE E PENETRAÇÃO	79
6.3.-	SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA	82
6.4.-	CLASSIFICAÇÃO DOS	
	EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR	83
6.5.-	EQUIPAMENTOS	
	DE CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO	84
6.5.1.-	MECANISMO DE COLETA	84
6.5.1.1.-	SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL	84
6.5.1.2.-	FORÇA CENTRÍFUGA	85
6.5.1.3.-	IMPACTAÇÃO INERCIAL	85
6.5.1.4.-	INTERCEPÇÃO	86
6.5.1.5.-	DIFUSÃO	87
6.5.1.6.-	FORÇA ELETROSTÁTICA	87
6.5.1.7.-	FORÇA TÉRMICA (TERMOFORESE)	88
6.5.2.-	EQUIPAMENTOS DE CONTROLE PARA MATERIAL	
	PARTICULADO - TIPOS E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	88
6.5.2.1.-	CÂMARA DE SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL	88
6.5.2.2.-	CICLONES	90
6.5.2.3.-	FILTROS DE TECIDO	95
6.5.2.4.-	LAVADORES (SCRUBBERS)	100
6.5.2.5.-	PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS	105
6.6.-	EQUIPAMENTOS DE COLETA DE GASES E VAPORES	111
6.6.1.-	MECANISMOS DE COLETA	111
6.6.2.-	EQUIPAMENTOS -	
	TIPOS E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	114
6.6.2.1.-	ABSORVEDORES	114
a).-	TIPOS DE ABSORVEDORES	114
b).-	PASSOS PARA O PROJETO	116
c).-	SELEÇÃO DO ABSORVENTE	116
d).-	SELEÇÃO DO ABSORVEDOR	117
e).-	DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE LÍQUIDO ABSORVENTE	117
f).-	DIMENSIONAMENTO DE ABSORVEDORES	118
g).-	EFICIENCIA DE CONTROLE	123
6.6.2.2.-	INCINERADORES DE GASES E VAPORES	124
a).-	EQUIPAMENTOS DE INCINERAÇÃO DE GASES E VAPORES	125
a.1).-	INCINERADOR DE CHAMA DIRETA	126
a.2).-	INCINERADORES CATALÍTICOS	129
a.3).-	FLARES	133
a.4).-	CÂMARAS DE COMBUSTÃO EXISTENTES	134
6.6.2.3.-	ADSORVEDORES	134
a).-	SUBSTÂNCIAS ADSORVENTES	134
b).-	CAPACIDADE DE ADSORÇÃO	137
c).-	TIPOS DE ADSORVEDORES	139
d).-	PERDA DE CARGA	141
e).-	EFICIENCIA	142
7.-	COMISSIONAMENTO DE SISTEMAS DE POLUIÇÃO	144

8.-	SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE	146
8.1.-	INTRODUÇÃO	146
8.2.-	FATORES ENVOLVIDOS NA SELEÇÃO	146
8.2.1.-	FATORES AMBIENTAIS	147
8.2.2.-	FATORES DE ENGENHARIA	147
8.2.3.-	FATORES ECONOMICOS	147
8.3.-	PROCEDIMENTO PARA A SELEÇÃO. PROJETO GERAL	148
8.4.-	EQUIPAMENTOS DE CONTROLE. ALTERNATIVAS	153
8.5.-	SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS	162
8.6.-	FATORES ESPECÍFICOS DE ENGENHARIA	167
8.6.1.-	GÁS TRANSPORTADOR. PROPRIEDADES	167
8.6.1.1.-	COMPOSIÇÃO	167
8.6.1.2.-	TEMPERATURA	167
8.6.1.3.-	PRESSÃO	168
8.6.1.4.-	VISCOSIDADE	168
8.6.1.5.-	DENSIDADE	168
8.6.1.6.-	UMIDADE	169
8.6.1.7.-	COMBUSTIBILIDADE	169
8.6.1.8.-	REATIVIDADE	169
8.6.1.9.-	TOXIDADE	170
8.6.1.10.-	PROPRIEDADES ELÉTRICAS E SONICAS	170
8.6.2.-	GÁS TRANSPORTADOR. CARACTERÍSTICAS DO ESCOAMENTO	170
8.6.2.1.-	VAZÃO	170
8.6.2.2.-	VARIAÇÕES DE VAZÃO	171
8.6.2.3.-	MUDANÇAS CONJUNTAS	
	NAS PROPRIEDADES DO GÁS DE NA VAZÃO	172
8.6.2.4.-	MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES COM O TEMPO	172
8.6.3.-	CONTAMINANTE. PROPRIEDADES	173
8.6.3.1.-	COMPOSIÇÃO	173
a).-	MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO COM O TEMPO	173
8.6.3.2.-	CARREGAMENTO	173
a).-	MUDANÇAS NO CARREGAMENTO COM O TEMPO	173
b).-	MUDANÇAS NO CARREGAMENTO DO	
	CONTAMINANTE COM A VAZÃO DO GÁS TRANSPORTADOR	174
8.6.3.3.-	FASE CONTAMINANTE	174
8.6.4.-	CONTAMINANTES. PROPRIEDADES ESPECÍFICAS	175
8.6.4.1.-	SOLUBILIDADE	175
8.6.4.2.-	SORBABILIDADE	175
8.6.4.3.-	COMBUSTIBILIDADE	175
8.6.4.4.-	REATIVIDADE	176
8.6.4.5.-	PROPRIEDADES ELÉTRICAS E SONICAS	176
8.6.4.6.-	TOXIDADE	176
8.6.4.7.-	DENSIDADE, FORMA E TAMANHO DO CONTAMINANTE	177
a).-	GERAL	177
b).-	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO	177
8.6.4.8.-	HIGROSCOPICIDADE	178
8.6.4.9.-	CARACTERÍSTICAS DE AGLOMERIZAÇÃO	178
8.6.4.10.-	PROPRIEDADES DO ESCOAMENTO	178
8.6.4.11.-	ENVENENAMENTO DO CATALIZADOR	178
8.6.5.-	PRÉ-TRATAMENTO DO GÁS	179
8.7.-	DISCUSSÃO	181

9.-	ANEXOS	183
9.1.-	ANEXO 1.- PADRÕES DE QUALIDADE DO AR PARA DIVERSOS PAISES	184
9.2.-	ANEXO 2.- PADRÕES DE EMISSÃO DE FONTES ESTACIONÁRIAS PARA DIVERSOS PAISES	197
9.3.-	ANEXO3.- TÉCNICAS DE CONTROLE PARA IMPORTANTES FONTES DE EMISSÃO	204
10.-	BIBLIOGRAFIA	209

A idéia de Poluição Ambiental abrange uma série de aspectos que vão desde a contaminação do ar, das águas e do solo, a desfiguração da paisagem, a erosão de monumentos e construções até a contaminação de animais por pesticidas, hormônios e outros agentes. Embora esta idéia seja ampla, os poluentes que podem, direta ou indiretamente, causar problemas de saúde aos homens e aos animais são os mais estudados e os que possuem uma maior quantidade de informação.

A Poluição é um problema antigo. Desde a antiguidade procurava-se conter os efeitos causados a população por matadouros e posteriormente por fundições de metais.

Com o passar dos tempos este problema foi gradativamente se avolumando. A Revolução Industrial contribuiu muito para isto; mas seguramente, após a 2a. Grande Guerra, com o grande desenvolvimento industrial, a explosão demográfica e a errônea idéia de degradação natural dos resíduos pela natureza em curto espaço de tempo é que este problema tornou-se crítico.

Assim como não podemos parar no tempo e muito menos retroceder neste, temos que procurar formas que permitam conservar os nossos recursos naturais e aumentar o bem estar da comunidade concomitantemente com a necessidade contínua de desenvolvimento e crescimento econômico.

A maioria dos países industrializados encontram-se em um estágio significativo de pesquisa e desenvolvimento nesta área. Infelizmente o Brasil não se enquadra neste contexto. As poucas entidades que se preocupam com a poluição ambiental são em sua maioria da esfera governamental e não possuem condições ótimas de tratamento do problema.

Devido ao crescimento econômico que se verifica no país, este será um problema crucial num futuro não muito distante e que deverá canalizar avolumada quantidade de recursos humanos e de capital.

2.-

NECESSIDADE DE CONTROLE - EFEITO SOBRE A SAÚDE

A poluição ambiental vem crescendo rapidamente e tem causado sérios problemas aos seres vivos. Ela está se tornando generalizada, contaminando os rios, mares e lagos, o solo e o ar de muitas regiões do Brasil e do mundo.

O efeito que mais temos sentido - talvez o mais grave a curto prazo - é o causado pela poluição do ar através do lançamento de materiais particulados, gases, vapores e odores.

A variedade de poluentes presentes na atmosfera é muito grande, sendo difícil estabelecer uma classificação. Talvez possamos iniciá-la, dividindo-os em duas categorias:

- . poluentes primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão.
- . poluentes secundários: aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera.

As substâncias usualmente consideradas poluentes do ar também podem ser classificadas da seguinte forma:

- . compostos de enxofre (SO_2 , SO_3 , H_2S , sulfatos, etc.)
- . compostos de nitrogênio (NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3 , nitratos)
- . compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, alcoois, aldeidos, cetonas, ácidos orgânicos, etc.)
- . monóxido de carbono e dióxido de carbono
- . compostos halogenados (HCl , HF , cloretos e fluoretos)
- . material particulado (mistura de compostos no estado sólido e líquido)

A primeira observação sobre esta classificação é que ela é feita tanto na base química como física, pois o grupo "material particulado" se refere ao estado físico enquanto os outros se referem a uma classificação química. O grupo "material particulado" pode também ser formado por compostos de enxofre, carbono, nitrogênio, etc..

Embora seja ampla a gama de poluentes, os estudos se concentram nos poluentes que estão presentes em grande quantidade na atmosfera ou nos que têm grande toxicidade para os seres vivos. Também é levada em consideração a disponibilidade de recursos materiais e humanos na hora da determinação da qualidade do ar, pois não adianta termos padrões de poluentes se não é possível fazermos o seu monitoramento. Os estudos sobre os poluentes visam estabelecer o modo pelo qual a saúde é afetada, especialmente a dos seres humanos.

O homem, por sinal, é um ser muito sensível. Com relação ao ar atmosférico, pequenas alterações em sua composição podem afetar a saúde dos seres vivos, como podemos ver na tabela 2.1. abaixo entre o ar normal e o poluído. Aqui cabe uma observação: o estabelecimento da composição normal do ar é difícil de ser estabelecida pois, quando o homem resolveu estabelecê-la, ele mesmo já vinha poluindo a atmosfera a milhões de anos, além da existência da poluição natural.

TABELA 2.1. - Concentração dos principais componentes do ar atmosférico

COMPONENTE	AR NORMAL	AR POLUIDO
nitrogênio N ₂	78.09 %	78.09 %
oxigênio O ₂	20.94 %	20.94 %
argônio Ar	0.93 %	0.93 %
dióxido de nitrogênio NO ₂	0.0005 - 0.02 ppm	0.025 - 0.12 ppm
amônia NH ₃	0.006 - 0.01 ppm	0.075 - 0.285 ppm
dióxido de enxofre SO ₂	0.0002 ppm	0.01 - 0.06 ppm
dióxido de carbono CO ₂	305 - 470 ppm	330 - 350 ppm
monóxido de carbono CO	0.12 - 0.9 ppm	10 - 360 ppm

dados de HAEVERLE - 1973

ref. 1

É interessante notar que as substâncias que prejudicam a saúde constituem menos de 0.05 % do ar atmosférico. Esta grande sensibilidade do homem faz com que seja necessário estabelecermos limites de concentração de poluentes para diversas condições de exposição. Assim podemos considerar:

.CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE EMISSÃO (CME)

É o limite de emissão de poluentes pelas diversas fontes. Este limite é difícil de ser estabelecido, pois o poluente, partindo da fonte emissora, pode ser disperso ou diluído de vários modos até chegar aos seres vivos. Desta forma, devemos considerar, em primeiro lugar, a possibilidade técnica de purificação do ar desprendido e, em segundo lugar, a toxidez da substância.

.CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE IMISSÃO (CMI)

É o limite de presença de poluentes na atmosfera, ao nível dos agentes receptores. Essa concentração é que será realmente sentida pelo homem, sendo muito importante sabermos quais as atividades fisiológicas das substâncias. Ela pode ser estabelecida conforme o tempo de exposição em que o homem é submetido em :

- . Comprometimento Longo CM11
- . Comprometimento Curto CM1c (máximo de três exposições diárias de 15 minutos)

.CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE TRABALHO (CMT)

É o limite de máxima exposição que o homem suporta trabalhando em ambientes contaminados, de forma que, mesmo durante anos de exposição diária de 8 horas, não chega a afetar visualmente a sua saúde.

Considerando esta divisão, muitos estudos foram feitos para o levantamento desses limites, como podemos ver na tabela 2.2. estabelecida na Alemanha em 1977, para alguns poluentes.

TABELA 2.2. - CME , CMI e CMT para alguns poluentes da atmosfera

POLUENTES DA ATMOSFERA	CME	CMT	CM1c	CM11
monóxido de carbono (CO)	100	55.	-	-
óxidos nitrogenados de combustíveis sólidos	720 a 900	9.	2.	1.
óxidos de nitrogênio dos combustíveis líquidos	450	9.	2.	1.
dióxido de enxofre (SO2)	-	15.	0.75	0.5
cloro (Cl2)	-	1.5	1.5	0.3
chumbo elementar (Pb)	-	0.2	-	-
chumbo tetraetila (Pb-tetra)	-	0.075	-	-

ref. 1

unidade: mg/Nm3
dados da Alemanha - 1977

Além destes poluentes, existem outras substâncias importantes e que também são consideradas nocivas aos seres vivos. A seguir fornecemos as principais características dos poluentes e de seus efeitos sobre os seres vivos.

2.1.- MATERIAL PARTICULADO

Neste caso em particular, considerando que este poluente não é um composto químico definido, surge a necessidade de definirmos um parâmetro para análise. Assim, existe o parâmetro: "poeira total em suspensão" definido como sendo composto de partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 100 μm . Outro parâmetro que pode ser adotado é o material particulado inalável, composto de partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente menor que 10 μm . Um outro também possível, consiste em expressar o teor de material particulado suspenso na atmosfera em termos de "fumaça internacional normalizada" ou simplesmente fumaça. Esta determinação está baseada na medida da refletância da poeira, o que confere a este parâmetro a característica de estar intimamente relacionado com o teor de fuligem da atmosfera. Portanto, os materiais particulados podem ser classificados em:

- . poeiras metálicas
- . poeiras não metálicas
- . fumaças
- . fuligem

Os efeitos adversos dos materiais particulados na atmosfera começam pelos aspectos estéticos, pois estes interferem na visibilidade, e estão associados com a produção de corrosão e sujeira em superfícies (edifícios, tecidos e outros materiais).

Os materiais particulados afetam também o clima, fazendo diminuir a intensidade da radiação solar sobre a terra, favorecendo a formação de nevoeiros e chuvas e agindo como núcleos ou germes de condensação de vapor d'água.

A influência das poeiras não metálicas sobre o homem vão desde ocorrência de silicose, cancer (pela poeira de asbestos), até a ação corrosiva sobre mucosas, além de levarem a erupções cutâneas. A poeira também pode transportar substâncias minerais e/ou compostos orgânicos que são tóxicos e cancerígenos ao pulmões. A figura 2.1. mostra como a poeira afeta o metabolismo do homem.

As plantas são outros seres que sofrem influência das partículas não metálicas. Essas partículas fazem as plantas perderem água, além de ocasionarem a redução da fotossíntese. A figura 2.2. mostra esses efeitos.

Das poeiras metálicas, a principal é o chumbo (Pb) que pode ser absorvido pelo trato digestivo - através de alimentos contaminados - ou, de forma mais pronunciada, pela inspiração. As principais sequelas são : anemia, desarranjos intestinais, menor resistência a infecções, danos no sistema nervoso podendo causar desde epilepsia a até parkinsonismo e paralisia.

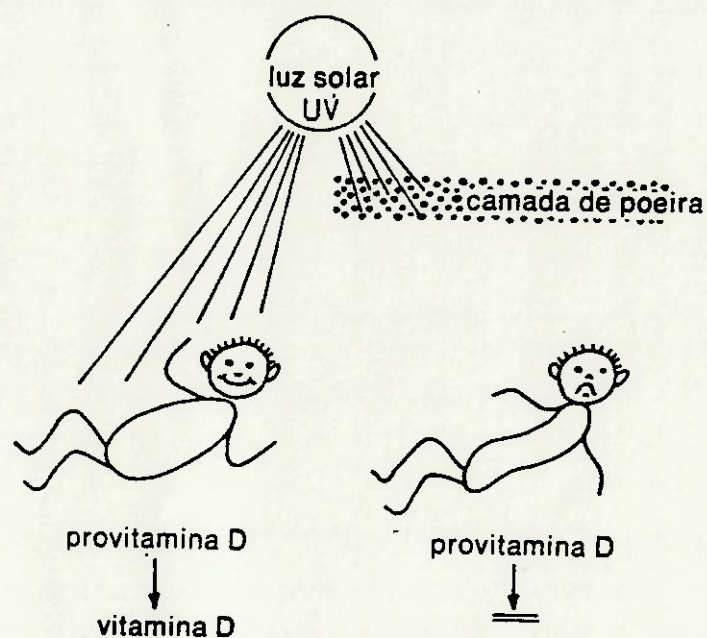


FIGURA 2:1 - Influência da poeira sobre o homem

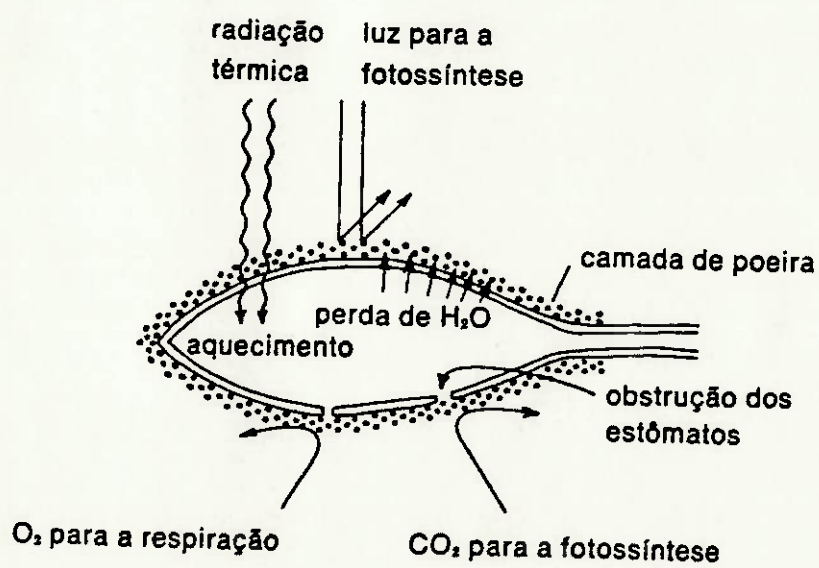


FIGURA 2.2 - Influência da poeira sobre as plantas

As fumaças - formadas pela nicotina , CO, alcatrão e fuligem entre outros - entram nos brônquios podendo causar catarro e câncer. Dependendo da fumaça, ela pode atingir os alvéolos pulmonares causando câncer nos pulmões e, dos alvéolos, esses elementos podem chegar aos eritrócitos causando cansaço, ou então entrar no plasma sanguíneo chegando ao coração, cérebro, cortex supra-renal e também ao útero. Os efeitos causados podem ir desde enfarte, euforia, úlceras, trombose até peso reduzido do feto e nascimentos prematuros.

O tamanho das partículas desempenham um papel importante nos seus efeitos sobre a saúde. As chamadas partículas grossas (> 10 um de diâmetro) são retidas no sistema respiratório superior, enquanto as partículas finas (< 10 um de diâmetro) penetram mais profundamente, atingindo os alvéolos pulmonares, no caso das partículas subatômicas como pudemos ver acima.

A capacidade do material particulado fino de aumentar os efeitos fisiológicos dos gases presentes no ar é um dos aspectos mais importantes da poluição do ar por material particulado. Os efeitos de uma mistura de material particulado e dióxido de enxofre, por exemplo, são mais acentuados que o da presença isolada dos mesmos.

2.2.- ÓXIDOS DE CARBONO

Os óxidos de carbono são constituídos por monóxidos de carbono e dióxidos de carbono.

O dióxido de carbono é originado principalmente por processos de combustão. A sua presença em grande quantidade na atmosfera afeta o balanço térmico da terra pois absorve e irradia somente uma parte da energia térmica desprendida pela superfície da terra, sendo responsável pelo "efeito estufa". O dióxido de carbono não é tóxico, mas em grandes quantidades bloqueia a respiração.

O monóxido de carbono origina-se principalmente dos motores de veículos. Os efeitos sobre os seres vivos estão associados à capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue. O monóxido de carbono compete com o oxigênio na combinação com a hemoglobina do sangue uma vez que a afinidade da hemoglobina pelo monóxido de carbono é cerca de 300 vezes maior que pelo oxigênio. Quando uma molécula de hemoglobina recebe uma molécula de monóxido de carbono forma-se a carboxihemoglobina (CO-Hb), que diminui a capacidade do sangue em transportar oxigênio.

Os sintomas da exposição do homem ao monóxido de carbono dependem da quantidade de hemoglobina combinada a este, como podemos ver na tabela 2.3.. Os valores de CO-Hb da tabela só serão atingidos se uma pessoa em repouso estiver exposta às correspondentes concentrações de CO durante 10 horas.

TABELA 2.3. - Sintomas sobre o homem causados pelas altas concentrações de CO no ar

CONCENTRAÇÃO DE CO NO AR	PROPORÇÃO DE CO-Hb NO SANGUE	SINTOMAS CLÍNICOS
60 ppm 0.006 % (vol)	10 %	. dificuldade visual . dor de cabeça leve
130 ppm 0.013 % (vol)	20 %	. dores abdominais e de cabeça . cansaço e perda dos sentidos
200 ppm 0.020 % (vol)	30 %	. desmaio, paralisia . distúrbio respiratório . colápo funções circulatórias
660 ppm 0.066 % (vol)	50 %	. coma, paralisia . bloqueio das funções respiratórias

ref. 1

Vemos que o homem e os animais são muito sensíveis frente ao CO. Já as plantas resistem às concentrações de CO observadas até o momento. Mesmo concentrações de 1 % de CO não prejudicam as plantas.

2.3.- DIÓXIDO DE ENXOFRE

Os efeitos dos gases na saúde humana estão intimamente associados à solubilidade destes nas paredes do aparelho respiratório, fato este que governa a quantidade do poluente que é capaz de atingir as porções mais profundas do aparelho respiratório.

O dióxido de enxofre é altamente solúvel nas passagens úmidas do aparelho respiratório superior, conduzindo a um aumento da resistência à passagem do ar e ao aumento da produção de muco.

Existem evidências de que o dióxido de enxofre agrava as doenças respiratórias pré-existentes e também contribui para seu desenvolvimento. O dióxido de enxofre sozinho produz irritação no sistema respiratório e, se adsorvido em partículas, pode ser conduzido mais profundamente, chegando a produzir danos aos tecidos do pulmão.

Estudos epidemiológicos e clínicos mostram que certas pessoas são mais sensíveis ao dióxido de enxofre que outras. Exposições prolongadas a baixas concentrações de dióxido de enxofre têm sido associadas com o aumento de morbidade cardiovascular em pessoas idosas.

O estudos também mostram que em áreas industriais, a concentração de dióxido de enxofre chega a ser de até 10 ppm, enquanto que nas áreas urbanas as concentrações não passam de 0.3 ppm (ref. 1).

Os limites de concentração de dióxido de enxofre estabelecidos são (ref. 1):

- . CM11 = 0.50 ppm
- . CM1c = 0.75 ppm
- . CMT = 5.00 ppm

2.4.- EMISSOES ACIDAS GASOSAS

Além do dióxido de enxofre (SO₂), outros gases afetam a saúde humana, como HCl, Cl₂, HF e F₂. Para estes gases, temos fixados os seguintes padrões de concentração (ref. 1):

- . HCl - CMT = 0.5 ppm (7.0 mg/Nm³)
- . Cl₂ - CMT = 0.5 ppm (1.5 mg/Nm³)
- . HF - CMT = 3.0 ppm
- . F₂ - CMT = 0.1 ppm

O efeito fisiológico destes poluentes sobre o homem podem ser resumidos em dois efeitos principais:

- . ataque às mucosas e alvéolos pulmonares
- . diminuição do número de eritrócitos

Sobre os vegetais superiores, cada poluente afeta de maneira específica como podemos ver na fig. 2.3..

Estes efeitos aparecem principalmente em regiões onde ocorre baixa pressão atmosférica pois ocorre a migração de poluentes para estas regiões tornando-as densamente poluídas.

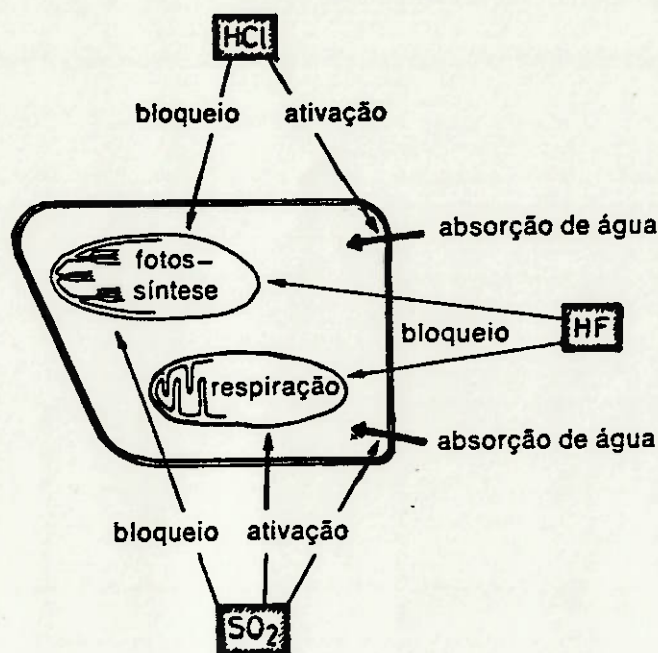


FIGURA 2.3 - Ação das emissões ácidas sobre os vegetais superiores

2.5.- OXIDANTES FOTOQUÍMICOS

Oxidantes fotoquímicos é a denominação que se dá a mistura de poluentes secundários formados pela reação dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio na presença de luz solar. O principal ingrediente desta mistura é o gás ozona (O_3) e por isso mesmo, ele tem sido utilizado como parâmetro indicador da presença dos oxidantes fotoquímicos, que tem em sua composição também quantidades pequenas de compostos oxigenados derivados dos hidrocarbonetos.

O efeito mais relatado dos oxidantes fotoquímicos é a irritação dos olhos. Os principais componentes da mistura associados a esse efeito são os peroxiacilnitratos (por ex. PAN - peroxiacetilnitrato), o formaldeído e a acroleína.(ref.5)

A presença dos oxidantes fotoquímicos na atmosfera tem sido associada com a redução de capacidade pulmonar e com o agravamento de doenças respiratórias como a asma. Estudos realizados em animais mostram que o ozona causa o envelhecimento precoce, provoca danos na estrutura pulmonar e diminui a capacidade de resistir às infecções respiratórias, embora em pequenas concentrações seja benéfico, pois filtra os raios ultravioletas. Mesmo pessoas saudáveis, como por exemplo os atletas, tem se mostrado sensíveis aos efeitos do ozona pela diminuição da capacidade de executar exercícios físicos.

A forma de controlar a formação dos oxidantes fotoquímicos na atmosfera é reduzindo as concentrações de seus precursores (óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos). As concentrações desses poluentes na atmosfera devem ser limitadas muito mais em razão dos produtos aos quais dão origem do que propriamente pelos seus efeitos diretos.

No caso dos óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), somente o NO₂ é motivo de preocupação por si mesmo. Devido à sua baixa solubilidade, ele é capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório, podendo dar origem às nitrosaminas, algumas das quais podem ser carcinogênicas. O dióxido de nitrogênio (NO₂) é também um poderoso irritante, podendo conduzir a sintomas que lembram aqueles da enfisema.

2.6.- SMOG

O smog é formado pela junção da fumaça com a neblina, ocasionando um acúmulo de poluentes. Esse acúmulo pode acontecer devido a dois fatores:

- . inversão térmica - Neste fenômeno, como o próprio nome diz, ocorre uma inversão de gradiente térmico a uma determinada altura e com isso, devido a diferença de densidade do ar, a porção de ar localizada na parte inferior desta inversão fica confinada juntamente com os poluentes, como podemos ver na figura 2.4..

- . pressões atmosféricas elevadas - Neste caso, ocorre o deslocamento do ar de cima para baixo impedindo a dispersão de poluentes e, conseqüentemente, há ocorrência de acúmulo, como podemos ver na figura 2.5..

Na ocorrência do smog, inúmeras substâncias são confinadas e acumuladas na atmosfera como: pó de chumbo e cádmio, amônia, ácidos orgânicos, gorduras, formaldeídos, acroleína (CH₂=CH-CHO), hidrocarbonetos alifáticos saturados e insaturados, hidrocarbonetos cíclicos e insaturados policíclicos.

O grande problema do smog é que todos os efeitos maléficos do pó, da fumaça, dos gases, etc. são acumulados gerando mal estar e até mesmo mortes de pessoas, principalmente das que sofrem de problemas cardiovasculares.

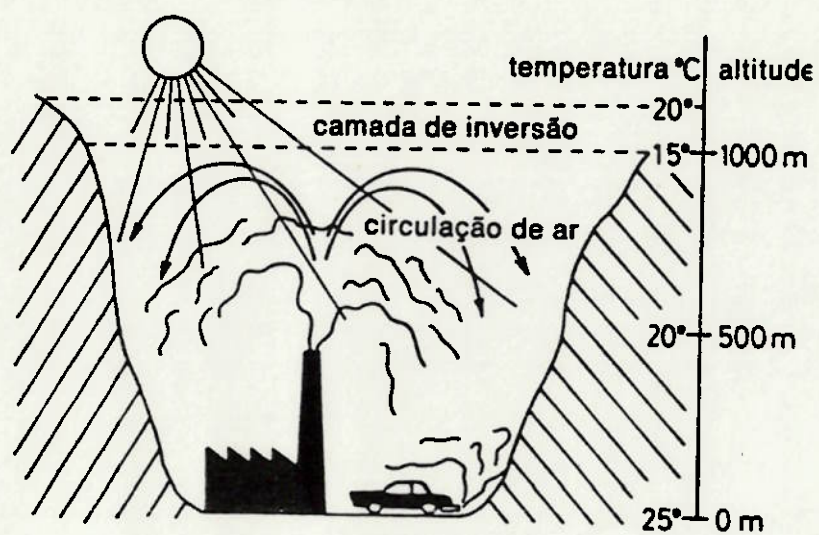


FIGURA 2.4 - Acúmulo de poluentes devido a inversão térmica



FIGURA 2.5 - Acúmulo de poluentes devido a pressões atmosféricas elevadas

2.7.- CRITÉRIOS DE QUALIDADE DO AR

Muitos institutos de pesquisa, departamentos governamentais e estudiosos, continuam realizando estudos para determinar de forma cada vez mais precisa os efeitos dos principais poluentes, e também outros, sobre os seres vivos. Esses estudos são feitos através de observações experimentais e epidemiológicas, ou no campo, através de exposições sobre o ambiente de poluentes específicos em vários níveis. Através dessas informações são estabelecidas relações de causa-efeito para cada poluente.

Uma das entidades que procura coletar informações sobre esses estudos é a "Environmental Protection Agency" (EPA) dos Estados Unidos. Ela procura estabelecer critérios de qualidade do ar para os poluentes: material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, chumbo, dióxido de nitrogênio e ozona, conforme as tabelas 2.4. a 2.9. a seguir (ref. 10).

Esses critérios podem referir-se a diferentes modos de efeito sobre os seres vivos, a grupos sensíveis da população ou ao efeito conjunto de diversos poluentes. O critério de qualidade do ar descreve os efeitos que podem ser esperados de ocorrer em qualquer lugar quando o nível de um poluente no ar ambiente alcança ou excede uma concentração específica para um particular período de tempo.

Baseando-se em todos esses estudos e nos problemas causados por diversas substâncias consideradas poluidoras, faz-se necessário controlar a emissão destas na atmosfera, garantindo uma qualidade do ar adequada ao bem estar dos seres vivos.

TABELA 2.4.- Critério de qualidade do ar ambiente para Monóxido de Carbono (EUA)

PORCENTAGEM DE
CARBOXIHEMOGLOBINA
NO SANGUE (COHb)

SINTOMAS NO HOMEM

80	. morte
60	. perda da consciência
	morte se a exposição for continuada
40	. colapso em exercícios
	perturbação da vista
30	. dores de cabeça e fadiga
	juízo perturbado
20	. dano cardiovascular
	anormalidades eletrocardiográficas
5	. declínio (linear com o aumento do nível de COHb) na quantidade de oxigênio transportado
	diminuição na percepção visual, na destreza manual e na realização de trabalhos complexos
4	. decremento na vigilância (detecção de mudanças na vizinhança)
	decréscimo da capacidade de exercitação tanto de pessoas saudáveis como nas que possuem doenças pulmonares crônicas
2.5	. agravamento de doenças cardiovasculares (decréscimo da capacidade de exercitação em pacientes com angina ou arterioesclerose periférica)

TABELA 2.5.- Critério de qualidade do ar ambiente para Chumbo (EUA)

NÍVEIS DE CHUMBO
NO SANGUE HUMANO
(ug/dl)

SINTOMAS NO HOMEM

300	. coma, convulsão ou morte
100	. intoxicação aguda por chumbo efeitos prejudiciais irreversíveis sistemas gastrointestinais e encéfalo- páticos
80	. severos danos neurológicos permanentes em crianças
50	. anemia em adultos defeitos no sistema nervoso central em crianças
40	. anemia em crianças aumento da excreção de certos ácidos na urina
30	. nível máximo não prejudicial para uma criança
15	. máximo nível geométrico médio não prejudicial às crianças

Atribuindo-se um nível máximo de Pb no sangue de 12 ug/dl ocasionado pelas fontes ingeridas (alimentos, água, solo, tintas e outros) não transportadas pelo ar, temos então que a contribuição máxima e segura para o ar inalável é de 3 ug/dl. Como o chumbo transportado pelo ar (ug de chumbo/m³ de ar) corresponde a uma concentração em dobro no sangue, pode-se então estabelecer um nível seguro de qualidade do ar de 1.5 ug de chumbo/m³ de ar.

TABELA 2.6.- Critério de qualidade do ar ambiente para dióxido de enxofre (EUA)

CONCENTRAÇÃO DE SO ₂ NO AR (ppm)	EXPOSIÇÃO	SINTOMAS NO HOMEM E EFEITOS SOBRE A VEGETAÇÃO
400		. edema pulmonar inflamação dos brônquios
20		. irritação dos olhos tosse em adultos saudáveis
15	1 h	. diminuição da atividade mucociliar
10	10 mim	. broncoplasma
10	2 h	. visível dano às folhas de vegetações em regiões áridas
8		. irritação na garganta em pessoas adultas saudáveis
5	10 mim	. aumento da resistência à passagem do ar em pessoas adultas saudáveis em descanso
1	10 mim	. aumento da resistência à passagem do ar em asmáticos em descanso e em pessoas adultas saudáveis em exercício
0.5	10 mim	. aumento da resistência à respiração em asmáticos sob exercício
0.5		. limiar do odor
0.5	3 h	. padrão secundário de qualidade do ar nos EUA - 1973 (b)
0.2	3 h	. visível dano às plantas sensíveis de regiões úmidas
0.19	24 h (a)	. agravamento de doenças respiratórias crônicas em adultos
0.14	24 h	. padrão primário de qualidade do ar dos EUA - 1971 (b)
0.07	anual	. agravamento de doenças respiratórias crônicas em crianças
0.03	anual	. padrão primário de qualidade do ar dos EUA - 1973

a) na presença de altas concentrações de material particulado

b) devem ser substituídos por padrões revisados

TABELA 2.7.- Critério de qualidade do ar ambiente para dióxido de nitrogênio (EUA)

CONCENTRAÇÃO DE NO ₂ NO AR (ppm)	EXPOSIÇÃO	SINTOMAS NO HOMEM E EFEITOS SOBRE A VEGETAÇÃO E VISIBILIDADE
300		. morte rápida
150		. morte após 2 ou 3 semanas por fibrose brônquica
50		. fibrose brônquica reversível
10		. diminuição da capacidade de detetar odor do NO ₂
5	15 min	. diminuição do transporte normal de gases entre o sangue e os pulmões em pessoas adultas saudáveis
2.5	2 h	. aumento da resistência a respiração em bronquíticos
2	4 h	. diminuição do movimento foliar em vegetação
1	48 h	. leve manchamento das folhas de feijão rajado e algodão
0.3		. visão amarelada quando se olha a mais de 1 Km de distância
0.25	período crescimento	. decréscimo do tamanho e rendimento em tomates e laranjas
0.2	8 h	. amarelamento de tecidos brancos
0.12		. início da percepção do odor do NO ₂
0.1	12 sem	. enfraquecimento da cor do nylon
0.05	12 sem	. enfraquecimento da cor do algodão e do raion
0.03		. visão amarelada quando se olha a mais de 10 Km de distância
0.003		. visão amarelada quando se olha a mais de 100 Km de distância

TABELA 2.8.- Critério de qualidade do ar ambiente para ozona (EUA)

CONCENTRAÇÃO DE OZONA NO AR (ppm) ^a	SINTOMAS NO HOMEM E LIMITE DE DANOS A VEGETAÇÃO
10	. edema pulmonar sério débil e rápida pulsação possibilidade de bronquite aguda diminuição da pressão sanguínea
1	. tosse e fadiga extrema falta de coordenação aumento da resistência a respiração decréscimo do volume respiratório
0.5	. constrição peitoral diminuta capacidade de difusão do CO decréscimo da função pulmonar sem exercício
0.3	. dores de cabeça desconforto peitoral suficiente para impedir o complemento de exercícios decréscimo da função pulmonar para certos tipos de exercícios
0.25	. aumento em incidência e severidade de ataques asmáticos irritação moderada dos olhos
0.15	. redução da capacidade pulmonar para pessoas sensíveis desconforto peitoral, tosse e chiado irritação do trato respiratório limite para danos à vegetação
0.12	. padrão primário e secundário de qualidade do ar dos EUA (não deve ser excedido mais de uma vez ao ano)

obs. a) 1 ppp = 1958 ug/m³ de ozona

TABELA 2.9 - Critério de qualidade do ar ambiente para material particulado (EUA)

CONCENTRAÇÃO			EXPOSIÇÃO	SINTOMAS NO HOMEM E EFEITOS SOBRE A VISIBILIDADE
PTS (ug/m3)	PT	PF		
2000	-	-	2 h	. desconforto pessoal
1000	-	-	10 min	. mudanças no mecanismo de respiração direto
-	350	-		. agravamento de bronquites
260	-	-	24 h	. padrão primário de qualidade do ar dos EUA - 1983 (a)
180	90	-		. aumento do sintoma de doenças respiratórias
150	-	-	24 h	. padrão secundário de qualidade do ar dos EUA - 1983 (a)
110	55	-	24 h	. aumento do risco de doenças respiratórias
75	-	-	MGA	. padrão primário de qualidade do ar dos EUA - 1983 (a)
60	-	-	MGA	. padrão secundário de qualidade do ar dos EUA - 1983 (a) (b)
-	-	22	13 sem	. visibilidade comum durante o verão no oeste dos EUA (áreas não suburbana)

- a) devem ser substituídos por padrões revisados
b) para média de 24 horas - padrão secundário

PTS - particulado total em suspensão (<25 um)
PT - particulado torácico (<10 um)
PF - particulado fino (<2.5 um)
MGA - média geométrica anual

3.-

A DIFICULDADE DO CONTROLE

O controle da poluição do ar é uma ciência relativamente nova não tendo ainda os seus conceitos fundamentais firmemente estruturados e harmonizados. Um problema decorrente disto é a determinação dos valores máximos permissíveis tanto de emissão de poluentes por um equipamento como de qualidade do ar.

É claro que, como foi visto no capítulo 2., há grande empenho em se determinar com o maior grau de precisão possível esses limites. Porém, um problema para esse esforço é a existência de duas escolas de pensamentos:

- . escola A - Esta escola pretende que o ar seja livre de poluição o bastante para que não cause problemas à saúde dos seres vivos e em especial à do homem. Visando não acarretar ônus excessivo à economia, o estabelecimento desses valores e o controle da poluição são feitos apenas de maneira necessária e suficiente
- . escola B - Esta escola não considera igualmente importante o aspecto econômico e o de saúde. Assim, ela pretende que o ar tenha a máxima pureza possível tanto do ponto de vista de higiene e saúde como do estético.

A poluição estética é causada pelos poluentes chamados subjetivos que são aqueles que embora não afetem a saúde dos seres vivos, causam reclamações por parte destes. É o caso de certas partículas grosseiras e odores que incomodam sem serem nocivos à saúde.

Os defensores da escola A argumentam a necessidade de se continuar e de se permitir o desenvolvimento, restringindo-se os valores dos padrões a níveis adequados. Desta forma, novos investimentos não seriam inviáveis, pois o custo dos equipamentos de controle da poluição do ar seria pequeno comparado com o investimento total.

Os defensores da escola B ponderam que valores mais rigorosos poderiam ser estabelecidos se houvesse o apoio de toda a população. Esse apoio seria obtido com o controle simultâneo dos poluentes subjetivos, pois assim, teríamos uma demonstração concreta, visual, palpável de resultados. Esses efeitos psicológicos se estenderiam aos empresários, espontaneamente ou sob pressão da população, que então aceitariam gastar um pouco mais no controle da poluição. Desta forma, não ocorreria uma diminuição exagerada do desenvolvimento econômico.

Essas escolas estão enraizadas na consciência de cada comunidade, pois há comunidades que querem e acham-se no direito de escolher a qualidade do ar que mais lhe convém, não considerando outros aspectos, enquanto há outras que mesmo enfrentando o problema da poluição, preferem definir bem a condição do ar que paira sobre elas, além de outros fatores, antes de colocar em andamento o seu controle.

Somado a esses problemas está o fato dessas comunidades poderem estar em diferentes níveis de desenvolvimento econômico e de contaminação por poluentes. Assim, existem comunidades que enfrentam o problema de poluição e outras que não o enfrentam, sendo que algumas dessas preocupam-se com o problema e outras não.

Mesmo considerando todas as dificuldades mostradas acima, o estabelecimento de padrões para controle da poluição atmosférica é o primeiro passo para realmente controlarmos a poluição. Para se estabelecer este controle, podemos considerar dois padrões diferentes:

- . padrão de qualidade do ar
- . padrão de emissão de poluentes

3.1.- PADRÃO DE QUALIDADE DO AR

O padrão de qualidade do ar, também chamado de "padrão de imissão", é estabelecido baseando-se nos efeitos dos poluentes sobre os seres vivos. Esse padrão é o que melhor controla os efeitos dos poluentes sobre o homem pois é medido ao nível do solo, sendo esta a poluição que efetivamente incide nos seres vivos.

3.2.- PADRÃO DE EMISSÃO

O padrão de emissão é de difícil estabelecimento. O poluente ao sair pela chaminé se difunde no ar atmosférico - se for gás - ou se dilui - se for material particulado - e então chega ao nível do solo atingindo os seres vivos. Os efeitos de difusão e/ou diluição (também chamado dispersão) dependem das condições climáticas como vento, diferenças de temperatura entre o gás de exaustão e o ar, umidade do ar, entre outros. Assim, uma mesma emissão de um poluente pode apresentar em um período do dia um nível de imissão satisfatório e em outro período um nível inadequado dependendo das condições meteorológicas.

Geralmente são estabelecidos padrões de emissão para poluentes que são lançados na atmosfera em fontes esparsas ou que por outras características, não convém e nem é possível o monitoramento macroscópico via qualidade do ar.

Vemos, portanto, que o estabelecimento de padrões de emissão ajuda a controlar a poluição, embora não garanta a qualidade do ar dentro de faixas adequadas.

4.-

MÉTODOS DE CONTROLE

Desde que os poluentes primários podem desempenhar duplo papel na atmosfera, isto é, causar efeitos adversos em suas formas originais e reagir quimicamente para formarem poluentes secundários, o controle da poluição do ar consiste principalmente em se reduzir a emissão de poluentes primários na atmosfera.

Para se reduzir a emissão desses poluentes devemos primeiramente estabelecer padrões de emissão e de qualidade do ar mas, como vimos anteriormente, o estabelecimento desses padrões é difícil de ser realizado pois devem ser considerados vários fatores.

No controle da poluição do ar devemos levar em consideração dois aspectos: o estratégico e o tático. O primeiro se preocupa em reduzir a longo prazo os níveis de poluição em todas as faces, tanto local como globalmente. Este aspecto é chamado estratégico porque devem ser definidas estratégias a longo prazo - 5, 10 ou 15 anos - fixando-se metas para melhoramento da qualidade do ar. O controle tático da poluição do ar é para casos críticos onde, devido a condições climáticas desfavoráveis, ocorre o acúmulo de poluentes na atmosfera, chegando-se a ter concentrações em níveis tais que podem causar doenças e até mesmo a morte de pessoas.

Assim, devemos estabelecer métodos de controle de poluição que atentem para esses fatos e que sejam realmente efetivos, isto é, que esses métodos possam realmente conseguir a redução da emissão de poluentes e também que o seu monitoramento seja possível.

Dos métodos principais de controle da poluição do ar podem ser estabelecidos:

- . controle por áreas de poluição
- . controle por fontes de poluição

4.1.-

CONTROLE POR ÁREAS DE POLUIÇÃO

Como o próprio nome diz, neste método de controle consideramos a poluição causada por uma área; assim, é ponderado o seu potencial de poluição, analisando-se as fontes poluidoras existentes e suas respectivas emissões e os efeitos que esses poluentes em conjunto causam sobre os seres vivos e o meio ambiente.

Um dos problemas deste método é a determinação das áreas de controle. Em cidades pequenas do interior que constituem um núcleo isolado, é fácil o mapeamento das áreas que constituem focos de poluição ou que sofrem problemas de poluição; contudo, nos grandes centros como São Paulo, Rio de Janeiro, e outros do mundo inteiro, onde as cidades se interligam, a determinação dessas áreas se torna mais difícil.

Outro problema é a determinação correta dos efeitos desses poluentes sobre as pessoas pois, como já vimos, as condições meteorológicas influem bastante. Devemos então, monitorar a qualidade do ar e agir sobre as fontes poluidoras. A característica desse método é a ação sobre todas as fontes simultaneamente ou então sobre algumas, mas sempre procurando um resultado global.

Geralmente no controle de poluição por áreas utiliza-se o método "curva ABC" para o selecionamento das maiores fontes poluidoras e que devem ser controladas.

Dos regulamentos constam dispositivos que contêm providências como (ref.16):

- 1- eliminação de fontes poluidoras. É uma medida drástica sendo praticamente impossível de ser realizada em grandes metrópoles.
- 2- faixas de proteção entre as fontes e as áreas receptoras em potencial. Este dispositivo leva ao aproveitamento de mananciais, zonas de aproximação de aeroportos e os chamados cinturões verdes. Ele vem sendo empregado na Europa principalmente na Alemanha e URSS onde chegam a atingir três quilômetros de largura quando utilizados em refinarias e usinas metalúrgicas.
- 3- Densidade das fontes poluidoras. Neste artifício, procura-se estabelecer números de unidades poluidoras por áreas para que se mantenha a quantidade total de emissões dentro dos valores aceitáveis; procura-se descentralizar as fontes de poluição.
- 4- Estabelecimento de tempo de emissão. Este procedimento visa que determinados poluentes somente sejam emitidos durante períodos controlados de tempo de modo que a sua quantidade não exceda a capacidade natural de diluição da atmosfera. É o caso da Companhia Trail da Colúmbia Britânica - emissora de SO₂ - que somente podia lançar seu poluente na atmosfera sob condições favoráveis à dispersão.

- 5- Estabelecimento de matérias primas e processos a serem utilizados. Este dispositivo é fixado geralmente por regulamentos rígidos que restringem a versatilidade de produção. Um ponto positivo é que todas as fontes ficam sujeitas às mesmas restrições.

Como se vê, o controle por áreas de poluição é bastante complexo e somente pode ser aplicado depois de estabelecidas certas condições como:

- a capacidade de diluição natural da atmosfera
- os padrões de qualidade do ar da atmosfera
- o tamanho e a distribuição das fontes de contaminação existentes e futuras
- a classificação das indústrias baseadas nos respectivos potenciais de poluição do ar
- facilidades adequadas para o controle da qualidade do ar pela medida dos níveis de poluição

4.2.- CONTROLE POR FONTES DE POLUIÇÃO

A poluição do ar percorre segundo Frenkiel, quatro estágios sucessivos: produção, emissão, transporte e recepção dos poluentes. O método de controle visto anteriormente, de modo geral interrompe essa cadeia entre a emissão e a recepção. O controle por fontes de poluição abrange principalmente os dois estágios iniciais: produção e emissão.

Não se considera nesse método de controle uma área característica, mas sim cada fonte de poluição. Todas as fontes são controladas, mas o estabelecimento de quais devam ser primeiramente ou com maior rigor controladas depende dos efeitos de cada uma causados sobre o meio ambiente. Pode acontecer que uma única fonte não muito grande deva ser rigorosamente controlada devido ao tipo de poluente emitido e/ou localidade.

Os métodos de controle de maior aceitação são aqueles que visam a mudança dos equipamentos ou processos, ou a instalação de equipamentos adicionais de controle, de sorte a prevenir ou limitar a emissão de poluentes. Esses métodos podem ser aplicados a qualquer fase do processo, compreendendo desde a alimentação das matérias primas/combustíveis, materiais, etc., com prosseguimento ao longo do fluxograma até a descarga dos efluentes na atmosfera.

4.2.1.- CONTROLE POR TÉCNICAS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A experiência demonstrou que a eficiência ótima de operação dos equipamentos está associada a baixa emissão de poluentes. Essa evidência vale tanto para equipamentos do processo como para caldeiras, fornos, trocadores de calor/massa, reatores, tanques, etc.. como para outros equipamentos periféricos como bombas de alimentação, agitadores e até os equipamentos para captação de poluentes.

Quando um processo de combustão, por exemplo, está provocando muita poluição visível ou por partículas é sempre porque um destes parâmetros - relação ar combustível, qualidade do combustível, temperatura de ignição e combustão e capacidade nominal do equipamento de acordo com o projeto - não foram respeitados. Em outros processos como a fusão de metais, a boa técnica operacional recomenda um perfeito controle da temperatura, o qual serve para impedir a volatilização excessiva e a formação de fumos metálicos. Para certas reações químicas também é importante o controle da temperatura para que não sejam gerados gases em demasia.

Esse método se aplica praticamente a qualquer tipo de processo e as medidas adotadas variam em cada caso, mas certos princípios gerais são obedecidos como:

- 1- nenhum aumento de produção deve ser conseguido a custo da eficiência operacional
- 2- o uso de combustíveis e processos adequados
- 3- a operação dos equipamentos com pessoal treinado
- 4- o uso de processos contínuos em vez de processos intermitentes
- 5- a manutenção normal e preventiva do equipamento
- 6- o controle automático do tempo e temperatura

Muitos princípios são óbvios; outros, como 4 e 6 podem exigir algumas explicações. Operações de carga no início e de descarga no fim, constam dos processos intermitentes e sempre causam desprendimento de poluentes, numa ocasião onde a eficiência operacional máxima não foi ainda atingida ou já baixou. Verificou-se também que em determinados equipamentos como caldeiras, fornos de fusão e alguns reatores, a fumaça, os fumos e certos gases (alguns altamente tóxicos) são resultantes de irregularidades da temperatura e de intervalos de tempo dos ciclos de aquecimento ou de fusão. O mesmo se verifica com os equipamentos de coleta de poluentes quando é necessário temperatura e outros parâmetros dentro de faixas adequadas para o bom funcionamento.

É evidente que o controle por técnicas de operação e manutenção depende muito do fator humano. Atualmente, equipamentos básicos são projetados com capacidade integral de controle, a qual só pode ser alcançada por um operador capaz. Também os equipamentos velhos podem atingir níveis de operação satisfatórios se essas técnicas de controle forem aplicadas.

4.2.2.- CONTROLE PELO PROJETO DOS EQUIPAMENTOS BÁSICOS

É claro que se o equipamento básico de produção for projetado para atingir a máxima eficiência operacional, pelo que foi dito anteriormente, também se estará utilizando convenientemente ou consumindo totalmente as matérias primas empregadas. Isto equivale dizer que haverá menos poluição no ar. Nos processos, o aperfeiçoamento dos projetos tem levado a diminuição das perdas de matérias primas e, por conseguinte, a maior economia, o que os tem tornado atraentes aos empresários.

Nos equipamentos de combustão como caldeiras, fornos de cozimento e incineradores não só tem sido possível realizar a combustão sem fumaça como também aumentar o rendimento em energia térmica e diminuir o consumo de combustíveis. Os equipamentos têm os seus elementos fundamentais - câmara de combustão, queimadores, grelhas e controle de suprimento de ar - projetados adequadamente para que obtenham a temperatura adequada, permitindo assim, a ignição, combustão, turbulência da mistura ar-combustível e tempo para queima completa de maneira otimizados. A utilização de fornos de aço elétricos para a fusão do ferro fundido não causa mais a emissão de fumos metálicos nos fornos metalúrgicos. O mesmo ocorre na fusão de metais não ferrosos utilizando fornos de alta temperatura.

É necessário salientar que o controle da poluição pelo método acima considerado não abrange todos os tipos de poluentes que são produzidos. Por exemplo, os equipamentos de combustão que não fazem fumaça, todavia largam na atmosfera inúmeros gases que lhes são adversos, como vapores orgânicos, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Esses gases, assim como outros, também podem ser produzidos por equipamentos como reatores, torres de absorção, etc.. Em muitos casos pode-se alterar o processo de modo a reduzir a produção desses poluentes.

4.2.3.- CONTROLE POR SUBSTITUIÇÃO OU ALTERAÇÃO DAS MATERIAS PRIMAS

No campo dos combustíveis existe no mundo uma tendência de mudança dos combustíveis sólidos para os líquidos e mesmo os gasosos. Isto vem ajudando a diminuir a poluição do ar, embora essa alteração se deva mais ao esgotamento das reservas de carvão mineral - principal combustível sólido.

No caso dos combustíveis líquidos, que são em sua maioria derivados do petróleo, por questões de preço, tem havido uma tendência inversa; vão sendo abandonados os derivados mais nobres usando-se para certos fins, óleos residuais com um alto teor de enxofre. Isto tem causado grandes preocupações devido ao aumento da concentração de SO₂ no ar das cidades.

A utilização de combustíveis mais nobres como óleo de baixo teor de enxofre ou baixa viscosidade e gás natural além de propiciarem diminuição dos níveis de emissão também permitem que a operação e manutenção dos equipamentos tornem-se mais simples e fáceis. No Brasil, uma alteração importante foi a substituição do chumbo na gasolina pelo álcool, evitando assim os graves problemas que o chumbo causa.

4.2.4.- CONTROLE DOS POLUENTES NA EMISSÃO

Esse controle é feito por equipamentos de características próprias que são projetados para darem um destino adequado aos poluentes, de modo a não aumentar sua concentração na atmosfera. Por envolver aspectos complexos da tecnologia industrial, este item será tratado mais adiante em um capítulo à parte.

A conversão das informações dos efeitos da poluição sobre os seres vivos em padrões de qualidade do ar e emissão pode ser feita segundo vários métodos:

- . estudo biológico
- . estudo físico/ químico
- . estudo dos efeitos sobre determinadas pessoas

O importante é que o critério para levantamento dos efeitos da poluição do ar em diferentes níveis de concentração seja bem definido e realmente eficaz, de maneira que cada comunidade possa estabelecer limites adequados a sua saúde.

Os países geralmente procuram, uma vez estabelecidos esses padrões, criar leis para que eles sejam respeitados. Assim, essas legislações procuram versar sobre todos os problemas que afligem ou que possam afligir o meio ambiente, como por exemplo leis que regulamentam o uso e o lançamento de poluentes no solo, ar e água, e, também, leis que falam sobre poluentes e situações especiais que são problemas específicos de certas localidades.

Algumas dessas legislações fixam limites máximos que devem ser respeitados em todo o país, embora permitam a cada estado ou região efetivar ou restringi-los adequadamente, como é o caso das legislações federais brasileira e norte americana, entre outras.

Procuramos compilar informações a respeito da poluição do ar, sobre os padrões de qualidade do ar e de emissão. Restringimo-nos somente às fontes estacionárias como indústrias e outras instalações, não considerando a poluição causada por veículos em geral (fontes móveis). Inicialmente pesquisamos apenas a legislação brasileira mas, por ela ser vaga em diversos assuntos, procuramos também informações sobre outras legislações como a EPA norte americana e a JICA japonesa. Também acrescentamos, na forma de anexo, duas tabelas (Anexos 1. e 2.) que relacionam respectivamente padrões de qualidade do ar e de emissão para diversas substâncias e países.

5.1.- LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

5.1.1.- LEGISLAÇÃO FEDERAL

A legislação brasileira é formada por várias leis e códigos que versam sobre assuntos específicos, não possuindo uma lei básica (se assim podemos dizer) que fale sobre a poluição em seu aspecto global.

A legislação federal delega a vários órgãos como a SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente - e o CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - a responsabilidade pelo controle da poluição através da criação de leis e resoluções. Sobre a poluição do ar, ela estabelece padrões de qualidade do ar conforme a tabela 5.1. extraída da portaria No. 231 de

27.04.1976.

TABELA 5.1.- Legislação Federal Brasileira
Padrão de Qualidade do Ar

POLUENTE	TEMPO AMOSTRAGEM	CONCENT. MÁXIMA (ug/m ³)	MÉTODO AMOSTRAGEM	FREQUENCIA AMOSTRAGEM
partículas em suspensão	média geométrica anual	80	método de amostrador de grandes volumes	período mínimo de 24 horas a cada 6 dias
	média 24 horas consecut.	240		
dióxido de enxofre	média aritmética anual	80	método de pararosa- nilina	período mínimo de 24 horas a cada 6 dias
	média 24 horas consecut.	365		
monóxido de carbono	média 8 hora consecut.	10000	método da absorção de radiação infravermelho não dispersivo	continua- mente
	média 1 hora	40000		
oxidantes fotoquím.	média 1 hora	160	método da luminesc. química	continua- mente

- obs. 1- todas as medidas devem ser corrigidas para a temperatura de 25 o.C e pressão de 760 mmHg
2- essas concentrações não podem ser ultrapassadas mais de uma vez por ano

ref. 03

5.1.2.- LEGISLAÇÃO ESTADUAL

Considerando que o estado de São Paulo é o que apresenta a maior densidade de fontes poluidoras, e consequentemente problemas de poluição, optamos por compilar os dados de sua legislação. O órgão responsável pela determinação dos valores máximos, de toda fiscalização e controle das fontes poluidoras e da qualidade do ar é a CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico.

Especificamente sobre a poluição do ar, a legislação estadual, no seu decreto No. 6468 de 08.09.1976 que é o regulamento da lei No. 997 de 31.05.1976, dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente, considera:

5.1.2.1.- PROIBIÇÕES E EXIGENCIAS GERAIS

- . proibida queima ao ar livre de resíduos sólidos, líquidos ou de qualquer outro material combustível
- . proibida instalação e funcionamento de incineradores domiciliares ou prediais de quaisquer tipo
- . é exigida a instalação e operação de equipamentos automáticos de medição nas fontes poluidoras para o monitoramento da quantidade de poluentes emitidos
- . é exigida a comprovação da quantidade e qualidade dos poluentes atmosféricos emitidos

5.1.2.2.- PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

São considerados as condições e os valores da legislação federal.

5.1.2.3.- PADRÕES DE EMISSÃO

- . é proibida emissão de fumaça, pelas fontes estacionárias, com densidade colorimétrica superior ao padrão 1 (um) da escala Ringelmann
- . é proibida emissão de poluentes pelas fontes poluidoras localizadas na grande São Paulo e em Cubatão, em quantidades superiores aos respectivos padrões de emissão mostrados nas tabelas 5.2. e 5.3.
- . as emissões devem ser feitas através de chaminés. Para as exceções deve-se utilizar processo de umidificação permanente
- . é exigida, conforme a necessidade, utilização de combustíveis adequados em áreas comerciais ou residenciais

- exigências específicas são feitas para operações de pintura por aspersão e para incineradores hospitalares
- para as demais fontes poluidoras, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, os sistemas de controle da poluição deverão ser baseados na melhor tecnologia prática disponível

A legislação também prevê um plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar - conforme o decreto No. 28313 de 21.04.1988 -. Considera-se episódio crítico de poluição a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em certo período de tempo resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis a sua dispersão.

O plano de emergência leva em consideração, para a sua monitoração, os quatro poluentes já consagrados isoladamente e também, como quinto parâmetro, a combinação dos materiais particulados com o dióxido de enxofre.

Para a execução do plano de emergência são estabelecidos os níveis de atenção, de alerta e de emergência, nesta ordem de gravidade. Estes níveis são declarados quando, prevendo-se a manutenção das emissões bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições presente na tabela 5.4..

Para cada nível do episódio crítico de poluição do ar e dependendo de qual poluente causou o episódio, são estabelecidas medidas restritivas (mais brandas para nível de atenção e menos brandas para nível de emergência) tanto para fontes poluidoras móveis e estacionárias. Assim podemos ter para as fontes estacionárias desde restrições de horário de emissão e redução do nível de emissão até a parada de funcionamento da fonte emissora.

Como vemos, a legislação paulista é bem mais completa que a federal, estabelecendo padrões para diversas fontes além de outras exigências e proibições. Ela porém, não estabelece níveis de emissão para os poluentes gasosos, definindo apenas a necessidade de se utilizar a melhor tecnologia prática disponível para o controle. Isto é fonte de problemas pois devemos analisar cada instalação caso a caso e também procurar, através de literaturas, estudos e pesquisas, estabelecer padrões que possam ser alcançados.

Neste contexto é que procuramos agora estudar as outras legislações, pois estas possuem valores de emissão e qualidade do ar para inúmeras fontes e poluentes. Desta forma, podemos considerar estes parâmetros como pontos de apoio para a determinação das nossas necessidades de proteção e manutenção da qualidade do ar.

TABELA 5.2 - PADRÕES DE EMISSÃO PARA MATERIAL PARTICULADO
GRANDE SÃO PAULO

ATIVIDADE	FONTE	FORMULAÇÃO	UNIDADE ^a	NOTAS ^b
Fundição de Aço	Forno Elétrico a Arco	PE = 1,650 X ^{-0,221}	Kg/t carregada	1,4
	Forno Siemens-Martins	PE = 5,080 X ^{-0,463}	Kg/t carregada	1,3
	Conversor a Oxigênio	PE = 6,000	Kg/t produzida	
Fundição de Ferro	Forno Cubilo	PE = 1,373 Y ^{-0,212}	Kg/t carregada	2
	Forno Cadinho	PE = 0,400 X ^{-0,155}	Kg/t carregada	1
	Forno Réverbero	PE = 0,400 X ^{-0,155}	Kg/t carregada	1
	Forno Elétrico a Arco	PE = 1,500 X ^{-0,221}	Kg/t carregada	1
Produção de Ferro	Alto Forno	PE = 9,000	Kg/t carregada	
Fundição de Latão e Bronze	Forno Cadinho	PE = 1,800 X ^{-0,367}	Kg/t carregada	1
	Forno Elétrico de Indução	PE = 0,500 X ^{-0,155}	Kg/t carregada	1
	Forno Réverbero	PE = 7,000 X ^{-0,231}	Kg/t carregada	1
	Forno Rotativo	PE = 7,500 X ^{-0,306}	Kg/t carregada	1
Fundição de Chumbo Secundário	Forno Réverbero	PE = 14,700 X ^{-0,231}	Kg/t carregada	1
	Forno Cubilo	PE = 14,475 X ^{-0,135}	Kg/t carregada	1
	Forno Rotativo	PE = 8,750 X ^{-0,306}	Kg/t carregada	1
	Forno Cadinho	PE = 0,120 X ^{-0,367}	Kg/t carregada	1
Fundição de Alumínio Secundário	"Sweating Furnace"	PE = 1,885 X ^{-0,252}	Kg/t carregada	1
	Forno Réverbero	PE = 0,538 X ^{-0,139}	Kg/t carregada	1
	Forno Cadinho	PE = 0,285 X ^{-0,067}	Kg/t carregada	1
Fundição de Magnésio	Forno Cadinho	PE = 0,400 X ^{-0,111}	Kg/t carregada	1
Produção de Cimento	Forno de Calcinação	PE = 6,000	Kg/t carregada	
	Secadores	PE = 3,000	Kg/t carregada	
	Moinhos	PE = 3,000	Kg/t carregada	
Produção de Concreto Asfáltico	Secador Rotativo	PE = 4,500 C ^{0,651}	Kg/h	5
Produção de Artefatos Cerâmicos	Secadores	PE = 9,500 C ^{0,811}	Kg/h	5
	Moinhos	PE = 9,500 C ^{0,811}	Kg/h	5
Beneficiamento de Pedra	Moinhos	PE = 1,500 C ^{0,766}	Kg/h	5
	Peneiras	PE = 1,500 C ^{0,766}	Kg/h	5
Produção de Rocha Fosfática	Moinhos	PE = 1,875 C ^{0,766}	Kg/h	5
	Secadores	PE = 1,875 C ^{0,766}	Kg/h	5
Produção de Fertilizantes Fosfatos Simples e Triplos	Secadores	PE = 1,125 C ^{0,766}	Kg/h	5
	Moinhos	PE = 1,125 C ^{0,766}	Kg/h	5
Produção de Fosfatos de Amônia DAP e MAP	Reação, Secagem e Resfriamento	PE = 10,000 C ^{0,766}	Kg/h	5
Produção de Cal	Moinhos	PE = 3,875 C ^{0,766}	Kg/h	5
	Fornos Rotativos de Calcinação	PE = 25,000 C ^{0,766}	Kg/h	5
Produção de Gesso	Secadores	PE = 5,000 X ^{-0,234}	Kg/t carregada	1
	Calcinadores	PE = 10,000 X ^{-0,234}	Kg/t carregada	1
	Moinhos	PE = 3,875 C ^{0,766}	Kg/h	5
Produção de Fritas	Fornos Contínuos	PE = 3,175 C ^{0,857}	Kg/h	5
	Fornos Perifódicos	PE = 5,099 X ^{0,110}	Kg/t carregada	1
	Fornos Rotativos	PE = 1,570 X ^{0,143}	Kg/t carregada	1

a) As unidades utilizadas representam a massa total de particulados emitidos por unidade de massa de carga produzida ou carregada.

- b) Notas: 1. X representa a massa total carregada (t)
2. Y representa o diâmetro interno do Cubilo (m)
3. Para fornos com capacidades nominais maiores ou iguais a 20 t. Para fornos com capacidade menor, PE = 1,300 Kg/t carregada
4. Para fornos com capacidades nominais maiores ou iguais a 2 t. Para fornos com capacidades menores, PE = 1,650 Kg/t carregada
5. C representa taxa de carregamento (t/h)

OBS.: No cálculo dos Padrões de Emissão, os valores obtidos deverão ser considerados até a 3ª (terceira) casa decimal.

As fontes existentes para as quais ainda não se estabeleceu padrões de emissão específicos, ficam sujeitas às emissões máximas permitíveis obtidas pelas seguintes formulações:

PE = 0,007 Q ^{0,865}	para	Q ≤ 250 Kg/h
PE = 0,023 Q ^{0,656}	para	Q ≤ 500 Kg/h
PE = 0,042 Q ^{0,557}	para	Q ≤ 950 Kg/h
PE = 0,054 Q ^{0,522}	para	Q ≤ 1400 Kg/h
PE = 0,051 Q ^{0,529}	para	Q ≤ 1850 Kg/h
PE = 0,047 Q ^{0,540}	para	Q ≤ 2950 Kg/h
PE = 0,028 Q ^{0,602}	para	Q ≤ 5000 Kg/h
PE = 0,012 Q ^{0,706}	para	Q > 5000 Kg/h

Tanto Q (taxa de carregamento) como o padrão de emissão (PE) são expressos em Kg/h

OBS.: No cálculo dos Padrões de Emissão, os valores obtidos deverão ser considerados até a 3ª (terceira) casa decimal.

**TABELA 5.3.- Padrão de emissão para material particulado
Cubatão**

ATIVIDADE INDUSTRIAL	FONTE DE EMISSÃO	PADRÃO DE EMISSÃO	OBS
indústria siderúrgica	conversor LD	100 mg/Nm3	a
processamento de rocha asfáltica	moagem	0.2 Kg/t processada	a
	secagem		
	outras fontes não especificadas	0.1 Kg/t processada	a
produção de fertilizantes fosfatados	fabricação de superfosfato granulado	1.5 Kg/t processada	b
	fabricação de superfosfato não-granulado	0.45 Kg/t processada	b
produção de cimento	secador, moagem, separador ciclônico, peneira vibratória, sistema de transportes, silos e ensacadeiras	0.5 Kg/t de produto	b
produção de sulfato de cálcio	secador calcinador	0.7 Kg/t processada	a
	outras fontes não especificadas	0.05 Kg/t processada	a

ref. 04

Obs.

a) padrão de emissão por fonte

b) padrão de emissão global do estabelecimento

1- considera-se como tonelada processada todas as substâncias adicionadas ao processo, exceto combustíveis

2- processamento de rocha asfáltica - Os padrões não se aplicam às operações de recebimento, descarga, manuseio e armazenamento da rocha

TABELA 5.4.- Caso critico de poluição do ar

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (ug/m3)		
		NÍVEL ATENÇÃO	NÍVEL ALERTA	NÍVEL EMERGENCIA
material particulado (MP)	média de 24 horas	375	625	875
dióxido de enxofre (SO ₂)	média de 24 horas	800	1600	2100
produto MP x SO ₂	média de 24 horas	165000	261000	393000
monóxido de carbono (CO)	média de 8 horas	17000	34000	46000
oxidantes fotoquímicos	média de 1 hora	200	800	1200
				ref. 04

5.2.- LEGISLAÇÃO AMERICANA

A legislação americana sobre o controle da poluição está presente no "Code of Federal Regulations". Alguns capítulos falam sobre a poluição do ar estabelecendo padrões de qualidade do ar, métodos de monitoramento, padrões de emissão, entre outros itens.

5.2.1.- PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

O "Clean Air Amendments" de 1977 define dois tipos de padrões de qualidade do ar;

- . primários - são níveis que protegem a saúde, mas não necessariamente previnem os outros efeitos adversos da poluição do ar
- . secundários - são níveis que previnem todos os outros efeitos adversos da poluição do ar

Estes padrões são mostrados na tabela 5.5..

O "Clean Air Amendments" também define os níveis de qualidade do ar para áreas geográficas específicas (PDS - Prevenção de Deterioração Significativa). Embora eles sejam chamados na lei de incrementos sobre linhas básicas de controle do ar, esses padrões são de efeito terciário, sendo fixados em níveis menores que os estabelecidos pelos padrões primários e/ou secundários. As jurisdições com autoridade para editar licenças podem estabelecer, para regiões específicas, um incremento para consumo futuro do PDS (ou da diferença entre a qualidade do ar geral e os padrões primários e secundários). A tabela 5.6. mostra esses níveis.

Na legislação americana, os estados são obrigados a submeterem para a EPA - "Environmental Protection Agency" planos, conhecidos como "Planos Estaduais de Implementação" (PEI), mostrando como os padrões de qualidade do ar serão atingidos em suas jurisdições dentro de um período de tempo especificado. Se depois de expirada a data estabelecida, houver áreas onde os padrões não foram atingidos, os estados são obrigados a submeter e a obter da EPA a aprovação dos planos revisados para se obterem os níveis estabelecidos.

A EPA também designa certas áreas como "Áreas de Manutenção da Qualidade do Ar" (Air Quality Maintenance Areas - AQMA) onde as exigências são mais restritivas. Nestas áreas, mesmo não estando saturadas por poluentes, há maiores cuidados para o consentimento de licenças de instalação de novas fontes de poluentes.

5.2.2.- PADRÕES DE EMISSÃO

A forma mais comum para o desenvolvimento de limites de emissão para as fontes estacionárias e a aplicação dos melhores meios praticáveis de controle. Sob esta base lógica, o grau de limitação de emissão alcançado na instalação usada como padrão determina os limites de emissão para todas as outras instalações da mesma categoria da que foi ensaiada. Porém, como novas tecnologias são constantemente desenvolvidas, o que era a melhor prática em 1980 poder ser inferior que a alcançável em 1990. Desta maneira, desde que haja uma mudança de objetivo a ser atingido, recursos devem ser providos adequadamente para permitir à planta, a qual obedece os melhores padrões aplicáveis, ser considerada de acordo para um número razoável de anos depois. É importante notar que os limites dos melhores recursos praticáveis são fixados sem considerar a presença ou carga de qualidade do ar ou os padrões de qualidade do ar para o poluente envolvido, o número e a localização das fontes afetadas pelo limite e a meteorologia ou topografia da área onde elas estão localizadas. Entretanto, um limite adicional na altura da chaminé, baseado nos fatores acima mencionados, pode ser composto com um limite dos melhores métodos aplicáveis na emissão dos poluentes.

Como visto no capítulo 4. existem duas categorias de poluentes: poluentes subjetivos e objetivos. Da mesma forma, os limites de emissão podem ser subjetivos ou objetivos.

5.2.2.1.- PADRÕES SUBJETIVOS

Os limites subjetivos são baseados sobre a aparência visual ou odor de uma emissão. A forma mais comum de limite subjetivo é aquela que regula a densidade óptica da pluma de chaminés medida por comparação com a escala Ringelmann (figura 5.1.). Esta forma de escala tem estado em uso por mais de 80 anos e é amplamente aceita para classificar a intensidade de fuligem nas emissões de fumaças cinzas e pretas. Durante as três últimas décadas ela tem sido usada como base para o regulamento de opacidade equivalente para classificar a densidade óptica das emissões de outras cores que o preto e o cinza.

Inicialmente, a escala Ringelmann era um cartão reflexivo onde o observador examinava a luz refletida no cartão. Mais recentemente, cartões de transmissão da luz têm sido desenvolvidos tanto para graduações preta (1) como branca (2) de densidade óptica, que correlaciona com a escala de Ringelmann.

É prática comum atualmente, o envio de inspetores de poluição do ar para uma "escola de fumaça" no órgão governamental competente, onde eles são treinados e certificados como estando aptos a ler a densidade de plumas pretas e brancas com grande exatidão.

Spacing of Lines on Ringelmann Chart			
Ringelmann chart no.	Width of black lines (mm)	Width of white spaces (mm)	Percent black
0	All white		0
1	1	9	20
2	2.3	7.7	40
3	3.7	6.3	60
4	5.5	4.5	80
5	All black		100

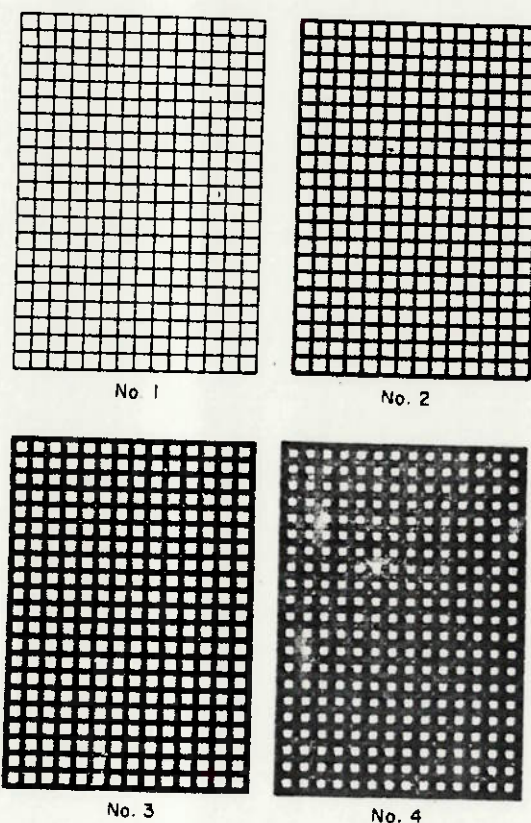


FIGURA 5.1 - Escala Ringelmann - Níveis de opacidade

Antes da aceitação da escala Ringelmann, a fumaça era regulada proibindo-se a emissão de fumaça preta. Nas últimas décadas, práticas regulatórias veem proibindo a emissão de fumaça com densidade maior que um especificado número da escala. Este número vem sendo gradativamente diminuído, sendo que atualmente o número especificado é o 1 (um) para a maioria das novas instalações, principalmente para as grandes plantas de geração de vapor.

5.2.2.2.- PADRÕES OBJETIVOS

Os padrões objetivos são baseados em medidas físicas e químicas da emissão de poluentes por uma fonte. Há duas grandes categorias de limites de emissão objetiva:

- . aquela que limita a emissão de um poluente específico sem levar em consideração o processo ou equipamento do qual ele é emitido
- . aquela que limita a emissão de um poluente específico originado de um processo específico e de um tipo de equipamento

As leis ou regras podem requerer o mesmo limite de emissão para todas as fontes não considerando o tamanho ou capacidade, ou elas podem ser estabelecidas em termos absolutos, isto é, não mais que uma especificada massa de poluente por unidade de tempo, ou não mais que uma especificada massa de poluente por unidade de massa de combustível queimado, material sendo processado, produto produzido ou por unidade de calor liberado na queima. No caso de poluentes gasosos, os limites podem ser estabelecidos de melhor forma em termos volumétricos que gravimétricos. Os limites de emissão podem ser estabelecidos também como massa de poluente por unidade de volume do gás.

Para o estabelecimento dos níveis de emissão, devemos considerar valores padrões de temperatura, pressão e diluição de ar para o cálculo, pois o volume efluente varia com a alteração desses parâmetros, o que pode mascarar os resultados. No caso do fluxo de gás proveniente da queima de combustível, a diluição é geralmente expressa como porcentagem de excesso de ar ou de dióxido de carbono no fluxo de gás.

Os poluentes, categorias de fontes e instalações afetadas para as quais os EUA tem estabelecido padrões de emissão (NSPS - New Sources of Performance Standards) estão listados na tabela 5.7. Certas categorias da tabela estão sujeitas ao plano PDS - Prevenção de Deteriorização Significativa - se o potencial de emissão para os poluentes controlados exceder 100 ton/ano. Além disso, a revisão PDS é requerida para as seguintes fontes:

- . aquelas com potencial emissor superior a 100 ton/dia
- . plantas de ácido fluorídrico
- . baterias de fornos cozedores
- . plantas de conversão de combustível
- . plantas de produção de carvão vegetal
- . plantas de processo de queima de negro de fumo
- . plantas de processamento de minério de taconita
- . plantas de processamento de gás de fibra (gas fiber)

5.2.2.3.- FORMAS VARIANTES DE PADRÕES DE EMISSÃO

Algumas variantes do melhor método de controle da poluição pelo estabelecimento de padrões de emissão estão explicados detalhadamente na "Clean Air Act" de 1977. Uma é a Melhor Tecnologia de Controle Disponível (Best Available Control Technology - BACT) para o poluente específico, que deve ser empregada nas novas grandes fontes que estão para ser instaladas em áreas que já alcançaram os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiente (National Ambient Air Quality Standards - NAAQS) para este poluente. BACT é também exigida para poluentes que não estão presentes no NAAQS tal como o enxofre total reduzido (ETR) cujos limites de emissão estão especificados pela NSPS. BACT deve ser pelo menos tão restritivo quanto NSPS, embora seja determinada caso a caso.

Outra variável é a Menor Taxa de Emissão Alcançável (Lowest Achievable Emission Rate - LAER) para um poluente específico, requerida para que uma nova fonte daquele poluente seja instalada em uma área não saturada, isto é, aquela área que não atingiu ainda o NAAQS para o poluente em questão. LAER é a menor taxa de emissão alcançável em qualquer instalação, sem considerar o custo ou o uso de energia.

5.2.2.4.- MÉTODOS PARA IMPLANTAÇÃO DOS PADRÕES DE EMISSÃO

Quando um proprietário deseja construir uma nova fonte que acrescentará uma quantidade específica de um determinado poluente numa área que pode até mesmo não estar saturada, ele deve, sob as leis federais dos EUA documentar uma redução de, no mínimo, a quantidade de poluente a ser emitida pela nova fonte em uma outra fonte da área. Esta redução pode ser efetuada ou "compensando" (off-set), como é chamada, em uma outra planta que ele possua na área ou então pelo fechamento desta última. Entretanto, se ele não possui outra planta semelhante na área ou não deseja fechar ou efetivar tal redução na sua planta, ele pode, através de entendimentos, conseguir a redução ou compensação na planta de outro proprietário. Deste modo, tal compensação fica como crédito que pode ser negociado tão logo o estado ou agência reguladora local legitimize esta transação. A nova fonte deverá atender os padrões NSPS, BACT e/ou LAER, quaisquer que sejam aplicados.

a).-

CONCEITO DE BOLHA

Quando uma nova fonte é acrescida em um grupo de fontes já existentes de uma organização num mesmo complexo industrial, a prática usual tem sido requerer da nova fonte reunir, independentemente, a compensação, o NSPS, a BACT e/ou LAER, não considerando as outras fontes do complexo. Sob o mais novo conceito de bolha (figura 5.2.) adotado por alguns estados americanos com a aprovação da EPA, a adição de uma nova fonte é permitida somente se ela atender as especificações acima e também que a emissão total do relevante poluente regulado do complexo inteiro seja diminuída. Isto pode ser efetuado compensando se de uma ou mais fontes do complexo, através do fechamento ou melhoramento da eficiência de controle. Este método porém, tem sido assunto de litígios, não sendo amplamente empregado.

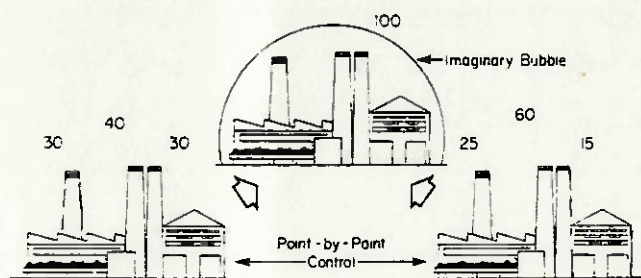


FIGURA 5.2 - Conceito de bolha. Os números representam as emissões das fontes individuais, algumas das quais podem ser fontes fugitivas; e da planta inteira.

b).

FONTES SECUNDARIAS E FUGITIVAS

Na computação do potencial de emissão de uma nova fonte ou complexo é necessário considerar estas duas fontes:

- emissões fugitivas - aquelas que não são de fontes pontuais como rodovias não pavimentadas, mineração em superfície, etc.
- emissões secundárias - aquelas fontes pequenas, com emissões de características diferentes das fontes maiores, e que são necessárias para a operação das fontes complexas

c). FONTES INDIRETAS

Para o estabelecimento de padrões de emissão para uma determinada fonte, devemos considerar também as fontes indiretas do local, como por exemplo áreas de estacionamento, arenas de esporte, etc., que atraem grandes quantidades de veículos tornando-se fontes de grande potencial poluidor.

Do exposto até aqui, foi assumido que as emissões e as concentrações atmosféricas são linearmente afim, isto é, que uma dada redução em porcentagem na emissão do poluente resultará numa redução similar, também em porcentagem, na concentração deste na atmosfera. O modelo pode ser assim definido:

$$(5.1) \quad R = \frac{G(p) - D}{G(p) - B} * 100$$

onde:

- . R = redução em porcentagem requerida na emissão
- . p = qualidade do ar presente
- . D = padrão de qualidade do ar
- . B = concentração secundária
- . G = fator de crescimento das emissões

Isto é muito provavelmente uma suposição válida para gases não reativos como o monóxido de carbono, cuja principal fonte são os veículos.

d). OUTROS PADRÕES

Os Estados Unidos tem considerado casos particulares de emissão de poluentes e tem estabelecido padrões específicos para os mesmos. É o caso de:

- . padrões para poluentes perigosos como asbestos, berílio, mercúrio, vinilclorado, etc.. Estes padrões são uma mistura de padrões de qualidade do ar, de emissão e de operação em processo
- . padrões de emissão para as fontes já existentes. São estabelecidos por algumas cidades e estados com o consentimento da EPA, e são geralmente menos restritivos que os padrões federais para as novas fontes como o NSPS, a BACT e o LAER
- . padrões de emissão para áreas industrializadas. Estes também são menos restritivos e levam em conta a geografia da região, o povoamento vizinho e os tipos de instalações presentes

TABELA 5.5.- Padrão Americano primário e secundário para qualidade do ar ambiente

POLUENTE	TIPO DE PADRÃO	TEMPO MEDIO	FREQUENCIA PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO	
				ug/m3	ppm
óxidos de enxofre	prim.	24 horas	máximo anual(a)	365	0.14
		1 ano	média aritmét.	80	0.03
	secund.	3 horas	máximo anual(a)	1300	0.5
material particulado	prim.	24 horas	máximo anual(a)	260	-
		24 horas	média geomét.	75	-
	secund.	24 horas	máximo anual(a)	150	-
		24 horas	média geomét.	60(b)	-
monóxido de carbono	prim. e	1 hora	máximo anual	40000	35.0
	secund.	8 horas	máximo anual	10000	9.0
ozona	prim. e secund.	1 hora	máximo anual	235	0.12
dióxido de nitrogênio	prim. e secund.	1 ano	média aritmét.	100	0.05
chumbo	prim. e secund.	3 meses	média aritmét.	1.5	-

ref. 10

- obs.
- a) não pode ser excedido mais de uma vez por ano
 - b) como guia a ser usado na avaliação de planos de implementação para o alcance do padrão de máxima anual

TABELA 5.6.- Incrementos de concentração (PDS)

POLUENTE	INCREMENTO (ug/m3)		
	AREA DE CLASSE 1	AREA DE CLASSE 2	AREA DE CLASSE 3

material particulado			
. média geométrica anual	5	19	37
. máxima de 24 horas	10	37	75
dióxido de enxofre			
. média aritmética anual	2	20	40
. máxima de 24 horas	5	91	182
. máxima de 3 horas	23	512	700

			ref. 10
obs.	. classe 1 - são áreas primitivas ou conservadas mesmo após desenvolvimento, como parques nacionais, litorais, áreas selvagem		
	. classe 2 - são áreas onde moderada deteriorização é permitida (a menos de outra designação, todas as áreas são desta classe)		
	. classe 3 - são áreas especialmente designadas para industrialização pesada		

TABELA 5.7.- Padrões de performance para novas fontes - NSPS - Fontes estacionárias - EUA

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Fossil fuel fired steam generation for which construction is commenced after August 17, 1971			
Coal, coal/wood residue fired boilers > 73.3 W	Particulate Opacity SO ₂ NO _x	0.043 g/MJ 20 % ; 27 % - 6min/h(a) 0.520 g/MJ 0.300 g/MJ	No requirement Continuous Continuous(b) Continuous(b)
Oil, oil/wood residue fired boilers > 73.3 W	Particulate Opacity SO ₂ NO _x	0.043 g/MJ 20 % ; 27 % - 6min/h 0.340 g/MJ 0.130 g/MJ	No requirement Continuous Continuous(b) Continuous(b)
Gas, Gas/wood residue fired boilers > 73.3 W	Particulate Opacity NO _x	0.043 g/MJ 20 % ; 27 % - 6min/h 0.086 g/MJ	No requirement Continuous(b) Continuous(b)
Mixed fossil fuel fired boilers > 73.3 W	Particulate Opacity SO ₂ NO _x	0.043 g/MJ 20 % ; 27 % - 6min/h Prorated Prorated	No requirement Continuous Continuous(b) Continuous(b)
Lignite, lignite/wood residue > 73.3 W	Particulate Opacity SO ₂ NO _x (as of 12/22/76)	0.043 g/MJ 20 % ; 27 % - 6min/h(a) 0.520 g/MJ 0.260 g/MJ 0.345 g/MJ for ND, SD, MT lignite burned in cyclone-fired units	No requirement Continuous Continuous(b) Continuous(b)
Portland cement plants			
Kiln	Particulate Opacity	0.136 kg/ton 20 %	No requirement No requirement
Clinker cooler	Particulate Opacity	0.045 kg/ton 10 %	No requirement No requirement
Fugitive emission points	Opacity	10 %	No requirement Daily production and feed kiln rates

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Incinerators			
Incinerators > 50 tons/day	Particulate	0.180 g/dscm corrected to 12 % CO ₂	No requirement Daily charging rates and hours
Nitric acid plants			
Process equipment	Opacity NOx	10 % 1.360 kg/ton	No requirement Continuous Daily production rates and hours
Sulfuric acid plants			
Process equipment	SO ₂ Acid mist Opacity	1.800 kg/ton 0.680 kg/ton 10 %	Continuous No requirement No requirement
Asphalt concrete			
Dryers; screening and weighing system; storage, transfer and loading syst. dust handling equipment	Particulate Opacity	0.090 g/dscm 20 %	No requirement No requirement
Petroleum refineries			
Catalytic craker (with incinerator or waste heat boiler)	Particulate Opacity CO	1.0 kg/ 1000 kg Additional, 43.0 g/MJ 30 % ; 6min, exemption 0.05 %	No requirement No requirement Continuous Continuous
Fuel gas combustion	SO ₂	0.230 g(H ₂ S)/dscm fuel gas content	Continuous
Claus sulfur recovery plants > 20 LTD/day (as of 10/4/76)	SO ₂	!0.025 % with oxidation or reduction and incineration !0.030 % with reduction only	Continuous Continuous

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Storage vessels for petroleum liquids constructed after June 11, 1973 and prior to May 19, 1978			
Storage tanks > 246000 liters as of 6/11/73	Volatile organic compounds (VOC)	Vapor pressure 78-570 mmHg, equip with floating roof, vapor recovery system, or equivalent	No requirement
> 151400 liters as of 3/08/74		Vapor pressure > 570 mmHg equip with vapor recovery system or equiv.	No requirement
			Type of liquid, period of storage and maximum vapor pressure
Storage vessels for petroleum liquids constructed after May 18, 1978			
Storage tanks > 151400 liters	Volatile organic compounds (VOC)	Vapor pressure 10.3-76.6 kPa, equip with floating roof or fixed roof with internal floating cover (both must meet specifications) or vapor recovery and disposal system reducing emissions at least 95 %	No requirement
		Vapor pressure > 76.6 kPa, equip with vapor recovery and disposal system reducing emissions at least 95 %	No requirement
			Type of liquid, period of storage and maximum vapor pressure
Secondary lead smelters			
Reverberatory and blast furnaces	Particulate Opacity	0.050 g/dscm 20 %	No requirement No requirement
Pot furnaces >250 kg/capac.	Opacity	10 %	No requirement
Secondary brass, bronze and ingot production plants			
Reverberatory furnaces	Particulate Opacity	0.050 g/dscm 20 %	No requirement No requirement
Blast and electric furnaces	Opacity	10 %	No requirement

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Iron and steel plants			
Basic oxygen process furnace	Particulate Opacity	0.050 g/dscm 10 % (20 % exception/cycle)	No requirement No requirement Type and duration of each cycle; exhaust gas scrubber pressure loss; water diversion; supply pressure
Sewage treatment plants			
Sludge incinerators >10 % from municipal sewage treatment or > 1 kg/day municipal sewage sludge	Particulate Opacity	0.590 Kg/ton 20 %	No requirement No requirement Mass or volume of sludge; mass of any municipal solid waste
Primary copper smelters			
Dryer	Particulate Opacity	0.050 g/dscm 20 %	No requirement Continuous
Roaster, smelting furnace copper converter	SO ₂ Opacity	0.065 % 20 %	Continuous No requirement
Reverberatory furnace that process high-impurity feed materials are exempt from SO ₂ standard			Monthly record of charge and weight percent of arsenic, antimony, lead, and zinc
Primary zinc smelters			
Sintering machine	Particulate Opacity	0.050 g/dscm 20 %	No requirement Continuous
Roaster	SO ₂ Opacity	0.065 % 20 %	Continuous No requirement

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Primary lead smelters			
Blast or reverberatory furnace, sintering machine discharge end	Particulate Opacity	0.050 g/dscm 20 %	No requirement Continuous
Sintering machine, electric smelting furnace, converter	SO ₂ Opacity	0.065 % 20 %	Continuous No requirement
Primary aluminum reduction plants			
Potroom group	Opacity Total fluorides : - Soderberg - Prebake	10 % 0.91-1.18 kg/ton 0.86-1.13 kg/ton	No requirement No requirement No requirement
Anode bake plants	Total fluorides Opacity	0.045 kg/ton 20 %	No requirement No requirement
Phosphate fertilizer industry			
Wet process phosphoric acid	Total fluorides	0.0091 kg/ton	No requirement
Superphosphoric acid	Total fluorides	0.0045 kg/ton	No requirement
Diammonium phosphate	Total fluorides	0.0272 kg/ton	No requirement
Triple superphosphate	Total fluorides	0.0091 kg/ton	No requirement
Granular triple superphosphate	Total fluorides	0.0230 mg/h/ton	No requirement
Mass flow rate, daily equivalent P ₂ O ₅ feed, total pressure drop across scrubbing system			

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Coal preparation plants			
Thermal dryer	Particulate	0.070 g/dscm	Temperature, scrubber pressure loss, water pressure No requirement
	Opacity	20 %	
Pneumatic coal cleaning equipment	Particulate Opacity	0.040 g/dscm 10 %	No requirement No requirement
Processing and conveying equipment, storage syst., transfer and loading syst.	Opacity	20 %	No requirement
Ferroalloy production facilities			
Electric submerged arc furnaces	Particulates	!0.450 kg/MW-h "high silicon alloys" !0.230 kg/MW-h chrome and manganese alloys !No visible emissions may escape furnace capture sys. !No visible emissions may escape tapping system for > 40 % of each tapping period 15 % 20 % volume basis	No requirement Flow rate monitoring in hood Flow rate monitoring in hood Continuous No requirement No requirement
Dust handling equipment	Opacity CO Opacity	 10 %	 No requirement
Steel plants			
Electric arc furnaces	Particulate Opacity : - control device - shop roof	0.012 g/dscm 3 % 0 % except < 20 % - charging < 40 % - tapping	No requirement Continuous Flow rate monitoring in capture hood, Pressure monitoring in DSE system No requirement
Dust handling equipment	Opacity	10 %	No requirement

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Kraft pulp mills			
Recovery furnace	Particulate	0.100 g/dscm corrected to 8 % of oxygen	No requirement
	Opacity	35 %	Continuous
	TRS - straight recovery	5 ppm by volume corrected to 8 % of oxygen	Continuous
	- cross recovery	25 ppm by volume corrected to 8 % of oxygen	Continuous
Smelt dissolving tank	Particulate TRS	0.100 g/kg 0.0084 g/kg	No requirement No requirement
Lime kiln	Particulate - gaseous (fuel)	0.150 g/dscm corrected to 10 % of oxygen	No requirement
	- liquid	0.300 g/dscm corrected to 10 % of oxygen	No requirement
Digester, brown stack washer, evaporator, oxidation, or stripper systems	TRS	8 ppm by volume corrected to 10 % of oxygen	No requirement
	TRS	5 ppm by volume corrected to 10 % of oxygen (b)	No requirement
Grain elevators			
Column and rack dryers	Opacity	0 %	No requirement
Process equipment other than dryers	Particulate Opacity	0.023 g/dscm 0 %	No requirement No requirement
Fugitive emissions: Truck unloading; railcar loading or unloading	Opacity	5 %	No requirement
Grain handling	Opacity	0 %	No requirement
Truck handling	Opacity	10 %	No requirement
Barge, ship loading	Opacity	20 %	No requirement
Effluent gas incineration temperature; scrubber liquid supply pressure and gas stream pressure loss			

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Glass manufacturing plants			
Glass melting furnace firing gaseous fuel (d) producing > 4550 kg glass/day	Particulate		No requirement
- container glass		0.100 g/kg glass	
- pressed & blown glass borosilicate		0.500 g/kg glass	
- soda-lime & lead		0.100 g/kg glass	
- other		0.250 g/kg glass	
- wool fiberglas		0.250 g/kg glass	
- flat glass		0.225 g/kg glass	
Glass melting furnace firing liquid fuel (d) producing > 4550 kg glass/day	Particulate		No requirement
- container glass		0.130 g/kg glass	
- pressed & blown glass borosilicate		0.650 g/kg glass	
- soda-lime & lead		0.130 g/kg glass	
- other		0.325 g/kg glass	
- wool fiberglas		0.325 g/kg glass	
- flat glass		0.225 g/kg glass	
Surface coating of metal furniture			
Each metal furniture surface coating, operation which applies organic coatings	VOC	0.700 kg/l of applied coating solids	Temp. monitoring in the firebox of any thermal incinerator Temp. monit. before and after the bed of any catalytic incin. The total VOC-solvent recovered daily in any solvent recovery system
Lime manufacturing plants			
Rotary lime kiln	Particulate Opacity	0.150 kg/ton 10 %	No requirement Continuous except when using wet scrubber
Lime hidrator	Particulate	0.075 kg/ton	No requirement Mass of feed to rotary lime kiln and hydrator

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Stationary gas turbines			
Gas turbines > 10.7 GJ/h	SO ₂	0.015 % (150 ppm) at 15 % oxygen on dry basis or fuel with < 0.8 % sulfur	Sulfur and nitrogen content of fuel
Gas turbines > 10.7 GJ/h and < 107.2 GJ/h	NO _x (effective 10/03/82)	0.015 % (150 ppm) at 15 % oxygen on dry basis referenced to ISO standard day conditions (e)	
Gas turbines > 107.2 GJ/h	NO _x	0.0075 % (75 ppm) at 15 % oxygen on dry basis referenced to ISO standard day conditions (e)	
Gas turbines > 107.2 GJ/h used in oil/gas production or transportation not in MSA(e)	NO _x	0.015 % (150 ppm) at 15 % oxygen on dry basis referenced to ISO standard day conditions (e)	
Emergency, military (other than garrison), military training, firefighting, and R & D turbines exempt from NO _x standards (e)			Continuous fuel consumption and water/fuel ratio if using NO _x control by water injection
Lead-acid battery manufacturing plants			
Facilities producing or with design capacity > 6.5 ton/day lead in batteries using:			
.grid casting	Lead	0.400 mg/dscm exhaust	No requirement
.lead oxide manufacturing	Lead	0.005 g/kg lead free	No requirement
.lead reclamation	Lead Opacity	4.500 mg/dscm exhaust 5 %	No requirement No requirement
.paste mixing, three-process operations, and any other lead-emitting operations	Lead	1.000 mg/dscm exhaust	No requirement
.all other affected facilities	Opacity	0 %	No requirement

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Automobile and light-duty truck surface coating operations			
Each prime coat operation	VOC	0.16 kg/liter of applied coating solids/per each prime coat operation	No requirement(f)
Each guide coat operation	VOC	1.40 kg/liter of applied coating solids/per each guide coat operation	No requirement(f)
Each top coat operation	VOC	1.47 kg/liter of applied coating solids/per each top coat operation	No requirement(f)
Exempt: plastic components and all-plastic bodies coated on separate lines			
Phosphate rock plants			
Facilities with production capabilities > 4 ton/h			
Dryer	Particulate	0.030 kg/ton feed	No requirement
Calciner Unbenefic./blend beneficiated	Particulate Particulate	0.120 kg/ton feed 0.055 kg/ton feed	No requirement No requirement
Dryer and calciner	Opacity	10 %	Continuous, except when using wet scrubber
Grinder	Particulate Opacity	0.006 kg/ton feed 0 %	No requirement Continuous, except when using wet scrubber
Ground rock handling and storage	Opacity	0 %	No requirement
Exempt: production or preparation for elemental phosphorus production			
Wet scrubber: pressure loss and liquid supply pressure Feed rate to dryer, calciner and grinder			

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Ammonium sulfate manufacture			
Ammonium sulfate dryer in caprolactam by-product, synthetic and coke oven by-product sectors	Particulate Opacity	0.150 kg/ton 15 %	No requirement No requirement Mass flow rate or weigh scales for production rate; total pressure drop across control system
Asphalt processing and asphalt roofing manufacture			
Saturator	Particulate	!0.004 kg/ton of asphalt shingle or mineral surfaced roll roofing !0.040 kg/ton of saturate felt or smooth-surface roll roofing 20 % from control device No visible emissions 80 % of the time from saturator capture systems	Temperature at inlet to HVAF or ESP Temperature in combustion zone of any afterburner
Blowing still	Particulate	!0.670 kg/ton of asphalt charged with a catalyst present !0.710 kg/ton of asphalt charged with a catalyst present when No. 6 oil is fired in afterburner !0.600 kg/ton of asphalt charge without a catalyst during blowing !0.640 kg/ton of asphalt charge without a catalyst during blowing when No. 6 oil is fired in afterburner 0 % 1 %	Temperature at inlet to HVAF or ESP Temperature in combustion zone of any afterburner
Asphalt storage tank, mineral handling, and storage facility	Opacity	1 %	

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	MONITORING REQUIREMENT
Graphic arts industry: publication rotogravure printing			
Each publication rotogravure printing press	VOC	No more than 16 % of the total mass of VOC solvent and water used during one performance averaging period	
Industrial surface coating- large appliances			
Each surface coating operation in a large appliance surface coating line	VOC	0.900 kg/l of applied coating solids	Temp. monitoring in the firebox or any thermal incinerator Temp. monitor. before and after the bed of any catal. inciner.
Metal coil surface coating			
Each prime coat operation, each finish coat operation, and each prime and finish coat operation combined when the coatings are applied wet on wet and cured simultaneously	VOC	!0.280 kg/l of coating solids if no control device is used !0.140 kg/l of coating solids or 90 % control if a control device is used	Temp. monitoring of effluent: gases when thermal incineration is used

TABELA 5.7.- Continuação

SOURCE CATEGORY AFFECTED FACILITY	POLLUTANT	EMISSION LEVEL	POT. COMB. CONCENTRAT.	R.P. %	MONITORING REQUIREMENT
Eletric utility steam generating units for which construction is commenced after September 18, 1976					
Boilers > 73 MW firing solid and solid derived fuel	Particulate Opacity SO ₂	0.013 g/MJ 20 % ; 27 % 6min/h	3.00 g/MJ	99	No requirement Continuous
		10.520 g/MJ	See 60.48a(b)	90	Continuous
		10.260 g/MJ	See 60.48a(b)	70	Continuous
		0.520 g/MJ	See 60.48a(b)	85	Continuous
	SO ₂ -solvent refined coal				
	SO ₂ -100 % anthracite; non-continental	0.520 g/MJ	See 60.48a(b)	Exempt	Continuous
	NOx-coal derived fuels; subbitu- minous; shale oil	0.210 g/MJ	0.990 g/MJ	65	Continuous
	NOx-> 25 % lignite mined in ND, SD, MT, com- busted in slag tap furnace	0.340 g/MJ	0.990 g/MJ	65	Continuous
	NOx-lignite; bituminous anthra- cite; others fuels	0.260 g/MJ	0.990 g/MJ	65	Continuous
Boilers > 73 MW firing liquid fuel	Particulate Opacity SO ₂	0.013 g/MJ 20 % ; 27 % 6min/h	0.075 g/MJ	70	No requirement Continuous
		10.340 g/MJ	See 60.48a(b)	90	Continuous
		10.086 g/MJ	See 60.48a(b)	0	Continuous
		0.340 g/MJ	See 60.48a(b)	Exempt	Continuous
	SO ₂ (non-continental)				
	NOx-	0.130 g/MJ	0.310 g/MJ	30	Continuous
Boilers > 73 MW firing gaseous fuel	Particulate Opacity SO ₂	0.013 g/MJ 20 % ; 27 % 6min/h			No requirement No requirement
		10.340 g/MJ	See 60.48a(b)	90	Continuous(c)
		10.086 g/MJ	See 60.48a(b)	0	Continuous(c)
		0.340 g/MJ	See 60.48a(b)	Exempt	Continuous(c)
	SO ₂ (non-continental)				
	NOx-	0.086 g/MJ	0.290 g/MJ	25	Continuous

ref.2

Observation	R.P.	- reduction of potential combustion concentration (%)	(a) - exceptions, see subpart 60.42(b)
	dscm	- dry standard cubic meters (american standards)	
	(a)	- exceptions, see subpart 60.42(b)	
	(b)	- exceptions, see standards	
	(c)	- except when using only natural gas	
	(d)	- proportionate increments allowed for simultaneous and liquid firing	
	(e)	- adjustments allowed for thermal efficiency > 25 % or fuels with > 0.015 nitrogen content	
	(f)	- permanent record of incinerator temperature, if applicable	

5.3.- LEGISLAÇÃO JAPONESA

O grande desenvolvimento do controle de poluição no Japão se deu entre a segunda metade da década de 60 e a primeira metade da década de 70, devido aos grandes problemas ocasionados pelo lançamento de poluentes na atmosfera, no solo e nos oceanos. Assim, existem leis que regulamentam o uso e a disposição de poluentes tanto sólidos, líquidos como gasosos na atmosfera, no solo e nas águas. Essas leis estão presentes na "Environmental Laws and Regulations in Japan".

A legislação japonesa estabelece níveis de qualidade do ar e emissão para diversos poluentes como podemos ver nas seções subsequentes.

5.3.1.- QUALIDADE DO AR

Os padrões de qualidade do ar do Japão são estabelecidos de forma a proteger a saúde humana com relação aos poluentes principais da atmosfera. A tabela 5.8. contém os dados da qualidade do ar.

TABELA 5.8.- Padrões de qualidade do ar do Japão

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO		TEMPO DE	MÉTODO DE
	ug/m ³	ppm	AMOSTRAGEM	MEDIÇÃO
dióxido de enxofre	288 115	0.1 0.04	1 hora média diária	condutimétrico
monóxido de carbono	25200 12600	20.0 10.0	8 horas média diária	infra-vermelho não dispersivo
material particulado	200 100	- -	1 hora média diária	coleta, filtragem dispersão de luz, pesagem
oxidantes fotoquímicos	120	0.06	1 hora	químio-luminescência
dióxido de nitrogênio	80 -120		média diária	colorimétrico

ref. 11

Também existem padrões de qualidade do ar para casos críticos de presença de poluentes como os mostrados na tabela 5.9. anexa.

TABELA 5.9.- Critério para episódios agudos de poluição

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	NIVEL (ug/m3)			
		ALERTA/ATENÇÃO ug/m3	ppm	EMERGENCIA ug/m3	ppm
dióxido de enxofre	1 hora	1440	0.5	-	-
	2 horas	865	0.3	2015	0.70
	3 horas	575	0.2	1440	0.50
	média diária	432	0.15	-	-
monóxido de carbono	1 hora	37800	30.0	63000	50.0
material particulado	2 horas	2000	-	-	-
	3 horas	-	-	3000	-
oxidantes fotoquímicos	1 hora	240	0.12	800	0.40
dióxido de nitrogênio	1 hora	990	0.5	1980	1.00

ref. 12

obs.- Os padrões de qualidade do ar mencionados acima não são aplicados em áreas exclusivamente industriais, em rodovias ou outras áreas e lugares onde as pessoas geralmente não vivem. Nestas áreas os padrões são mais flexíveis.

5.3.2.- PADRÕES DE EMISSÃO

A legislação japonesa depois de muitos estudos e revisões estabeleceu os padrões de emissão como mostrados abaixo. Para tanto, ela usa uma tabela de referência que contém as fontes que estão sob controle e os limites de capacidade para que elas sejam afetadas - tabela 5.10. -.

5.3.2.1.- MATERIAL PARTICULADO (FULIGEM E PÓ)

Os padrões de emissão estão na tabela 5.11. que se referem à tabela 5.10..

5.3.2.2.- DIÓXIDO DE ENXOFRE

Com relação ao dióxido de enxofre não há um valor fixo padrão para cada uma das instalações afetadas, mas sim, um padrão de emissão que é calculado conforme está mostrado abaixo:

$$(5.2) \quad q = K * (10^{-3}) * He^{-2}$$

Nesta fórmula, q, K e He representam os seguintes valores, respectivamente:

q = quantidade de óxidos de enxofre (m³/h) convertido para valores a temperatura de 0 o.C e pressão de uma atmosfera

k = coeficiente aplicável segundo o seguinte padrão básico:

. líquidos K ~ 10⁻⁵ cm²/s (difusão líquida)

. gases K ~ 10⁻¹ cm²/s (difusão gasosa)

maiores informações estão na referência 12

He = altura da chaminé de saída ajustada segundo a expressão:

$$(5.3) \quad He = Ho + 0.65 (Hm + Hz)$$

com:

$$(5.4) \quad Hm = 0.795 * \frac{(Q * V)^{1/2}}{1 + (2.58/V)}$$

$$(5.5) \quad Ht = 2.01 * 10^{-3} * Q * (T - 288) * (2.30 * \log(J + 1/J - 1))$$

$$(5.6) \quad J = \frac{1}{(Q * V)^{1/2}} * (1460 - 296 * \frac{T}{T - 288}) + 1$$

onde:

- . He = altura efetiva da chaminé (m)
- . Ho = altura física da chaminé (m)
- . Q = vazão de gás a 15 o.C (m³/s)
- . V = velocidade de saída dos gases de exaustão (m/s)
- . T = temperatura do gás de exaustão na chaminé (K)

5.3.2.3.- EMISSÕES DE POLUENTES PERIGOSOS

Essas emissões estão presentes na tabela 5.12. que referenciam-se à tabela 5.10..

5.3.2.4.- ÓXIDOS DE NITROGENIO

Emissões presentes na tabela 5.13. que também se referenciam à tabela 5.10..

TABELA 5.10.- Padrões de emissão - tabela referência

ITEM	INSTALAÇÃO	INSTALAÇÕES AFETADAS
1	Caldeiras inclusive as tipo alto forno; excluídas as que usam eletricidade ou somente calor residual	área de troca de calor > 10 m ²
2	Geradores de gás e estufas que geram gás de água e gás de óleo	A > 20 ton/dia (carvão) B > 50 l/hora
3	Fornos de torrefação, sinterização e calcinação usados para refino de metais ou manufatura de produtos químicos inorgânicos	A > 1 ton/hora
4	Alto-forno (inclusive forno tipo reverberatório para metal fundido), forno conversor e tipo Siemens-Martin (exceto instalações do item 14)	A > 1 ton/hora
5	Fornos de fusão para refinamento e fundição de metais (fornos tipo Koshiki e instalações dos itens 14, 24 a 26 estão excluídos)	B > 50 l/ hora C > 200 kVA D > 1 m ² E > 0.5 m ²
6	Fornos de aquecimento para forjamento ou laminação, ou para tratamento de calor em metais e produtos metálicos	B > 50 l/hora C > 200 kVA D > 1 m ² E > 0.5 m ²
7	Fornos de aquecimento para produtos manufaturados de petróleo, produtos petroquímicos ou produto de alcatrão	B > 50 l/hora C > 200 kVA D > 1 m ² E > 0.5 m ²
8	Torres de regeneração catalítica de craqueamento em leito fluidizado para resfriamento de petróleo	taxa de combustão de carbono no catalizador > 200 Kg/hora
9	Torres de regeneração catalítica com cobertura anexa para instalações de tratamento de gás de petróleo	B > 6 l/hora
10	Fornos de reação para produtos químicos inorgânicos (inclusive equipamentos de combustão para produção de negro de fumo) e fornos de queima direta (exceto instalações do item 26)	B > 50 l/hora C > 200 kVA D > 1 m ²

TABELA 5.10.- (continuação)

ITEM	INSTALAÇÃO	INSTALAÇÕES AFETADAS
11	Fornos de secagem (exceto instalações do item 26)	B > 50 l/hora C > 200 kVA D > 1 m ²
12	Fornos elétricos para confecção de ferro gusa ou aço, ou manufatura de ligas de ferro ou a carboneto	C > 1000 kVA
13	Incineradores de resíduos	D > 2 m ² taxa incineração > 200 Kg/hora
14	Fornos de torrefação, sinterização e fusão (incluindo fornos de reação para fundidos), conversores, fornos Siemens-Martin e de secagem para o refino de Cu, Zn e Pb.	A > 0.5 ton/hora B > 20 l/hora D > 0.5 m ² E > 0.2 m ²
15	Instalações de secagem para manufatura de pigmentos de cádmio ou carbonato de cádmio	capacidade de secagem > 0.1 m ³
16	Instalações de resfriamento rápido de cloro para a manufatura de etileno clorado	A > 50 Kg/hora (base cloro)
17	Fornos de fusão para a manufatura de clorato de ferro	A > 50 Kg/hora (base cloro)
18	Fornos de reação para a manufatura de carvão vegetal ativado	B > 3 l/hora
19	Instalações de reação de cloro, ácido clorídrico e absorção de ácido clorídrico para a manufatura de produtos químicos (exceto as que não usam gás Cl ₂ ou HCl, as do tipo fechado e as listadas nos três últimos itens)	A > 50 Kg/ hora (base cloro)
20	Fornos eletrolíticos para a fusão de alumínio	capacidade de corrente > 30 kVA

(continua)

TABELA 5.10.- (continuação)

ITEM	INSTALAÇÃO	INSTALAÇÕES AFETADAS
21	Instalações de reação, concentração, cozimento e fusão para a manufatura de fósforo, ácido fosfórico e adubo de ácido fosfórico	A > 80 Kg/hora (base fosfato) B > 50 l/hora C > 200 kVA
22	Instalações de condensação, absorção e destilação para a manufatura de fluor (exceto as instalações compactas)	área de queima > 10 m ² potência da bomba > 1 kW
23	Instalações de reação, secagem e cozimento usadas na manufatura de fosfato tripoli de sódio	A > 80 Kg/hora (base fosfato) B > 50 l/hora D > 1m ²
24	Fornos de fusão para fusão secundária de Pb (incluindo a manufatura de ligas de chumbo) ou manufatura de tubulações, folhas ou cabos de Pb	B > 10 l/hora C > 40 kVA
25	Fornos de fusão usados na manufatura de baterias de chumbo	B > 4 l/hora C > 20 kVA
26	Fornos de fusão, reverberatórios, de reação e instalações de secagem usadas na manufatura de pigmentos de chumbo	capacidade > 1m ³ B > 4 l/hora C > 20 kVA
27	Instalações de absorção, condensação e branqueamento para a manufatura de ácido nítrico	capacidade de produção > 100 Kg/hora
28	Fornos de coque	A > 20 ton/dia

ref. 12

- obs. quanto a capacidade das instalações afetadas temos
- . A = consumo de matéria prima
 - . B = geração de energia equivalente ao consumo de óleo pesado
 - . C = capacidade do transformador
 - . D = área da grelha
 - . E = área da seção transversal

TABELA 5.11.- Padrões de emissão de material particulado

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GÁS		CONCENTRAC.		On
		EXAUSTÃO		PRIM	SEC	
		(*1000 Nm ³ /H)		(g/m ³)		
1	Caldeiras (item 1 - tab.1) que queimam exclusivamente gás (exceto as do item 5)	40	-	0.10	0.05	5
		40	-	0.05	0.03	
2	Caldeiras (item 1 - tab.1) que queimam exclusivamente óleo pesado ou outro comb. líquido (exceto licor negro) ou que queimam mistura gás-líquido (exceto as do item 5)	10	- 40	0.25	0.15	4
		40	- 200	0.15	0.05	
		200	-	0.05	0.04	
3	Caldeiras (item 1 - tab.1) que queimam exclusivamente licor negro ou mistura deste com gás ou líquido comb. (exceto as do item 5)	-	40	0.30	0.15	-
		40	- 200	0.25	0.15	
		200	-	0.15	0.10	
4	Caldeiras (item 1 - tab.1) que queimam exclusivamente carvão (exceto as do item 5)	-	40	0.30	0.15	6
		40	- 200	0.20	0.10	
		200	-	0.10	0.05	
5	Caldeiras (item 1 - tab.1) que são auxiliares para torres de regeneração catalítica (item 8.2 - tab.1)	---		0.20	0.15	4
6	Caldeiras (item 1 - tab.1) que não foram mencionadas acima	40	- 40	0.30	0.20	6
		40	-	0.30	0.15	
7	Fornos regenerativos a gás (item 2 - tab.1)	---		0.05	0.03	7
8	Fornos de aquecimento (item 2 - tab.1)	---		0.10	0.03	7
9	Fornos de ustulação (item 3 - tab.1)	-	40	0.15	0.10	-
		40	-	0.10	0.05	
10	Fornos de sinterização usados na produção de FeMg (item 3 - tab.1)	---		0.20	0.10	-
11	Fornos de sinterização diferentes dos do item 10 (item 3 - tab.1)	---		0.15	0.10	-

(continua)

TABELA 5.11.- continuação

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GAS		CONCENTRAC.		On
		EXAUSTÃO		PRIM	SEC	
		(*1000 Nm ³ /H)		(g/m ³)		
12	Fornos de calcinação (item 3 - tab.1)	40	- 40	0.25	0.15	-
			-	0.20	0.10	
13	Alto-fornos de coluna (item 4 - tab.1)	---		0.05	0.03	-
14	Alto-fornos (item 4 - tab.1) não se enquadram no item 13	---		0.15	0.08	-
15	Conversores de aço (item 4 - tab.1)	---		0.10	0.08	-
16	Fornos Siemens-Martin (item 4 - tab.1)	40	- 40	0.20	0.10	-
			-	0.10	0.05	
17	Fornos de fusão (item 5 - tab.1)	40	- 40	0.20	0.10	-
			-	0.10	0.05	
18	Fornos de aquecimento (item 6 - tab.1)	40	- 40	0.20	0.10	11
			-	0.10	0.05	
19	Fornos de aquecimento de petróleo (item 6 - tab.1)	40	- 40	0.20	0.10	6
			-	0.10	0.05	
20	Torres de regeneração catalítica (item 8 - tab.1)	---		0.20	0.15	6
21	Fornos de combustão (recuperação de enxofre) (item 8.2 - tab.1)	---		0.10	0.05	8
22	Fornos de calcinação subterrâneos (item 9 - tab.1)	---		0.40	0.20	15
23	Fornos de calcinação não mencionados no item 22	---		0.30	0.15	15
24	Fornos de calcinação usados na fabricação de cimento (item 9 - tab.1)	---		0.10	0.05	10
25	Fornos de calcinação usados na fabricação de refratários e devirados (ex. tijolos)	40	- 40	0.20	0.10	18
			-	0.10	0.10	

(continua)

TABELA 5.11.- continuação

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GÁS		CONCENTRAC.		On
		EXAUSTÃO		PRIM	SEC	
		(*1000 Nm ³ /H)		(g/m ³)		
26	Fornos de calcinação não mencionados nos itens 22 a 26 (item 9 - tab.1)	40	- 40	0.25 0.15	0.15 0.08	-
27	Fornos de fusão usados para produção de placas e fibras de vidro (item 9 - tab.1)	40	- 40	0.15 0.10	0.08 0.05	-
28	Fornos de fusão usados para fabricação de lentes ópticas e elétricas (item 9 - tab.1)	40	- 40	0.15 0.10	0.08 0.05	16
29	Fornos de fusão não mencionados nos itens 27 e 28 (item 9 - tab.1)	40	- 40	0.20 0.10	0.10 0.05	15
30	Fornos de reação e queima direta (item 10 - tab.1)	40	- 40	0.20 0.15	0.10 0.08	6
31	Fornos de secagem tipo agregado (item 11 - tab.1)	---		0.50	0.20	16
32	Fornos de secagem não mencionados acima (item 11 - tab.1)	40	- 40	0.20 0.15	0.10 0.08	16
33	Fornos elétricos usados para produção de aços ligas com mais de 40 % de silício (item 12 - tab.1)	---		0.20	0.10	-
34	Fornos elétricos usados para produção de aços ligas diferentes do item 33 e também para a produção de carbonatos (item 12 - tab.1)	---		0.15	0.08	-
35	Fornos elétricos não mencionados nos itens 33 e 34 (item 12 - tab.1)	---		0.10	0.05	-
36	Incineradores de resíduos que operam continuamente (item 13 - tab.1)	40	- 40	0.50 0.15	0.15 0.08	12

(continua)

TABELA 5.11.- continuação

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GAS		CONCENTRAC.		On
		EXAUSTÃO		PRIM	SEC	
		(*1000 Nm ³ /H)		(g/m ³)		
37	Incineradores de residuos (item 13 - tab.1) diferentes dos do item 36	---		0.50	0.25	12
38	Fornos de torrefação (item 14 - tab.1)	40	- 40	0.15	0.08	-
			-	0.10	0.05	
39	Fornos de sinterização (item 14 - tab.1)	---		0.15	0.10	-
40	Alto-forno (item 14 - tab.1)	---		0.15	0.08	-
41	Conversores (item 14 - tab.1)	---		0.15	0.08	-
42	Fornos de fusão (item 14 - tab.1)	40	- 40	0.20	0.10	-
			-	0.10	0.05	
43	Fornos de secagem (item 14 - tab.1)	40	- 40	0.20	0.10	16
			-	0.15	0.08	
44	Fornos de reação (item 18 - tab.1)	---		0.30	0.15	6
45	Fornos eletroliticos (item 20 - tab.1)	---		0.05	0.03	-
46	Fornos de cozimento (item 21 - tab.1)	---		0.15	0.08	15
47	Fornos fusão (item 21 - tab.1)	---		0.20	0.10	-
48	Fornos de secagem (item 23 - tab.1)	---		0.10	0.05	16
49	Fornos de cozimento (item 23 - tab.1)	---		0.15	0.08	15
50	Fornos de fusão (item 24 - tab.1)	40	- 40	0.20	0.10	-
			-	0.10	0.05	
51	Fornos de fusão (item 25 - tab.1)	40	- 40	0.15	0.08	-
			-	0.10	0.05	

(continua)

TABELA 5.11.- continuação

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GAS		CONCENTRAC.		On
		EXAUSTÃO		PRIM	SEC	
		(*1000 Nm ³ /H)		(g/m ³)		
52	Fornos de fusão (item 26 - tab.1)	- 40	40 -	0.15	0.08	-
		40	-	0.10	0.05	
53	Fornos reverberatórios (item 26 - tab.1)	---		0.10	0.05	-
54	Fornos de reação (exceto os usados na produção de nitrato de chumbo) (item 26 - tab.1)	---		0.05	0.03	6
55	Fornos de coque (item 28 - tab.1)	---		0.15	0.10	7

Notas:

ref. 12

- 1.- A quantidade de poeira e fuligem deve ser estabelecida considerando a diluição destes na quantidade de ar (% de oxigênio presente nos gases de exaustão). Assim devemos ter:

$$C = \frac{21 - On}{21 - Os} * Cs$$

onde:

- . C = quantidade de particulados (g/cm³)
- . On = quantidade padrão de oxigênio presente no fluxo gasoso (%)
- . Os = quantidade de oxigênio realmente presente no fluxo gasoso (%)
- . Cs = quantidade de particulados medidos de acordo com a Z8808 (g/cm³)

(continua)

obs. C = Cs para:

- a) instalações que usam eletricidade como fonte de calor
- b) caldeiras do item 3
- c) fornos de torrefação (ustulação) dos itens 9 e 38
- d) fornos de sinterização dos itens 10, 11 e 39
- e) fornos de calcinação do item 12
- f) fornos de coluna do item 13
- g) alto-fornos dos itens 14 e 40
- h) conversores dos itens 15 e 41
- i) fornos Siemens-Martin do item 16
- j) fornos de fusão dos itens 17, 42, 47, 50 a 52
- k) fornos de secagem agregados do item 31
- l) fornos de secagem dos itens 43 e 48
- m) fornos reverberatórios do item 53
- n) fornos de reação do item 54 quando usados para produção de nitrato de chumbo

2.- As concentrações acima não consideram as emissões durante períodos de controle da chama, partida e remoção de cinzas (essas descargas não devem exceder a 6 min/hora)

3.- Caso a instalação possua grande flutuação da quantidade de fuligem e pó, esta deverá ser calculada como a média de um ciclo completo do processo

4.- O gás de exaustão é considerado a 0 o.C e uma atmosfera

TABELA 5.12.- Padrões de emissão - poluentes perigosos

ITEM	POLUENTE	INSTALAÇÃO AFETADA	CONCENT. (ug/m3)
1	cádmio e seus derivados	- instalações (item 9 - tab.1) usadas na produção de vidro e produtos deste (as que usam sulfato ou carbonato de cádmio como matéria prima) e as instalações (itens 14 e 15 - tab.1)	1.0
2	cloro	- instalações (itens 16 a 19 - tab.1)	30.0
3	ácido clorídrico	- incineradores de resíduos (item 13 - tab.1)	700.0
		- instalações (itens 16 a 19 - tab.1)	80.0
4	fluor e seus derivados	- instalações (item 9 - tab.1) usadas na produção de vidro e produtos deste (as que usam fluoreto ou silico-fluoretos como matéria prima), instalações de reação (menos as usadas na produção de superfosfato ou trípoli superfosfato) e as instalações de concentração e de fusão (itens 21,22 e 23 - tab.1) (exceto as para a produção de fosfato fertilizante)	10.0
		- fornos de fusão elétrica (item 20 - tab.1)	1.0 (3.0)
		- instalações de reação (item 21 - tab.1) (somente as usadas para produção de superfosfato ou trípoli superfosfato) e os fornos de fusão (item 21 - tab.1) do tipo elétrico (produção de fosfato fertilizante)	15.0
		- fornos de aquecimento (item 21 - tab.1) e fornos de fusão (item 21 - tab.1) do tipo Siemens-Martin (para produção de fosfato fertilizante)	20.0

(continua)

TABELA 5.12.- continuação

ITEM	POLUENTE	INSTALAÇÃO AFETADA	CONCENT. (ug/m3)

5	chumbo e seus compostos	- instalações (item 9 - tab.1) para produção de vidro e seus produtos (as que usam óxido de chumbo como matéria prima)	20.0
		- fornos de torrefação, convertedores de aço, fornos de fusão e de secagem (item 14 - tab.1) e instalações (itens 24 a 26 - tab.1)	10.0
		- fornos de sinterização e alto-fornos (item 14 - tab.1)	30.0

			ref. 12

Notas:

- 1.- Para considerar o padrão de diluição de poluentes no gás de exaustão deve-se utilizar a expressão e as considerações que compõem a lei No. 1 de 22/06/1971 (revisão de 1981)
- 2.- O valor entre parênteses é a quantidade da substância na saída, no caso onde esta é diretamente arrastada de um forno elétrico de fusão e descarregada via um duto
- 3.- Caso a instalação possua grande flutuação da quantidade de particulado, esta deverá ser calculada como a média de um ciclo completo do processo

TABELA 5.13.- Padrões de emissão de óxidos de nitrogênio

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GAS EXAUSTÃO (*1000 nM3/H)	CONCENT. On (g/m3)	
1	Caldeiras (item 1 - tab.1) que queimam exclusivamente gás	- 10 10 - 40 40 - 500 500 -	150 130 100 60	5
2	Caldeiras (item 1 - tab.1) que queimam combustível sólido	- 40 40 - 700 700 -	300 250 200	6
3	Caldeiras (item 1 - tab.1) diferentes dos itens 1 e 2	- 10 10 - 500 500 -	180 150 130	4
4	Instalações (item 2 - tab.1)	---	150	7
5	Fornos de ustulação (item 3 - tab.1)	---	220	14
6	Fornos de sinterização (item 3 - tab.1)	---	220	15
7	Fornos de calcinação (item 3 - tab.1)	---	200	10
8	Alto-fornos (item 4 - tab.1)	---	100	15
9	Fornos de fusão (item 5 - tab.1)	---	180	12
10	Fornos de aquecimento (item 6 - tab.1) do tipo tubo radiante com volume de descarga entre 10000 e 100000 m3	---	150	11
11	Fornos de aquecimento (item 6 - tab.1) para caldeamento de tubulações com volume de descarga entre 10000 e 100000 m3	---	180	11
12	Fornos de aquecimento (item 6 - tab.1) diferentes dos itens 11 e 12	- 5 5 - 10 10 - 100 100 -	180 150 130 100	11

(continua)

TABELA 5.13.- continuação

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GÁS EXAUSTÃO (*1000 nM3/H)	CONCENT. (g/m3)	On
13	Fornos de aquecimento (item 7 - tab.1)	- 5 5 - 10 10 - 100 100 -	180 150 130 100	6
14	Torres de regeneração catalítica (item 8 - tab.1)	---	250	6
15	Fornos de combustão (item 8.2 - tab.1)	---	250	8
16	Fornos de calcinação (item 9 - tab.1) rotativos que queimam gás	---	250	15
17	Fornos de calcinação usados na fabricação de cimento (item 9 - tab.1)	- 100 100 -	350 250	10
18	Fornos de calcinação usados na fabricação de refratários e devirados (ex. tijolos) (item 9 - tab.1)	---	400	18
19	Fornos de fusão usados para produção de placas e fibras de vidro (item 9 - tab.1)	---	360	15
20	Fornos de fusão usados para fabricação de lentes ópticas e elétricas (item 9 - tab.1)	---	800	16
21	Fornos de fusão (item 9 - tab.1) não mencionados nos itens 19 e 20, usados na produção de vidro	---	450	15
22	Instalações (item 9 - tab.1) diferentes das dos itens 16 a 21	---	180	15
23	Instalações (item 10 - tab.1)	---	180	6
24	Fornos de secagem (item 11 - tab.1)	---	230	16

(continua)

TABELA 5.13.- continuação

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GAS EXAUSTÃO (*1000 m ³ /H)	CONCENT. (g/m ³)	On
25	Incineradores de resíduos tipo contínuo (item 13 - tab.1) (combustão tipo vórtex)	---	450	12
26	Incineradores de resíduos (item 13 - tab.1) que incineram nitratos, amonatos ou materias residuais descarregados de processos que produzem ou usam derivados de quaisquer destes, ou de processos que usam amônia para processamento de água residual (volume de descarga < 40000 m ³)	---	700	12
27	Incineradores de resíduos (item 13 - tab.1) diferentes dos dos itens 25 e 26 (volume de descarga > 40000m ³)	---	250	12
28	Fornos de torrefação (item 14 - tab.1)	---	220	14
29	Fornos de sinterização (item 14 - tab.1)	---	220	15
30	Alto-forno (item 14 - tab.1) para tratamento de escória usados na fundição de Zn (aqueles que usam carvão ou coque como combustível ou agente redutor)	---	450	15
31	Alto-forno (item 14 - tab.1) diferentes do item 30	---	100	15
32	Fornos de fusão tipo fornos de refinamento (item 14 - tab.1) para fusão de Cu (somente os que usam amônia como agente redutor)	---	330	12
33	Fornos de fusão diferentes dos do item 32 (item 14 - tab.1)	---	180	12

(continua)

TABELA 5.13.- continuação

ITEM	INSTALAÇÃO AFETADA	VOLUME GÁS EXAUSTÃO (*1000 nM3/H)	CONCENT. (g/m3)	On
34	Fornos de secagem (item 14 - tab.1)	---	180	16
35	Fornos de reação (item 18 - tab.1)	---	180	6
36	Fornos de cozimento (item 21 - tab.1)	---	180	15
37	Fornos fusão (item 21 - tab.1)	---	600	15
38	Fornos de secagem (item 23 - tab.1)	---	180	16
49	Fornos de cozimento (item 23 - tab.1)	---	180	15
40	Fornos de fusão (item 24 - tab.1)	---	180	12
41	Fornos de fusão (item 25 - tab.1)	---	180	12
42	Fornos de fusão (item 26 - tab.1)	---	180	12
43	Fornos reverberatórios (item 26 - tab.1)	---	180	15
44	Fornos de reação (item 26 - tab.1)	---	180	6
45	Instalações (item 27 - tab.1)	---	200	-
46	Fornos de coque (item 28 - tab.1)	---	170	7
				ref. 12

Nota A quantidade de particulado deve ser estabelecida considerando a sua diluição no ar (% de oxigênio presente nos gases de exaustão). Assim devemos ter:

$$C = \frac{21 - O_n}{21 - O_s} * C_s$$

onde:

- . C, O_n, O_s são parâmetros iguais aos da Nota 1.- da tabela 5.11.
- . C_s = quantidade de particulados medidos de acordo com a K0104 (g/cm³)

6.- TÉCNICAS DE CONTROLE DIRETO DA POLUIÇÃO DO AR EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR

6.1.- INTRODUÇÃO

O tratamento direto de emissões atmosféricas é realizado através de equipamentos de controle de poluição do ar. Nesses equipamentos são aplicados fenômenos físicos e/ou químicos à mistura gasosa que contém os poluentes - impurezas - de forma a separá-los do gás que os transporta. Os mecanismos a serem aplicados dependerão do tipo e natureza do poluente e do tipo de equipamento de controle utilizado.

6.2.- EFICIÊNCIA DE CONTROLE E PENETRAÇÃO

A eficiência de controle de um equipamento de controle de poluição do ar indica a quantidade de poluentes que o equipamento remove - coleta - ou tem condições de remover - coletar. Matematicamente a eficiência de controle pode ser expressa por:

$$(6.1) \quad n = \frac{X_i - X_f}{X_i} * 100$$

sendo:

- . n = eficiência de controle (%)
- . X_i = quant. de poluentes à entrada do ECP
- . X_f = quant. de poluentes à saída do ECP
- . $X_i - X_f$ = quant. de poluentes coletado pelo ECP

Em geral, X_i e X_f são expressos em massa, e dessa forma, temos a Eficiência em Massa. Quando X_i e X_f são expressos em número de partículas temos a Eficiência em Número, a qual é utilizada somente para poluentes sob a forma de partículas e indica o número destas.

Deve-se ressaltar que a eficiência dos equipamentos de controle de poluição do ar nunca alcança 100 % apesar de existirem equipamentos capazes de remover mais de 99.9 % dos poluentes. Assim, o termo ar limpo deve ser entendido com o que contém uma quantidade de poluentes dentro de níveis aceitáveis, e em relação ao poluente considerado.

Quando a eficiência é expressa por tamanho de partículas, ela recebe a denominação de Eficiência Fracionada. Exemplo de eficiência fracionada é mostrada na tabela 6.1. para vários tipos de coletores. A eficiência fracionada também pode ser expressa por uma curva, e nesse caso temos a Curva de Eficiência.

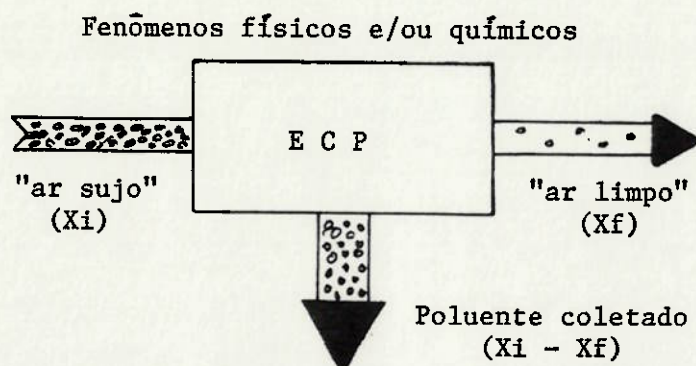


FIGURA 6.1 - Ilustração do cálculo da eficiência

TABELA 6.1 - Eficiência(*) fracionada de coletores de material particulado em função do tamanho das partículas (porcentagem)

TIPO DE EQUIPAMENTO	DIÂMETRO (um)				
	0-5	5-10	10-20	20-44	>44
câmara de sedimentação (com chicanas)	7.5	22.0	43.0	80.0	90.0
ciclone de baixa pressão	12.0	33.0	57.0	82.0	91.0
ciclone de alta pressão	40.0	79.0	92.0	95.0	97.0
multiciclone	25.0	54.0	74.0	95.0	98.0
filtro de tecido	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0
lavadores de média energia	80.0	90.0	98.0	100.0	100.0
lavadores Venturi (alta energia)	95.0	99.5	100.0	100.0	100.0
precipitadores eletrostáticos	97.0	99.0	99.5	100.0	100.0

obs. * - valores para fins comparativos. Não deverão ser utilizados para projeto ref. 7

Na prática, existem muitos casos de utilização de equipamentos de controle em série como, por exemplo, um ciclone seguido de um lavador. Neste caso define-se a Eficiência Global de Coleta.

Matematicamente a eficiência global é expressa por:

$$(6.2) \quad ng = \{1 - [(1-n_1)*(1-n_2) * * (1-n_i)]\} * 100$$

onde:

- . ng = eficiência global (%)
- . n1 = eficiência de controle do equipamento 1
- . n2 = eficiência de controle do equipamento 2
- . ni = eficiência de controle do iésimo equipamento

A Penetração é definida como a quantidade de poluentes que passa através do equipamento de controle sem ser coletada.

Matematicamente a penetração é expressa por:

$$(6.3) \quad p = 100 - n \quad (\%)$$

Exemplo de explicação: determinar a eficiência global de coleta, a penetração e a quantidade encontrada após controle para um sistema de controle de poluição do ar composto de três equipamentos em série, numa fonte de material particulado. Dados:

- quantidade inicial de material particulado presente no efluente
 $E_i = 10000 \text{ Kg/h}$
- eficiência de controle do 1o. equipamento = 40 %
- eficiência de controle do 2o. equipamento = 60 %
- eficiência de controle do 3o. equipamento = 90 %

solução :

- . eficiência

Substituindo as eficiências na fórmula (6.2) temos:

$$ng = \{1 - [(1-0.4)*(1-0.6)*(1-0.9)]\} * 100$$
$$ng = 97.6 \%$$

- . penetração

Utilizando a fórmula (6.3) temos:

$$P = 100 - 97.2 = 2.4 \%$$

- . Emissão após controle (Ef)

$$Ef = E_i * (P/100) = 10000 * (2.4/100) = 240 \text{ Kg/h}$$

6.3.- SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA

Sempre em conjunto com o equipamento de controle (coletor) existe um sistema de ventilação cuja função é captar e conduzir os poluentes para o coletor e lançar o gás tratado na atmosfera. O sistema de ventilação local exaustora é constituído de captadores para a captação de poluente, dutos para o transporte, chaminé para o seu lançamento na atmosfera e o sistema motor-ventilador que fornece a energia necessária e movimenta a massa de gás que será tratada no coletor. O gás que transporta os poluentes é chamado de gás carregador ou transportador. Este gás pode ser tanto o ar como outras misturas de gases, como, por exemplo, os gases de combustão. A figura 6.2. mostra um esquema de um sistema de ventilação local exaustora.

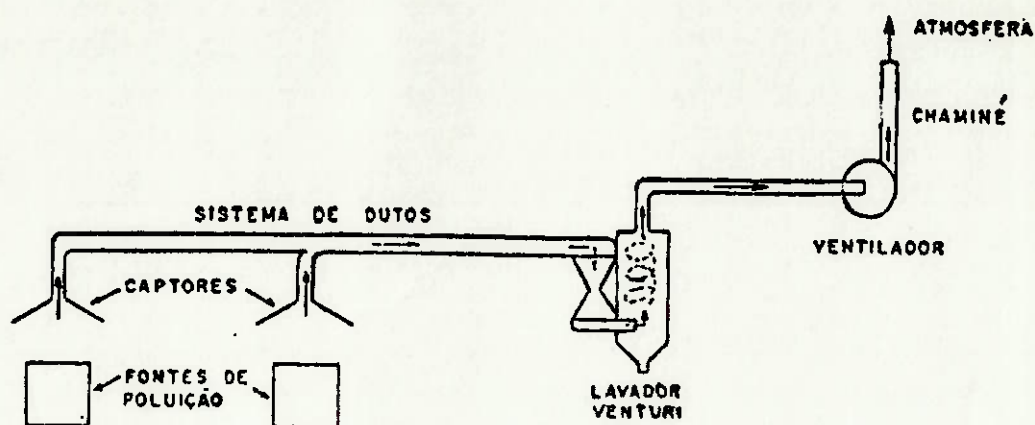


FIGURA 6.2 - Esquema de um sistema de ventilação exaustora

O sistema de ventilação exerce um papel importantíssimo na eficiência global do sistema. Essa eficiência global leva em consideração a eficiência de captação (função do sistema de ventilação) e a eficiência de coleta no equipamento de controle (função do equipamento de controle). O sistema de ventilação deve ser projetado segundo a boa técnica de engenharia de ventilação de forma a propiciar altas eficiências de captação. Para tanto podem ser consultadas as seguintes referências:

- Engenharia de Ventilação Industrial
Mesquita, A.L.S. ; Guimarães, F.A.L. ; Nefussi, N.
ref.6
- Industrial Ventilation -
American Conf. of Governmental Industrial Hygienists
- Design of Industrial Ventilation Systems
Alden, J.L. e Kane, J.M.

6.4.- CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR

Os equipamentos de controle são classificados primeiramente em função do estado físico do poluente a ser considerado. Em seguida, a classificação envolve diversos parâmetros como:

- . temperatura de saída do poluente
- . mecanismo de controle
- . uso ou não de água ou outro líquido
- . "lay-out" da instalação
- . outros

A seguinte classificação é a mais usual:

a). Equipamentos de Controle de Material Particulado

Coletores secos

- . coletores mecânicos inerciais e gravitacionais
- . coletores mecânicos centrífugos (ex. ciclones)
- . filtro de tecido (ex. filtro de manga)
- . precipitadores eletrostáticos secos
- . precipitadores dinâmicos secos

Coletores úmidos

- . lavadores com pré atomização (lavadores tipo spray)
- . lavador com atomização pelo gás (lavador venturi)
- . lavadores de leito móvel
- . lavadores com enchimento
- . precipitadores eletrostáticos úmidos
- . precipitadores dinâmicos úmidos
- . lavador ciclônico

b). Equipamentos de Controle de Gases e Vapores

- . absorvedores
- . adsorvedores
- . incineradores de gás com chama direta
- . incineradores de gás catalíticos
- . condensadores

6.5.- EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO

6.5.1.- MECANISMO DE COLETA

A coleta de partículas envolve a aplicação de um ou mais dos seguintes mecanismos:

- . sedimentação gravitacional
- . força centrífuga
- . impactação
- . intercepção
- . difusão
- . força eletrostática
- . força térmica

6.5.1.1.- SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

A eficiência de coleta de partículas através da sedimentação gravitacional é função da velocidade terminal da partícula, a qual, para a região de Stokes é expressa por:

$$(6.4) \quad U_t = \frac{d_p^2 \cdot g \cdot (R_{Op} - R_{Og}) \cdot C}{18 \cdot \mu_g}$$

onde:

- . U_t = velocidade terminal da partícula
- . d_p = diâmetro da partícula
- . g = constante gravitacional
- . R_{Op} = densidade da partícula
- . R_{Og} = densidade do gás transportador
- . μ_g = viscosidade do gás transportador
- . C = fator de correção de Cunningham (adimensional)

Pela expressão acima verifica-se que a sedimentação gravitacional é diretamente proporcional à densidade e diâmetro da partícula. O fator de Cunningham corrige o efeito de deslizamento das partículas o qual só deve ser considerado para partículas pequenas (menores que aproximadamente 1 μm) em condições de ar padrão (temperatura ambiente e pressão próximas da normal).

A sedimentação gravitacional é um mecanismo de deposição importante somente para partículas grandes (maiores que 20 μm).

6.5.1.2.- FORÇA CENTRÍFUGA

A força centrífuga age sobre partículas que estão em movimento numa trajetória circular, fazendo com que elas se afastem do centro do círculo, e no caso de ciclones, se dirijam às paredes.

A força centrífuga (F_c) é dada por:

$$(6.5) \quad F_c = m * \frac{VN(^2)}{r}$$

onde:

- . m = massa da partícula
- . VN = velocidade tangencial da partícula
- . r = raio da trajetória

Da expressão acima verifica-se que a coleta através do mecanismo da força centrífuga será tanto maior quanto maiores forem o diâmetro da partícula e sua velocidade tangencial, e quanto menor o diâmetro do coletor.

A coleta por força centrífuga é, na prática, limitada a fontes de poluição do ar que emitem quantidades razoáveis de partículas maiores que 5 ou 10 microns. Em geral, os coletores centrífugos (ciclones) são utilizados como pré-coletores.

6.5.1.3.- IMPACTAÇÃO INERCIAL

A impactação é um importante mecanismo de coleta de partículas. A impactação representa a "batida" da partícula contra um obstáculo ocasionando a dissipação de sua energia e a separação do fluxo gasoso que a transportava. A figura 6.3. abaixo mostra como ocorre o fenômeno da impactação.

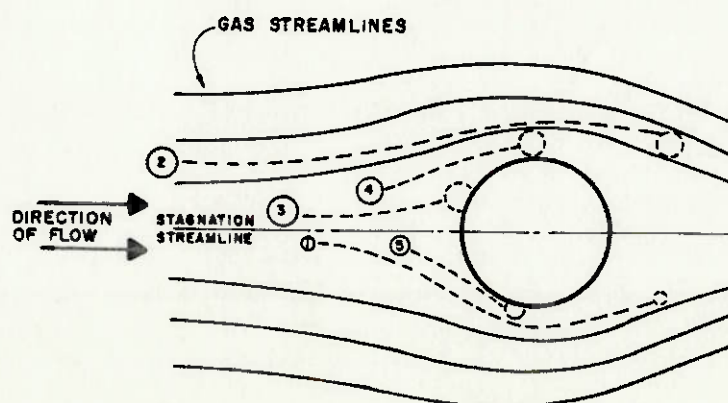


FIGURA 6.3 - Fenômeno de impactação - Intercepção de partículas

O controle de partículas por impactação é geralmente conseguido através de pequenos obstáculos secos ou úmidos. Os obstáculos úmidos em geral são as gotas do líquido de lavagem. Os obstáculos secos são de várias formas - cilíndricos, esféricos, chatos, elipsóidicos, etc.

A eficiência de coleta por impactação é função do parâmetro de impactação KI, o qual é dado pela seguinte expressão:

$$(6.6) \quad KI = \frac{d(^2) * ROp * \Delta v * C}{9 * \mu g * Dc}$$

onde:

- . KI = parâmetro de impactação
- . d = diâmetro da partícula
- . ROp = densidade da partícula
- . Δv = diferença entre a velocidade da partícula e a do obstáculo
- . C = fator de correção de Cunnigham
- . μg = viscosidade do gás
- . Dc = diâmetro do obstáculo (coletor)

A impactação inercial é um importante mecanismo de coleta, mas se restringe a partículas maiores que 1 micra de diâmetro.

6.5.1.4.- INTERCEPÇÃO

A intercepção é um mecanismo de coleta que pode ser considerado como um caso limite da impactação, pois representa o mecanismo de coleta para as partículas que, ao atingirem o coletor (obstáculo) estão a uma distância igual ao seu diâmetro ou seja, aquelas que "raspam" o coletor, conforme mostrado na figura 6.3. (partículas 4 e 5). O parâmetro de intercepção direta é dado pela expressão:

$$(6.7) \quad KR = \frac{d}{Dc}$$

sendo:

- . d = diâmetro da partícula
- . Dc = diâmetro do coletor (obstáculo)

6.5.1.5.- DIFUSÃO

O mecanismo de difusão torna-se mais importante a medida que o tamanho das partículas diminui. Esse mecanismo de coleta não apresenta importância para as partículas maiores que uma micra de diâmetro. As partículas menores, em função da sua energia térmica, estão em constante movimento, similarmente ao que ocorre com as moléculas de um gás, fenômeno este chamado de Movimento Browniano. A difusividade de uma partícula em meio estacionário é expressa por:

$$(6.8) \quad D_p = \frac{C * K * T}{3 * \pi * \eta * d}$$

sendo:

- . D_p = difusividade da partícula (cm²/s)
- . C = fator de correção de Cunningham
- . K = constante de Boltzmann (g*cm²/s*K)
- . T = temperatura absoluta (K)
- . η = viscosidade do gás (g*cm²/s)
- . d = diâmetro da partícula (cm)

6.5.1.6.- FORÇA ELETROSTÁTICA

A força eletrostática é um mecanismo de coleta predominante em precipitadores eletrostáticos. No entanto, apresenta também importância em outros tipos de equipamentos de controle de poluição, como os filtros de tecido, uma vez que as partículas podem ter, na ausência de campo elétrico, cargas elétricas positivas e negativas.

De acordo com a lei de Coulomb a força eletrostática é expressa por:

$$(6.9) \quad F_e = q * E$$

sendo:

- . F_e = força eletrostática
- . q = carga elétrica da partícula
- . E = intensidade do campo elétrico

O carregamento elétrico de partículas ocorre não só por ação do campo elétrico, o qual é importante para partículas de tamanho maior que 0.5 microns de diâmetro, mas também por difusão, o qual age mais intensamente em partículas pequenas (menores que 0.2 microns). Para as partículas com diâmetro entre 0.2 e 0.5 microns, o carregamento elétrico ocorre tanto por ação do campo elétrico como por difusão.

6.5.1.7.- FORÇA TÉRMICA (TERMOFORESE)

A termoforese é um mecanismo pelo qual partículas sujeitas a um gradiente de temperatura migram da zona mais quente para a zona mais fria.

A utilização de precipitadores térmicos tem se restringido ao campo de amostragem de material particulado onde eficiências altíssimas são obtidas para partículas pequenas.

6.5.2.- EQUIPAMENTOS DE CONTROLE PARA MATERIAL PARTICULADO TIPOS E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Na seção anterior, foram mostrados os mecanismos de coleta de partículas. Nesta seção serão apresentados os vários tipos de equipamentos de controle existentes na prática, suas características principais em termos de construção, dimensionamento e eficiência, bem como os mecanismos de controle que atuam na coleta das partículas.

É importante ressaltar que as partículas emitidas por fontes de poluição do ar se situam numa faixa de tamanho bastante ampla. No entanto, as partículas "grandes" (maiores que 10 μm) são mais fáceis de serem coletadas. Quanto menor o tamanho da partícula, maior a dificuldade de coleta. Infelizmente as partículas pequenas são as mais perigosas à saúde, pois podem ser inaladas e alcançar as partes mais profundas do sistema respiratório, aumentando a probabilidade de ocorrência de doenças.

6.5.2.1.- CÂMARA DE SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

A câmara de sedimentação gravitacional é um equipamento de controle cujo mecanismo de coleta é a força gravitacional. As figuras 6.4. e 6.5. mostram o esquema desse tipo de equipamento. Ele apresenta pouca importância em termos de poluição do ar em face de sua baixa eficiência para partículas menores que 40 μm . O seu uso mais comum é como pré-coletor retirando o particulado grosso e diminuindo a sobrecarga de equipamento de controle final. Outra desvantagem é o espaço ocupado.

Apresenta a vantagem de construção simples e baixa perda de carga, da ordem de 10 mm de coluna de água, reduzindo o custo de operação. Outra vantagem é a coleta à seco do poluente.

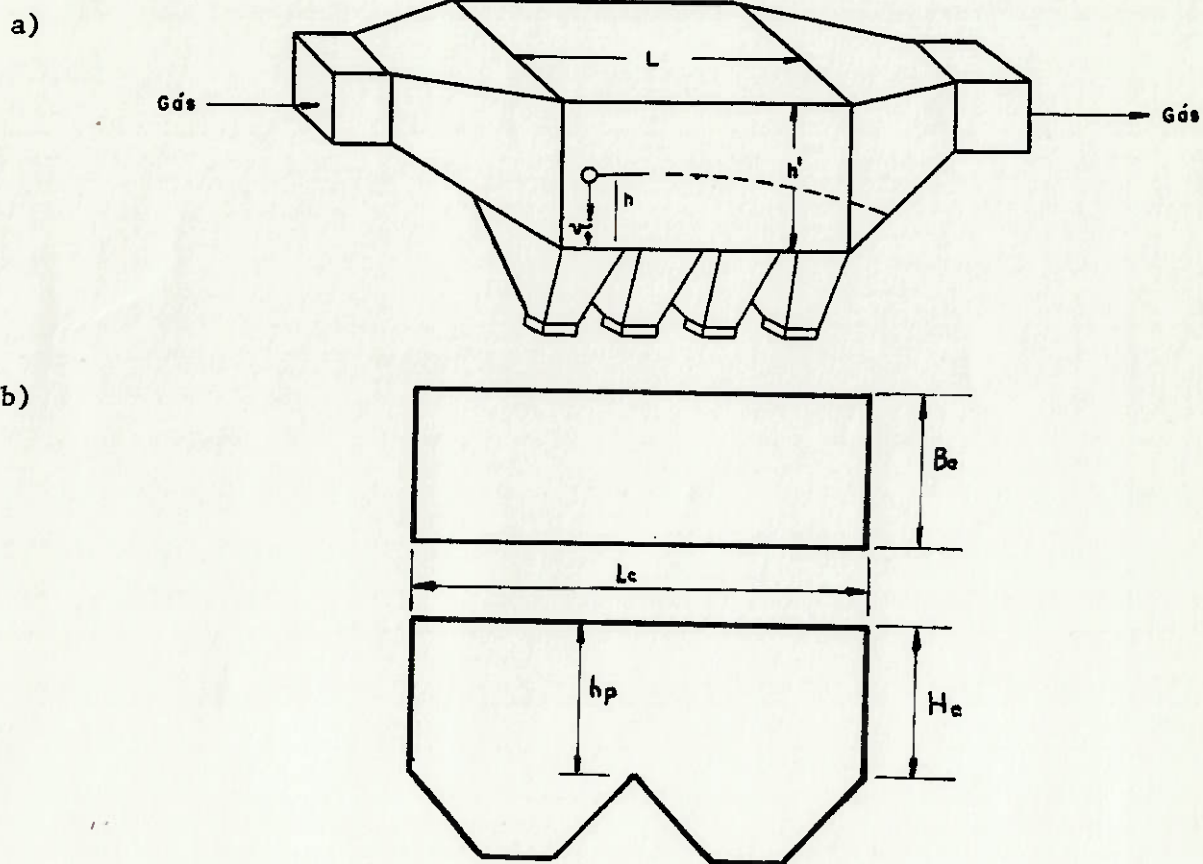


FIGURA 6.4 - Câmara de sedimentação gravitacional convencional a) esquema
b) dimensões

A eficiência de coleta de uma câmara de sedimentação gravitacional simples é dada por:

$$(6.10) \quad n = K * d^{(2)} * \frac{g * (ROp - ROg) * Lc * B}{18 * \mu g * Q}$$

sendo:

- . K = constante empírica (em geral 0.5)
- . g = constante gravitacional (m/s²)
- . ROp = densidade da partícula (Kg/m³)
- . ROg = densidade do gás (Kg/m³)
- . μg = viscosidade do gás (Pa.s)
- . Lc = comprimento da câmara (m)
- . B = largura da câmara (m)
- . Q = vazão do gás (m³/s)
- . d = diâmetro da partícula (um)

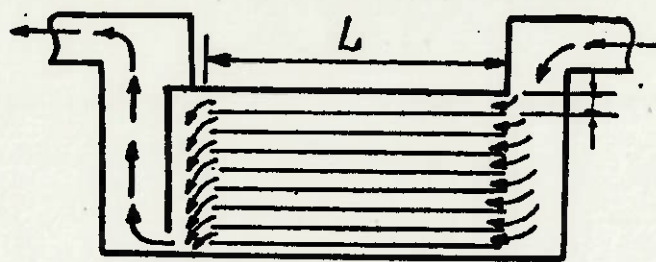


FIGURA 6.5 - Câmara de sedimentação de Heward com bandejas

A velocidade de gás na câmara em geral é limitada a no máximo 3 m/s para evitar a reentrada das partículas coletadas no fluxo gasoso.

6.5.2.2.- CICLONES

Os ciclones são coletores que utilizam primeiramente a força centrífuga para a coleta de partículas. As figuras 6.6. e 6.7. mostram respectivamente esquema e princípio de funcionamento de ciclones e multiciclones.

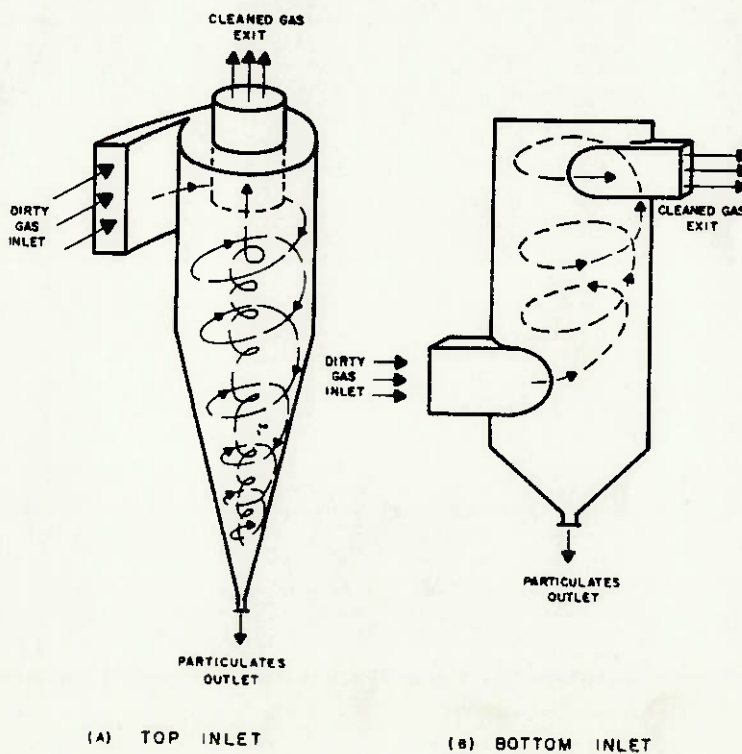


FIGURA 6.6 - Ciclone de entrada tangencial - princípio de funcionamento

Os ciclones podem ter entrada tangencial ou radial e são de grande uso em controle de poluição do ar, principalmente como pré-coletores. Devido à sua eficiência baixa para partículas pequenas, o seu uso nesses casos apresenta restrições em face da impossibilidade de atender normas de emissão mais exigentes. Em geral, são utilizados para a coleta de material particulado com diâmetro maior que 5 μm .

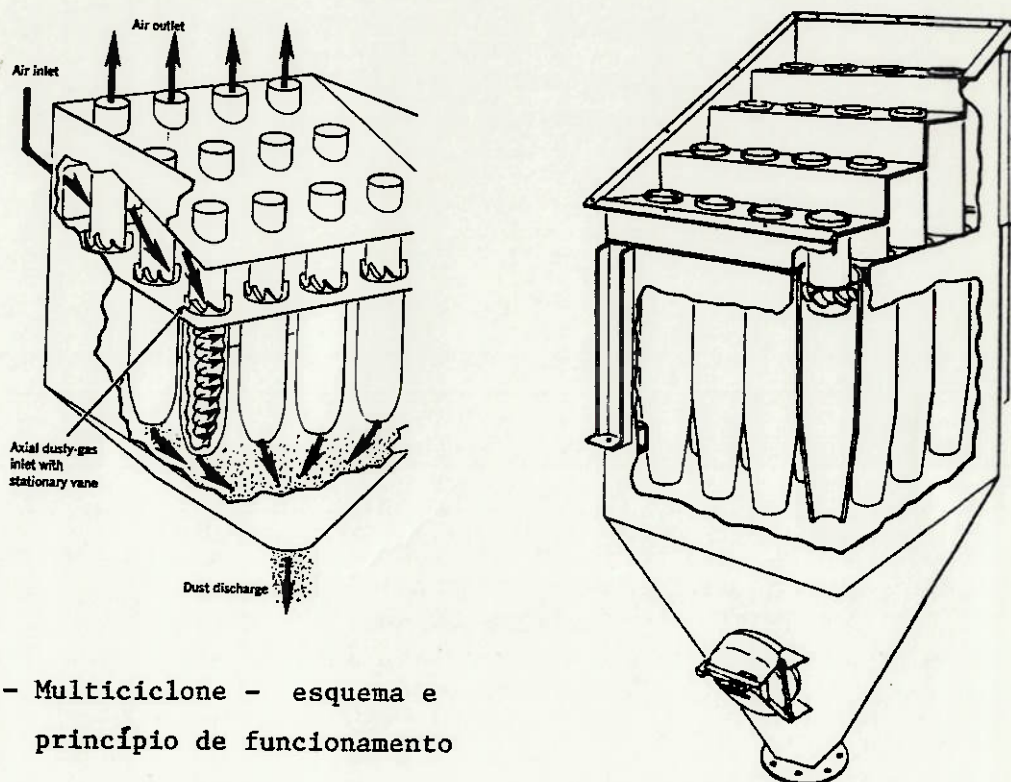


FIGURA 6.7 - Multiciclone - esquema e princípio de funcionamento

Os ciclones podem ser classificados segundo a sua eficiência e perda de carga da seguinte forma:

- .ciclones de baixa eficiência - perda de carga entre 5 e 10 cm H₂O
- .ciclones de média eficiência - perda de carga entre 10 e 20 cm H₂O
- .ciclones de alta eficiência - perda de carga entre 20 e 25 cm H₂O

A perda de carga em ciclones de entrada tangencial pode ser estimada pelo método de Shepherd-Lapple, com a modificação de Briggs para a carga de material particulado. Por esse método, a perda de carga é expressa por:

$$(6.11) \quad \Delta p = 8.19 \cdot 10^{-3} \cdot g \cdot v_i^2 \cdot \left(\frac{LiWi}{Do^2} \right) \cdot \left(\frac{1}{0.0057 \cdot Ci + 1} \right)$$

onde:

- . Δp = perda de carga (cm H₂O)
- . v_i = velocidade de entrada do gás (cm/s)
- . $LiWi$ = área de entrada (cm²)
- . Do = diâmetro de saída (cm)
- . Ci = concentração de partículas na entrada (g/m³)

$$g = 980 \text{ cm/s}^2 (?)$$

Os principais métodos existentes para o cálculo da eficiência de ciclones são o de Lapple (1951), que utiliza o diâmetro de corte (cut diameter), e o de Leith-Licht (1972). Esses métodos são válidos para ciclones de entrada tangencial. A eficiência dos ciclones também pode ser obtida por dados fornecidos pelos fabricantes. Esses dados devem ser verificados com respeito à sua fundamentação e quanto às condições nas quais eles são aplicáveis.

O método de Lapple leva, em relação ao de Leith-Licht, a vantagem de ser mais simples e de cálculo mais fácil. A eficiência de ciclones é muitas vezes caracterizada pelo seu diâmetro crítico ou pelo diâmetro de corte. O diâmetro crítico refere-se ao diâmetro da partícula que o ciclone coleta com 100 % de eficiência. Similarmente, o diâmetro de corte refere-se ao diâmetro da partícula coletado com 50 % de eficiência. O diâmetro crítico e o diâmetro de corte podem ser obtidos pelas seguintes expressões:

$$(6.12) \quad d(100) = \left[\frac{18 \cdot \mu_g \cdot Li}{2 \cdot V_i \cdot \rho_p \cdot N_t} \right]^{(1/2)}$$

$$(6.13) \quad d(50) = \left[\frac{9 \cdot \mu_g \cdot Li}{2 \cdot V_i \cdot \rho_p \cdot N_t} \right]^{(1/2)}$$

onde :

- . $d(100)$ = diâmetro crítico
- . $d(50)$ = diâmetro de corte
- . μ_g = viscosidade do gás
- . Li = altura da entrada do ciclone
- . V_i = velocidade do gás na entrada do ciclone
- . ρ_p = densidade da partícula
- . N_t = número de voltas de "vortex" (5 a 10)

O número de voltas N_t é um valor prático que em geral está na faixa de 5 a 10. Os valores maiores devem ser utilizados para ciclones de alta eficiência.

O método de Lapple de cálculo da eficiência utiliza-se da curva $d/d(50)$ versus eficiência, apresentada no gráfico 6.1..

O roteiro para a determinação da eficiência de um determinado ciclone é o seguinte:

- 1- calcular o $d(50)$ para o ciclone em questão
- 2- multiplicar o $d(50)$ pela razão $d/d(50)$ do gráfico 6.1
- 3- replotar a eficiência obtida acima, substituindo $d/d(50)$ pelo diâmetro da partícula (d)
- 4- calcular a eficiência total utilizando a distribuição de tamanho de partículas da fonte em estudo e a curva de eficiência obtida no passo 3

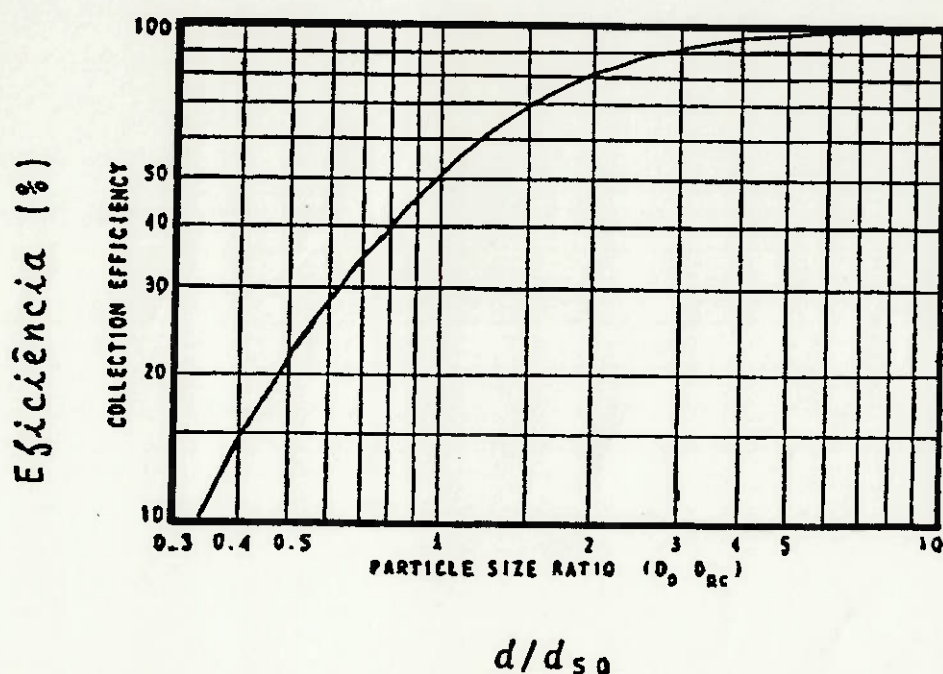


GRÁFICO 6.1 - Curva de eficiência de ciclones em função do diâmetro de corte

Recentemente, Theodore e De Paola verificaram que a curva do gráfico 6.1. pode ser expressa matematicamente por:

$$(6.14) \quad N = \frac{1}{1 + [d(50)/d]^2}$$

Um tipo de ciclone muito utilizado na prática é o multiciclone. Os multiciclones são constituídos por um agrupamento de pequenos ciclones da ordem de 25 cm de diâmetro, que trabalham em paralelo e que possuem entrada radial. Os multiciclones apresentam as seguintes vantagens em relação ao ciclones:

- . são mais eficientes
- . custam menos
- . ocupam menos espaço
- . apresentam menor perda de carga para eficiências equivalentes
- . resistem melhor à erosão

No entanto, apresentam um problema sério que é o de entupimento frequente.

Os ciclones podem ser projetados utilizando relações padronizadas entre suas dimensões conforme mostra a tabela 6.2.. Deve-se considerar velocidades de entrada entre 15 a 20 m/s em projetos.

TABELA 6.2 - Relações de dimensões de ciclones de entrada tangencial

SIMB.	NOMENCLAT.	ALTA EFICIENCIA		CONVENCIONAL	
		STAIRMAND	SWIFT	LAPPLE	SWIFT

The diagram illustrates a cyclone separator with various dimensions labeled. At the top, a cylindrical inlet has diameter D_c . Below it, a rectangular inlet has width W_i and height L_i . The main body of the cyclone has a diameter D_c and a height L_{cy} . The conical bottom has a height L_{co} . The total height of the cyclone is H_o . The diameter at the bottom is D_b . The length of the natural component is l . The configuration factor is G .

Dc	diam. corpo	1.0	1.0	1.0	1.0
Li	comp. entr.	0.5	0.44	0.5	0.5
Wi	larg. entr.	0.2	0.21	0.25	0.25
Lo	comp. said.	0.5	0.5	0.625	0.6
Do	diam. said.	0.5	0.4	0.5	0.5
Lcy	comp. cilin.	1.5	1.4	2.0	1.75
Lco	comp. cone	2.5	2.5	2.0	2.0
Ho	alt. total	4.0	3.9	4.0	3.75
Db	diam. infer.	0.375	0.4	0.25	0.4
l	comp. natur.	2.48	2.04	2.30	2.30
G	fator config.	551.3	699.2	402.9	381.8

ref. 15

obs. 1 - comprimento natural - comprimento requerido para uma configuração completa do vortex do gás.
É dado por:

$$l = 2.3 * D_o * [D_c^2 / L_i W_i]^{(1/3)}$$

G - fator de configuração - constante adimensional

6.5.2.3.- FILTROS DE TECIDO

Os filtros de tecido são os sistemas de filtragem mais comumente utilizados. Sua utilização se dá não só para controle de poluição do ar, mas também, como parte integrante do processo industrial, como é o caso do processo de produção de óxido de zinco.

O princípio de funcionamento de um filtro de tecido é bastante simples. Trata-se da passagem da mistura gasosa, que contém as partículas, através de um tecido, sendo que o gás atravessa os poros do tecido e as partículas, em sua maioria, ficam retidas na sua superfície, que de tempos em tempos têm que ser retiradas para evitar uma camada muito espessa, que dificultará a passagem do gás (aumento da perda de carga). No começo do processo de filtragem, a coleta se inicia com a colisão das partículas contra as fibras do meio filtrante e consequente aderência. A medida que o processo continua, a camada de partículas vai aumentando, tornando-se também meio de coleta.

Em alguns tipos de filtros é importante a permanência de uma camada de partículas, após cada ciclo de limpeza, para aumentar a eficiência de coleta.

Os mecanismos envolvidos na coleta de partículas em filtros de tecido são principalmente a impactação inercial, a difusão, a atração eletrostática e a força gravitacional; secundariamente teríamos a intercepção e, possivelmente, as forças térmicas e sônicas.

O filtro de tecido é um equipamento enquadrado na categoria dos de alta eficiência de coleta, chegando em alguns casos a valores maiores que 99.9 %. A eficiência de um filtro de tecido é obtida por experiência anterior em utilizações similares. Apesar de existirem modelos para determinações da eficiência, eles são de difícil aplicação prática.

Os filtros de tecido são classificados primeiramente segundo o formato do meio filtrante, ou seja: tipo de manga ou envelope. A classificação seguinte leva em consideração o mecanismo de limpeza, sendo os mais usuais:

- . sacudimento mecânico
- . ar reverso
- . jato pulsante do ar comprimido

Na figura 6.8. são mostrados três coletores tipo filtro de tecido e a figura 6.9. mostra as formas de entrada do fluxo gasoso no filtro de manga.

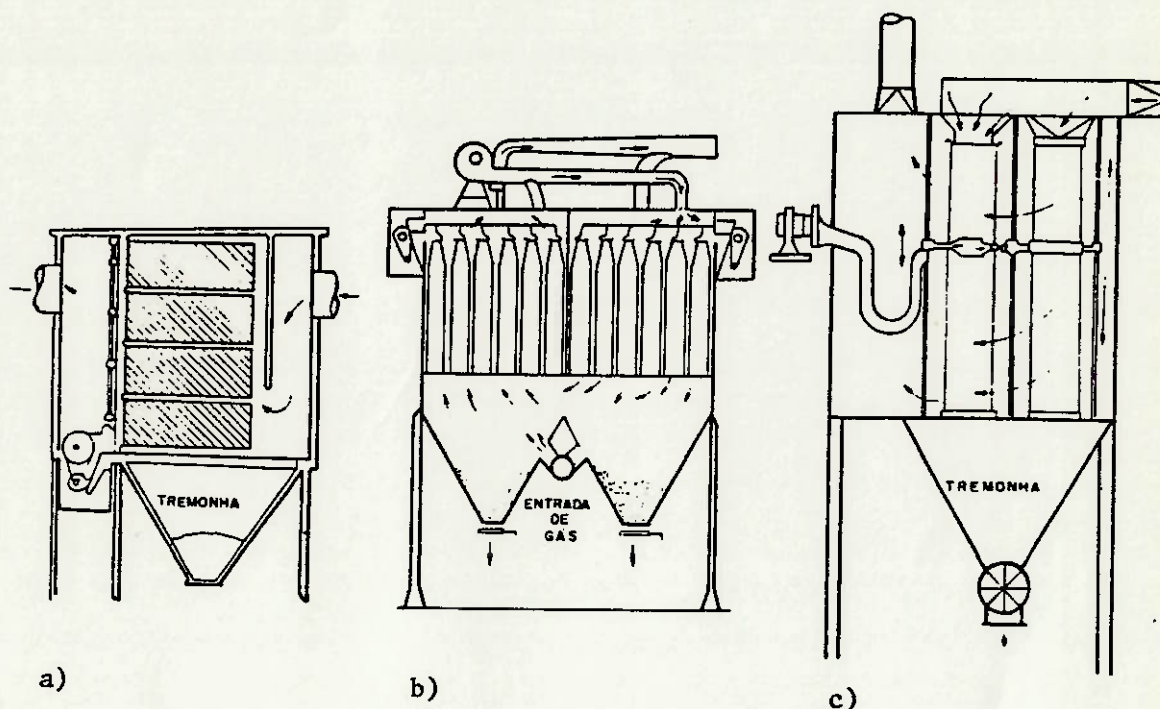


FIGURA 6.8 - Tipos de filtro de tecido - a) tipo envelope
 b) tipo manga - limpeza com fluxo reverso
 c) tipo manga - limpeza com fluxo reverso por anel deslizando

A figura 6.10. mostra um desenho esquemático de um filtro de manga com limpeza por jato pulsante. Esse tipo de limpeza é o que tem sido mais utilizado atualmente, pois apresenta a vantagem de exigir menor área de filtração que os que utilizam limpeza por sacudimento mecânico ou ar reverso, possibilitando limpeza contínua e automática das mangas.

O projeto de equipamentos de controle tipo filtro de tecido envolve basicamente a escolha do tipo de filtro do sistema de limpeza, o meio filtrante a ser utilizado e o dimensionamento da área de filtração necessária. O fluxo gasoso deve ser adequadamente condicionado antes de entrar no filtro de tecido, no que diz respeito à temperatura e umidade.

A escolha do meio filtrante a ser utilizado dependerá das características do gás transportador (temperatura, umidade, alcalinidade e acidez), das características das partículas a serem filtradas (concentração, distribuição de tamanhos e abrasividade), do tipo de limpeza a ser utilizado, do custo e da disponibilidade de mercado.

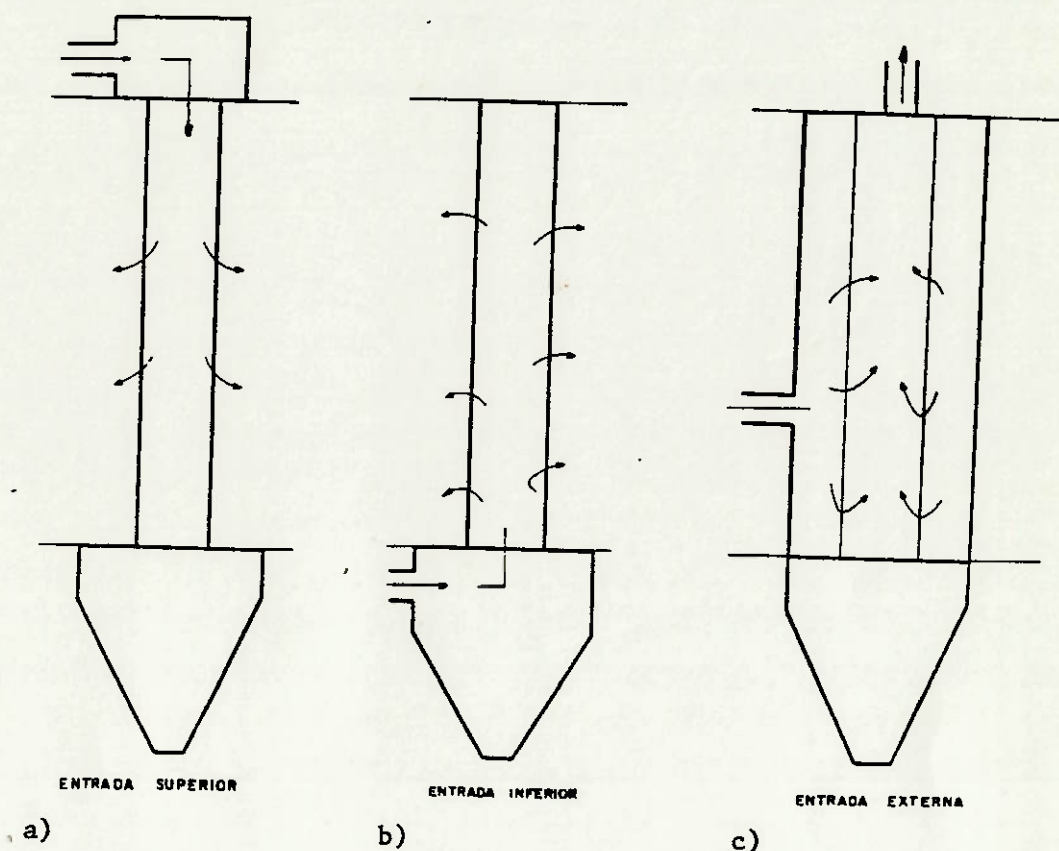


FIGURA 6.9 - Coletor de entrada do fluxo no filtro de manga
a) e b) filtragem interna c) filtragem externa

A tabela 6.3. (ref.7) apresenta as características dos meios filtrantes mais usuais. Em certos casos, o meio filtrante recebe tratamento especial, como por exemplo, a aplicação de silicone e grafite. Atualmente os meios filtrantes feltrados estão sendo bastante utilizados, principalmente os de polyester.

O dimensionamento da área filtrante depende da velocidade de filtragem (razão: vazão de gás/ área filtrante) recomendada para o caso específico. A velocidade de filtragem depende do tipo de partícula a ser coletada, da sua concentração, do material filtrante e do sistema de limpeza. Para limpeza por sacudimento mecânico, os valores variam de 0.3m/min a 1m/min. Para limpeza por jato reverso com meio filtrante tipo feltro, variam entre 2m/min e 5m/min. Os valores mais baixos devem ser utilizados para os casos de altas concentrações de partículas ou partículas muito pequenas, como por exemplo, os fumos metálicos. A área de filtragem necessária deve levar em consideração também, a condição do meio filtrante no momento da limpeza. Se a limpeza for feita com o filtro fora de operação (off-stream) a área de filtragem deve ser calculada em relação às unidades que permanecem em operação, de forma a não exceder a velocidade de filtragem recomendada.

TABELA 6.3 - Características dos meios filtrantes usuais

F I B R A	TEMP. OPERAÇÃO (°C)	RESISTE A COMBUSTÃO	PERMEABILIDADE (m ³ /m ²)(a)	COMPOSIÇÃO	R E S I S T E N C I A (b)			CUSTO RELATIVO (c)
					ABRASÃO	ÁCIDOS MINER.	ÁCIDOS ORGÂN.	
Algodão	82	107	sim	Celulose	B	P	B	1
Lã	93	121	não	Proteína	B	R	R	7
Nylon(d)	93	121	sim	Poliamida	E	P	R	2
Orlon(d)	116	135	sim	Poliacri- lonitrila	B	B	B	3
Dacron(d)	135	163	sim	Poliester	E	B	B	4
Polipropileno (d)	93	121	sim	Olefina	E	E	E	6
Nomex(d)	218	260	não	Poliamida	E	R	E	8
Fibra de vidro	288	316	sim	Vidro	P-R	E	E	5
Teflon(d)	232	260	não	Poli fluor etileno	R	E	E	9

obs. a) permeabilidade a 12.7 mmH₂O

b) P = pouca, R = razoável, B = boa, E = excelente

c) custo relativo: * 1- menor * 9- maior

d) marca registrada da Dupont

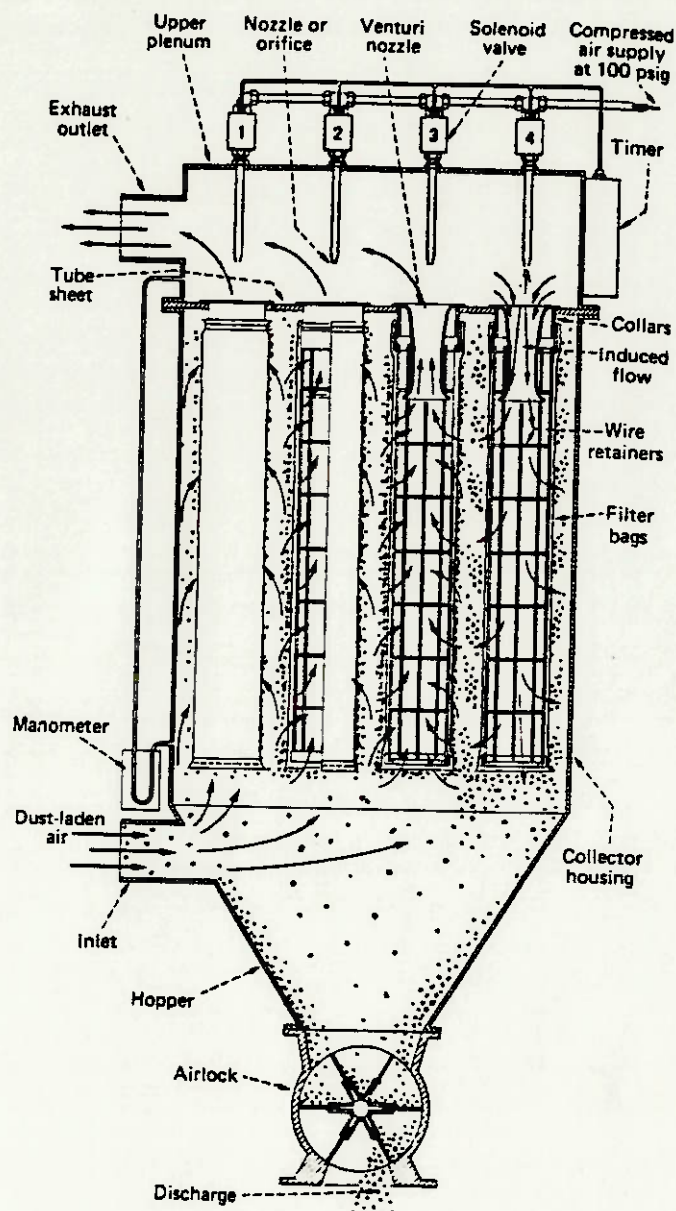


FIGURA 6.10 - Desenho esquemático de um filtro de manga com limpeza por jato pulsante

A perda de carga em filtros de tecido é a somatória da perda de carga do filtro limpo (após ciclo de limpeza) mais a resistência imposta pela camada de partícula depositada no filtro, a qual varia em função do material coletado. Na prática, é fixado um valor de perda de carga máxima e, após atingido esse limite, o sistema de limpeza é acionado. Em geral, a perda de carga varia de 10 a 20 cm H₂O.

6.5.2.4.- LAVADORES (SCRUBBERS)

Os lavadores são equipamentos de controle de poluição do ar que podem ser utilizados tanto para o controle de material particulado como para o controle de gases e vapores. Nesta seção, vamos tratar de lavadores utilizados para o controle de material particulado. Os lavadores utilizados para o controle de gases e vapores recebem a denominação de absorvedores.

Uma primeira classificação de lavadores é baseada na energia requerida (perda de carga) para fazer o fluxo gasoso passar através dele. Nesta classificação temos:

- . lavadores de baixa energia : perda de carga de até 7.5 cm H₂O
- . lavadores de média energia : perda de carga de 7.5 a 25 cm H₂O
- . lavadores de alta energia : perda de carga maior que 25 cm H₂O

Existe um número grande de tipos de lavadores disponíveis no mercado. Abaixo são citados os mais usuais:

- . câmara de spray (borrifo) gravitacional
- . coletores dinâmicos úmidos
- . torres de enchimento
- . lavadores de impactação
- . lavadores auto-induzidos (de orifício)
- . lavador venturi

A figura 6.11. mostra alguns desses tipos de lavadores.

Os lavadores auto-induzidos e o lavador venturi são também denominados "lavadores gás-atomizador" em face do processo de atomização do líquido que ocorre pela passagem do gás a ser tratado. A figura 6.12 mostra um esquema de lavador venturi.

Além da geometria, perda de carga e velocidade do gás, outro parâmetro importante dos lavadores é a quantidade de água utilizada, a qual usualmente é expressa em termos de razão líquido-gás. A tabela 6.4. apresenta os principais parâmetros operacionais de alguns lavadores.

O mecanismo de coleta predominante, no caso de lavadores, é a impactação inercial. Outros mecanismos são a força centrífuga e a gravitacional. A impactação em lavadores ocorre principalmente entre a partícula e as gotas de líquido.

Existem vários modelos e teorias para a determinação da eficiência dos lavadores. A mais abrangente é a "Teoria do Poder de Contato" desenvolvida por Lapple (1955) e Rau.

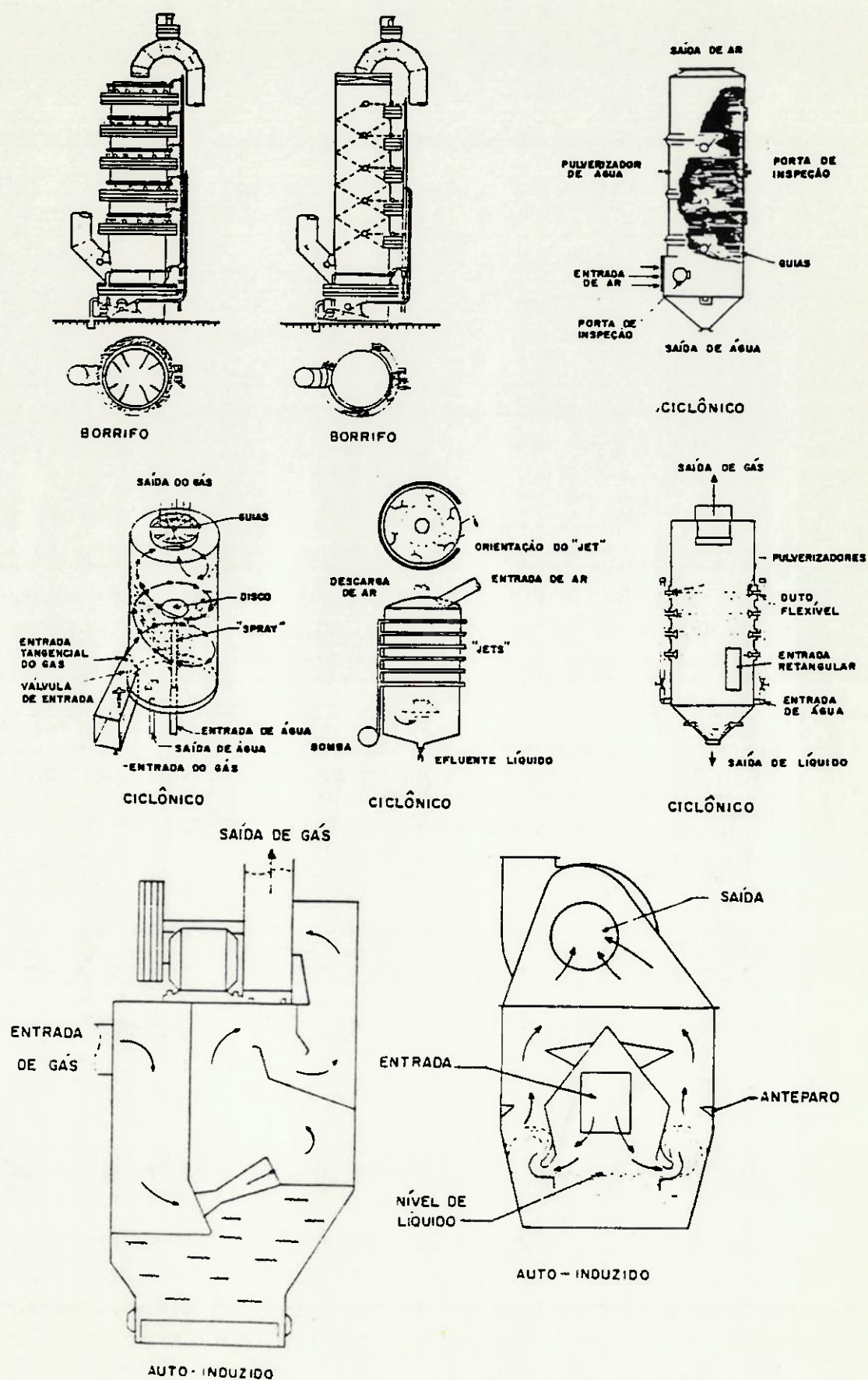


FIGURA 6.11 - Tipos de lavadores

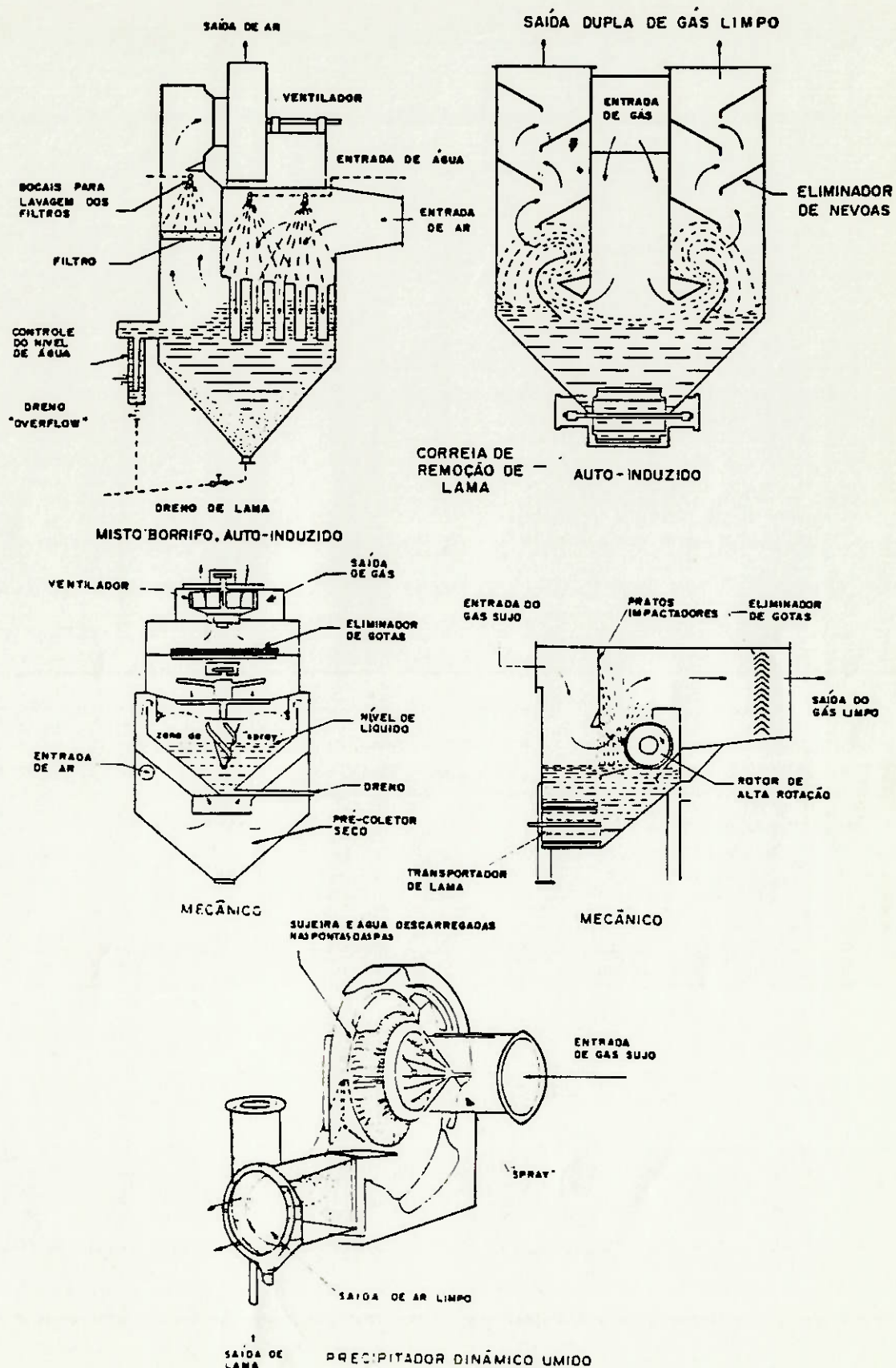


FIGURA 6.11 - Tipos de lavadores (continuação)

TABELA 6.4 - Principais parâmetros operacionais de alguns lavadores

TIPO DE LAVADOR	VELOCIDADE DO GÁS (cm/s)	PERDA DE CARGA (cm H ₂ O)	RAZÃO LIQ/GÁS (l/m ³)*	EFICIÊNCIA PARA PART. < 2 um
câmara de spray gravitacional	90 a 150	2.5	0.3 a 2.0	baixa
ciclônico	100 a 250 (na câmara)	6 a 15	0.4 a 0.7	média
auto-induzido	1500 a 10000 (no orifício)	10 a 25	1.3 a 5.3	média
venturi	6000 a 18000	25 a 250	0.3 a 1.3	alta

obs. * - a água em geral é recirculada após sofrer tratamento ref. 7

A hipótese fundamental desta teoria é:

"Quando comparados com o mesmo consumo de energia, todos os lavadores apresentam substancialmente a mesma distribuição de tamanho de partículas, independentemente do mecanismo envolvido e do meio fornecedor de energia, seja líquido ou gás".

Matematicamente, a eficiência, segundo esta teoria, pode ser expressa por:

$$(6.15) \quad n = 1 - \exp[-A * PT(^B)]$$

onde:

- . n = eficiência de coleta (base 1)
- . PT = energia total fornecida ao lavador (Hp/1000CPM)
- . A e B = são constantes empíricas que dependem do material particulado a coletar

A energia total Pt pode ser calculada por:

$$(6.16) \quad Pt = 0.1575 * P_1 + 0.583 * P_1 * \left(\frac{Q_l}{Q_g} \right)$$

sendo:

- . Pt = perda de carga do lavador (pol H₂O)
- . P₁ = pressão de injeção do líquido (lb/pol²)
- . Q_l = vazão de líquido (gal/min)
- . Q_g = vazão de gás (pé³/min)

ESQUEMA BÁSICO DE CONSTRUÇÃO DE LAVADOR VENTURI

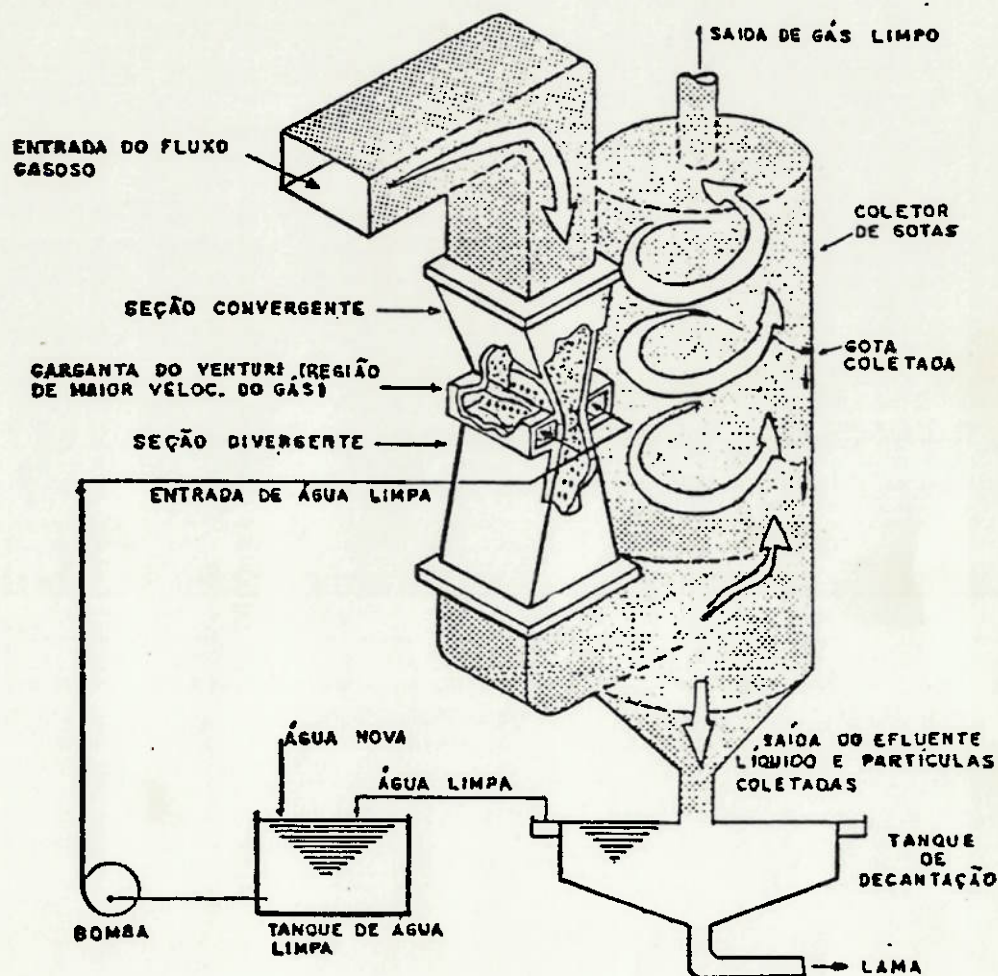


FIGURA 6.12 - Lavador Venturi

No caso de lavador venturi existem modelos matemáticos específicos para a determinação da eficiência, sendo os principais os de Calvert e de Johnston.

O modelo de Calvert é o que tem sido mais utilizado. No entanto, em face da sua complexidade e do objetivo deste trabalho, apresentaremos só o de Johnston. De acordo com este modelo, a eficiência é dada por:

$$(6.17) \quad n = 1 - \exp[-K * (Q_l/Q_g) * (KI)^{(1/2)}]$$

sendo:

- n = eficiência de coleta (base 1)
- K = constante empírica (0.1 a 0.2)
- Q_l = vazão do líquido (gal/min)
- Q_g = vazão do gás (pé³/min)
- KI = parâmetro de impactação inercial

O lavador venturi é um equipamento que necessita ter em série um equipamento que coletará as partículas que tiveram o seu tamanho aumentado ao passar pela garganta do venturi. Nota-se portanto, que o venturi age como um aglutinador de partículas. O equipamento de coleta final, em geral, é um coletor ciclônico que separará as gotas e as partículas do fluxo gasoso. O venturi é um equipamento de coleta de uso bastante difundido pela alta eficiência de coleta que pode atingir, pela sua simplicidade e por ser um sistema compacto. Tem como desvantagem principal a alta perda de carga necessária para o seu funcionamento. A perda de carga no lavador venturi, segundo Hesketh, poder ser determinada pela expressão:

$$(6.18) \quad \text{DELp} = \frac{V_t^2 * g * A_t^{(0.133)} * (Q_l/Q_g)^{(0.78)}}{3.87}$$

onde:

- DELp = perda de carga no venturi (cm H₂O)
- V_t = velocidade do gás na garganta (cm/s)
- A_t = área da secção transversal da garganta (cm²)
- Q_l = vazão de líquido (l) 38.9 l/s
- Q_g = vazão de gás (m³) 5.672 m³/s

6.5.2.5.- PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS

Os precipitadores eletrostáticos vem sendo utilizados há muitos anos como meio efetivo para o controle de emissões atmosféricas na forma de partículas.

A história do precipitador se iniciou em 1824 quando Hohlfeld conseguiu tornar limpo o conteúdo de um cilindro contendo névoas, utilizando para tanto um ponto eletrificado no seu interior. Em 1850, Guitard, em experimento análogo, conseguiu o mesmo efeito utilizando fumaça de tabaco. Em 1907, Frederic Gardner Cottrell construiu um precipitador eletrostático de sucesso comercial. Em 1908 Cottrell patenteou um precipitador eletrostático utilizado com sucesso em uma fábrica de ácido sulfúrico de Pinole, California - USA. As instalações industriais pioneiras se deram no período de 1907 a 1920.

O mecanismo de coleta principal, obviamente, é a força eletrostática. O processo de precipitação eletrostática se inicia com a formação de íons gasosos pela descarga do corona de alta voltagem no eletrodo de descarga. A seguir, as partículas sólidas e/ou líquidas são carregadas eletricamente pelo bombardeamento dos íons gasosos ou eletrons. O campo elétrico existente entre o eletrodo de descarga e o de captação faz com que a partícula carregada migre para o eletrodo de polaridade oposta e descarregue sua carga, ficando coletada. De tempos em tempos, a camada de partículas se desprende do eletrodo de coleta pela ação do sistema de limpeza e, por gravidade, se deposita na tremonha de recolhimento, de onde então é transportada para o local de armazenamento, para posterior condicionamento e/ou reutilização, e/ou disposição final. O processo de carregamento e coleta da partícula é mostrado na figura 6.13..

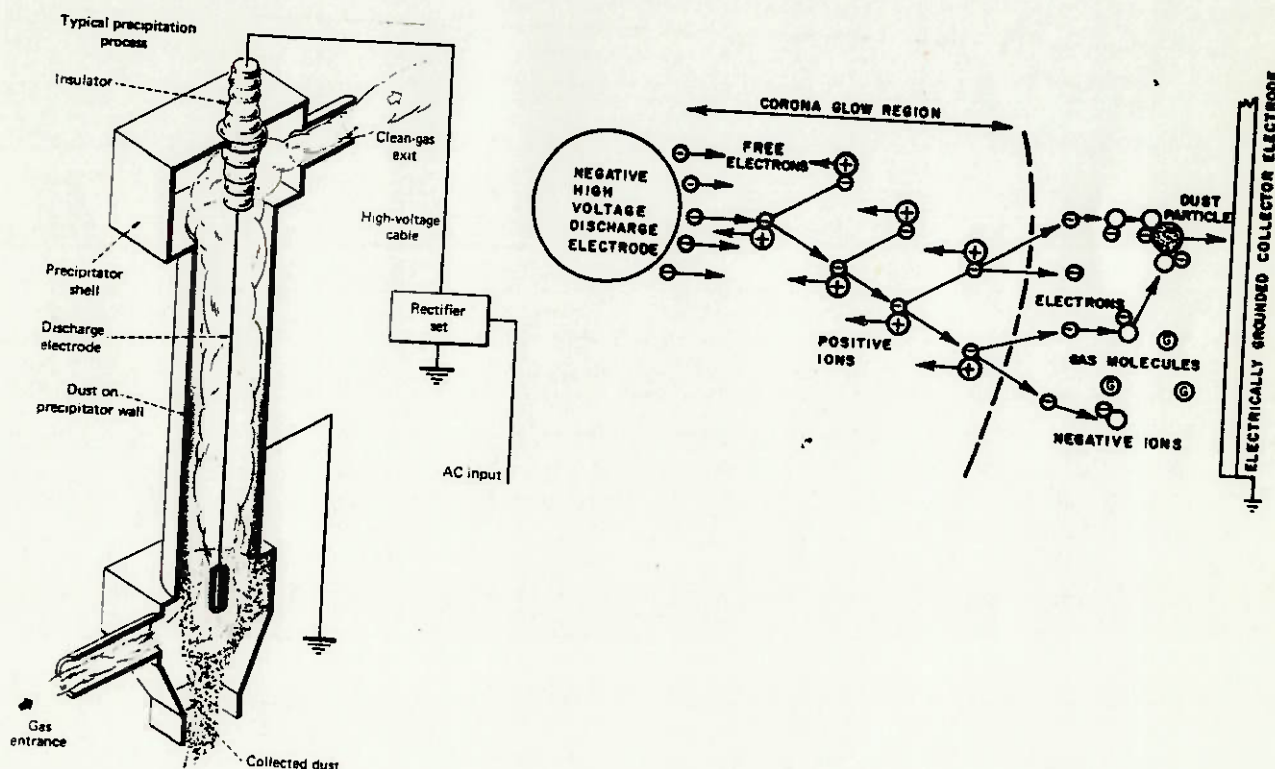


FIGURA 6.13 - Processo de coleta do particulado através de descarga corona

Os precipitadores eletrostáticos podem ser classificados da seguinte maneira:

- a). Quanto à voltagem
 - . baixa voltagem : menor ou igual a 30 Kv
 - . alta voltagem : maior que 30 Kv

- b). Quanto à polaridade do eletrodo de descarga
 - . corona positivo
 - . corona negativo
- c). Quanto ao número de estágios
 - . simples estágio com carga e disposição simultâneas
 - . duplo estágio com carga em um primeiro estágio e a deposição num estágio posterior
- d). Quanto à geometria do eletrodo de coleta
 - . tubulares
 - . em forma de placas

Os precipitadores podem ainda ser classificados em secos e úmidos, dependendo da utilização ou não de líquidos de lavagem.

Os precipitadores de baixa voltagem, com corona positivo e duplo estágio, em geral têm empregos não industriais e são de pequeno porte, como por exemplo, aqueles utilizados em conjunto com sistemas de ar condicionado.

A figura 6.14. mostra um precipitador eletrostático de aplicação industrial que apresenta eletrodo de descarga tipo arame e eletrodo de coleta tipo placas - figura 6.15. -, e a figura 6.16. mostra as formas de eletrodos de descarga e coleta usualmente utilizados.

O carregamento das partículas se dá por dois processos, como já visto anteriormente: para partículas maiores que 0.5 μ m de diâmetro tem-se o carregamento pelo campo elétrico; para as de diâmetro menor que 0.2 μ m, predomina o carregamento por difusão iônica; e para partículas entre 0.2 e 0.5 μ m, agem os dois mecanismos. A eficiência de coleta de precipitadores eletrostáticos é usualmente expressa pela fórmula de Deutsch-Anderson :

$$(19) \quad n = 1 - \exp\left(-\frac{A}{Q} * w\right)$$

onde:

n = eficiência de coleta (base 1)
 A = área de coleta
 Q = vazão do gás
 w = velocidade de migração

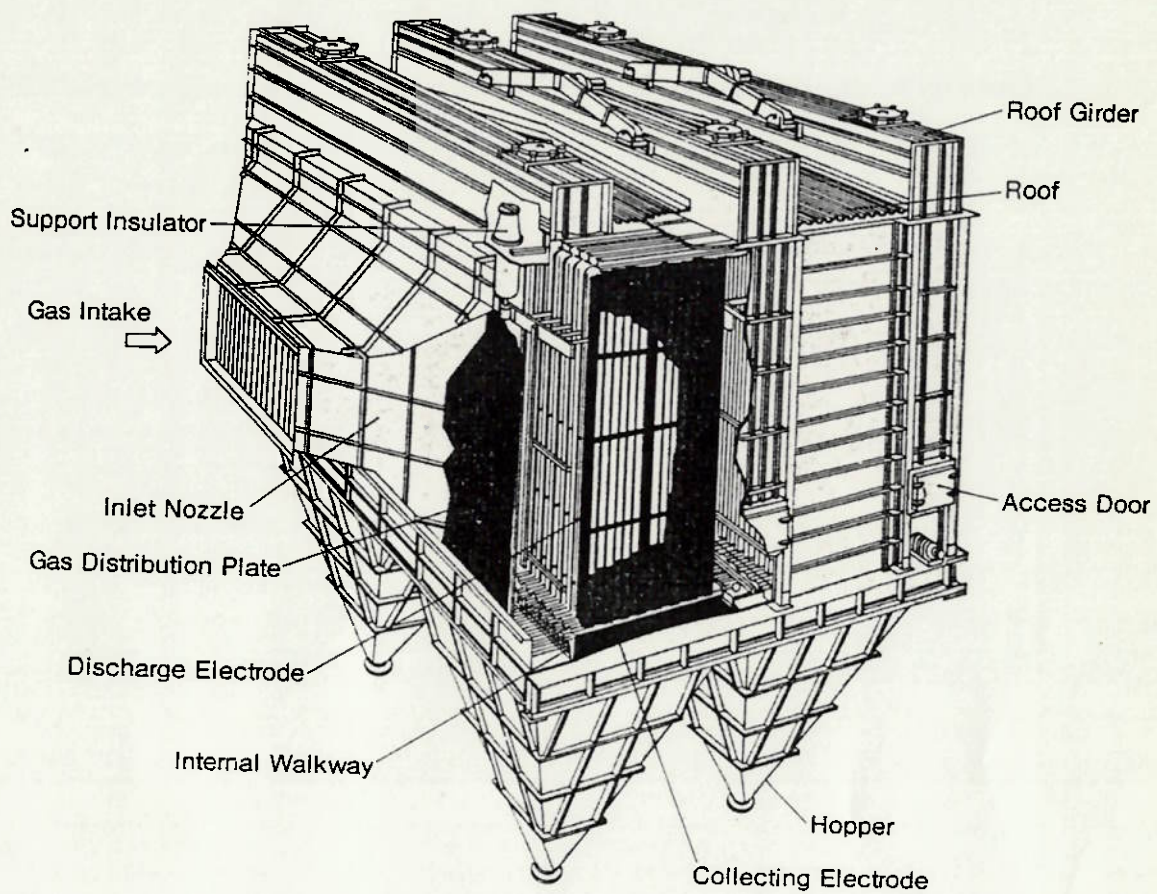


FIGURA 6.14 - Precipitador eletrostático tipo industrial

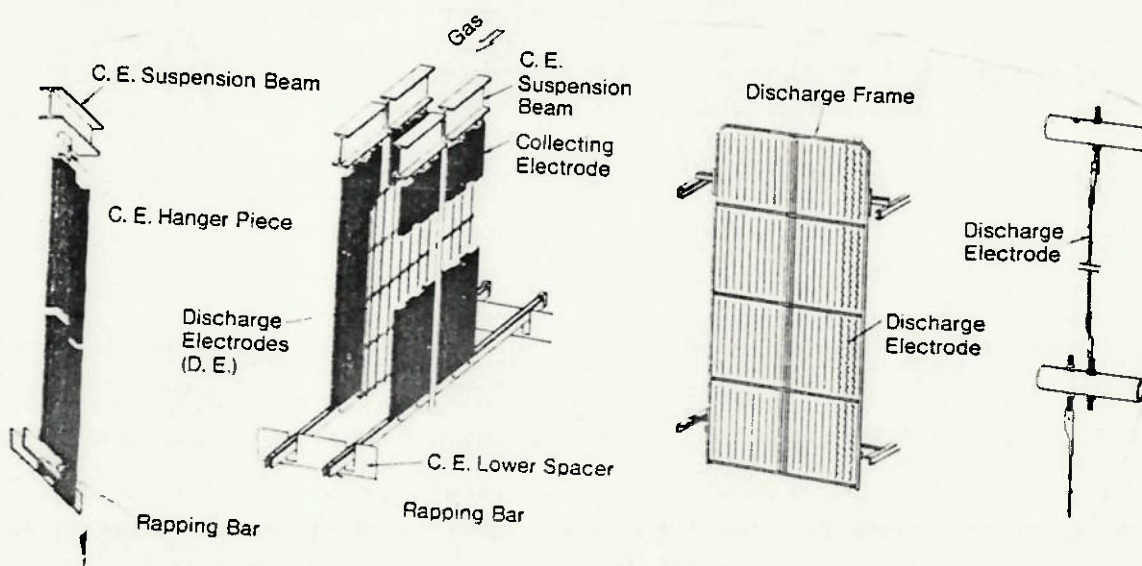
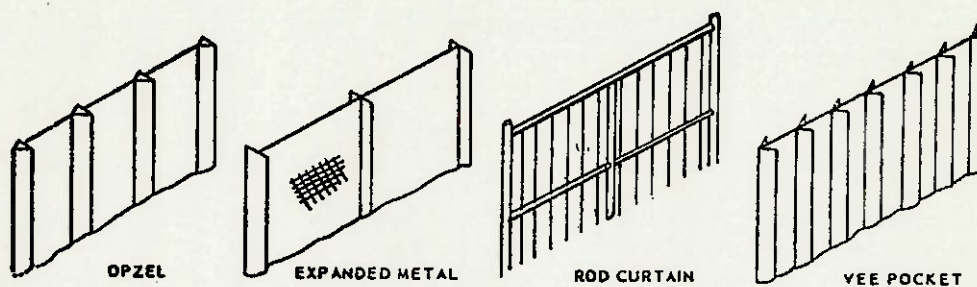


FIGURA 6.15 - Arranjo dos eletrodos de coleta e de descarga

eletrodos de coleta



eletrodos de descarga

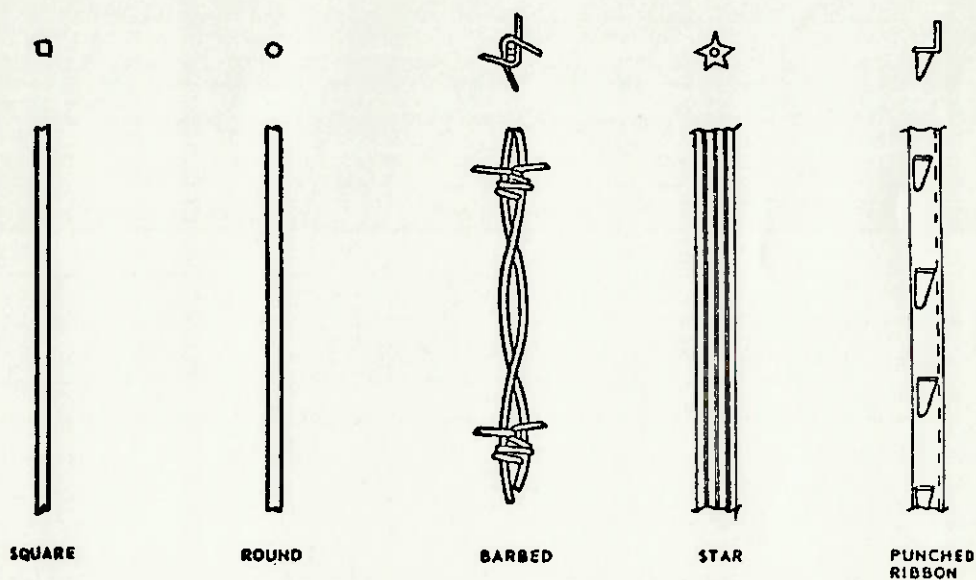
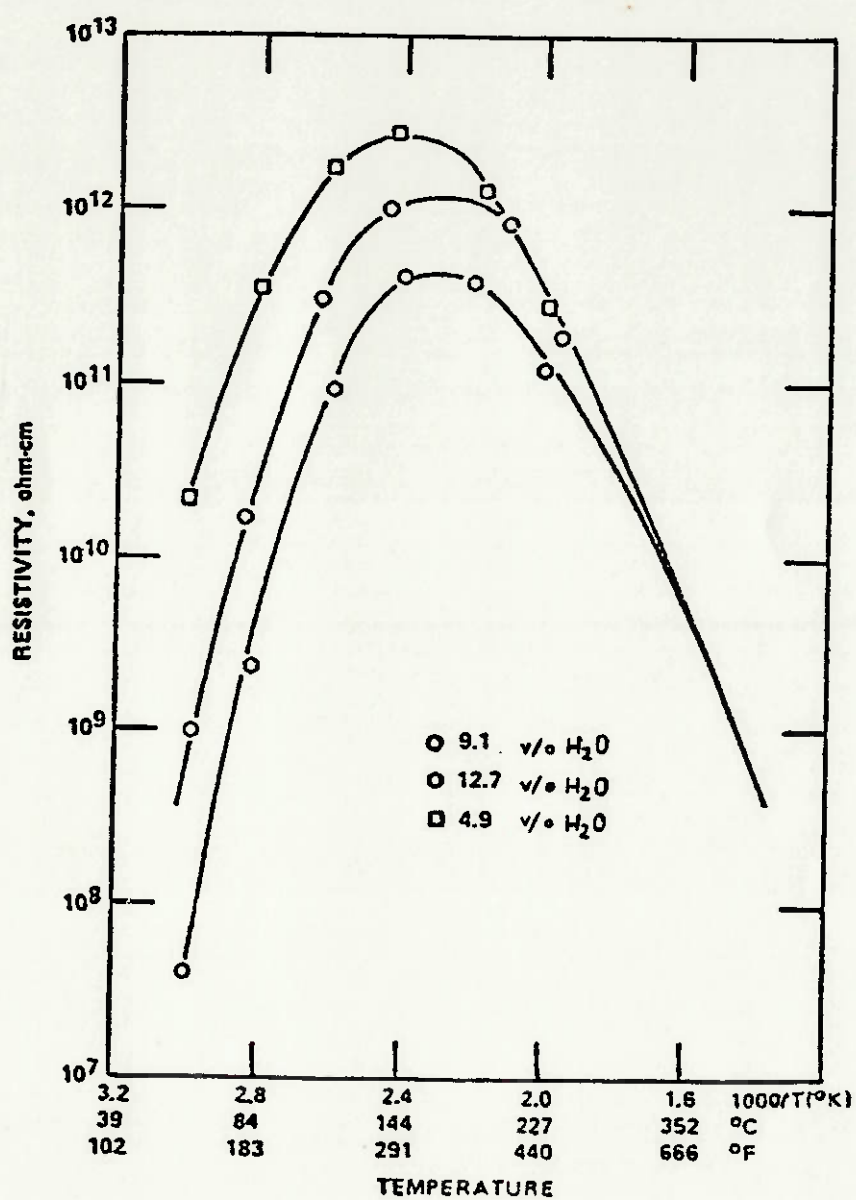


FIGURA 6.16 - Formas usuais de eletrodos de coleta e de descarga.

A velocidade de migração é função dos seguintes parâmetros:

- . diâmetro das partículas
- . constante dielétrica da partícula
- . viscosidade do gás
- . temperatura de operação

Existem formas de condicionamento de resistividade, sendo a principal, o uso de controle de temperatura e umidade. O gráfico 6.2. (ref. 7) mostra a variação da resistividade com a temperatura e umidade do gás.



.GRÁFICO 6.2 - Variação da resistividade com a temperatura e a umidade

6.6.- EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE GASES E VAPORES

6.6.1.- MECANISMOS DE COLETA

O controle de gases e vapores envolve operações unitárias e reações químicas. As operações unitárias principais são a absorção física, adsorção e condensação. Reações químicas ocorrem em casos de absorção com reação química (quimisorção) e na incineração (combustão).

O movimento de moléculas gasosas através do fluido transportador é necessário para iniciar o processo de transferência de massa. Esse movimento depende da difusividade do gás transportador, do volume molecular dos dois gases e da densidade do gás poluente.

Após difundir-se no gás carregador, o gás poluente deve, então, passar para o líquido absorvente ou sólido adsorvente. Uma vez absorvido no líquido, o gás deve se mover da interface de absorção para outra parte do líquido, de forma a permitir que outras moléculas sejam absorvidas. A difusividade do gás (soluto) no líquido é função do tipo, do peso molecular e da viscosidade do líquido absorvente (solvente), da temperatura em que o processo ocorre, e do volume molar do soluto.

A transferência de massa ocorre, portanto, na interface de duas fases. A teoria dos dois filmes desenvolvida por Whitman (1923) considera que o filme estagnante de fluido na interface representa a resistência total à transferência de massa, e que a transferência de massa através dos dois filmes se processa por difusão molecular. No restante do fluido a difusão é turbulenta.

A taxa de transferência de massa é influenciada pelos gradientes de temperatura, pressão e concentração, pela afinidade do gás (soluto) no líquido absorvente (solvente) e pela área disponível para a transferência de massa.

Para o filme gasoso, a taxa de transferência de massa é dada por:

$$(6.20) \quad N_A = K_G * A * (p_{AG} - p_{Ai})$$

Para o filme líquido, a taxa de transferência de massa é dada por:

$$(6.21) \quad N_A = K_L * A * (C_{Ai} - C_{AL})$$

sendo:

- . N_A = taxa de transferência do gás através do filme (molgrama/h)
- . K_G = coeficiente de transferência de massa do filme gasoso [molgrama/ (h * cm² * atm)]
- . K_L = coeficiente de transferência de massa do filme líquido [molgrama/ (h * cm² * molgrama/cm³)]
- . A = área superficial de transferência de massa (cm²)
- . p_{AG} = pressão parcial do gás A na fase gasosa (atm)
- . p_{Ai} = pressão parcial do gás A na interface gás-líquido (atm)
- . C_{Ai} = concentração do gás A na interface gás-líquido (molgrama/cm³)
- . C_{AL} = concentração do gás A na fase líquida (molgrama/cm³)

Um perfil típico de concentrações na transferência gás-líquido é mostrado a seguir:

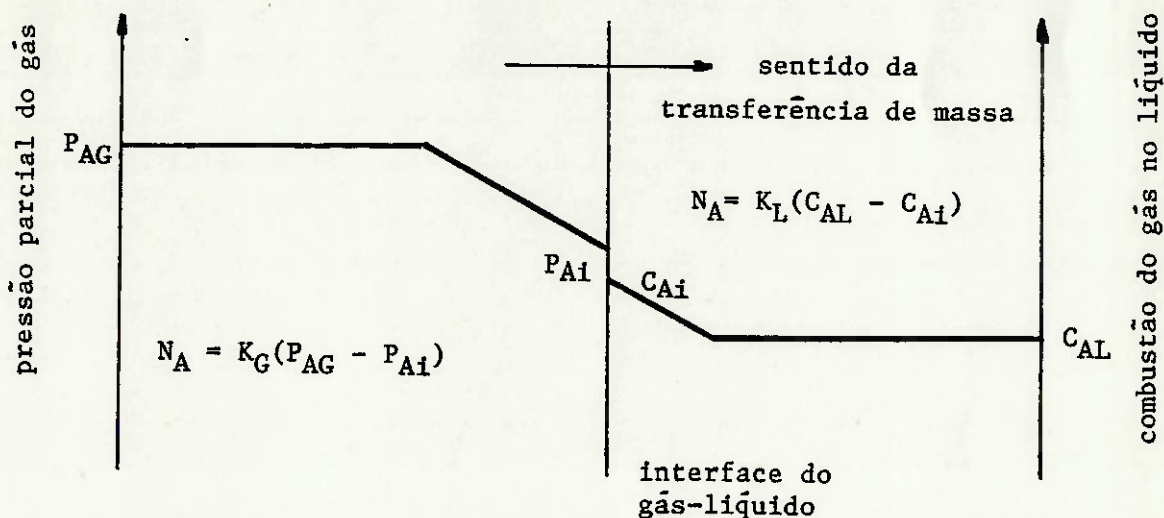


FIGURA 6.17 - Perfil típico de concentrações na transferência gás-líquido

A obtenção de pressões e concentrações na interface é difícil. Na prática, utilizam-se a concentração e a pressão na condição de equilíbrio, usando-se então os coeficientes globais de transferência de massa. Dessa forma temos:

$$(6.22) \quad N_A = K_G * A * (p_{AG} - p_{AL}) = K_L * A * (C_{AG} - C_{AL})$$

sendo nesse caso:

- . KG = coeficiente global de transferência de massa na fase gasosa [molgrama/(h * cm² * atm)]
- . KL = coeficiente global de transferência de massa na fase líquida [molgrama/(h* cm²* molgrama/cm³)]
- . pAL = pressão parcial de A se estivesse em equilíbrio com uma solução líquida tendo aquela concentração de gás CAL (atm)
- . CAG = concentração de A que poderia estar em equilíbrio com o gás de pressão pAG (molgrama / cm³)

O comportamento de soluções pode ser predito pelas leis de Raoul e de Henry. A lei de Raoul é válida para soluções ideais concentradas, onde os componentes não interagem. Nas condições de equilíbrio, essa equação pode ser expressa por:

$$(6.23) \quad p_{AL} = x_A * p_{VA}$$

sendo:

- . xA = fração molar do gás A na solução
- . pVA = pressão de vapor do gás A na mesma temperatura e pressão da solução

A lei de Henry é utilizada para soluções diluídas e pode ser expressa por:

$$(6.24) \quad p_{AL} = C_{AL} * H$$

sendo:

- . CAL = concentração de A na fase líquida (molgrama / cm³)
- . H = constante de Henry (atm * cm³ / molgrama de A)

Quando o gás reage com líquido absorvente ocorre um aumento da taxa de transferência de massa. Esse aumento dependerá da ordem da reação e da concentração do reagente na fase líquida. O fator de aumento (E) é dado por:

$$6.25) \quad E = \frac{NAR}{NVA} = \frac{NAR}{KL * (CA_i - C_{AL})}$$

sendo:

- . NA = taxa de transferência de massa sem reação química
- . NAR = taxa de transferência de massa com reação química

A absorção de gases muito solúveis é controlada pela resistência à transferência de massa na fase gasosa. Já os gases pouco solúveis passam a ter sua transferência de massa controlada pela fase gasosa.

A adsorção é um fenômeno de transferência de massa de uma fase gasosa (ou líquida) para um sólido poroso. Os materiais com grande capacidade de adsorção, como o carvão ativado e a sílica gel, apresentam grandes áreas superficiais e possuem propriedades de superfícies adequadas para tanto. A adsorção pode ser física ou química. Em poluição do ar, a adsorção física é a que apresenta maior importância. Ela consiste na atração de moléculas por forças eletrostáticas ou de "Van der Waals", as quais resultam da polaridade das moléculas do gás a ser adsorvido e dos íons positivos e negativos existentes na superfície do sólido adsorvente. Fatores importantes na adsorção são:

- . temperatura
- . pressão
- . concentração do gás
- . tamanho molecular do gás
- . ponto de ebulição do gás
- . peso molecular
- . polaridade

Em relação ao material adsorvente são importantes:

- . polaridade superficial
- . tamanho dos poros
- . espaçamento dos poros

6.6.2.- EQUIPAMENTOS - TIPOS E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

6.6.2.1.- ABSORVEDORES

a). Tipos de Absorvedores

Os absorvedores são equipamentos utilizados para a absorção de gases. A absorção é uma transferência de massa de uma fase gasosa para uma fase líquida. Os tipos de absorvedores usualmente utilizados são:

- . torre de enchimento
- . torre de pratos
- . lavador venturi
- . lavador de spray

A figura 6.18. mostra os absorvedores tipo torre de enchimento e de pratos. Detalhes dos pratos são mostrados na figura 6.19. e os materiais de enchimento na figura 6.20..

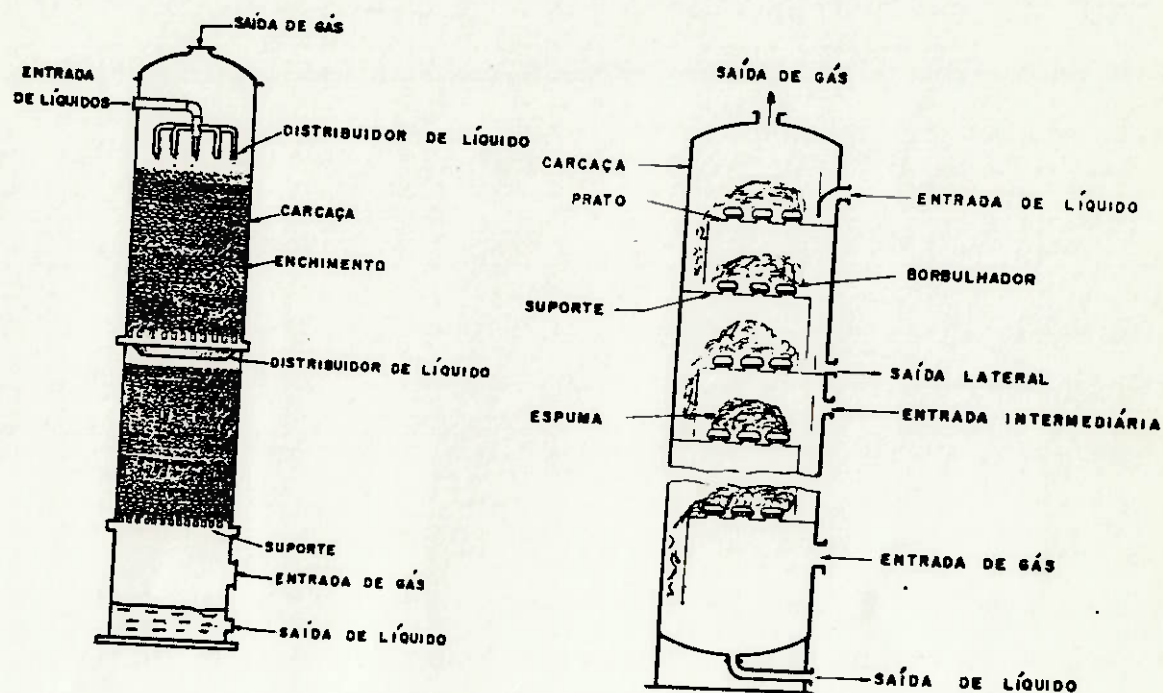


FIGURA 6.18 - Torres de absorção tipo enchimento e prato

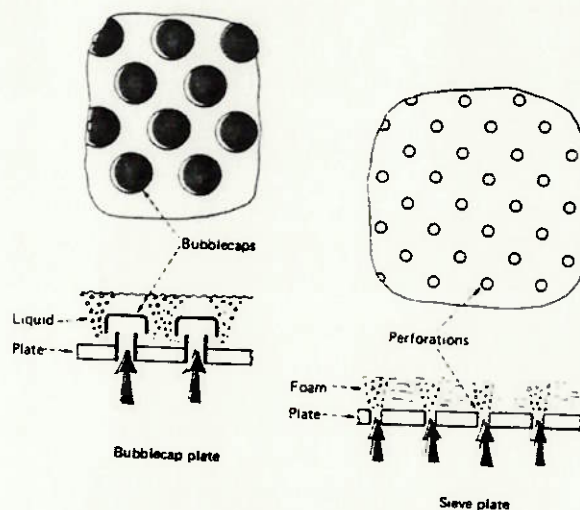


FIGURA 6.19 - Tipos de pratos para torres de absorção

Os usos típicos desses absorvedores são para a absorção de enxofre (SO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), gás clorídrico (HCl), amônia (NH_3), gás fluorídrico (HF) e hidrocarbonetos leves.



FIGURA 6.20 - Tipos de enchimento para torres de absorção

b). Passos para o projeto

O projeto de absorvedores envolve os seguintes passos:

- 1- seleção do solvente
- 2- obtenção de dados de equilíbrio e de reação
- 3- seleção do tipo de absorvedor
- 4- determinação da vazão de líquido
- 5- dimensionamento do absorvedor
- 6- escolha de materiais de construção

c). Seleção do absorvente

O absorvente ideal deve obedecer aos seguintes requisitos:

- . o gás deve ser prontamente solúvel no absorvente ou deve ser altamente reativo para ter-se altas taxas de transferência de massa, de forma a diminuir a quantidade de líquido absorvente

- . o absorvente deve ser não volátil para evitar emissões secundárias e aumento no consumo do absorvente
- . deve ser não corrosivo, para reduzir custo com materiais de construção especiais
- . deve ser barato e facilmente disponível
- . deve ter baixa viscosidade, para aumentar a absorção e reduzir o "flooding" (inundação)
- . deve ser de baixa toxicidade, não inflamável e quimicamente estável

O líquido absorvente mais comum é a água. No caso de dióxido de enxofre, são utilizados principalmente a solução de soda cáustica, a suspensão aquosa de carbonato de cálcio ou cal, ou a solução amoniacal. A absorção de hidrocarbonetos é realizada com solventes orgânicos.

c). Seleção do Absorvedor

Vários fatores ditam a seleção do absorvedor. Inicialmente, deve ser escolhido aquele que propicia maior área de transferência de massa, que seja de funcionamento simples e de menor custo. Os enchimentos das torres de enchimento são utilizados para aumentar a área disponível para a transferência de massa; no entanto, podem ser também foco de ocorrência de incrustações e entupimento. No caso de torres de pratos, o contato é feito através dos borbulhadores.

No caso do lavador venturi ou lavador spray, o contato entre gás e líquido é feito através da superfície das gotas formadas, sendo recomendado o uso somente para gases altamente solúveis ou altamente reativos no contato com o absorvente escolhido. O lavador venturi apresenta a vantagem de coletar também, e com alta eficiência, as partículas presentes no fluxo gasoso e o seu coletor de gotas geralmente é preenchido com enchimento e provido com aspersão de líquido para aumentar a eficiência de absorção.

e). Determinação da vazão de líquido absorvente

A vazão de líquido é determinada através da reta de operação mínima. No gráfico 6.3. (ref.7) estão mostradas a curva de equilíbrio, a reta de operação mínima e a reta de operação a ser utilizada na prática. Se for escolhida a reta de operação mínima para uso na prática, a altura da torre será muito elevada. O ponto de coordenadas X_1 e Y_1 representa o ponto de mínima vazão de absorvente. Em geral, usa-se valores da ordem de duas vezes a vazão mínima de líquido.

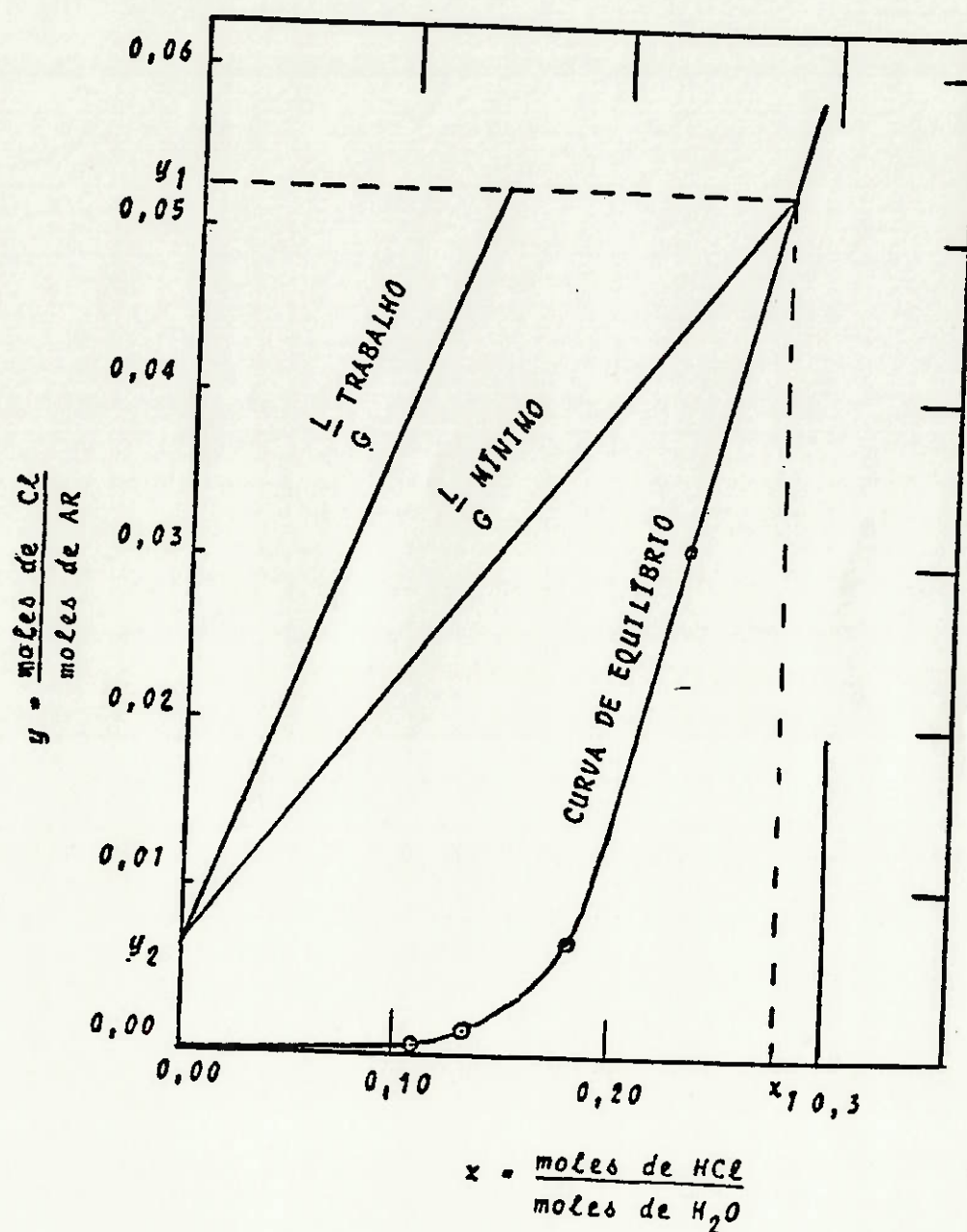


GRÁFICO 6.3 - Curva de equilíbrio, reta de operação mínima e de trabalho do sistema HCl-H₂O a 20 °C.

f). Dimensionamento de absorvedores

A metodologia de dimensionamento de absorvedores é função do tipo de absorvedor. Neste trabalho limitaremos-nos a apresentar, como exemplo, o dimensionamento de torres de enchimento utilizadas para a absorção física, com fluxo em contra corrente.

O dimensionamento de torres de enchimento começa com o cálculo do diâmetro da coluna (D_c). O diâmetro é função do ponto de inundação da torre. Para uma dada torre, a perda de carga varia em função da vazão de gás, crescendo inicialmente de forma suave; a partir de uma certa vazão, a perda de carga passa a crescer mais rapidamente (ponto de carga) até atingir o ponto em que ocorre a inundação da torre (ponto de inundação). O ponto de carga é de difícil determinação, sendo considerado como estando a 70 % do ponto de inundação.

Passos para determinação do diâmetro da torre (D_c)

1- Usando o gráfico 6.4.(ref.7)

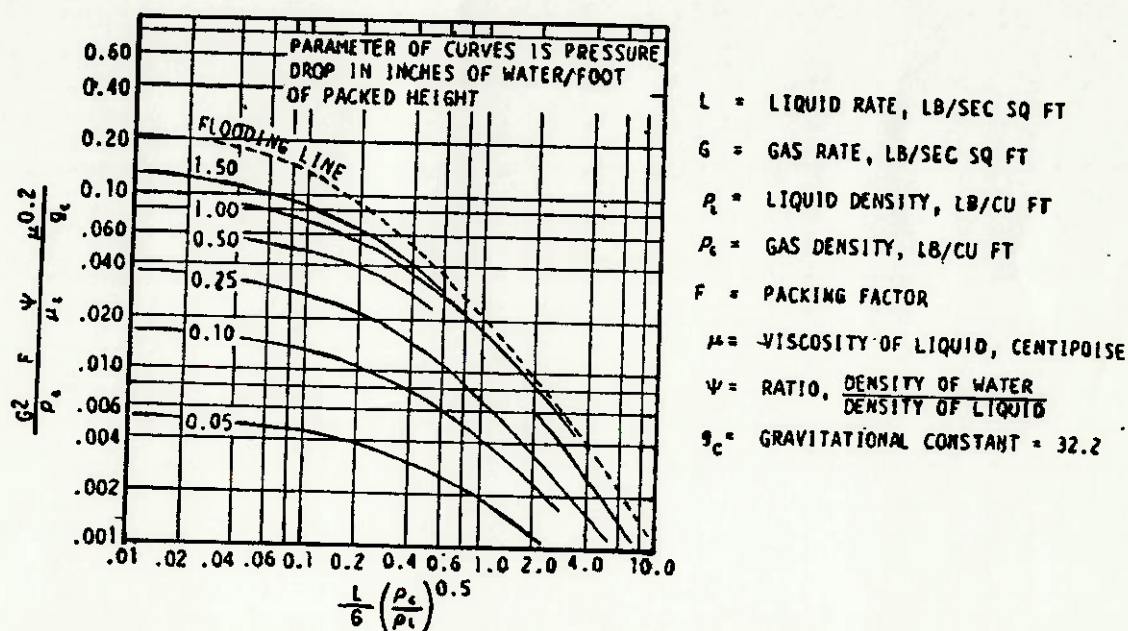


GRÁFICO 6.4 - Curva para cálculo do diâmetro da torre de enchimento e perda de carga

- . calcule
$$\frac{L}{G} * \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.5}$$
- . determine no gráfico, para a condição de inundação (flooding line), o valor de:
$$\frac{G^2 * F * \psi * \mu_L^{0.2}}{\rho_l * u_L * G_c}$$

2- Calcule a taxa G (vazão mássica de gás por área transversal da torre) para a condição de inundação

3- Calcule a área da seção transversal da torre (Sc) para a fração (f) da velocidade de inundação escolhida para a operação da torre, pela seguinte expressão:

$$(6.25) \quad Sc = \frac{V'}{f * G}$$

onde:

. V' = vazão mássica total de gases que passam pela torre. A fração f deve ser menor ou igual a 0.7

4- Calcule o diâmetro da coluna (Dc)

$$(6.26) \quad Dc = 1.13 * D^{(0.5)}$$

A altura da coluna (Hc) pode ser determinada por:

$$(6.27) \quad Hc = NTG * HTG = NTL * HTL$$

sendo:

- . NTG = número total de unidades de transferência, com controle pela fase gasosa
- . HTG = altura de uma unidade de transferência, com controle pela fase gasosa
- . NTL = número total de unidades de transferência, com controle pela fase líquida
- . HTL = altura de uma unidade de transferência, com controle pela fase líquida

O número de unidades de transferência é dado por:

$$(6.28a) \quad NTG = \int_{y2}^{y1} \frac{dy}{y - y^*}$$

$$(6.28b) \quad NTL = \int_{x2}^{x1} \frac{dx}{x^* - x}$$

NTG e NTL podem ser determinados por integração numérica ou pelo método gráfico de Baker (veja "Air Pollution Engineering Manual" - Ap- 40 da USEPA). Ambos usam o gráfico da curva de equilíbrio e reta de operação. Deve ser verificado para cada caso específico, a influência da variação de temperatura na torre.

A altura de cada unidade de transferência é dada por:

$$(6.29a) \quad HTG = HG + (m * G / L) * HL$$

$$(6.29b) \quad HTL = HL + L / (m * G)$$

sendo:

- . HG = altura devido à resistência na fase gasosa
- . HL = altura devido à resistência na fase líquida
- . m = melinação da curva de equilíbrio
- . G = vazão mássica do gás
- . L = vazão mássica do líquido

A altura da unidade de transferência para cada fase (HG e HL) é obtida pelas seguintes expressões:

$$(6.30a) \quad HG = \frac{a * G^b}{L^y} * \left(\frac{uG}{ROg * DG} \right)^{0.5}$$

$$(6.30b) \quad HL = \phi * \left(\frac{L}{uL} \right)^n * \left(\frac{uL}{ROL * DL} \right)^{0.5}$$

sendo:

- . a, b, y, ϕ e n = constantes que dependem do enchimento
- . DG = difusividade do poluente no gás carregador
- . DL = difusividade do poluente no líquido absorvente

Os valores de "a", "b" e "y" são apresentados na tabela 6.5. e os de " ϕ " e "n" são apresentados na tabela 6.6..

No caso de gases altamente solúveis no líquido absorvente, o processo é controlado praticamente pela fase gasosa. Nesse caso, $HTG = HG$. No caso inverso, ou seja, de gases com baixa solubilidade, o processo é controlado praticamente pela fase líquida, e em consequência $HTL = HL$.

Uma outra forma de determinação da altura da torre é através do coeficiente global de transferência de massa (KGa ou KLa), existentes na literatura.

Deve-se ressaltar que o método acima é aplicável à absorção física. O dimensionamento de absorvedores que utilizam reação química é feito principalmente em dados experimentais.

TABELA 6.5 - Valores de "a", "b" e "y" para cálculo de
HG

PACKING	"a"	"b"	"y"	"v"	"L"

rasching rings					
. 3/8"	2.32	0.45	0.47	200- 500	500- 1500
. 1"	7.00	0.39	0.58	200- 800	400- 500
	6.41	0.32	0.51	200- 600	500- 4500
. 1.1/2"	17.30	0.38	0.66	200- 700	500- 1500
	2.58	0.38	0.40	200- 800	1500- 4500
. 2"	3.82	0.41	0.45	200- 800	500- 4500
berl saddles					
. 1/2"	32.40	0.30	0.74	200- 700	500- 1500
	0.811	0.30	0.24	200- 700	1500- 4500
. 1"	1.97	0.36	0.40	200- 800	400- 4500
. 1.1/2"	5.05	0.32	0.45	200-1000	400- 4500
3" partition rings(stacked, staggered)	650.0	0.58	1.06	150- 900	3000-10000
spiral rings stacked, staggered)					
. 3" single spiral	2.38	0.35	0.29	130- 700	3000-10000
. 3" triple spiral	15.60	0.38	0.60	200-1000	500- 3000
drip-point grids (continuous flue)					
. style 6146	3.91	0.37	0.39	130-1000	3000- 6500
. style 6295	4.65	0.17	0.27	100-1000	2000-11500

ref.7

TABELA 6.6 - Valores de "O", "n" para cálculo de HG

PACKING	" ϕ "	"n"	range of L

rasching rings			
. 3/8"	0.00182	0.46	400 - 15000
. 1/2"	0.00357	0.35	400 - 15000
. 1"	0.01000	0.22	400 - 15000
. 1.1/2"	0.01110	0.22	400 - 15000
. 2"	0.01250	0.22	400 - 15000
berl saddles			
. 1/2"	0.00666	0.28	400 - 15000
. 1"	0.00588	0.28	400 - 15000
. 1.1/2"	0.00625	0.28	400 - 15000
3" partition rings	0.06250	0.09	3000 - 14000
spiral rings (stacked staggered)			
. 3" single spiral	0.00909	0.28	400 - 15000
. 3" triple spiral	0.01160	0.28	3000 - 14000
drip-point grids			
. style 6146	0.01540	0.23	3500 - 30000
. style 6295	0.00725	0.31	2500 - 22000

			ref.7

g). Eficiência de controle

A eficiência de controle de absorvedores é dependente de projeto específico. O dimensionamento é feito em função da emissão residual desejada, a qual é fixada a priori. A faixa usual de eficiência de absorvedores é de 80 % a 95 %, para equipamentos adequadamente projetados.

6.6.2.2.- INCINERADORES DE GASES E VAPORES

A incineração é um método eficaz para a eliminação de gases e vapores de origem orgânica. A combustão, que é o processo utilizado na incineração, transforma os contaminantes combustíveis em dióxido de carbono e vapor d'água, que não são considerados poluentes. A incineração também pode ser utilizada para a oxidação de compostos inorgânicos, como por exemplo, o gás sulfídrico (H_2S) que é um gás de odor bastante desagradável, transformando-o em dióxido de enxofre e vapor d'água. Neste último caso, temos a transformação de um gás poluente em outro também poluente, porém, dependendo da quantidade de dióxido de enxofre que será formada, é melhor que se tenha este último do que o odor desagradável do gás sulfídrico.

Para se ter uma idéia da importância do controle de compostos orgânicos combustíveis, é bastante citar que milhares de diferentes tipos desses compostos são emitidos para a atmosfera, os quais são provenientes de diferentes operações em diversos tipos de indústrias.

Muitas emissões industriais têm sido controladas com sucesso pelo uso da incineração, especialmente quando poluentes orgânicos estão envolvidos, seja como gás, vapor ou aerossol. Algumas dessas operações são: secadores de sangue animal, digestores utilizados na produção de farinha de carne, farinha de osso, farinha de penas e de peixe, torrefações de café, secagem de pintura de veículos e outros artefatos, secagem de chapas envernizadas, defumação de carne, etc..

A combustão também está sendo utilizada na redução das emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos por fontes móveis (veículos).

Combustão é uma oxidação conseguida através do mecanismo de rápidas reações em cadeia. As reações em cadeia ou passos envolvidos na redução de substâncias combustíveis indesejáveis a dióxido de carbono e vapor d'água são numerosos e variam para cada composto presente no efluente gasoso. Entretanto, a existência de numerosas reações em cadeia não é prejudicial para a combustão controlada, pois esta é mais influenciada por fatores externos tais como concentração, temperatura inicial do gás, volume ou vazão e turbulência. Na realidade, tempo, temperatura e turbulência são de tal modo predominantes nessas reações que até são chamados de "3Ts" da combustão. A velocidade e a completicidade da reação de combustão estão diretamente ligadas aos "3Ts", pelo fato de que o oxigênio precisa entrar em íntimo contato com a molécula combustível a uma temperatura e tempo suficiente para que a reação se realize completamente.

A ocorrência de combustão incompleta pode resultar na formação de aldeídos, ácidos orgânicos, partículas de carbono (fuligem), monóxido de carbono ou outros produtos menos desejáveis que aqueles inicialmente existentes no efluente gasoso.

Uma mistura somente é capaz de auto-combustão ou explosão quando os constituintes necessários estão dentro de uma faixa de concentração limitada. Esta faixa é importante porque o calor de combustão característico da mistura fornece energia suficiente para propagar o processo de oxidação. A faixa de concentração limitada está definida por valores conhecidos como limite de inflamabilidade superior e inferior. Estes limites usualmente referem-se a misturas de ar e gás, ou vapor combustível, e são expressos porcentualmente em volume, a temperatura ambiente.

No caso de fontes de poluição do ar, os poluentes geralmente estão presentes a baixas concentrações e necessitam do fornecimento de energia suplementar. A energia adicional ou suplementar pode ser gerada por pré-aquecedores, queimadores alimentados a óleo ou gás, ou "flares". Pré-aquecimento da mistura ar-gás antes de entrar no maçarico pode sustentar uma chama no mínimo necessário porque o limite inferior de inflamabilidade diminui com o aumento da temperatura. O sistema de combustão catalítica permite a oxidação a temperaturas reduzidas.

O principal fator de projeto para se obter combustão auto-sustentável é o conhecimento da temperatura mínima requerida para queimar vapores orgânicos na presença de oxigênio em quantidade adequada. Esta temperatura é conhecida como a de combustão "autógena" ou "catalítica" quando é referida, respectivamente, a incineradores diretos ou pós-queimadores, e sistemas catalíticos. Ela é influenciada pelo tipo de matéria combustível, pelo conteúdo de oxigênio, conteúdo de energia, velocidade de passagem e outras condições. O tipo de catalizador usado nos sistemas catalíticos é um fator adicional na temperatura de combustão catalítica.

a). EQUIPAMENTOS DE INCINERAÇÃO DE GASES E VAPORES

Três tipos básicos de equipamentos de incineração são utilizados para o controle das emissões de gases e vapores combustíveis, quais sejam:

- . incineradores de chama direta
- . incineradores catalíticos
- . "flare"

Além desses três tipos, também é utilizada, ainda que de forma limitada, a incineração em uma câmara de combustão já existente, na qual existe um uso principal, como é o caso da utilização de câmaras de combustão de caldeiras.

a.1). INCINERADORES DE CHAMA DIRETA

O incinerador de chama direta consiste de uma câmara de combustão com paredes revestidas com material refratário, um ou mais queimadores, indicador-controlador de temperatura, equipamento de segurança e, algumas vezes, contém equipamento para recuperação de calor, como os trocadores de calor. A seção transversal deste tipo de equipamento geralmente é cilíndrica ou retangular. A figura 6.21. mostra dois tipos de incineradores de chama direta de seção cilíndrica.

O funcionamento do incinerador de chama direta depende do contato da chama e de temperatura relativamente altas para queimar os contaminantes. Em princípio, qualquer tipo de combustível pode ser utilizado como combustível auxiliar; contudo, para propósitos de controle de poluição do ar, o combustível mais indicado é gasoso, sendo que o combustível líquido também tem sido usado. Parâmetros básicos para a incineração por chama direta:

1- Temperatura

Temperatura suficientemente alta deve ser provida na câmara de combustão para que se processe a completa oxidação dos poluentes combustíveis. O gráfico 6.5.(ref.7) mostra a eficiência de um incinerador em função da temperatura na câmara de combustão. Esse gráfico mostra que para se conseguir eficiências próximas de 100 % a temperatura do incinerador dever ser de 815 o.C ou mais.

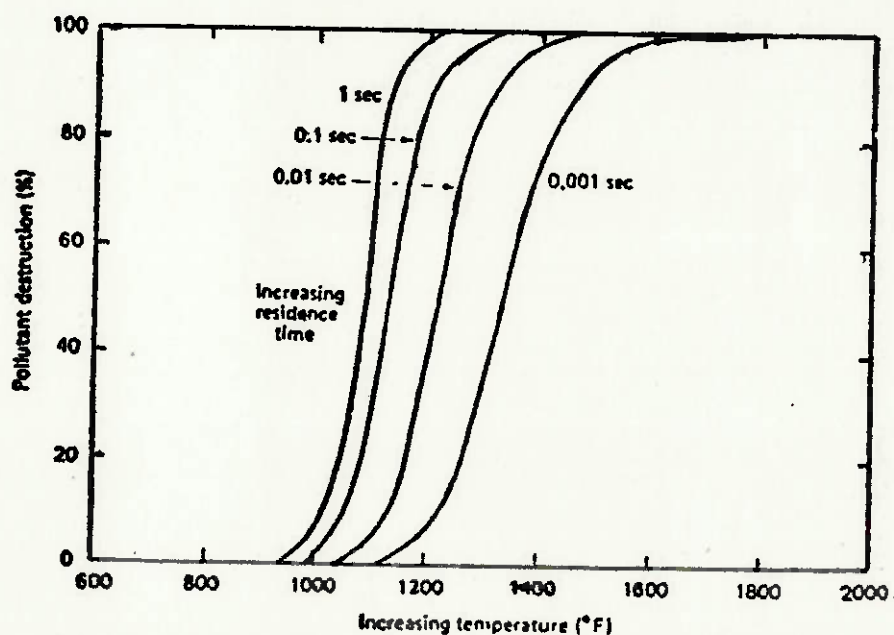


GRÁFICO 6.5 - Variação da eficiência de controle com a temperatura e tempo de residência

A tabela 6.7. fornece algumas recomendações para a temperatura de operação de incineradores para determinadas fontes de poluição do ar. Em geral, a temperatura varia do mínimo de 650 o.C ao máximo de 815 o.C.

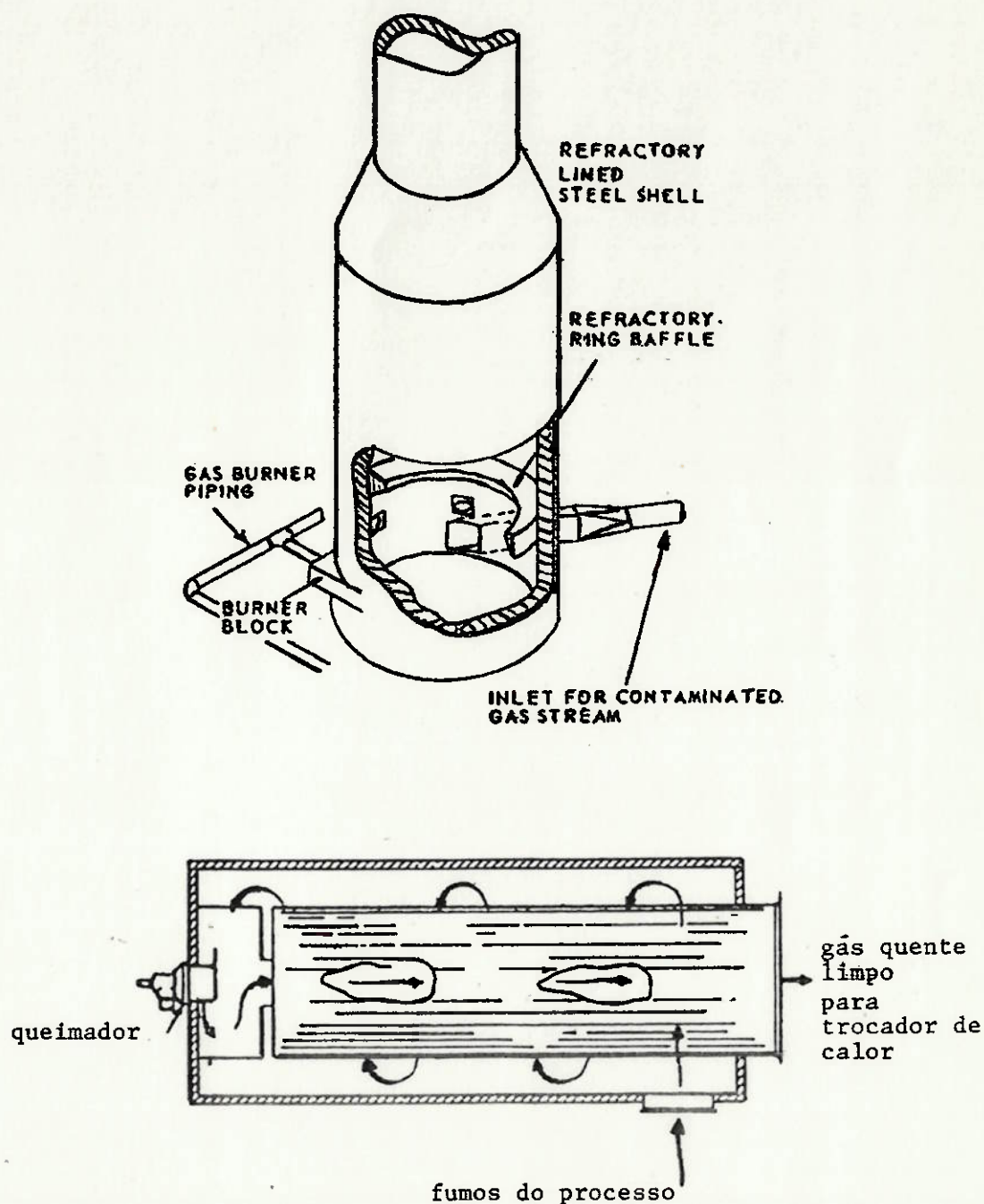


FIGURA 6.21 - Incineradores de chama direta vertical e horizontal

Deve-se ressaltar que a temperatura deve ser a mínima necessária, pois o custo de operação está baseado no consumo de combustível auxiliar.

TABELA 6.7 - Temperatura de operação recomendada para incineradores de chama direta

FONTE DE OPERAÇÃO	TEMPERATURA RECOMENDADA (o.C)
controle de solvente	700 - 815
controle de odor	700 - 815
defumação	650
cozimento de verniz	650
cura do plastisol vinílico	650 - 760
digestão de matéria animal	650
fumaça de óleo e graxa	650 - 760
cura de pintura	650 - 815
torrefação de café	650 - 815
fritura de gordura	650

ref.7

2- Tempo de Residência (T)

O tempo de residência é definido como o tempo em que o gás permanece na câmara de combustão e é matematicamente igual a:

$$(6.31) \quad T = \frac{\text{volume da câmara de combustão}}{\text{vazão de gás na câmara de combustão}}$$

O tempo de residência recomendado pela prática varia de 0.3 a 0.5 segundos, mas pode chegar a até 2 segundos.

3- Velocidade na Câmara de Combustão

A velocidade deve ser adequada de modo a promover uma boa mistura. Velocidades da ordem de 6 a 12 m/s podem ser empregadas.

4- Contato entre Contaminante e Chama

O contato entre o contaminante e a chama na câmara de mistura depende da maneira como entra o combustível auxiliar e o ar com o contaminante, e também, da posição relativa dessas entradas.

A câmara de mistura deve prover boa mistura entre contaminantes e a chama. As velocidades usuais para a câmara de mistura variam de 7.5 a 15 m/s. Essa faixa de velocidade também é suficiente para evitar a volta da chama no duto, pois é maior que a velocidade de propagação da chama, para a maioria dos casos práticos.

5- Consumo de Combustível Auxiliar

A quantidade de calor a ser provida ao sistema para atingir a temperatura de operação especificada é calculada pela diferença entre as entalpias do gás na saída e na entrada do incinerador. No caso de controle de poluição do ar, geralmente pode-se assumir o gás como sendo o ar, uma vez que as concentrações dos poluentes são baixas. Também devido a este fato, pode-se desprezar o calor de combustão produzido pela queima dos poluentes. No caso de altas concentrações de poluentes no gás carregador, deve-se levá-las em consideração para um projeto mais preciso.

Essa quantidade de calor será suprida pelo calor produzido pela queima do combustível na temperatura desejada. O consumo de combustível auxiliar dependerá do tipo de combustível, porque depende de seu poder calorífico. Previsão deve ser feita para possíveis perda de calor.

a.2). INCINERADORES CATALÍTICOS

Um incinerador catalítico consiste basicamente de uma câmara que contém uma camada do catalizador que promoverá a oxidação do poluente. A incineração catalítica necessita de temperaturas mais baixas quando comparada com a incineração com chama direta, mas na maioria dos casos há necessidade de uma câmara de pré-aquecimento. O incinerador catalítico também deve possuir dispositivos indicadores-controladores de temperatura, dispositivos de segurança e sistema de recuperação de calor.

A figura 6.22. mostra dois esquemas de incineradores catalíticos.

O catalizador é uma substância que aumenta a taxa de combustão e, teoricamente, não é modificado pelo processo de combustão. A combustão catalítica ocorre na superfície do catalizador, sem chama e a temperatura mais baixa que a temperatura de combustão "autógena".

A combustão catalítica é um fenômeno de superfície que envolve os seguintes passos:

- . difusão dos reagentes para a superfície do catalizador e difusão dos produtos de sua superfície
- . difusão dos reagentes e produtos dentro dos poros do suporte do catalizador

- . adsorção de reagentes e desadsorção dos produtos na superfície do catalizador
- . reação na superfície do catalizador, envolvendo os reagentes adsorvidos

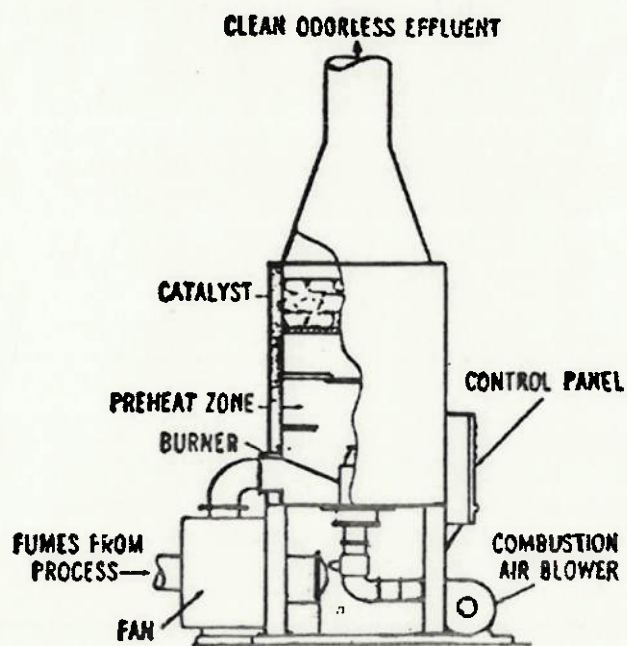
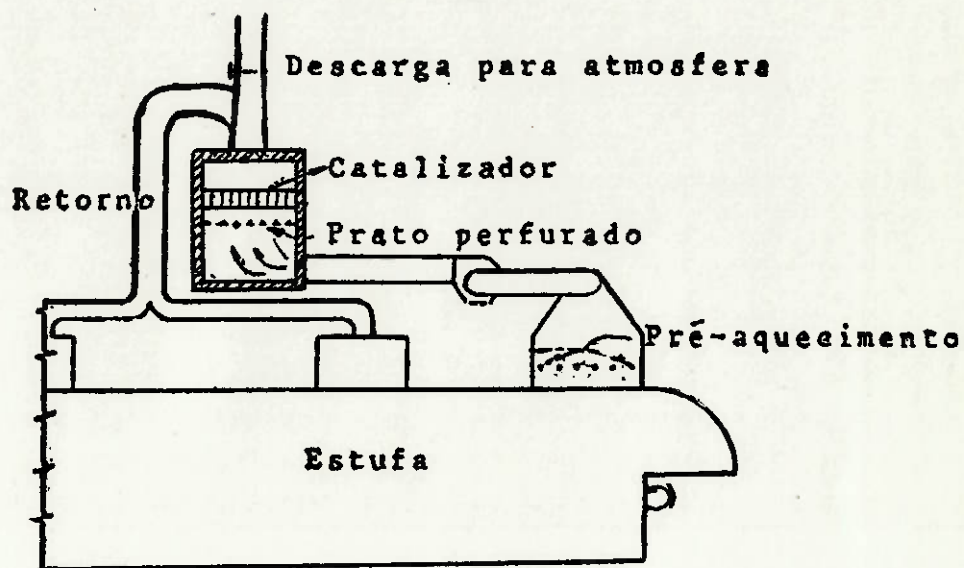


FIGURA 6,22 - Incineradores catalíticos com recuperação direta de calor

O fenômeno de adsorção é exotérmico, portanto fornece a energia necessária para a combustão dos reagentes, os quais apresentam-se em altas concentrações na superfície do catalizador.

A eficiência do incinerador catalítico é função de algumas variáveis, entre as quais podemos citar:

- . área superficial do catalizador
- . tipo de catalizador
- . uniformidade do fluxo dos gases através do leito catalizador
- . natureza do material a ser queimado
- . concentração de oxigênio
- . volume de gases por unidade de catalizador
- . temperatura dos gases

Os elementos que têm sido usados como catalizadores são metais e óxidos metálicos da família da platina. Como a catálise é um fenômeno de superfície, pequenas quantidades de catalizador são suportadas por meio expandido, tal como a alumina, de tal modo que seja conseguida uma grande área superficial.

A temperatura na entrada do leito catalizador está usualmente na faixa de 340 a 540 o.C.

Os gráficos 6.6. e 6.7. (ref.6) mostram a curva de eficiência de remoção de hidrocarbonetos (normalhepteno e tolueno) em incineradores catalíticos, em função da temperatura e do tipo de suporte, e a comparação com o incinerador de chama direta.

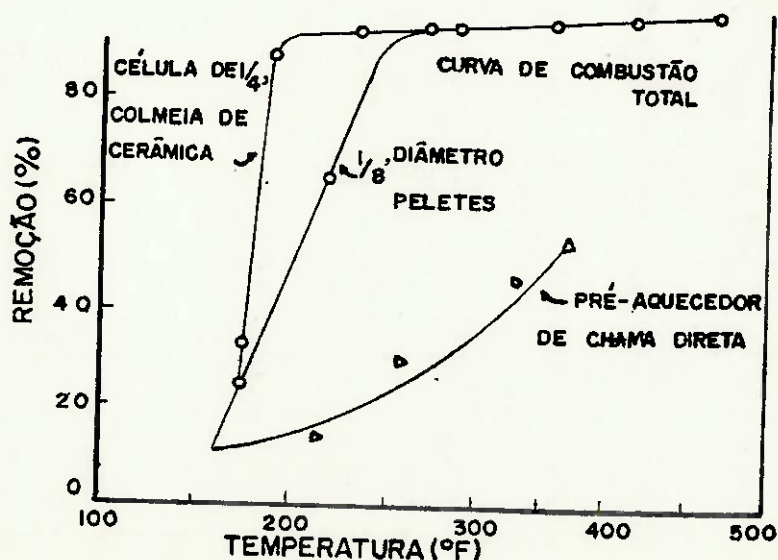


GRÁFICO 6.6 - Eficiência de remoção para o n-heptano

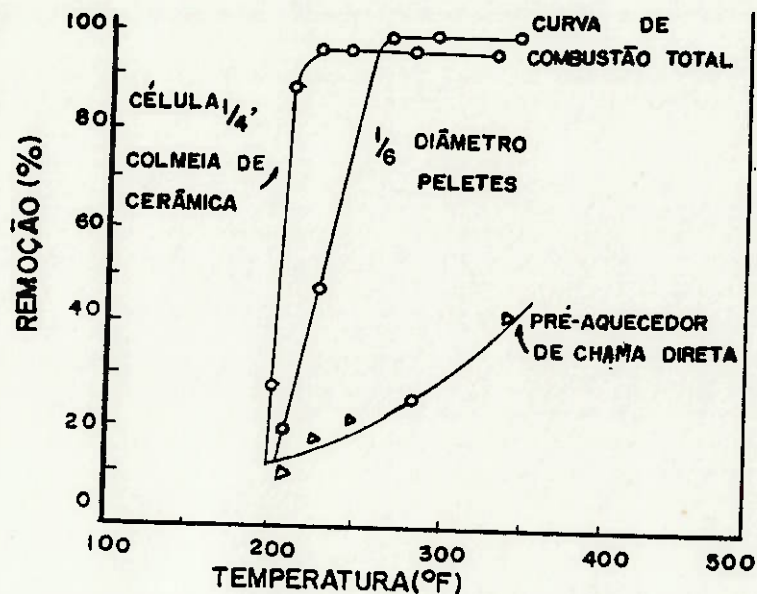


GRÁFICO 6.7 - Eficiência de remoção para o tolueno

O peso molecular do hidrocarboneto também exerce influência na eficiência de remoção. Hidrocarbonetos de baixo peso molecular podem reagir mais rapidamente devido às maiores taxas de difusão, contudo, a estabilidade da molécula tem que ser levada em consideração. O gráfico 6.8. mostra a influência de um hidrocarboneto estável e de baixo peso molecular (metano), o qual é difícil de ser oxidado, na eficiência do incinerador catalítico.

A eficiência do incinerador catalítico deteriora com o tempo de uso e, portanto, deve ser feita a reposição periódica dos elementos. Essa reposição varia amplamente, desde alguns meses a até 2 anos. Em adição, a performance do catalizador é seriamente afetada por materiais que envenenam o catalizador, como por exemplo mercúrio, arsênio, zinco e chumbo. Substâncias que cobrem o catalizador, tais como resinas sólidas e óxidos sólidos, necessitam ser evitadas, sendo portanto uma limitação de uso.

A principal vantagem do incinerador catalítico sobre o incinerador de chama direta é o baixo custo operacional devido à menor quantidade de combustível auxiliar requerida. Como desvantagens podemos citar a eficiência geralmente mais baixa e o problema da disponibilidade do catalizador no mercado interno.

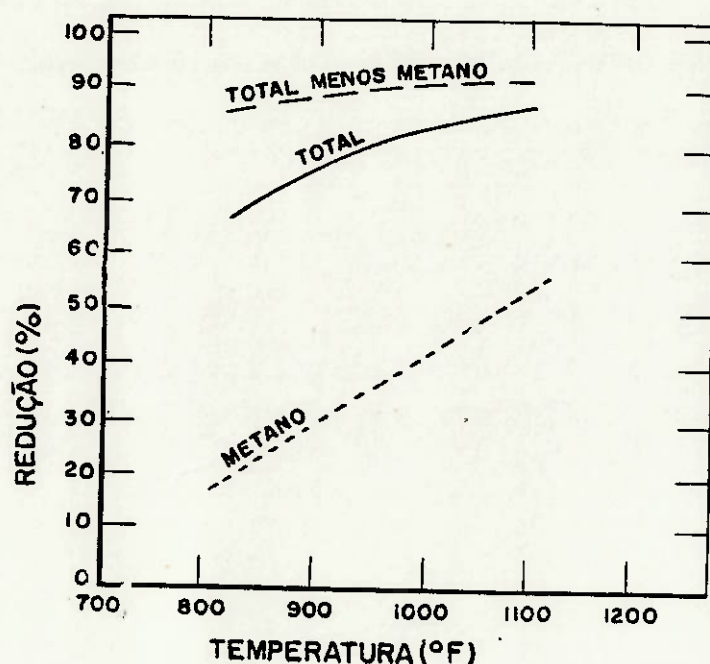


GRÁFICO 6.8 - Influência do metano na eficiência de um pós-queimador catalítico

a.3). FLARES

Flares são equipamentos que estão localizados no ponto de emissão dos poluentes e que promovem a queima desses em espaço aberto. Este tipo de equipamento é utilizado quando os poluentes combustíveis estão em concentrações próximas ou acima do limite inferior de inflamabilidade.

Dois são os tipos de flares:

- . os elevados, localizados na chaminé de saída dos poluentes
- . os ao nível do solo

Os flares elevados são os mais comumente utilizados e devem ser preferidos devido à melhor condição para dispersão dos poluentes.

Basicamente o flare elevado consiste de um comprimento adicional de chaminé que tem na sua saída um queimador de gases, uma chama piloto, um sistema de ignição e, em alguns casos, um anel de pré-aquecimento e um sistema de injeção do vapor. O anel de pré-aquecimento é utilizado quando o gás está abaixo do limite inferior de inflamabilidade. A injeção de vapor melhora a turbulência e faz com que o ar atinja a região de combustão. O vapor d'água também reage com os hidrocarbonetos formando compostos oxigenados que queimam a temperaturas mais baixas.

Os flares são utilizados principalmente pelas refinarias de petróleo e outras indústrias petroquímicas. Algumas indústrias que lidam com compostos combustíveis tóxicos ou perigosos, podem utilizar este equipamento como dispositivo de segurança quando esses compostos tiverem que ser lançados na atmosfera devido a condições anormais.

a.4). CÂMARAS DE COMBUSTÃO EXISTENTES

Câmaras de combustão de caldeiras e aquecedores a combustível podem ser utilizados, sob certas condições, como incineradores de chama direta. Esta é uma condição singular, pelo fato de que uma fonte de poluição do ar é utilizada para controlar poluentes emitidos por outra fonte.

As condições da câmara de combustão de caldeiras aproximam das de um incinerador bem projetado, desde que sejam adequados a temperatura, o tempo de residência, a turbulência e a chama.

A adaptação completamente satisfatória de caldeiras como incineradores de gases e vapores não é comum. Todos os aspectos de operação devem ser exaustivamente avaliados antes de utilizarmos a caldeira como equipamento de controle de poluição do ar. A função primordial de uma caldeira é a de fornecer vapor ou água quente e, quando o seu uso como equipamento de controle de poluição conflitar com a sua função, um ou os dois propósitos sofrerão.

6.6.2.3.- ADSORVEDORES

A adsorção é um processo seletivo e bastante apropriado para a remoção de gases presentes em baixas concentrações, principalmente substâncias causadoras de odor. No entanto, a adsorção também é empregada para a recuperação de solventes, como no caso de limpeza de roupas a seco. Leva significativa vantagem em relação aos incineradores de gases pela não necessidade de uso de combustível auxiliar, além de possibilitar a recuperação de solventes quando se utiliza o processo regenerativo. A presença de material particulado no fluxo de gás a ser tratado prejudica o material adsorvente, encurtando o seu tempo de vida. O mesmo pode ocorrer com a condensação de líquidos.

a). SUBSTÂNCIAS ADSORVENTES

O adsorvente apresenta a característica de ser um material sólido, poroso e de grande área superficial específica. Como exemplo podemos citar que a área ativa de muitos adsorventes atinge a 1000 m² em cada grama de adsorvente. Os principais adsorventes utilizados em poluição do ar são:

- . carvão ativado
- . alumina ativada
- . sílica gel
- . peneiras moleculares

Os três primeiros são substâncias amorfas, enquanto as peneiras moleculares são substâncias cristalinas constituídas basicamente de alumino-silicatos de metais (potássio, magnésio, sódio ou cálcio). As peneiras moleculares são relativamente novas, tendo o seu uso comercial se iniciado por volta de 1954. Possuem a vantagem de poderem ser feitas sob medida para uma aplicação específica.

O carvão ativado é produzido pelo aquecimento de sólidos orgânicos (carvão, madeira dura, côco, etc.) a aproximadamente 900 o.C em atmosferas redutoras. Esse adsorvente é um dos mais antigos e é muito utilizado face à sua versatilidade, disponibilidade e custo. A densidade está na faixa de 0.08 a 0.5 g/cm³.

Os adsorventes em geral têm tamanhos na faixa de 4 a 20 mesh (4.76 a 8.41 um) e são descritos como "pellets" ou "beads". Outra característica importante de um adsorvente é a sua alta temperatura de oxidação, o que previne a oxidação e confere adequada resistência, mantendo-se assim estruturalmente estável.

A tabela 6.8. apresenta algumas características de carvão ativado, sílica gel e alumina ativada assim como das terras diatomáceas e fuller para fins de comparação.

TABELA 6.8 - Características de adsorvedores

ADSORVENTE	ÁREA ATIVA (m ² /g)	VOLUME DOS POROS (cm ³ /g)	DIÂMETRO MÉDIO DOS POROS (Ao.)
carvão ativado	200 - 1500	0.6 - 0.8	20 - 40
silica-gel	200 - 600	0.4	30 - 200
alumina ativada	175	0.39	90
terras diatomáceas e fuller	4.2	1.14	22000

ref.7

A tabela 6.9. apresenta características específicas das peneiras moleculares, assim como suas principais aplicações.

TABELA 6.9 - Características e aplicações de peneiras moleculares (tipo Linde)

TIPO	DIAM. POROS(Ao.)	CATION	MOLECULAS ADSORVIDAS(a)	USOS
3A	3	potássio	<3 Ao. de diâm. ex. água e amônia	secagem e desidratação
4A	4	sódio	<4 Ao. de diâm. ex. etanol, H ₂ S, CO ₂ , C ₂ H ₄ e C ₂ H ₆	adsorção de hidrocarbonetos saturados
5A	5	cálcio	<5 Ao. de diâm. ex. n-C ₄ H ₉ OH, n-C ₄ H ₁₀ , C ₃ H ₈ a C ₂₂ H ₁₆	
13X	10	sódio	<10 Ao. de diâm.	secagem, remoção de mercaptanas

ref.7

obs. a) cada tipo adsorve as moléculas listadas e as precedentes

A impregnação de carvão ativado com substâncias químicas adequadamente escolhidas, pode aumentar a afinidade adsorptiva para certas substâncias. Um exemplo é o uso de carvão ativado impregnado com acetato de chumbo para a adsorção de gás sulfídrico. Nesse caso, ocorre uma reação química resultando na formação de sulfeto de chumbo o qual não pode ser recuperado sem a destruição do adsorvente que deve então ser descartado.

b). CAPACIDADE DE ADSORÇÃO

Existem dois tipos de capacidade de adsorção: uma refere-se à capacidade em relação à saturação; a outra, à capacidade de trabalho. Uma camada de adsorvente adsorve uma determinada substância durante um certo período de tempo sem grande variação na concentração de saída (eficiência relativamente constante). A partir de um certo tempo de operação, a concentração de saída começa a aumentar rapidamente até atingir eficiência de retenção zero, ou seja, a concentração de saída é a mesma de entrada. O ponto em que a concentração começa a aumentar rapidamente é chamado de "breaking point". Quando esse ponto é atingido, o adsorvente deve ser regenerado ou trocado. A capacidade de trabalho refere-se à capacidade de adsorção até atingir o "breaking point". A capacidade de adsorção de saturação é referida ao ponto em que a eficiência passa a ser nula.

Na tabela 6.10. é mostrada a capacidade de adsorção relativa do carvão ativado para várias substâncias. Esse quadro é importante para verificar a viabilidade de utilização do carvão ativado para adsorção de uma substância específica.

A capacidade de adsorção e a retenção do carvão ativado para algumas substâncias orgânicas é mostrada na tabela 6.11..

A retenção refere-se à quantidade de substância que permanece após a desorção. A adsorção, sempre que possível, deve ser feita a temperatura relativamente baixa.

A capacidade de adsorção aumenta à medida que a quantidade de desorção é aumentada. A desorção, que é a retirada do poluente adsorvido do leito do adsorvedor, aumenta à medida que a temperatura de desorção é aumentada em relação à temperatura de adsorção. A desorção também pode ser aumentada pelo aumento do tempo de desorção.

O tempo para a saturação do adsorvente pode ser calculado pela expressão de Turk abaixo:

$$(31) \quad t = \frac{2.9 * 10^{(5)} (m)}{Q * Y_e * M}$$

sendo:

- t = tempo para atingir saturação (min)
- m = massa da adsorvente (g)
- Q = vazão de gás (m³/h)
- M = massa molecular média dos vapores adsorvidos
- Y_e = concentração do vapor a ser adsorvido na entrada do adsorvedor (ppm)

TABELA 6.10 - Capacidade de adsorção relativa do carvão ativado para várias substâncias orgânicas

POLUENTE	INDICE	POLUENTE	INDICE

acetaldeído	2	gás carbônico	1
ácido acético	4	monóxido de carbono	1
acetona	3	tetracloroeto de carbono	4
acroleína	3	cloro	3
álcool	4	cloropicrina	4
aminas	2	fumaça de cigarro	4
amônia	2	cresol	4
anestésicos	3	fumaça de óleo diesel	3
odores animais	3	desinfetantes	4
benzeno	4	acetato de etila	4
odores corporais	4	etileno	1
butano	2	óleos essenciais	4
álcool butílico	4	formaldeído	2
ácido butírico	4	gasolina	4
odor de câncer	4	odores hospitalares	4
ácido caprílico	4	cheiro caseiro	4
gás sulfídrico	3	álcool isopropílico	4
agentes mascaradores	4	mercaptanas	4
ozona	4	perfumes e cosméticos	4
suor	4	fenol	4
propano	2	piridina	4
frutas amadurecidas	4	smog	4
solventes	3	lugares abafados	4
tolueno	4	trupentina (terebintina)	4

ref.7

obs. significado do índice:

1. baixa capacidade de adsorção por carvão ativado, não sendo recomendado seu uso
2. razoável em função das condições de operação, requerendo estudos específicos
3. capacidade satisfatória. Adsorve entre 10 e 25 % do peso (média 16.7%)
4. alta capacidade para todos os materiais dessa categoria. Uma libra adsorve 20 a 50 % do seu próprio peso. Essa categoria engloba quase todos os odores

TABELA 6.11 - Capacidade de adsorção e retenção do carvão ativado para algumas substâncias orgânicas

SUBSTÂNCIAS	CAPACIDADE DE ADSORÇÃO (%peso)	RETENÇÃO APÓS REMOÇÃO (%peso)
tetracloreto de carbono	180. - 110.	27. - 30.
gasolina	10. - 20.	2. - 3.
benzeno	45. - 55.	5.9
metanol	50.	1.2
etanol	50.	1.05
isopropanol	50.	1.15
acetato de etila	57.5	4.87
acetona	51.	3.0
ácido acético	70.	2.5

ref.7

O tempo para atingir o "breaking point" (capacidade de trabalho) é menor que o dado pela expressão de Turk e deve ser obtido com base em experimentos. É importante obter dados específicos do fabricante.

O gráfico 6.9. (ref.15) mostra a capacidade de adsorção de odores por um carvão ativado da "Pittsburgh Activated Carbon", tipo BPL, tamanho 12 * 30 mesh americana, em condição standard. A densidade desse material é de 0.5 g/cm³.

O gráfico 6.10. (ref.15) mostra que a capacidade de adsorção é inversamente proporcional à temperatura e diretamente proporcional à concentração.

c). TIPOS DE ADSORVEDORES

Os adsorvedores podem ser de leito único ou múltiplos, fixo ou móvel. A figura 6.23. mostra um adsorvedor de leitos múltiplos, fixos. Na figura 6.24. é mostrado um adsorvedor de leito fixo de carvão ativado.

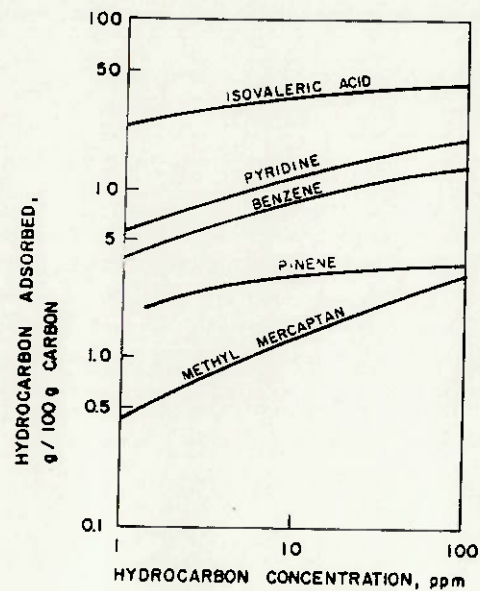


GRÁFICO 6.9 - Curva capacidade de adsorção do odor função da concentração e tipo de gás para um determinado carvão

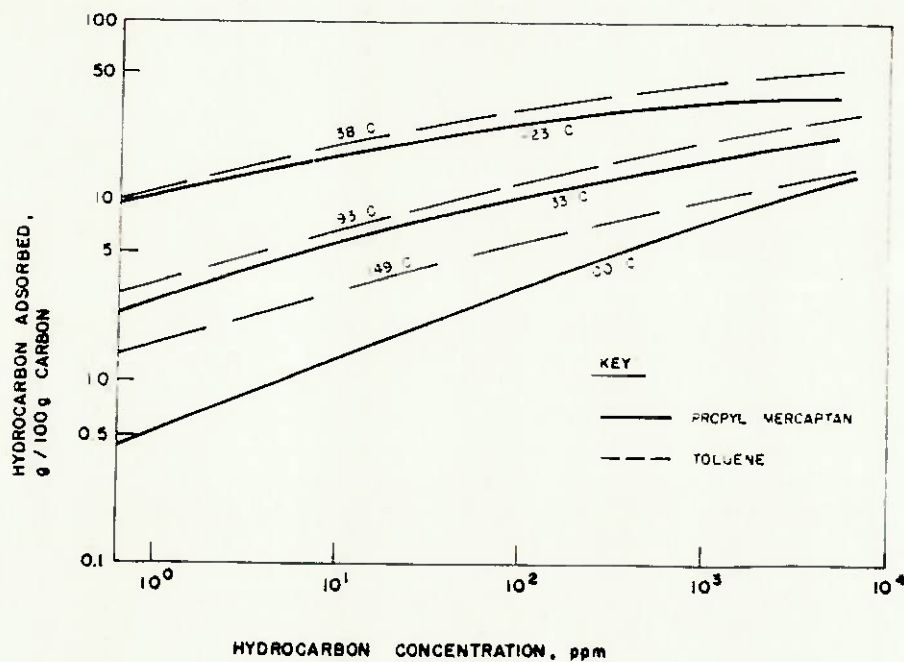


GRÁFICO 6.10 - Curva capacidade de adsorção função da temperatura e concentração

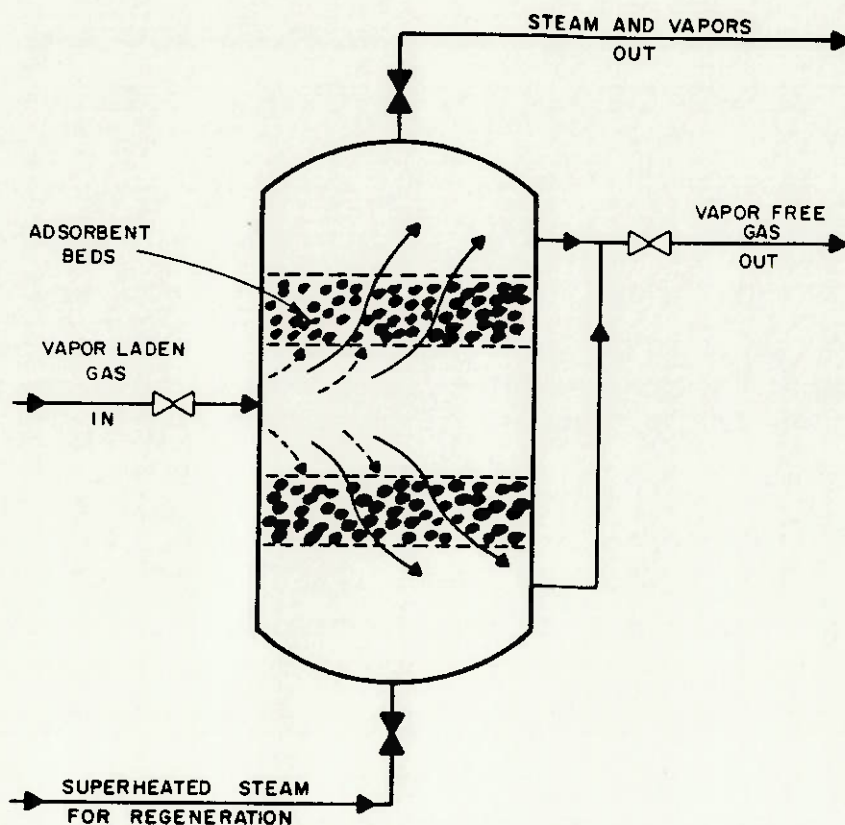


FIGURA 6.23 - Adsorvedor de leitos múltiplos

Os adsorvedores podem operar com sistema de regeneração ou o material adsorvente pode ser descartado após a exaustão. A regeneração é conseguida em geral pela passagem, em fluxo contrário, de vapor de baixa pressão, o qual será condensado juntamente como o adsorbato (substância adsorvida) num sistema de condensação adequado. Caso o adsorbato não seja de fácil condensação, o mesmo deverá ser incinerado ou controlado por outro meio. A regeneração é importante para reduzir os custos do sistema quando o produto tem valor comercial e está presente em concentrações razoáveis, de preferência em altas concentrações.

d). PERDA DE CARGA

A perda de carga do adsorvedor é função do tipo e granulometria do material adsorvente e da velocidade superficial na entrada do leito adsorvente. O gráfico 6.11. apresenta a perda de carga em leitos de carvão ativado.

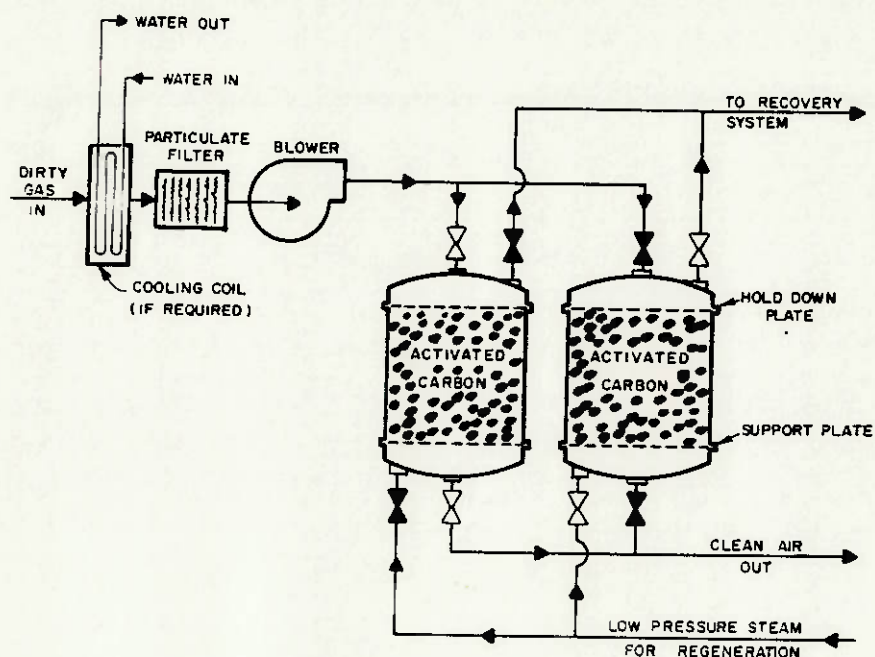


FIGURA 6.24 - Adsorvedor de leito fixo de carvão ativado

e). EFICIENCIA

Os adsorvedores são extremamente efetivos na remoção de poluentes gasosos. Mesmo à baixa concentrações, eles podem ser projetados e operados a eficiências próximas a 100 %. Dados empíricos necessitam ser usados para cada sistema, para se estabelecer as condições de projeto e operação necessárias para a obtenção da eficiência requerida.

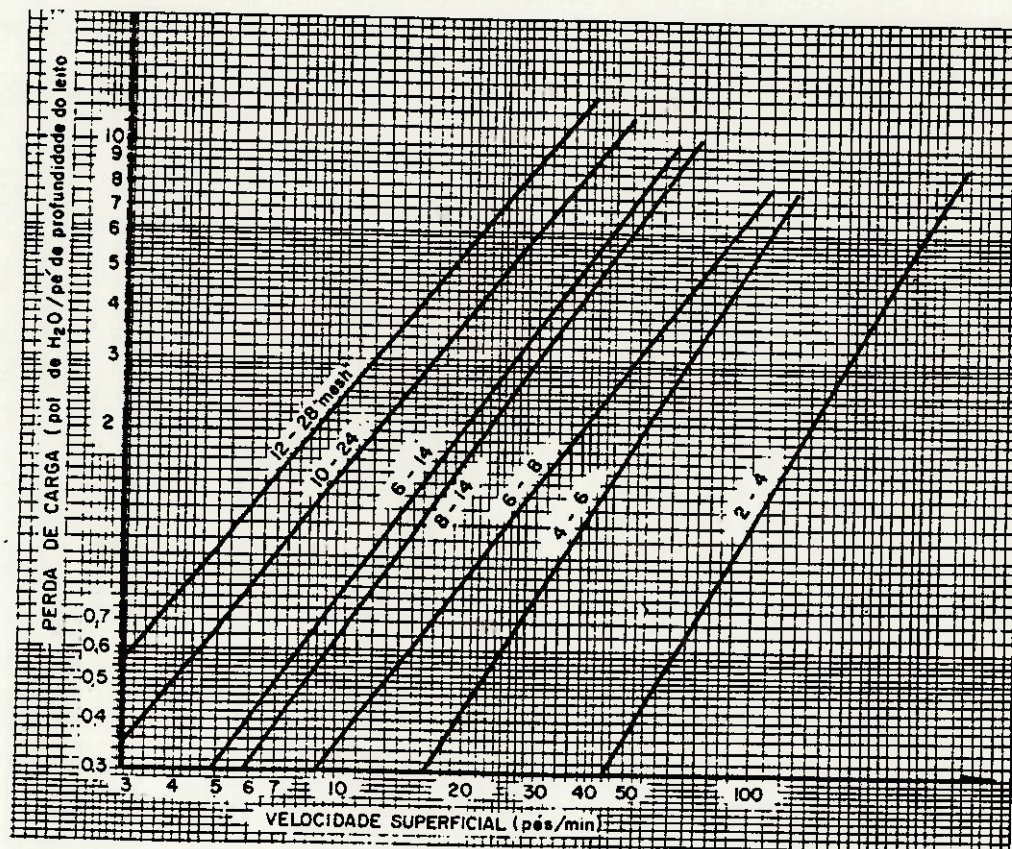


GRÁFICO 6.11 - Perda de carga em leito de carvão ativado

COMISSIONAMENTO DE SISTEMAS DE POLUIÇÃO

Durante as fases de estudo, projeto, construção e "start-up" do equipamento, diversos problemas podem surgir sendo que, podemos citar como principais:

- . não familiaridade dos engenheiros de processo com a engenharia de poluição do ar
- . nova e/ou mudanças nas leis de controle da poluição do ar
- . novos fornecedores de equipamentos frequentemente sem experiência e testes realizados
- . falta de padrões industriais em algumas áreas chaves
- . interpretações da agência de controle no campo pessoal
- . reclamações sobre os cronogramas de projeto que são restritivos demais
- . especificações vagas
- . garantias deficientes para o novo equipamento de controle
- . cronogramas de entrega irrealizáveis
- . problemas insolúveis do processo

Assim, por esses e outros motivos, antes de se selecionar e comprar um equipamento de controle de poluição é interessante procurar atender algumas considerações que a experiência tem mostrado sê-las importantes. São elas:

- . abster-se da compra de qualquer equipamento de controle sem um certificado de performance sob condições similares. Solicitar do fabricante essas informações de performance e também sobre o projeto
- . no caso de não ser disponível dados suficientes de performance, solicitar que o fornecedor do equipamento providencie um modelo piloto para avaliação sob as condições existentes
- . solicitar a participação das autoridades de controle de poluição local no processo de decisão
- . preparar um bom conjunto de especificações, incluindo forte garantia de performance do equipamento para assegurar que ele irá reunir todos os códigos aplicáveis, tanto local como nacional, nas condições específicas de projeto
- . revisar pormenorizadamente os processos e fundamentos econômicos; avaliar a possibilidade da compensação da emissão e/ou aplicação do conceito de bolha, o qual permite a planta encontrar o caminho mais eficiente para controlar suas emissões como um todo
- . fazer um cuidadoso estudo do balanço de material antes de autorizar um teste de emissão ou compra do equipamento de controle
- . abster-se da compra de qualquer equipamento antes que sólidas estimativas do custo da instalação tenha sido somada ao custo dele

- . considerar como de grande importância na lista de fatores de seleção do equipamento os custos de manutenção e operação
- . abster-se da compra de qualquer equipamento de controle até que o total comissionamento da utilidade do fornecedor seja obtido; esforço deve ser feito para assegurar que o novo sistema utilizará combustíveis, controladores, filtros, motores e outros compatíveis com os já existentes na planta
- . a especificação deverá incluir garantia escrita de pronta assistência técnica do fornecedor do equipamento; isto, juntamente com um completo manual de operação (com lista das partes e esquemas gerais) é essencial porém frequentemente esquecido na pressa de se colocar o equipamento em operação
- . cronogramas, particularmente em projetos que estão sob mandato judicial ou consentimento em juízo, podem tornar-se críticos; em tais casos, garantias de entrega deverão ser obtidas do fabricante e penalidades estabelecidas
- . o equipamento de controle deverá ser projetado com sistema a prova de falha, com indicadores de funcionamento para mostrar quando a performance está se deteriorando
- . reter 10 a 15 % do preço da compra até que todos os problemas ocorridos estejam resolvidos e o equipamento funcionando plenamente

Com essas medidas e algumas outras, pode-se garantir que o investimento exigido para a aquisição do novo equipamento será adequadamente empregado e que o retorno se dará no menor prazo possível.

8.- SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE

8.1.- INTRODUÇÃO

Antes de se selecionar um equipamento de controle de poluição do ar, principalmente em projetos que ainda estão na prancheta, deve-se procurar tratar o problema de forma preventiva, considerando-se possíveis alterações no projeto das fontes poluidoras, assim como outras soluções descritas com detalhes no capítulo 4.. Caso seja verificada a necessidade de se instalar um equipamento de controle, deve-se procurar fazê-lo adequadamente em vista dos altos investimentos necessários.

Para que a seleção seja feita, o melhor procedimento é basear-se na relação entre o processo de emissão -sem o equipamento de controle- e a qualidade de emissão necessária para reunir os objetivos de controle. O equipamento também deve ser projetado para respeitar as leis de emissão numa base contínua, com interrupções sujeitas a severas penalidades dependendo das circunstâncias. Essas limitações são determinadas por órgãos competentes e estão descritas no capítulo 5..

O requerimento de performance contínua do equipamento coloca as práticas de operação e manutenção em grande ênfase. Na verdade, não é raro casos onde a presença de técnicas de operação e manutenção favoráveis associadas a determinado equipamento possa influenciar grandemente a sua seleção, a despeito do fato de um maior custo de capital.

Identificadas as metas a serem atingidas, é importante a caracterização completa e exata do fluxo emissor a ser controlado tanto do ponto de vista dos componentes utilizados como das características do fluxo gasoso que afetam a operação dos coletores. Finalmente, depois do problema ter sido definido em termos do que está sendo emitido e do que deve ser removido, é necessário proceder a escolha entre as diversas alternativas de controle.

8.2.- FATORES ENVOLVIDOS NA SELEÇÃO

Há diversos fatores a serem considerados preliminarmente na seleção de um aparelho específico de controle de poluição do ar. Eles podem ser agrupados, entretanto, em três categorias: ambientais, de engenharia e econômicos.

8.2.1.- FATORES AMBIENTAIS

Entre os fatores ambientais podemos citar:

- . localização do equipamento
- . espaço disponível
- . condições ambientais
- . presença de utilidades adequadas (energia, água, etc.) e sistemas de instalações auxiliares (tratamento e disposição de resíduos, etc.)
- . máxima emissão permitida (leis de emissão)
- . considerações do sistema de controle da poluição do ar para resíduos líquidos e poluição do solo
- . contribuição do sistema de controle para a poluição sonora da planta.

8.2.2.- FATORES DE ENGENHARIA

Dentre os fatores de engenharia, os principais que devem ser analisados são:

- . características dos contaminantes (propriedades físicas e químicas, concentração, forma da partícula e distribuição de tamanho -no caso de particulados-, reatividade química, corrosividade, toxicidade, etc.)
- . características do fluxo gasoso (vazão, temperatura, pressão, humidade, composição, viscosidade, densidade, reatividade, combustibilidade, corrosividade, toxicidade, etc.)
- . características de projeto e performance para o particular sistema de controle (tamanho e peso, curva de eficiência fracionada - no caso de particulado-, transferência de massa e/ou capacidade de destruição de contaminantes -no caso de gases e vapores-, perda de carga, confiança e segurança, exigência de energia e utilidades, limitações de temperatura, exigências de manutenção, flexibilidade para atingir leis de controle de poluição mais restritivas, etc.)

8.2.3.- FATORES ECONOMICOS

Os fatores econômicos são muito importantes na análise de um sistema de poluição, sendo os principais itens a serem considerados:

- . custo de capital (equipamentos, instalação, engenharia, etc.)
- . custo de operação (utilidades, manutenção, etc.)
- . estimativa do tempo de vida do equipamento e valor vendável, etc.

Também devemos considerar a possibilidade da instalação de um equipamento de controle provisório (não muito eficiente) em uma planta antiga, pois pode não ser economicamente viável a instalação de um outro equipamento de controle, mais sofisticado e certamente mais caro, nesta instalação já ultrapassada devido ao tempo, e que poderá num futuro bem próximo ser substituída.

8.3.- PROCEDIMENTO PARA A SELEÇÃO. PROJETO GERAL

A seleção de coletores envolve dois passos básicos:

1. escolha, entre todos os tipos de coletores, dos que reúnem as exigências técnicas do processo
2. escolha, entre os que reúnem as exigências, daquele que realiza o trabalho com o menor custo global

As exigências técnicas já mencionadas no item 8.2.2. e detalhadas a frente no item 8.6. são estabelecidas em termos do gás transportador e dos contaminantes que ele carrega. Tanto para o gás transportador como para os contaminantes, é geralmente necessário conhecer pormenorizadamente as suas propriedades e as variações destas com a vazão e o tempo. Assim, pode-se realizar de forma satisfatória a seleção do sistema de controle da poluição do ar.

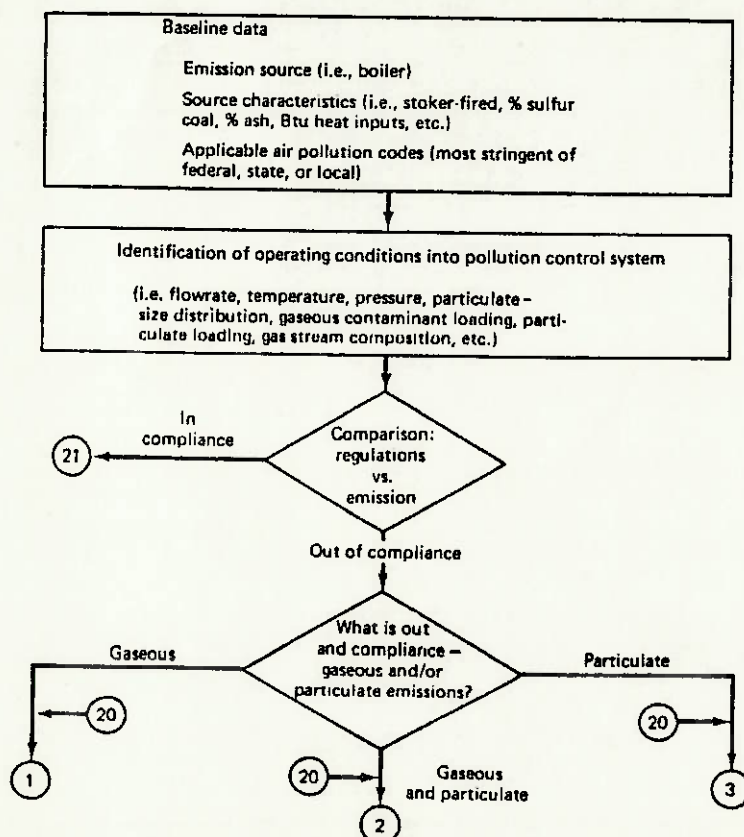
Para uma planta já existente, a seleção de um sistema de controle torna-se mais fácil pois pode-se obter as propriedades do gás transportador e do contaminante com grande precisão na própria instalação. Porém, quando o processo está na prancheta de desenho e o sistema de coleta está para ser especificado como parte da planta, o primeiro recurso é valer-se de experiências em plantas ou processos similares. A comparação e consequente análise das propriedades de instalações já existentes com as que existirão na nova planta permite a obtenção, dentro de uma margem de segurança razoável, do sistema de controle adequado.

Quando não existem experiências sobre um processo particular, é frequentemente possível basear o projeto em um processo paralelamente próximo para o qual há informações de projeto. Em tais casos, para proporcionar uma margem de erro sobre as suposições admitidas, é sábio incorporar um fator de segurança de modo que possíveis mudanças, necessárias para melhorar a eficiência de coleta, possam ser feitas depois que a planta entre em operação.

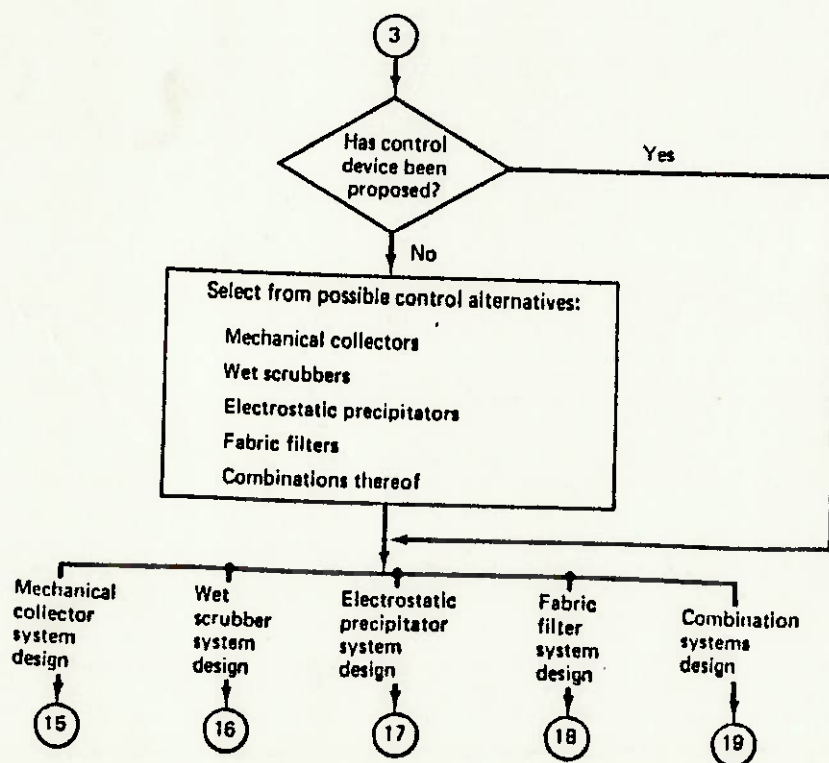
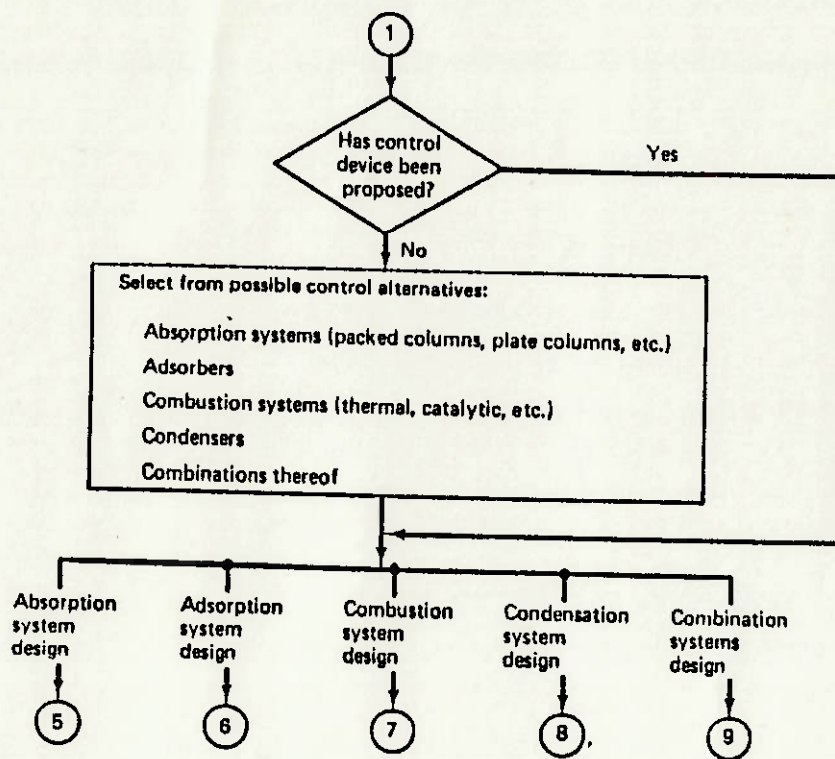
Para que o objetivo do projeto de um equipamento de controle de poluição do ar seja alcançado de modo satisfatório é necessário fazer-se algumas revisões nele. Essas revisões são realizadas por uma variedade de razões incluindo:

- . para antecipar queixas com relação a novos limites de emissão/qualidade do ar aplicáveis
- . para estimar a performance do equipamento de controle existente
- . para avaliar a praticabilidade de um projeto de equipamento proposto
- . para taxar o efeito do equipamento de controle na modificação do processo

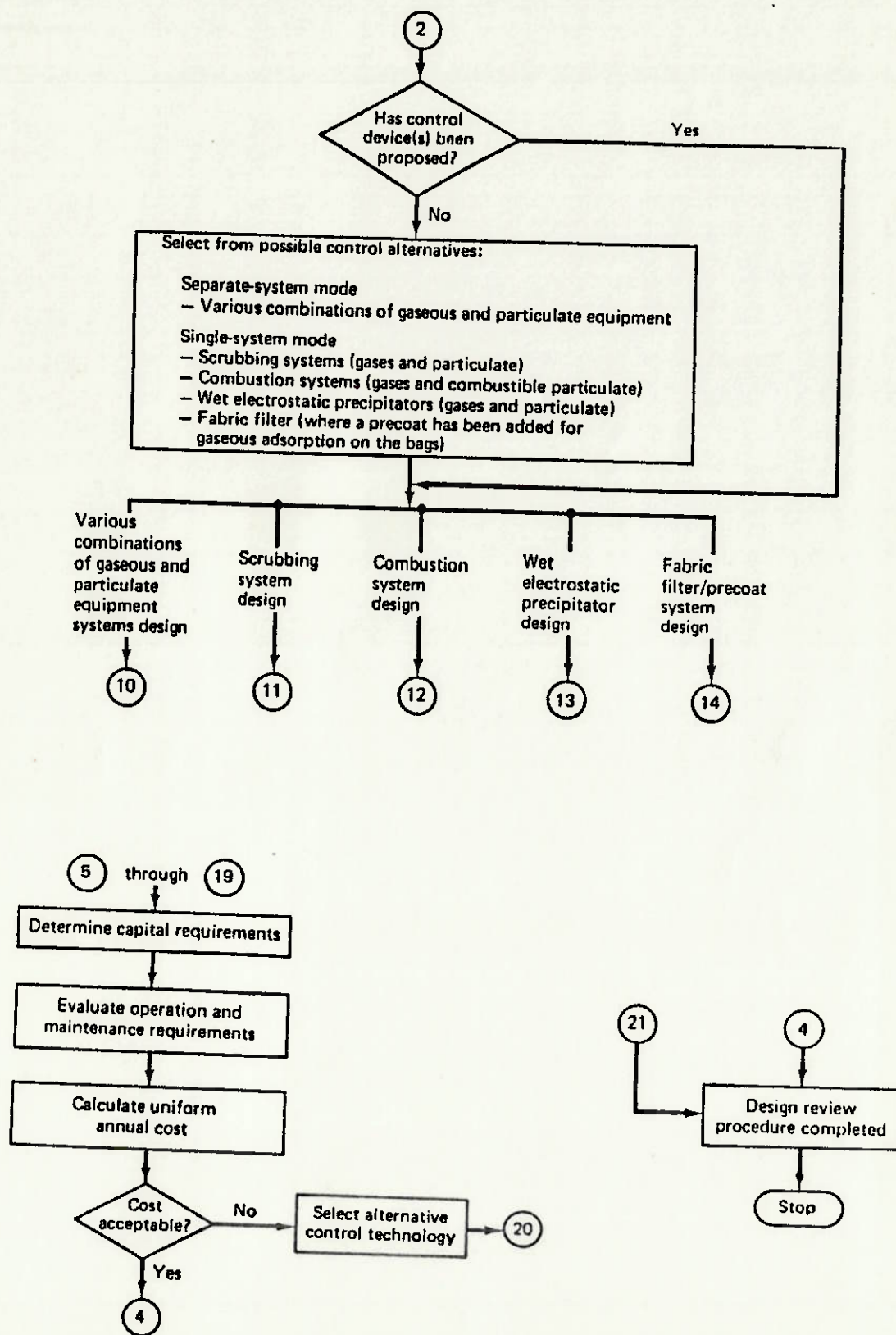
Uma típica aproximação de uma revisão geral de projeto está mostrada no esquema 8.1. (ref. 13). A investigação da revisão de projeto é uma das primeiras atividades realizadas no processo de avaliação de uma fonte poluidora sendo que outras atividades devem ser acompanhadas antes que a questão final seja realizada. Um roteiro a ser seguido para que o processo de seleção de um sistema de controle seja realizado com êxito é mostrado no esquema 8.2. (ref. 13). Esse roteiro é o aplicado pela EPA norte-americana para a maioria das instalações.



ESQUEMA 8.1. Aproximação típica da revisão geral de projeto



ESQUEMA 8.1. Continuação



ESQUEMA 8.1. Continuação

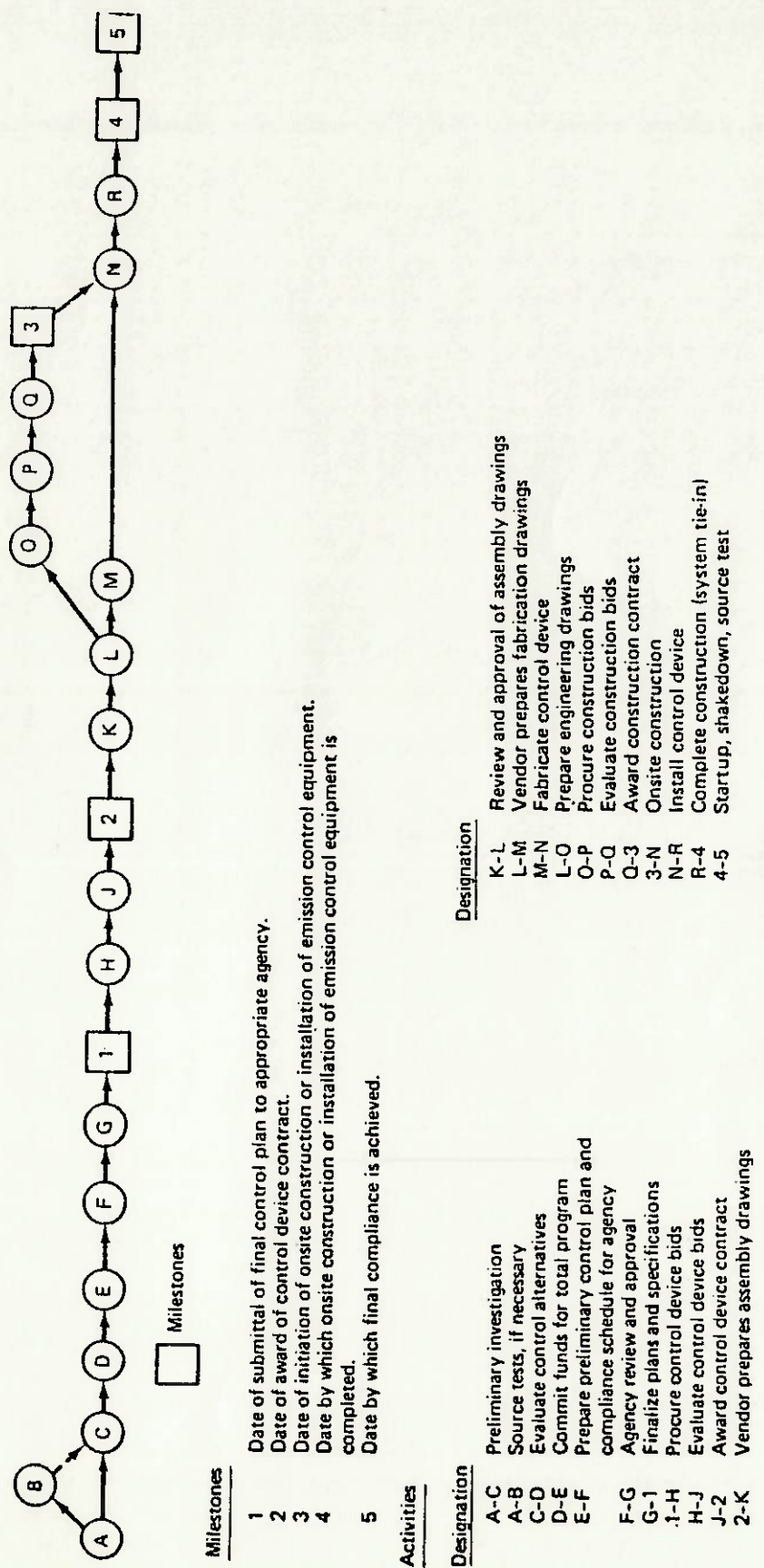


FIGURE 2-2 Compliance activity and schedule chart.

ESQUEMA 8.2. Atividades e eventos chaves para implantação de sistema de controle

8.4.- EQUIPAMENTOS DE CONTROLE. ALTERNATIVAS

Os equipamentos de controle de poluição do ar podem ser classificados em vários tipos principais:

- . filtros
- . precipitadores eletrostáticos
- . ciclones
- . coletores mecânicos (outros que ciclones, como por exemplo, filtro de mangas, etc.)
- . lavadores/depuradores
- . adsorvedores
- . equipamentos onde o contaminante é queimado como meio para o seu controle (pós-queimadores, incineradores catalíticos e outros)

Numa seleção preliminar, deve-se considerar as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos principais. Por exemplo, se água ou sistema de tratamento de resíduos não é disponível na obra, isso pode ocasionar a não utilização de sistemas de lavagem, preferindo-se usar sistemas a seco como ciclones, filtros de manga e/ou precipitadores eletrostáticos. Se combustível auxiliar não é disponível de forma contínua, pode não ser possível queimar os vapores orgânicos que são poluentes em sistemas de incineração; se a distribuição de tamanho do particulado no fluxo gasoso é relativamente fina, coletores ciclônicos raramente serão considerados; se os vapores poluentes podem ser reutilizados no processo, os esforços de controle se dirigirão para os sistemas de adsorção. As vantagens e desvantagens gerais dos tipos principais de equipamentos de controle para gases e material particulado estão descritas nas tabelas 8.1. a 8.9. (ref. 13).

A escolha final na seleção de um equipamento, considerando-se as duas premissas mencionadas no item anterior (exigências técnicas e menor custo global), exige sobremaneira o conhecimento de cada equipamento existente, suas características de funcionamento, tamanho aproximado, facilidade de instalação, método de coleta, etc., e também as várias aplicações utilizadas, com o "feed-back" da eficiência da planta. Um fato importante a ser considerado é a possibilidade de equipamentos de diferentes tipos serem usados em série e também serem incorporados dentro da mesma carcaça. Por exemplo, filtros são comumente incorporados a uma câmara de sedimentação integral, separadores de gotas são acoplados a lavadores venturi, etc..

TABELA 8.1.- Vantagens e desvantagens de coletores ciclônicos

VANTAGENS

-
- custo de construção relativamente baixo
 - equipamento relativamente simples e com poucos problemas de manutenção
 - perda de carga operacional relativamente baixa (para grau de remoção de particulados obtido) na faixa de aproximadamente 50 a 150 mmca
 - temperatura e pressão limitadas somente pelos materiais construtivos empregados
 - coleta e disposição a seco
 - espaço requerido relativamente pequeno
-

DESVANTAGENS

-
- eficiência global de coleta de particulados relativamente baixa, especialmente para partículas menores que 10 μ m
 - incapacidade para manusear material pegajoso (pastoso)
-

TABELA 8.2.- Vantagens e desvantagens dos lavadores de gases

VANTAGENS

-
- não há fontes de pó secundárias
 - espaço exigido relativamente pequeno
 - capacidade para coleta de gases tão boa quanto para partículas (especialmente as pastosas)
 - capacidade de tratamento de fluxos de gás bastante úmidos e com elevada temperatura
 - custo de capital baixo (sem sistema de tratamento de resíduos líquidos)
 - para processo que se acham a alta pressões, a perda de carga torna-se sem grande importância
 - grande eficiência até para particulados finos (entretanto, ocorre aumento da perda de carga)
-

DESVANTAGENS

-
- necessidade de depósito de resíduos líquidos
 - o produto é coletado úmido
 - problemas de corrosão (mais que nos sistemas a seco)
 - presença de pluma de vapor e/ou gotículas carregadas pelo fluxo gasoso
 - perda de carga e potência exigida podem ser altas
 - impregnação de material sólido na interface seco-molhado podendo causar problemas de entupimento
 - custo de manutenção relativamente alto
-

TABELA 8.3.- Vantagens e desvantagens dos precipitadores eletrostáticos

VANTAGENS

-
- altíssima eficiência de coleta de particulados (grossos e finos) podem ser alcançadas a baixa perda de carga
 - coleta e disposição a seco
 - perda de carga raramente superior a 15 mmca
 - projetado para operação contínua com mínimas exigências de manutenção
 - custos operacionais relativamente baixos
 - capacidade de operação a alta pressão (até 10 kgf/cm²) ou condições de vácuo
 - capacidade de operação a altas temperaturas (até 700 Celsius)
 - grandes vazões podem ser manuseadas
-

DESVANTAGENS

-
- custo de capital relativamente alto
 - muito sensível às flutuações do fluxo gasoso (vazão, temperatura, particulado, composição do gás, carregamento de particulados, etc.)
 - não coleta eficientemente particulados com resistividade extremamente alta ou baixa
 - ocupação de grandes espaços
 - problemas no tratamento de gases combustíveis (perigo de explosão)
 - problemas com a alta voltagem (necessidade de precauções especiais)
 - produção de ozona pelo eletrodo de emissão durante a ionização do gás
 - necessidade de pessoal de manutenção relativamente especializado
-

TABELA 8.4.- Vantagens e desvantagens dos filtros de tecido

VANTAGENS

-
- eficiência de coleta extremamente alta para todo tipo de particulados (grosso ou fino)
 - pequena sensibilidade às alterações do fluxo gasoso. Eficiência e perda de carga variam muito pouco com grandes mudanças na concentração de entrada)
 - possibilidade de recirculação do ar de saída do filtro na planta (conservação de energia)
 - coleta e manuseio do material a seco
 - não há problema com disposição de resíduos líquidos e poluição das águas
 - poucos problemas de conexão e enferrujamento de componentes
 - permite a coleta de pós inflamáveis por não utilizarem energia elétrica (simplificação da manutenção)
 - alta eficiência de coleta de fumaça submicrômica e contaminantes gasosos devido a utilização de fibras selecionadas ou de filtros auxiliares
 - versatilidade do equipamento - dimensão, configuração, localização de flanges variados
 - operação relativamente simples
-

DESVANTAGENS

-
- necessidade de tecidos metálicos ou especiais de minerais refratários para temperaturas maiores que 290 Celsius (materiais ainda em estudo e desenvolvimento)
 - certos pós podem exigir o tratamento do tecido para reduzir a infiltração e também para remover o pó coletado
 - necessidade de manutenção frequente (trocas das mangas, etc.)
 - problemas de fogo ou explosão se ocorrer faiscamento ou chama para alguns pós em concentrações dentro de faixas críticas
 - problemas - encurtamento da vida do tecido - se houver temperatura elevada ou presença de partículas ou contaminantes de gases ácidos ou alcalinos
 - entupimento das mangas caso haja a presença de materiais higroscópicos, condensação de vapor ou componentes adesivos como piche
 - necessidade de proteção respiratória para se fazer a manutenção dos internos
 - perda de carga média (100 a 250 mmca)
-

TABELA 8.5.- Vantagens e desvantagens dos absorvedores

VANTAGENS

-
- perda de carga relativamente baixa
 - utilização em atmosferas corrosivas se o equipamento for feito em fibras de vidro e/ou plástico reforçado (F.R.P.)
 - capacidade de atingir altas eficiências de transferência de massa
 - grande flexibilidade a baixo custo - possibilidade de adição de nova seção de enchimento ou pratos, elevando a altura do equipamento e a transferência de massa
 - baixo custo de capital
 - necessidade de pouco espaço
 - coleta tanto de particulado como de gases
-

DESVANTAGENS

-
- problemas de disposição de água ou líquido residual
 - coleta do produto de forma úmida
 - problemas de entupimento do leito ou prato devido a deposição de pó
 - grande sensibilidade a temperatura em torres construídas em F.R.P.
 - altos custos de manutenção
-

TABELA 8.6.- Comparação entre torres de pratos e de enchimento

ENCHIMENTO

-
- perda de carga menor
 - construção mais simples (suporte para o enchimento e distribuidores de líquido a cada 3 metros)
 - construção mais barata para torres pequenas e que usam plástico
 - são mais versáteis (enchimento pode ser trocado para aumentar a eficiência, diminuir a perda de carga ou aumentar a capacidade)
 - preferível para líquidos com alta tendência de espumamento
 - possibilidade de processar fluidos corrosivos (enchimentos de cerâmica ou plástico)
-

PRATOS

-
- menos susceptível a entupimentos quando o gás tem partículas
 - menor peso
 - mais fácil de ser limpada
 - menor problema de distribuição do líquido (não tem problema de "channeling")
 - melhor quando há grande variação de temperatura, pois resiste mais à contração e expansão térmica
-

TABELA 8.7.- Vantagens e desvantagens dos sistemas de combustão

VANTAGENS

-
- capital desprendido relativamente baixo
 - não há necessidade de combustível auxiliar para o dispositivo de controle de poluição do ar
 - os custos de operação e manutenção ficam limitados a um só equipamento
 - simplicidade de operação
 - capacidade de geração de vapor ou recuperação de calor em outras formas (economia de combustível)
 - capacidade para virtual destruição completa de componentes orgânicos
-

DESVANTAGENS

-
- custos operacionais relativamente altos (associados a necessidade de combustível)
 - necessidade do uso de duas ou mais caldeiras por causa das paradas de manutenção
 - poderá aumentar o custo de manutenção devido a sujeira do queimador e dos tubos da caldeira
 - necessidade de uma grande caldeira se o volume de contaminantes também o for
 - perigo de explosão caso a chama possa retornar
 - envenenamento do catalizador em incineração catalítica
 - combustão incompleta pode potencialmente criar piores problemas de poluição
-

TABELA 8.8.- Vantagens e desvantagens dos sistemas de adsorção

VANTAGENS

-
- controle excelente e respostas a mudanças no processo
 - possível recuperação do produto
 - não há problema de depósito químico quando o poluente (produto) é recuperado e retornado ao processo
 - capacidade de sistemas totalmente automáticos, com operação independente
 - capacidade de remover gases e vapores contaminantes do fluxo processual para valores extremamente baixos
-

DESVANTAGENS

-
- recuperação do produto pode necessitar um esquema de destilação ou extração diferente e caro
 - deteriorização progressiva do adsorvente com o aumento do número de ciclos
 - necessidade de fonte de calor ou vácuo para a regeneração do adsorvente
 - custo de capital relativamente alto
 - necessidade de pré filtração do fluxo gasoso para prevenir entupimento do leito adsorvente por particulado
 - restrição do uso do catalizador em faixa de temperatura pré determinada (menor que 50 graus Celsius) - necessidade de refrigeração
 - necessidade de vapor relativamente alta para desorção de hidrocarbonetos de alto peso molecular
-

TABELA 8.9.- Vantagens e desvantagens de condensadores

VANTAGENS

-
- recuperação do produto puro (no caso de condensadores de contato indireto)
 - possibilidade de reutilização do meio refrigerante em condensadores de contato indireto
-

DESVANTAGENS

-
- eficiência de remoção relativamente baixa para gases contaminantes (nas concentrações típicas de aplicações de controle de poluição)
 - necessidade de refrigerante pode ser extremamente cara
-

8.5.- SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

A seleção de um equipamento de controle de poluição do ar envolve as características listadas nos itens anteriores. Esse processo é iterativo e exige revisões e passos específicos para a sua otimização. Nos esquemas 8.1. e 8.2. é mostrada de modo global a metodologia da seleção, enquanto as informações específicas do gás transportador, do contaminante e dos equipamentos de controle podem ser resumidas no esquema 8.3. abaixo (ref.6). Essas sequências de seleção foram estabelecidas pela experiência e estão sujeitas a modificações caso novas informações de interesse surjam.

Como vimos, a experiência prévia na utilização de um equipamento de controle em determinadas plantas facilita grandemente a escolha de equipamentos para plantas similares. Embora não sejam muitas, todas as informações coletadas durante a instalação de equipamentos de controle da poluição do ar possibilitaram a confecção de tabelas relacionando instalações industriais com equipamentos de controle recomendados. Um exemplo disto é a tabela 8.10. (ref.7) e também a tabela da referência 13 presente no anexo 03. Essas tabelas, porém, são apenas de caráter consultivo pois pequenas alterações nas características das plantas podem levar ao selecionamento de equipamentos de características bem diferentes.

ESQUEMA 8.3 : Método para Seleção e Aplicação de Equipamentos de Controle de Poluição do Ar.

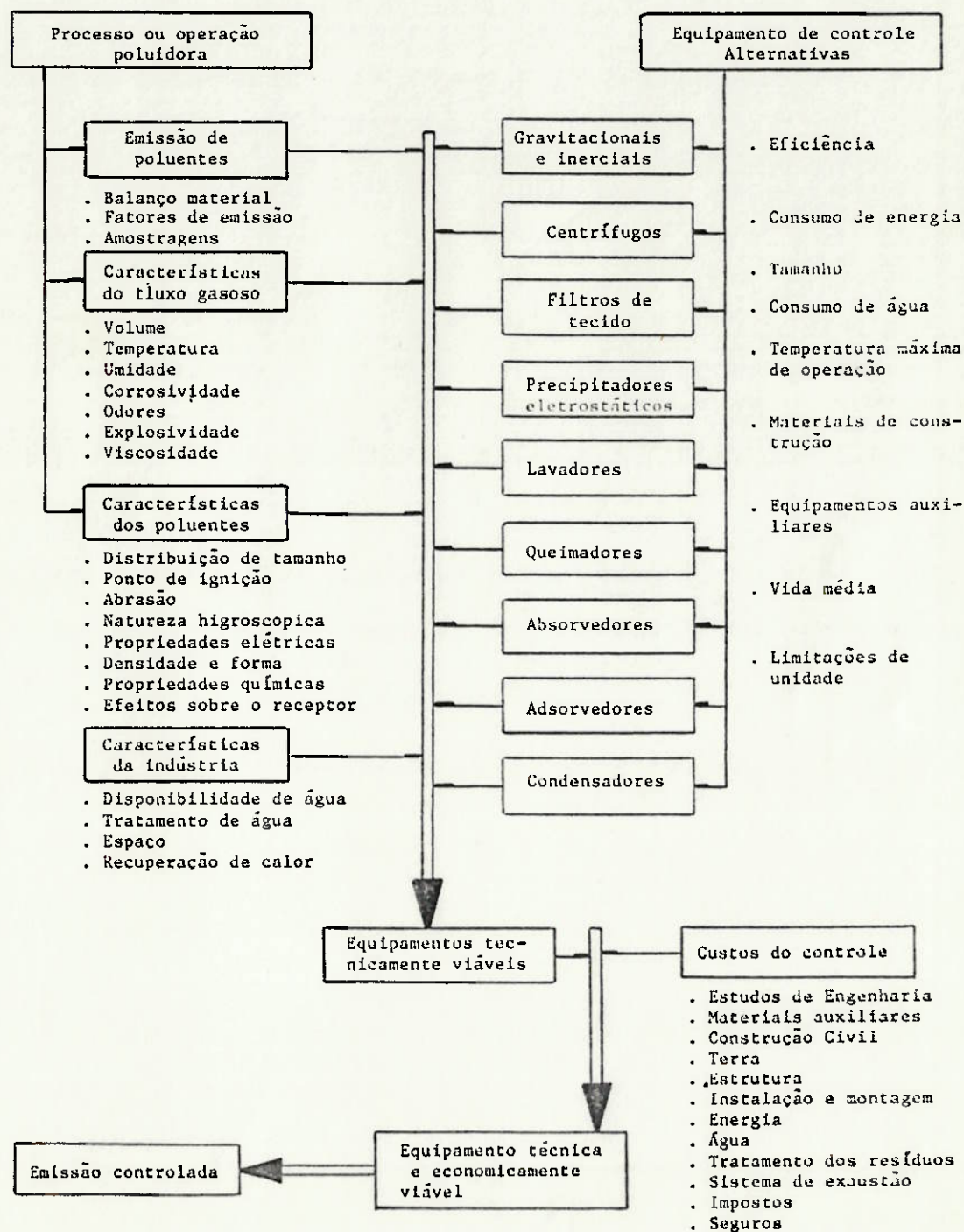


TABELA 8.10 - Coletores recomendados para diversas operações industriais

Operações	Tipo de carga	Granulometria	Ciclones	Multiciclones	Coletores úmidos e lavadores de gases	Filtros	Filtros de fibra de vidro	Precipitadores eletrostáticos
Produtos químicos em grãos								
Manipulação	Leve a forte	Fina a grossa	Eventualmente	Frequente	Frequente	Habitualmente	Não	Não
Moagem	Moderada a forte	Fina a grossa	Eventualmente	Frequente	Frequente	Habitualmente	Não	Não
Pesagem e peneiramento	Leve a moderada	Fina a média	Não	Não	Frequente	Frequente	Não	Não
Calcinadores								
Secadores e resfriadores	Forte	Média a grossa	Eventualmente	Frequente	Habitualmente	Eventualmente	Eventualmente	Não
Ventilação de silos	Leve	Fina a média	Não	Raro	Eventualmente	Frequente	Não	Não
Minas de carvão e centrais de forças								
Manipulação	Moderada	Média	Eventualmente	Eventualmente	Habitualmente	Raro	Não	Não
Ventilação de carvoeiras	Forte	Fina	Não	Raro	Frequente	Raro	Não	Não
Serra								
Serradores pneumáticos	Moderada	Média a grossa	Raro	Raro	Habitualmente	Eventualmente	Não	Não
Secagem	Forte	Fina	Eventualmente	Raro	Habitualmente	Não	Não	Eventualmente
Caldeiras								
Carvão, grelha metálica	Leve	Fina	Raro	Habitualmente	Não	Não	Não	Não
Pulverizado	Forte	Fina	Raro	Eventualmente	Não	Não	Eventualmente	Habitualmente
Madeira	Variável	Grossa	Frequente	Eventualmente	Não	Não	Não	Não
Fundição, siderurgia e trabalhos em metais								
Limpeza por abrasão	Moderada a fina	Fina a média	Não	Eventualmente	Habitualmente	Frequente	Não	Não
Rebolos fixos e pendulares	Moderada	Média a grossa	Frequente	Eventualmente	Eventualmente	Eventualmente	Não	Não
Desmoldagem	Leve a média	Fina	Não	Eventualmente	Frequente	Raro	Não	Não
Limpeza com areia	Moderada	Fina a média	Não	Eventualmente	Habitualmente	Não	Não	Não
Tambor giratório para limpeza	Forte	Média a grossa	Não	Eventualmente	Habitualmente	Eventualmente	Não	Não
Forno elétrico	Leve	Fina	Não	Não	Eventualmente	Habitualmente	Frequente	Raro
Cubilot	Moderada	Variável	Não	Eventualmente	Eventualmente	Eventualmente	Eventualmente	Raro
Fusão de não-ferrosos	Variável	Fina	Não	Não	Eventualmente	Habitualmente	Eventualmente	Não

TABELA 8.10 (Continuação)

Operações	Teor de carga	Granulometria	Ciclones	Multiclones	Coletores úmidos e lavadores de gases	Filtros	Filtros de fibra de vidro	Precipitadores eletrostáticos
Conversores	Moderada	Muito fina	Não	Não	Eventualmente	Eventualmente	Frequente	Frequente
Forno Siemens-Mann	Leve	Leve	Não	Não	Não	Raro	Frequente	Frequente
Limpeza	Moderada	Fina	Não	Não	Eventualmente	Raro	Frequente	Frequente
Decapagem	Moderada	—	Não	Não	Habitual (lavador)	Não	Não	Não
Fumos de aglomeração	Moderada a forte	Fina a média	Eventualmente	Eventualmente	Não	Raro	Não	Raro
Auxiliares de aglomeração	Moderada a forte	Fina a média	Não	Eventualmente	Habitualmente	Raro	Não	Raro
Minas e extração a céu aberto								
Manipulação	Moderada	Fina a grossa	Eventualmente	Frequente	Habitualmente	Frequente	Não	Não
Moagem e peneiramento	Forte	Média	Raro	Frequente	Habitualmente	Frequente	Não	Não
Secadores	Moderada a forte	Média a grossa	Raro	Frequente	Habitualmente	Não	Não	Não
Dispositivos de refinamento	Moderada	Grossa	Raro	Frequente	Eventualmente	Frequente	Não	Não
Cerâmica								
Manipulação	Leve	Fina	Raro	Raro	Frequente	Frequente	Não	Não
Rebarbação e moagem	Moderada a forte	Fina a média	Não	Não	Frequente	Eventualmente	Não	Não
Cimentaria								
Trituração	Forte	Fina a média	Não	Não	Não	Habitualmente	Não	Não
Tratamento do cru	Moderada	Média	Eventualmente	Não	Frequente	Raro	Não	Não
Dispositivo de refinamento	Moderada	Média a forte	Não	Frequente	Não	Não	Não	Não
Secadores	Forte	Fina a média	Raro	Não	Não	Não	Frequente	Frequente
Cereais								
Manipulação de grãos								
Manipulação de farinaceos	Leve	Média	Frequente	Raro	Não	Habitualmente	Não	Não
Produtos farmacêuticos	Moderada	Média	Raro	Não	Não	Habitualmente	Não	Não

TABELA 8.10 (Continuação)

Operações	Teor de carga	Granulometria	Ciclones	Multiclones	Coletores úmidos e lavadores de gases	Filtros	Filtros de fibra de vidro	Precipitadores eletrostaticos
Mistura, moagem e pesagem	Leve	Média	Raro	Frequente	Frequente	Frequente	Não	Não
Prensagem	Variável	Fina a média	Não	Não	Habitual	Frequente	Não	Não
Indústria de borracha								
Misturadores Banbury	Moderada	Fina	Não	Não	Eventualmente	Habitualmente	Não	Não
Talcagem	Moderada	Média	Não	Não	Eventualmente	Frequente	Não	Não
Moagem	Moderada	Grossa	Habitualmente	Não	Frequente	Eventualmente	Não	Não
Forno de carvão	Moderada	Grossa	Não	Não	Raro	Eventualmente	Habitualmente	Não
Trabalho em madeira								
Serra	Moderada	Variável	Habitualmente	Não	Não	Eventualmente	Não	Não
Lixamento	Moderada	Fina	Eventualmente	Não	Frequente	Eventualmente	Não	Não
Resíduos	Forte	Variável	Habitualmente	Não	Não	Raro	Não	Não
Diversas								
Vapores ácidos	Leve	—	Não	Não	Habitualmente (lavador)	Não	Não	Não
Decapagem ácida	Moderada	—	Não	Não	Habitualmente	Não	Não	Não
Fabricação de lonas de freio	Forte	Média	Eventualmente	Raro	Eventualmente	Eventualmente	Não	Não
Algodão	Leve	Média	Habitualmente	Não	Não	Raro	Não	Não
Acumuladores elétricos	Leve	Fina a média	Não	Não	Habitualmente	Frequente	Não	Não
Tratamento superficial do couro	Moderada	Média	Eventualmente	Não	Raro	Eventualmente	Não	Não
Corte de papel	Moderada	Média	Frequente	Raro	Não	Eventualmente	Não	Não
Plásticos								
Manipulação	Moderada	Média	Eventualmente	Eventualmente	Frequente	Frequente	Não	Não
Acabamento	Leve	Fina a média	Frequente	Não	Eventualmente	Frequente	Não	Não
Açúcar-pesagem, empacotamento	Leve	Fina a média	Não	Não	Frequente	Habitualmente	Não	Não
Granulador de açúcar	Moderada	Fina a média	Não	Não	Frequente	Não	Não	Não

8.6.- FATORES ESPECÍFICOS DE ENGENHARIA

Esta seção foi acrescentada devido a importância das características técnicas no processo de seleção. Procurou-se aqui fornecer maiores dados sobre os contaminantes, os gases transportadores e também artifícios utilizados no controle da poluição do ar.

8.6.1.- GÁS TRANSPORTADOR. PROPRIEDADES

8.6.1.1.- COMPOSIÇÃO

A composição do gás transportador é importante somente quando afeta as suas propriedades físicas e químicas. As propriedades químicas são importantes caso possa haver reações químicas entre o gás, o contaminante e o coletor - sua estrutura ou os internos -. Um exemplo comum de reação entre os componentes do gás e o equipamento é onde gases contendo SO_2 e vapor d'água corroem as partes metálicas dos coletores.

8.6.1.2.- TEMPERATURA

A temperatura influencia principalmente o volume do gás transportador e os materiais de construção dos coletores. O nível de temperatura é um dos fatores que determina o tamanho e o custo do coletor, e a concentração do contaminante por unidade de volume, que é, em muitos casos, a força propulsora da remoção. A viscosidade, densidade e outras propriedades do gás são também dependentes da temperatura.

Processos de adsorção são geralmente exotérmicos e são impraticáveis a temperaturas muito altas, sendo a adsorvabilidade inversamente proporcional a temperatura (quando a reação é primeiramente física e não é influenciada por reações químicas acompanhantes). Similarmente na absorção, onde a solubilidade do gás depende da temperatura do solvente, os efeitos da temperatura podem ser significativos se a concentração do material solúvel for tal que resulte num aumento apreciável da temperatura. Na utilização da combustão como meio para a remoção de contaminantes, a temperatura do gás afeta o balanço térmico, que é fator vital no processo. Na precipitação eletrostática, tanto a resistividade do pó como a força dielétrica do gás são dependentes da temperatura. Processos úmidos não devem ser usados a temperaturas onde o líquido possa tanto congelar, ferver ou evaporar bruscamente, sendo necessário usar o meio filtrante em faixas de temperatura dentro das quais ele é estável.

8.6.1.3.- PRESSÃO

Em geral, pressões do gás transportador muito maiores ou menores que a pressão atmosférica requerem que o equipamento de controle seja projetado como um vaso de pressão. Como alguns tipos de equipamentos são muito mais fáceis de serem projetados como vaso de pressão que outros, isto pode tornar um fator decisivo na seleção do equipamento.

A pressão do gás transportador não é o fator principal na coleta de particulados a não ser pela sua influência sobre a densidade, viscosidade e propriedades elétricas do gás. Ela, porém, pode ser de grande importância em certas situações especiais, tais como onde a escolha está entre lavadores de alta eficiência e outros aparelhos para a coleta de particulado pois, a disponibilidade de fonte de pressão pode ser usada para superar a alta perda de carga através do lavador, e desse modo reduzir a necessidade de alta potência que frequentemente limita a utilização de lavadores/depuradores. Na adsorção, altas pressões favorecem a remoção e podem ser exigidas em algumas situações.

8.6.1.4.- VISCOSIDADE

A importância da viscosidade nas técnicas de coleta se prende a dois aspectos:

- . em muitas situações é importante para os mecanismos de remoção (coleta inercial, gravitacional e precipitação eletrostática). Técnicas de remoção de particulados frequentemente envolvem a migração deles através do fluxo gasoso sob a influência de certas forças de remoção. A facilidade da migração diminui com o aumento da viscosidade do fluxo gasoso
- . a viscosidade influencia a queda de pressão através do equipamento de remoção e, desse modo, torna-se uma força considerável

8.6.1.5.- DENSIDADE

A densidade parece não ter efeito significativo na maioria dos processos de limpeza de gás embora a diferença entre a densidade da partícula e a densidade do gás apareça como um fator de análise teórica de todos os equipamentos de coleta gravitacional ou centrífuga. Porém, como a densidade da partícula é muito maior que a do gás, as mudanças usuais na densidade deste têm efeitos desprezíveis no escoamento.

8.6.1.6.- UMIDADE

A umidade do gás é um fator importante na seleção e performance de um equipamento de controle. Alta umidade pode provocar a aglutinação e o bloqueio de coletores inerciais, a aglutinação dos meios filtrantes ou corrosão. Além disso, a presença de vapor d'água pode influenciar o mecanismo básico de remoção na precipitação eletrostática e influenciar grandemente a resistividade. Na combustão catalítica, a umidade faz variar o balanço térmico embora este deva ser mantido. Na adsorção, a capacidade do leito pode atingir o seu limite se a água for preferível ou correntemente adsorvida com o contaminante. Na filtração, ela pode influenciar a aglomeração e produzir efeitos delicados. A umidade do gás transportador limita a utilização de resfriamento evaporativo para resfriar os gases antes da coleta. Em situações onde a umidade é um problema sério devido a algumas das razões acima, lavadores e torres de absorção podem ser aparelhos particularmente apropriados.

8.6.1.7.- COMBUSTIBILIDADE

O manuseio de gás transportador inflamável ou explosivo exige certas precauções. A mais importante delas é estar certo de que o gás está tanto acima do limite superior de inflamabilidade como abaixo do limite inferior de inflamabilidade, em qualquer mistura de ar que possa existir ou ocorrer. Em muitos casos, o uso de lavagem de água ou adsorção pode ser um meio efetivo para minimizar este perigo. Precipitadores eletrostáticos tornam-se proibitivos em tais casos devido a sua tendência ao faiscamento.

8.6.1.8.- REATIVIDADE

Problemas especiais são ocasionados por gás transportador reativo. Na filtração, por exemplo, a presença de fluor gasoso pode eliminar a possibilidade de filtração a alta temperatura através de tecidos de fibra de vidro e, na adsorção, o gás transportador deve preferencialmente não reagir com os adsorvedores. Outro exemplo seria a sílica gel que não é apropriada para a adsorção de contaminantes quando vapor d'água está presente como um componente do fluxo do gás transportador.

A magnitude desses problemas pode ser maior quando está se tratando com processos a alta temperatura. Outro fator a considerar é se o gás reage com água o que torna impossível o seu uso devido a provável corrosão sobre o equipamento; entretanto, lavadores podem ser especialmente apropriados se forem construídos com materiais resistentes a corrosão ou se possuírem revestimento adequado pois, por serem pequenos e consequentemente ocuparem pouco espaço, podem tornar-se economicamente viáveis.

8.6.1.9.- TOXIDADE

Quando o gás transportador é tóxico ou irritante, precauções especiais são necessárias na construção do coletor, duto de trabalho e sistema de descarga para a atmosfera. Todo o sistema até a chaminé deve estar sob pressão negativa e a chaminé deve ser de construção selada. Como o coletor está sob sucção, devemos ter acessórios apropriados, tais como: câmaras pneumáticas ou bolsas de ar, para a remoção do contaminante das tremonhas se a coleta é feita por técnica seca. Outras precauções devem ser tomadas para os serviços e operações de manutenção do equipamento.

8.6.1.10.- PROPRIEDADES ELÉTRICAS E SÔNICAS

Geralmente falando, a intensidade do movimento browniano e a viscosidade aumentam com a temperatura do gás. Esses fatores são importantes características do fluxo gasoso que relatam as suas propriedades sônicas. Aumento em quaisquer dessas duas propriedades tenderá a aumentar a efetividade com a qual a energia sônica poderá ser usada para produzir aglomerações de partículas.

Quanto às propriedades elétricas, elas são importantes para os precipitadores eletrostáticos pelo fato de que a taxa e a facilidade de ionização influenciará os mecanismos de coleta.

8.6.2.- GÁS TRANSPORTADOR. CARACTERÍSTICAS DO ESCOAMENTO

8.6.2.1.- VAZÃO

A vazão de gás transportador que deve ser tratada depende da sua taxa de evolução no processo, de sua temperatura inicial e dos meios pelos quais ele é resfriado, caso refrigeração seja utilizada. Tendo-se fixada a vazão de gás a ser tratada, pode-se estabelecer uma relação entre o tamanho do equipamento e a velocidade do fluxo gasoso dentro deste. Sempre se procura minimizar o tamanho do equipamento, porém, para se fazer a otimização tamanho-velocidade do gás devem ser considerados dois efeitos:

- . redução de tamanho resulta no aumento da energia exigida para o manuseio de uma dada quantidade de gás por causa do aumento da perda de carga dentro do equipamento de controle
- . o efeito da velocidade no mecanismo de remoção deve ser considerado

Sobre este último efeito pode-se dizer que altas velocidades favorecem a remoção em equipamentos inerciais até o ponto de turbulência mas, além disso, ocorre redução da eficiência; em câmaras de sedimentação, a velocidade do fluxo determina o menor tamanho de partícula que será removido; em lavadores venturi, a eficiência é diretamente proporcional a velocidade através do sistema; em absorvedores, a velocidade varia a resistência do filme para transferência de massa; na filtração, a resistência do meio variará frequentemente com a velocidade por causa das mudanças na permeabilidade da massa de pó com o escoamento; na adsorção, a velocidade através do leito não deverá exceder ao máximo que permite a efetiva remoção.

Devido aos problemas mencionados - alta influência das propriedades do contaminante e do gás transportador, além do próprio projeto do equipamento - , velocidades ótimas não têm sido geralmente estabelecidas com precisão para qualquer dos processos de controle. Entretanto, certas generalizações são possíveis: em câmaras de sedimentação gravitacional, o fluxo é geralmente limitado a 3 m/s para minimizar a reentrada de pó; para adsorção com carbono ativado, velocidades através dos leitos de 6 a 35 m/min; para filtros de tecidos convencionais, velocidades de filtração na faixa de 0.45 a 0.9 m/min.

8.6.2.2.- VARIAÇÕES DE VAZÃO

Variações na vazão resultam em mudanças na velocidade, na eficiência do equipamento e na perda de carga. Várias técnicas de controle têm diferentes características que permitem ajustar o funcionamento do equipamento às mudanças do escoamento. Em situações onde variações da vazão são inevitáveis é necessário:

- . projetar para condições extremas
- . empregar equipamentos que permitam correção para as mudanças no fluxo
- . usar um coletor que é propriamente adequado na sua operação

A filtração é mais adequada para variações extremas de vazão porque apresenta uma barreira positiva para a remoção do particulado. Entretanto, esse processo é sujeito a variações de perda de carga e geralmente o equipamento de circulação de ar não o fornecerá a taxas constantes quando a perda de carga aumentar.

Em muitas outras técnicas de controle, a variação da vazão resultará na mudança da efetividade de remoção do contaminante, a menos que o equipamento tenha sido projetado para absorver essas alterações. Uns dos artifícios para isto é a utilização de dois coletores em série, um para melhorar a performance com o aumento da vazão (por exemplo - multiciclone) e outro onde a performance diminui com o aumento da vazão (por exemplo - precipitador eletrostático).

8.6.2.3.- MUDANÇAS CONJUNTAS NAS PROPRIEDADES DO GÁS E NA VAZÃO

As variações na vazão podem ser de dois tipos:

- . aquelas onde a alteração na quantidade de gás não é acompanhada por alterações nas características do gás transportador
- . aquelas onde a alteração na quantidade de gás é acompanhada por alterações nas características do gás transportador, como, por exemplo, variação de composição e temperatura causadas por variações no processo

Desde que muitas propriedades dos gases transportadores mudam quando a composição e a temperatura mudam, para a seleção do equipamento deve-se identificar essas mudanças.

8.6.2.4.- MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES COM O TEMPO

É sabido que há processos onde a vazão permanece razoavelmente uniforme durante um ciclo de operação, embora a composição do gás sofra uma variação. Essencialmente, o problema é o mesmo de quando há variação de ambos composição e vazão.

8.6.2.5.- RELAÇÕES QUE INFLUEM NAS CARACTERÍSTICAS DO SOPRADOR DE AR

Técnicas de controle que resultam em progressivo aumento da perda de carga do coletor com o tempo exigirão que informações adequadas sejam fornecidas para efeito de selecionamento do soprador de ar. Filtro de tecidos é talvez a melhor ilustração desse efeito; a acumulação de uma camada de pó durante o ciclo de filtragem resulta no aumento da resistência ao escoamento, o que geralmente reduz a saída do ventilador centrífugo. Onde a variação da vazão não pode ser tolerada pelo processo, sopradores de deslocamento positivo ou outras precauções especiais deverão ser empregadas.

8.6.3.- CONTAMINANTE. PROPRIEDADES

8.6.3.1.- COMPOSIÇÃO

Geralmente, a composição do contaminante é importante somente quando ela afeta as propriedades físicas e químicas; as propriedades químicas, por sua vez, são importantes quando afetam as propriedades físicas. Como uma condição separada, a composição afeta diretamente o uso ou o valor do material coletado que, por sua vez, frequentemente dita o tipo de equipamento de coleta necessitado. Assim, se o material coletado é para ser usado no processo ou despachado seco, um coletor a seco é indicado, e se o material coletado é de alto valor intrínseco, um coletor extremamente eficiente é indicado.

a). MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO COM O TEMPO

Como a composição do gás transportador pode mudar através de um processo cíclico, também pode a composição do contaminante. Na fusão secundária de alumínio, o período de evolução da exalação extremamente fina de $AlCl_3$ demora poucos minutos do período total do ciclo (8-16 horas); como as propriedades físicas e químicas variam com a composição, um coletor deve ser capaz de adequar-se às mudanças de composição cíclicas.

8.6.3.2.- CARREGAMENTO

O carregamento influencia diferentes tipos de coletores de diferentes maneiras. Assim, a eficiência de ciclones aumenta notavelmente com o aumento do carregamento de pó. Conversamente, carregamentos extremamente altos podem superar a capacidade das tremonhas, dos batedores ou vibradores, etc.. Processos como a aglomeração sônica são muito sensíveis a mudanças no carregamento.

a). MUDANÇAS NO CARREGAMENTO COM O TEMPO

O carregamento do contaminante de muitos processos varia sobre uma grande faixa para o ciclo de operação. De vez para uma variações no carregamento não são raras. Um exemplo de tal processo é o forno Siemens-Martin; um outro é o soprador de fuligem de caldeiras a vapor.

b). MUDANÇAS NO CARREGAMENTO DO CONTAMINANTE COM A VAZÃO DO GÁS TRANSPORTADOR

Um primeiro exemplo de um processo no qual o carregamento aumenta rapidamente com a taxa de escoamento são as cinzas volantes na fumaça do gás de um forno de carvão "stoker fired". Um aumento na vazão de contaminante no duto da chaminé é o resultado de um aumento da velocidade ascendente do ar através do leito de carvão e do aumento da velocidade do gás no forno, ambos os quais aumentam a propagação do leito combustível para o fluxo gasoso.

8.6.3.3.- FASE CONTAMINANTE

Em muitas operações de limpeza do ar, o contaminante para ser removido não sofre mudança de fase a temperaturas próximas daquelas normalmente existentes em equipamentos convencionais de coleta (a menos que tais mudanças de fase estejam relacionadas a um mecanismo de remoção real como é na absorção onde poluentes gasosos são postos dentro de solução). Entretanto, em algumas situações, a determinação da temperatura na qual o gás deverá ser limpo pode depender da relação entre a temperatura e a fase do contaminante. Por exemplo, cloreto de alumínio é segregado de operações que procuram a remoção de magnésio do alumínio reprocessado. Esse cloreto de alumínio existe como um vapor a temperaturas acima de aproximadamente 180 graus Celsius. Desde que esta mudança de fase ocorre a temperaturas que normalmente existem em muitos tipos de equipamentos de controle, a seleção e o controle da temperatura operacional são obviamente críticos.

Mudanças de fase com mudança na temperatura do gás transportador têm sido usadas como um meio para a remoção seletiva de fumos/fumaças de diferentes metais em diferentes baterias de coletores reunidos em série. Nesta aplicação, o gás na primeira bateria de coletores está a temperatura alta o suficiente que somente um fumo metálico é condensado para a fase de particulado e então coletado; os fumos dos outros metais presentes no gás estão ainda na fase de vapor. Uma queda de temperatura entre a primeira e a segunda bateria de coletores condensa um outro fumo metálico que é então coletado e assim adiante até que todos os fumos metálicos tenham sido removidos em uma apropriada bateria de coleta.

8.6.4.- CONTAMINANTES. PROPRIEDADES ESPECÍFICAS

8.6.4.1.- SOLUBILIDADE

A solubilidade do contaminante é importante na absorção, adsorção e depuração. Na absorção, o grau de solubilidade é um indicador da facilidade de remoção do contaminante. Na adsorção, a solubilidade pode ser importante para a facilidade com a qual o adsorvente pode ser regenerado. Na depuração/lavagem do gás para remover os particulados, a solubilidade fornecerá um mecanismo secundário de remoção para auxiliar as forças básicas de separação.

8.6.4.2.- SORBABILIDADE

A sorbabilidade ou facilidade com a qual um contaminante pode ser removido pelas técnicas de absorção e adsorção, é uma função do número de propriedades básicas. Geralmente a adsorção é definida como o processo onde gases, vapores e líquidos são expostos e concentrados na superfície ou nos poros de um sólido. A absorção é um processo similar onde o sorbente pode ser tanto líquido como sólido, e com uma combinação mais permanente por ser acompanhada de reação química (a qual pode ser reversível) entre o contaminante e o sorbente. As propriedades básicas de temperatura, pressão do sistema, composição química do contaminante e sorbente, solubilidade, tanto quanto as propriedades não definidas, tais como a natureza das forças de superfície nos sólidos adsorvedores, são de grande importância de controle para qualquer situação dada.

8.6.4.3.- COMBUSTIBILIDADE

Geralmente, quando os contaminantes são explosivos, procura-se evitar o uso de sistemas de coleta e de manuseio que permitam o seu acúmulo, devido a possibilidade de surgimento de cargas estáticas. Precipitadores eletrostáticos não são apropriados devido a sua tendência ao faiscamento. De outro lado, coletores úmidos, devido a seus métodos de lavagem ou absorção, são especialmente recomendados, embora alguns pós como o magnésio sejam inflamáveis na presença de pequena quantidade de água. Este problema deve também ser considerado nos processos de combustão (com ou sem catalizador).

8.6.4.4.- REATIVIDADE

Certas precauções óbvias devem ser seguidas na seleção do equipamento que coletará contaminantes reativos. Por exemplo: na filtração, a seleção do meio filtrante pode representar um problema especial; na adsorção, certas situações requerem que o contaminante adsorvido reaja com o adsorvente, o que torna o grau de reatividade importante; para usos onde lavadores são recomendados, o agravamento das condições de corrosividade devem ser considerados no projeto do equipamento, elevando o seu custo.

8.6.4.5.- PROPRIEDADES ELÊTRICAS E SONICAS

As propriedades elétricas do contaminante podem influenciar a performance de qualquer um dos inúmeros tipos de equipamentos de controle. Em coletores inerciais, essas propriedades auxiliam pelo fato de aglomerar as partículas; em precipitadores eletrostáticos, elas determinam a eficiência de coleta e influem na facilidade com a qual é removida quando da limpeza periódica; em filtros de manga, os fenômenos eletrostáticos podem ter influência direta sobre o processo de formação da camada de pó e a subsequente facilidade de remoção desta; em torres de spray ou outras formas de lavadores nos quais gotículas líquidas são formadas e o contato entre essas e as partículas contaminantes é exigido para a coleta, a carga elétrica entre ambos é uma variável importante do processo - que é mais eficiente quando as cargas das gotículas atraem mais do que repelem as das partículas.

As propriedades sônicas são importantes quando a aglomeração sônica é empregada.

8.6.4.6.- TOXIDADE

O grau de toxidade do contaminante influencia diretamente as exigências de eficiência do coletor, pois quanto maior a toxidade do contaminante maior será a necessidade de equipamentos mais eficientes. A toxidade também afeta os meios para remoção dos contaminantes coletados do coletor e os meios de serviço e manutenção. A toxidade do contaminante, entretanto, não influencia os mecanismos de coleta de qualquer técnica de controle.

8.6.4.7.- DENSIDADE, FORMA E TAMANHO DO CONTAMINANTE

a). GERAL

Tamanho, forma e densidade são os três fatores que determinam a magnitude das forças de resistência ao movimento de uma partícula através de um fluido. Essas forças influenciam grandemente a determinação da efetividade de remoção de coletores inerciais, gravitacionais, lavadores venturi e precipitadores eletrostáticos. Na verdade, essa força é a principal consideração a ser analisada para qualquer aparelho que coleta particulado, exceto para os filtros de tecido. A cada instante e para qualquer equipamento, ela é compensada por alguma outra força de remoção aplicada no equipamento de controle, e a magnitude da força líquida de remoção determinará a efetividade do equipamento. Mesmo no caso de filtros, tamanho e forma da partícula influenciam a eficiência de coleta e a perda de carga.

Na remoção de gases, situação análoga a de remoção de partículas é encontrada na adsorção, onde o peso molecular é o fator de comparação. Geralmente, os pesos moleculares devem ser maiores que 40 -45 para que o contaminante possa ser efetivamente adsorvido.

b). DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO

Desde que o tamanho tem, como discutido previamente, uma relação intrínseca com a remoção individual de partículas, é intuitivo concluir que a distribuição de tamanho das partículas determinará a eficiência global do equipamento de controle. Geralmente, para que tamanhos menores sejam removidos, serão necessários um equipamento maior ou maior potência deste, ou ambos. Como exemplo temos que para aumentar a eficiência atingida por lavadores é necessário gastar força adicional, tanto para produzir altas velocidades do fluxo gasoso -em lavadores venturi- como para produzir jato de água finamente dividido; ciclones exigirão que um maior número de pequenas unidades sejam usadas para aumentar a eficiência de uma instalação. Nesses casos, ambos o custo da potência -devido ao aumento da perda de carga- e o custo do equipamento -para a instalação de unidades múltiplas- aumentarão.

O aumento da eficiência para precipitadores eletrostáticos requer que um número de unidades sejam usadas em série; geralmente, há uma relação aproximadamente logarítmica inversa entre a concentração de saída e o tamanho do equipamento de coleta. Um precipitador fornecendo 90% de eficiência deve ser dobrado para dar 99% de eficiência e triplicado para dar 99.9%.

8.6.4.8.- HIGROSCOPICIDADE

Higroscopicidade não está especificamente relacionada com qualquer mecanismo de coleta. Entretanto, pode ser uma medida da rapidez com que o particulado empastará ou tenderá a acumular no equipamento se vapores estiverem presentes. Em filtros de tecido, tais acumulações podem entupí-los completamente obstruindo o fluxo do gás.

8.6.4.9.- CARACTERÍSTICAS DE AGLOMERAÇÃO

Os coletores algumas vezes são utilizados em série, onde o primeiro coletor age como um aglutinador de partículas e o segundo como um coletor dessas partículas aglutinadas. A coleta de negro de fumo é um exemplo de um processo onde as partículas extremamente finas são aglomeradas para que elas possam ser removidas.

8.6.4.10.- PROPRIEDADES DO ESCOAMENTO

Essas propriedades estão principalmente relacionadas com a facilidade com que a poeira coletada pode ser descarregada do coletor. Alta viscosidade prejudica o deslizamento do pó e pode, por exemplo, impedir a possibilidade do uso de equipamentos como o filtro de tecido. O tamanho da tremonha depende, além da viscosidade, das características de acondicionamento ou da densidade volumétrica do material coletado.

8.6.4.11.- ENVENENAMENTO DO CATALIZADOR

Como visto no capítulo 6., a presença de traços de metais como mercúrio, chumbo e zinco tornarão a combustão catalítica impraticável mesmo que as características do fluxo efluente sejam ótimas para este tipo de coleta. Além dos desgastes mecânicos provocados pelo atrito, os catalizadores são deteriorados por quatro outros fenômenos associados com o conteúdo ou condições do fluxo:

- . encobrimento da superfície da estrutura granular por contaminantes particulados dentro do fluxo gasoso
- . encobrimento por oxidação de produtos particulados
- . reações químicas com componentes gasosos do fluxo
- . níveis de temperatura do leito tais que causarão a sinterização do catalizador

8.6.5.- PRÉ-TRATAMENTO DO GÁS

Três situações gerais são algumas vezes usadas para modificar as características do fluxo de emissão antes dele penetrar no equipamento primário de coleta que compõe o sistema de limpeza. A primeira e mais comum delas é o resfriamento do gás, onde a temperatura de entrada é reduzida para permitir o uso de equipamentos com pouca resistência térmica ao invés do uso de outros com alta resistência térmica, mais bem mais caros. O segundo envolve o uso de aditivos para qualquer uso geral, como por exemplo: neutralizar um componente indesejável que possa corroer, avariar ou interferir de modo diferente na operação do equipamento; mudar a resistividade do pó e aumentar a performance do precipitador eletrostático; alterar a distribuição do tamanho do particulado e aumentar as características filtrantes do pó. A terceira situação envolve o uso de equipamentos de controle em série de modo que alguns componentes são pré-removidos para simplificar a limpeza final do gás de saída.

Quanto a refrigeração do gás, há três tipos possíveis de fazê-la: radiação-convecção, evaporação e diluição; sendo que as principais características de cada:

- a). radiação-convecção
 - . não utiliza água
 - . o equipamento de refrigeração geralmente é grande e exige muito espaço para a instalação
- b). evaporação
 - . equipamento mais compacto
 - . pouco aumenta a quantidade de gás a ser processada
 - . exige grande quantidade de água
- c). diluição
 - . aumenta a potência de movimentação do gás
 - . aumenta significativamente a quantidade de gás a ser processada

A refrigeração -modificação da temperatura- afeta a viscosidade e o volume do gás e isto afeta a potência do sistema como podemos ver na figura 8.1. para os três principais tipos de resfriamento.

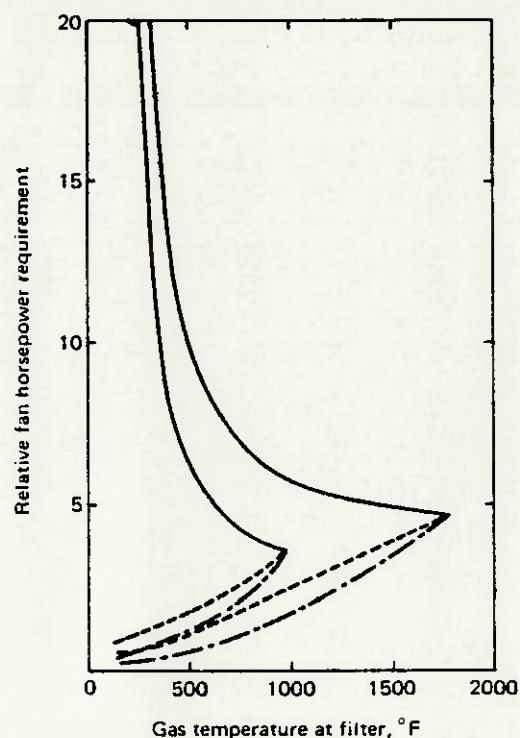


FIGURA 8.1. Relação de potência requerida para limpeza de gás na temperatura de condicionamento. Linha sólida: resfriamento por diluição; linha traçada: resfriamento por evaporação; linha ponto tracejada : resfriamento por radiação e convecção.

Os aditivos são usados em casos especiais como a proteção de filtros de tecido pela adição de dolomita quando eles são aplicados em plantas de geração de energia que queimam óleo. A aplicação de aditivos em filtros de tecido é pequena e talvez, por isso mesmo, é que se tem pouca informação sobre eles. As aplicações mais conhecidas de aditivos em sistemas de controle de poluição estão relacionadas com os precipitadores eletrostáticos onde água, trióxido de enxofre, amônia e outros têm sido utilizados para alterar a resistividade.

Quanto ao uso de coletores em série, os principais arranjos são:

- a). O coletor primário é usado para cortar as partículas maiores do gás e conseqüentemente aumentar a coleta de partículas finas no coletor secundário. Este corte também diminui a carga no coletor secundário
- b). O coletor secundário (um ou mais) pode atuar como uma reserva no evento de malfuncionamento do coletor anterior. Essa metodologia é empregada no processo de craqueamento catalítico fluidizado em refinaria de petróleo, onde diversos ciclones idênticos podem ser usados em série, devido ao entupimento das saídas do pó coletado que é uma ocorrência comum

- c). O coletor primário pode atuar como um equipamento de proteção para fogo pela retenção de uma fonte de ignição como partículas incandescentes ou materiais prontamente inflamáveis (por exemplo: fiapos de algodão) da entrada do coletor secundário
- d). Uma série de coletores podem ser usados para classificar materiais numa mistura, i.e., um coletor pode remover um material reutilizável ou solúvel de outro material residual
- e). Um coletor primário pode atuar como "plenum" de onde diversos coletores secundários podem ser operados em paralelo
- f). O primeiro coletor pode atuar como um concentrador de modo que há duas saídas de gás; uma com uma baixa vazão e alta concentração de partículas, e outra com alta vazão e baixa concentração de partículas. Em ambas as saídas, há coletores secundários

8.7. - DISCUSSÃO

Em geral, coletores manuseiam como pó entre 0.25 e 0.30 % em peso do material sólido que está sendo processado.

Em geral, coletores manuseiam como pó entre 0.25 e 0.30 % em peso do material sólido que está sendo processado.

Na seleção de um coletor, uma das principais escolhas está entre coletores secos e úmidos. Sistemas úmidos variam entre os que usam 100 % de água de reposição e os que tratam a água para separar dela o material particulado e, desta forma, ela poderá ser reutilizada no processo com somente um mínimo de água de reposição. Essas mesmas possibilidades são envolvidas quando coletores secos são usados com transporte hidráulico de material particulado das tremonhas para os pontos de disposição. Os fatores que devem ser considerados nos sistemas úmidos incluem solubilidade do aerosol, último pH do líquido de lavagem, seu potencial de corrosão e erosão, metais especiais ou recobrimento protetor para enfrentar esses problemas, disponibilidade de água de reposição, disposição e tratamento dos resíduos líquidos e espaço necessário para o equipamento de tratamento do líquido. Alguns tipos de sistemas úmidos podem também separar aerossóis e simultaneamente lavar os poluentes gasosos do fluxo gasoso.

Entre outros fatores para serem considerados temos:

- a). O tempo de vida de operação dos componentes do coletor. Filtros de tecido requerem trocas periódicas, enquanto os elementos dos precipitadores eletrostáticos precisam

de proteção contra condensação se misturas de vapor d'água e gás corrosivo próximas do ponto de orvalho estão sendo processadas e os ciclones podem ter desgastes (furos) pela erosão abrasivas

- b). Ligações entre os compartimentos "limpos" e "sujos". Em filtros de tecido e multiciclones, uma pressão diferencial existe entre os lados "limpo" e "sujo" do separador. Qualquer ligação entre os dois setores que provoque o vazamento de gás através do tecido ou ciclone fará com que haja a contaminação do compartimento "limpo" acarretando uma redução da eficiência global. Em filtros de tecido, as fontes mais importantes de escape do gás e consequente contaminação são o arrebetamento e rasgos de:

- . elementos do filtro
- . linhas de junção das costuras
- . conexões tecido-metal existentes para permitir fácil troca do tecido

Em multiciclones, além da junta ligante, há a possibilidade de retorno de gás e pó da tremonha para a abertura de descarga se houver parcial ou completa interrupção da entrada do gás na unidade

- c). Uniformidade da distribuição do aerosol através do duto de entrada. Para que a eficiência de projeto seja mantida, precipitadores eletrostáticos requerem elaboradas medidas para assegurar tal uniformidade, enquanto coletores inerciais são menos dependentes e filtros de tecido menos ainda

9.- ANEXOS

9.1.-

ANEXO 1.- PADROES DE QUALIDADE DO AR PARA DIVERSOS PAISES

Table III. National Ambient Air Quality Standards

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averaging time (hours)	mg/m ³	ppm	Averaging time (minutes)	
Acetaldehyde							
Bulgaria, Yugoslavia	—	—	—	0.01	0.005	30	—
East Germany	0.01	0.005	24	0.03	0.015	30	—
USSR	0.01	0.005	24	0.01	0.005	30	—
West Germany (VDI 2306)	4.0	2.0	$\frac{1}{2}$	12.0	6.0	30	3, 4
Acetic acid							
Bulgaria	—	—	—	0.2	0.08	30	—
East Germany, USSR	0.06	0.024	24	0.2	0.08	30	1, 2
West Germany (VDI 2306)	5.0	2.0	$\frac{1}{2}$	15.0	6.0	30	3, 4
Acetic anhydride							
Bulgaria	—	—	—	0.1	0.025	30	—
East Germany, USSR	0.03	0.0075	24	0.1	0.025	30	1, 2
Acetone							
Bulgaria, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.35	0.15	24	0.35	0.15	30	2, 5
East Germany	0.35	0.15	24	1.0	0.42	30	1
Hungary	12.0	5.0	24	180.0	75.0	30	—
Israel	7.2	3.0	24	24.0	10.0	30	6
Romania	2.0	0.83	24	5.0	2.1	30	—
West Germany (VDI 2306)	120.0	50.0	$\frac{1}{2}$	360.0	150.0	30	3, 4
Acetophenone							
Bulgaria	0.35	0.07	24	0.35	0.07	30	—
East Germany	0.003	0.0006	24	0.01	0.002	30	1
USSR, Yugoslavia	0.003	0.0006	24	0.003	0.0006	30	2
Acrolein							
Bulgaria, Czechoslovakia, Hungary, Romania, Yugoslavia	0.1	0.04	24	0.3	0.12	30	—
East Germany	0.01	0.004	24	0.02	0.008	30	1
Israel	0.1	0.04	24	0.25	0.1	30	6
USSR	0.03	0.012	24	0.03	0.012	30	—
West Germany (VDI 2306)	0.01	0.005	$\frac{1}{2}$	0.025	0.01	30	3, 4
Ammonia							
Bulgaria, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.2	0.28	24	0.2	0.28	30	5
Czechoslovakia, East Germany, Romania	0.1	0.14	24	0.3	0.43	30	1
Hungary	0.5	0.71	24	1.5	2.14	30	—
Amyl acetate							
Bulgaria, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.1	0.019	24	0.1	0.019	30	5
East Germany	0.1	0.019	24	0.3	0.057	30	1
Hungary	30.0	5.7	24	90.0	17.1	30	—
Israel	5.25	1.0	24	15.75	3.0	30	6
West Germany (VDI 2306)	30.0	5.0	$\frac{1}{2}$	90.0	15.0	30	3, 4
Amyl alcohol							
West Germany (VDI 2306)	30.0	5.0	$\frac{1}{2}$	60.0	15.0	30	3, 4
Aniline							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	1.5	0.5	24	1.5	0.5	30	2
East Germany	1.0	0.33	24	1.5	0.5	30	1
Aniline							
Bulgaria, Czechoslovakia, East Germany, USSR, Yugoslavia	0.03	0.008	24	0.05	0.013	30	1
Romania	0.02	0.005	24	0.05	0.013	30	—
West Germany (VDI 2306)	0.8	0.2	$\frac{1}{2}$	2.4	0.6	30	3, 4
Arsenic							
Bulgaria, Czechoslovakia, USSR	0.003	—	24	—	—	—	7
East Germany	0.003	—	24	—	—	—	—
Israel	0.006	—	24	—	—	—	6, 7

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
Poland	0.003	—	24	0.01	—	20	9
	0.002	—	24	0.005	—	20	10
Romania	0.01	—	24	0.03	—	30	—
Yugoslavia	0.003	—	24	—	—	—	8
Benzene							
Czechoslovakia, Romania	0.8	0.25	24	2.4	0.75	30	—
East Germany, Hungary, Yugoslavia	0.8	0.25	24	1.5	0.46	30	1, 5
Hungary, West Germany (VDI 2306)	3.0	0.94	24	10.0	3.12	30	3, 4
Israel	1.6	0.5	24	4.8	1.5	30	6
Poland	0.3	0.09	24	1.0	0.31	20	9
	0.1	0.03	24	0.2	0.06	20	10
Benzene (high alkyl)							
West Germany (VDI 2306)	5.0	—	1/2	15.0	—	30	3, 4
Benzine							
East Germany	0.03	0.007	24	0.05	0.012	30	1, 13
Hungary	80.0	20.0	24	240.0	60.0	30	—
Hungary, USSR	1.5	0.38	24	5.0	1.25	30	5, 12
Israel	3.3	0.8	24	10.0	2.4	30	6, 12
Poland	0.75	0.19	24	2.5	0.63	20	10, 12
Romania	2.0	0.48	24	6.0	1.45	30	—
West Germany (VDI 2306)	80.0	20.0	1/2	240.0	60.0	30	3, 4, 12
Yugoslavia	1.5	0.38	24	5.0	1.25	30	11
Benzine (from shale)							
Bulgaria, USSR	0.05	0.012	24	0.05	0.012	20	11
Benzine (low sulfur)							
Bulgaria	1.5	0.38	24	5.0	1.25	30	11
East Germany, Yugoslavia	1.5	0.38	24	5.0	1.25	30	1
Beryllium							
Israel, Yugoslavia	0.00001	—	24	—	—	—	6
Butane							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	—	—	—	200.0	85.0	30	—
East Germany	50.0	21.0	24	200.0	85.0	30	1
Butanol							
Bulgaria, Yugoslavia	—	—	—	0.3	0.1	30	—
East Germany	0.1	0.03	24	0.3	0.1	30	1
USSR	—	—	—	0.1	0.03	30	—
West Germany (VDI 2306)	15.0	5.0	1/2	45.0	15.0	30	3, 4
n-Butyl acetate							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.1	0.021	24	0.1	0.021	30	—
East Germany	0.1	0.021	24	0.3	0.063	30	1
Israel	4.7	1.0	24	14.0	3.0	30	6
West Germany (VDI 2306)	25.0	5.0	1/2	75.0	15.0	30	3, 4
Butylene							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	3.0	1.2	24	3.0	1.2	30	2
East Germany	2.0	0.8	24	3.0	1.2	30	1
Butyric acid							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.01	0.003	24	0.015	0.004	30	—
Cadmium							
Yugoslavia	0.003	—	24	0.01	—	30	—
Caproic acid							
USSR, Yugoslavia	0.005	0.001	24	0.01	0.002	30	—
Caprolactam							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.08	0.013	24	0.08	0.013	30	14
East Germany	0.08	0.013	24	0.1	0.022	30	1
Caprylic acid							
Bulgaria, East Germany	0.005	0.001	24	0.01	0.002	30	1

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averaging time (hours)	mg/m ³	ppm	Averaging time (minutes)	
Carbon disulfide							
Bulgaria, Czechoslovakia, Romania, Yugoslavia	0.01	0.0033	24	0.03	0.01	30	
East Germany	0.003	0.001	24	0.03	0.01	30	1
Israel	0.15	0.05	24	0.45	0.15	30	6
Poland	0.015	0.005	24	0.045	0.015	20	9
USSR	0.005	0.0016	24	0.03	0.01	30	2
Carbon monoxide							
Argentina	11.5	10.0	8	57.7	50.0	60	
Bulgaria, East Germany, Hungary, USSR, Yugoslavia	1.0	0.9	24	3.0	2.7	30	1, 2, 5
Canada—Desirable level	6.0	5.0	8	15.0	13.0	60	15, 16
—Acceptable level	16.0	13.0	8	35.0	30.0	60	15, 17
Czechoslovakia	1.0	0.9	24	6.0	5.4	30	
Finland	10.0	9.0	8	40.0	35.0	60	71
Hungary, Romania	2.0	1.8	24	6.0	5.4	30	
Israel	11.5	10.0	8	35.0	30.0	30	
Italy	23.0	20.0	8	57.7	50.0	30	18
Japan	11.5	10.0	24	—	—	—	19
	23.0	20.0	8	—	—	—	19
Poland	0.6	0.45	24	3.0	2.7	20	9
Spain	15.0	13.0	8	45.0	39.0	30	20
USA, West Germany	10.0	8.6	8	40.0	35.0	60	21
Carbon tetrachloride							
East Germany, USSR	2.0	0.33	24	4.0	0.66	30	1, 2
Romania	1.0	0.16	24	3.0	0.5	30	
West Germany (VDI 2306)	3.0	0.5	1/2	10.0	1.5	30	3, 4
Chlorine							
Bulgaria, Czechoslovakia, East Germany, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.03	0.01	24	0.1	0.03	30	1, 5
Hungary	0.3	0.1	24	0.6	0.2	30	
Israel	0.1	0.03	24	0.3	0.1	30	6
Italy	—	—	—	0.58	0.2	30	18
Poland	0.03	0.01	24	0.1	0.03	20	9
	0.01	0.003	24	0.03	0.01	20	10
Romania	0.1	0.033	24	0.3	0.1	30	
Spain	0.05	0.016	24	0.3	0.1	30	20
West Germany	0.3	0.1	1/2	0.6	0.2	30	22
m-Chloroaniline							
East Germany	0.01	0.003	24	0.03	0.01	30	1
USSR	0.01	0.003	24	—	—	—	
Yugoslavia	—	—	—	0.04	0.013	30	
p-Chloroaniline							
Bulgaria	—	—	—	0.04	0.008	30	
East Germany, USSR	0.01	0.002	24	0.04	0.008	30	1
Chlorobenzene							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.1	0.02	24	0.1	0.02	30	
East Germany	0.1	0.02	24	0.3	0.06	30	1
West Germany (VDI 2306)	5.0	1.0	1/2	15.0	3.0	30	3, 9
Chloroform							
West Germany (VDI 2306)	10.0	2.0	1/2	30.0	6.0	30	3, 4, 23
m-Chlorophenyl isocyanate							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.005	—	24	0.005	—	30	2
East Germany	0.003	—	24	0.005	—	30	1
p-Chlorophenyl isocyanate							
Bulgaria, East Germany, USSR, Yugoslavia	0.0015	0.0002	24	0.0015	0.0002	30	1, 2
Chloroprene							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.1	0.028	24	0.1	0.028	30	
East Germany	0.05	0.014	24	0.1	0.028	30	1
Israel	0.14	0.04	24	0.5	0.14	30	6

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
Chlorotetracyclin							
East Germany	0.03	—	24	0.05	—	30	1, 24
USSR	0.05	—	24	0.05	—	30	25
Chromium							
Romania	0.0015	—	24	0.0015	—	30	26
Chromium (hexavalent)							
East Germany	0.001	—	24	0.0015	—	30	1, 27
Israel	0.0015	—	24	—	—	—	6, 27
USSR	0.0015	—	24	0.0015	—	20	27
Yugoslavia	0.0015	—	24	0.0015	—	30	27
Cresol (all isomers)							
West Germany (VDI 2306)	0.2	0.05	$\frac{1}{2}$	0.6	0.15	30	3, 4
Cyclohexane							
East Germany	1.0	0.3	24	1.4	0.4	30	1
USSR	1.4	0.4	24	1.4	0.4	30	—
Cyclohexanol							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.06	0.015	24	0.06	0.015	30	—
East Germany	0.06	0.015	24	0.15	0.037	30	1
Cyclohexanone							
Bulgaria, Hungary, Yugoslavia	0.04	0.01	24	0.04	0.01	30	5
East Germany	0.04	0.01	24	0.1	0.02	30	1
Hungary	10.0	2.5	24	30.0	7.5	30	—
USSR	—	—	—	0.04	0.01	30	—
West Germany (VDI 2306)	10.0	2.0	$\frac{1}{2}$	30.0	6.0	30	3, 4
Cyclohexanon oxime							
East Germany	0.04	0.01	24	0.1	0.025	30	1
USSR	—	—	—	0.1	0.025	30	—
Dichloroethane							
Bulgaria, East Germany, Romania, USSR, Yugoslavia	1.0	0.25	24	3.0	0.75	30	1
Israel	2.0	0.5	24	6.0	1.5	30	6
West Germany (VDI 2306)	8.0	2.0	$\frac{1}{2}$	25.0	6.0	30	3, 4
2,3-Dichloro-1,4-naphthaquinone							
Bulgaria, East Germany	0.02	—	24	0.05	—	30	1
USSR, Yugoslavia	0.05	—	24	0.05	—	30	—
Diethylamine							
Bulgaria, Romania, USSR, Yugoslavia	0.05	0.016	24	0.05	0.016	30	—
East Germany	0.02	0.008	24	0.05	0.016	30	1
West Germany (VDI 2306)	0.03	0.01	$\frac{1}{2}$	0.05	0.02	30	3, 4
Diethyl ether							
West Germany (VDI 2306)	65.0	20.0	$\frac{1}{2}$	155.0	60.0	30	3, 4
Diketene							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	—	—	—	0.007	0.002	30	—
East Germany	0.002	0.001	24	0.007	0.002	30	1
Dimethylamine							
East Germany	0.005	0.003	24	0.015	0.0075	30	1
USSR	0.005	0.003	24	0.005	0.003	30	—
West Germany (VDI 2306)	0.02	0.01	$\frac{1}{2}$	0.06	0.03	30	3, 4
Dimethylaniline							
Bulgaria, Yugoslavia	—	—	—	0.0055	0.001	30	—
East Germany	0.005	0.001	24	0.015	0.003	30	1
USSR	0.0055	0.001	24	0.0055	0.001	30	—
Dimethyl Disulfide							
Bulgaria, USSR	—	—	—	0.7	0.18	30	—
East Germany	0.2	0.05	24	0.7	0.18	30	1
Yugoslavia	—	—	—	0.07	0.018	30	—

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
Dimethylformamide							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.03	0.01	24	0.03	0.01	30	—
East Germany	0.01	0.003	24	0.03	0.01	30	1
Israel	0.018	0.006	24	0.06	0.02	30	6
Dimethyl sulfide							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	—	—	—	0.08	0.03	30	—
East Germany	0.03	0.01	24	0.08	0.03	30	1
Dinitrobenzene							
West Germany (VDI 2306)	0.035	0.005	½	0.1	0.015	30	3, 4
Dinyl							
Bulgaria, Romania, USSR, Yugoslavia	0.01	0.0015	24	0.01	0.0015	30	2, 28
East Germany	0.003	0.0045	24	0.01	0.0015	30	1, 28
Dioxane							
West Germany	20.0	5.0	½	60.0	15.0	30	3, 4, 48
Divinyl							
Bulgaria, East Germany, USSR, Yugoslavia	1.0	0.4	24	3.0	1.2	30	1
Epichlorohydrin							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.2	0.05	24	0.2	0.05	30	—
East Germany	0.06	0.016	24	0.2	0.05	30	1
Ethanol							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	5.0	2.5	24	5.0	2.5	30	2
East Germany	5.0	2.5	24	15.0	7.5	30	1
West Germany (VDI 2306)	100.0	50.0	½	300.0	150.0	30	3, 4
Ethyl acetate							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.1	0.029	24	0.1	0.029	30	—
East Germany	0.1	0.029	24	0.3	0.085	30	1
Israel	14.0	4.0	24	42.0	12.0	30	6
West Germany (VDI 2306)	75.0	20.0	½	225.0	60.0	30	3, 4
Ethylbenzene							
East Germany	0.02	0.005	24	0.06	0.014	30	1
USSR	0.02	0.005	24	0.02	0.005	30	—
Ethylene							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	3.0	2.3	24	3.0	2.3	30	2
East Germany	2.0	1.53	24	3.0	2.3	30	1
Israel	0.26	0.2	24	0.65	0.5	30	6
Ethylene oxide							
Bulgaria, East Germany, USSR, Yugoslavia	0.03	0.015	24	0.3	0.15	30	1
West Germany (VDI 2306)	4.0	2.0	½	12.0	6.0	30	3, 4
Ethylenimine							
East Germany	0.001	0.0005	24	0.003	0.0015	30	1
USSR	0.001	0.0005	24	0.001	0.0005	30	—
Flourides (as F)							
Bulgaria, East Germany, Romania	0.005	0.002	24	0.02	0.01	30	1, 29
Czechoslovakia, Hungary, Israel	0.01	0.005	24	0.03	0.015	30	5, 6, 29
Hungary	0.03	0.015	24	0.1	0.05	30	—
Italy, Spain	0.02	0.01	24	0.06	0.03	30	18, 20
Fluorides							
Bulgaria, Poland	0.01	—	24	0.03	—	20	9, 31, 33, 35
East Germany, Yugoslavia	0.01	—	24	0.03	—	30	1, 31, 33, 35
Hungary	0.02	0.015	24	0.02	0.015	30	32
	0.0013	0.001	24	0.005	0.004	30	5, 32
Netherlands	0.01	0.008	24	—	—	—	—
Poland	0.003	—	24	0.01	—	20	10, 35
Spain, USSR	0.01	0.008	24	0.03	0.022	30	2, 20, 32, 33

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
USSR	0.005	0.002	24	0.02	0.01	20	2, 29, 30
West Germany	0.002	0.001	$\frac{1}{2}$	0.005	0.004	30	32
Yugoslavia	0.005	0.004	24	0.02	0.015	30	32
Fluorides (insoluble)							
Yugoslavia	0.03	—	24	0.2	—	30	—
Fluorides (sparingly soluble)							
East Germany, USSR	0.03	—	24	0.2	—	30	1, 34
Formaldehyde							
Bulgaria, East Germany, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.012	0.01	24	0.035	0.025	30	1, 5
Czechoslovakia	0.015	0.01	24	0.05	0.033	30	—
Hungary	0.03	0.02	24	0.07	0.05	30	—
Israel, West Germany (VDI 2306)	0.03	0.02	24	0.07	0.06	30	3, 4, 6
Poland	0.02	0.014	24	0.05	0.033	20	9
	0.01	0.007	24	0.02	0.014	20	10
Romania	0.01	0.007	24	0.03	0.02	30	—
Furfural							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.05	0.013	24	0.05	0.013	30	2
East Germany, Romania	0.05	0.013	24	0.15	0.04	30	1
Israel	0.08	0.02	24	0.25	0.06	30	6
West Germany (VDI 2306)	0.08	0.02	$\frac{1}{2}$	0.25	0.06	30	3, 4
Hexachlorocyclohexane							
East Germany	0.01	—	24	0.03	—	30	1
USSR	0.03	—	24	0.03	—	30	—
Hexamethylenediamine							
Bulgaria, USSR	0.001	—	24	0.001	—	30	—
East Germany	0.001	—	24	0.003	—	30	1
Yugoslavia	0.01	—	24	0.01	—	30	—
Hydrocarbons (total)							
Israel	2.0	3.0	24	5.0	7.5	30	6
Italy	26.6	40.0	24	53.3	80.0	30	18, 36
United States	0.16	0.24	3	—	—	—	21, 37
Hydrochloric acid							
Bulgaria	0.2	0.14	24	—	—	—	39
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.006	—	24	0.006	—	30	38
Czechoslovakia	—	—	—	0.01	0.007	30	39
	—	—	—	0.01	—	30	38
East Germany	0.015	0.01	24	0.05	0.035	30	1, 39
Hungary	0.7	0.5	24	1.4	1.0	30	2, 39
Hungary, USSR	0.2	0.14	24	0.2	0.14	30	2, 5, 39
Israel	0.4	0.3	24	1.4	1.0	30	6, 39
Italy	0.04	0.03	24	0.28	0.2	30	18, 39
Poland	0.1	0.07	24	0.2	0.14	20	9, 39
	0.02	0.014	24	0.05	0.035	20	10, 39
Romania	0.1	0.07	24	0.3	0.21	30	39
West Germany	0.05	0.035	$\frac{1}{2}$	0.15	0.1	30	39
Yugoslavia	—	—	—	0.2	0.14	30	39
Hydrogen cyanide							
East Germany	0.005	0.004	24	0.015	0.014	30	1
USSR	0.01	0.009	24	—	—	—	—
Hydrogen sulfide							
Bulgaria, Czechoslovakia, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.008	0.005	24	0.008	0.005	30	2, 5
East Germany	0.008	0.005	24	0.015	0.01	30	1
Finland	0.05	0.03	24	0.15	0.1	30	71
Hungary	0.15	0.1	24	0.3	0.2	30	—
Israel	0.045	0.03	24	0.15	0.1	30	—
Italy	0.04	0.03	24	0.1	0.07	30	18

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averaging time (hours)	mg/m ³	ppm	Averaging time (minutes)	
Poland	0.02	0.013	24	0.06	0.04	20	9
	0.008	0.005	24	0.008	0.005	20	10
Romania	0.01	0.006	24	0.03	0.02	30	—
Spain	0.004	0.0025	24	0.01	0.006	30	20
West Germany	0.02	0.013	½	0.05	0.03	30	—
Intrathion (M-81)	0.001	—	24	0.001	—	30	—
USSR	—	—	—	—	—	—	—
Isooctanol	0.05	—	24	0.15	—	30	1
East Germany	—	—	—	0.15	—	30	—
USSR	—	—	—	—	—	—	—
Isopropanol	0.6	0.24	24	2.0	0.82	30	1
East Germany	—	—	—	—	—	—	—
Isopropyl benzene	0.014	—	24	0.014	—	30	2
Bulgaria, USSR	0.014	—	24	0.05	—	30	1
East Germany	—	—	—	—	—	—	—
Isopropyl benzene (hydroperoxide)	0.007	—	24	0.007	—	30	2
Bulgaria, USSR	0.007	—	24	0.02	—	30	1
East Germany	—	—	—	—	—	—	—
Lead	—	—	—	—	—	—	—
Bulgaria, Czechoslovakia, East Germany, USSR, Yugoslavia	0.0007	—	24	—	—	—	2, 42
Hungary	0.001	—	24	0.002	—	30	—
	0.0007	—	24	0.0007	—	30	5
Israel	0.005	—	24	—	—	—	—
Italy	0.01	—	8	0.05	—	30	18
Poland	0.001	—	24	—	—	—	9
	0.0005	—	24	—	—	—	10
Romania	0.001	—	24	—	—	—	—
Lead sulfide (as Pb)	—	—	—	—	—	—	—
Bulgaria	0.0007	—	24	—	—	—	—
East Germany, USSR, Yugoslavia	0.0017	—	24	—	—	—	—
Israel	0.0035	—	24	—	—	—	6
Malathion	—	—	—	0.015	—	30	45
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	—	—	—	—	—	—	—
Maleic Anhydride	0.05	0.012	24	0.2	0.05	30	1, 2
Bulgaria, East Germany, USSR, Yugoslavia	—	—	—	—	—	—	—
Manganese	0.01	—	24	—	—	—	43
Bulgaria, Czechoslovakia, East Germany, Yugoslavia	0.01	—	24	0.03	—	30	6
Israel, Romania	0.01	—	24	—	—	—	—
USSR	—	—	—	—	—	—	—
Mercury	0.0003	—	24	—	—	—	—
Bulgaria, East Germany, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.001	—	24	—	—	—	6
Israel, Romania	—	—	—	—	—	—	—
Mesidine	—	—	—	0.003	—	30	44
Bulgaria, Yugoslav	0.003	—	24	0.003	—	30	44
USSR	—	—	—	—	—	—	—
Methanol	0.5	0.38	24	1.0	0.77	30	1, 2, 5
Bulgaria, Czechoslovakia, East Germany, Hungary, USSR, Yugoslavia	15.0	10.0	24	40.0	27.0	30	—
Hungary	1.5	1.0	24	4.5	3.0	30	6
Israel	1.0	0.77	24	3.0	2.3	30	—
Romania	15.0	10.0	½	40.0	30.0	30	3, 4
West Germany (VDI 2306)	—	—	—	—	—	—	—
Methyl acetate	0.07	0.023	24	0.07	0.023	30	—
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.07	0.023	24	0.2	0.066	30	1
East Germany	3.0	1.0	24	9.0	3.0	30	6
Israel	15.0	5.0	½	45.0	15.0	30	3, 4
West Germany (VDI 2306)	—	—	—	—	—	—	—

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
Methyl acrylate							
Bulgaria, Yugoslavia	—	—	—	0.01	0.003	30	—
East Germany	0.01	0.003	24	0.03	0.009	30	1
USSR	0.01	0.003	24	0.01	0.003	30	—
Methylaniline							
USSR	0.04	0.01	24	0.04	0.01	30	—
Yugoslavia	—	—	—	0.04	0.01	30	—
Methyl ethyl ketone							
West Germany (VDI 2306)	30.0	10.0	$\frac{1}{2}$	90.0	30.0	30	3, 4
Methyl isobutyl ketone							
West Germany (VDI 2306)	20.0	5.0	$\frac{1}{2}$	65.0	15.0	30	3, 4
Methyl mercaptan							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	—	—	—	9×10^{-4}	—	30	—
East Germany	—	—	—	10^{-4}	—	30	1
Methyl methacrylate							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.1	0.025	24	0.1	0.025	30	—
East Germany	0.1	0.025	24	0.3	0.075	30	1
Israel	0.2	0.05	24	0.6	0.15	30	6
Methylparathion							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	—	—	—	0.008	—	30	46
Methylene chloride							
West Germany (VDI 2306)	20.0	5.0	$\frac{1}{2}$	55.0	15.0	30	3, 4
α -Methylstyrene							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.04	0.01	24	0.04	0.01	30	—
East Germany	0.03	0.0075	24	0.05	0.0125	30	1
Monoethylamine							
East Germany	0.01	0.005	24	0.03	0.015	30	1
West Germany (VDI 2306)	0.02	0.01	$\frac{1}{2}$	0.06	0.03	30	3, 4
USSR	0.01	0.005	24	0.01	0.005	30	—
Monomethylaniline							
Bulgaria	—	—	—	0.04	0.009	30	—
East Germany	0.03	0.007	24	0.05	0.01	30	1
Naphthalene							
East Germany	0.001	0.0002	24	0.003	0.0006	30	1
USSR	0.003	0.0006	24	0.003	0.0006	30	—
West Germany (VDI 2306)	2.5	0.5	$\frac{1}{2}$	7.5	1.5	30	3, 4
α -Naphthaquinone							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.005	0.001	24	0.005	0.001	30	2
East Germany	0.002	0.0004	24	0.005	0.001	30	1
Nitric acid							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.006	0.0024	24	0.006	0.0024	30	2, 3
Bulgaria, Yugoslavia	—	—	—	0.4	0.16	30	47
Czechoslovakia	—	—	—	0.01	0.004	30	38
East Germany	0.06	0.024	24	0.14	0.056	30	1
Hungary	1.3	0.5	24	2.8	1.0	30	—
	0.4	0.16	24	0.4	0.16	30	5
Israel	0.42	0.17	24	1.3	0.5	30	6
USSR	0.4	0.16	24	0.4	0.16	30	47
West Germany (VDI 2106)	1.3	0.5	$\frac{1}{2}$	2.6	1.0	30	3, 40
Nitrobenzene							
Bulgaria	—	—	—	0.04	0.008	30	—
East Germany	0.005	0.001	24	0.01	0.002	30	1
Hungary	0.3	0.06	24	0.85	0.17	30	—
	0.008	0.0016	24	0.08	0.016	30	5
USSR, Yugoslavia	0.008	0.0016	24	0.008	0.0016	30	—
West Germany (VDI 2306)	0.3	0.005	$\frac{1}{2}$	0.85	0.16	30	3, 4

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
<i>o</i> -Nitrochlorobenzene	0.004	—	24	0.008	—	30	1
East Germany	0.004	—	24	0.008	—	30	1
<i>p</i> -Nitrochlorobenzene	0.004	—	24	0.008	—	30	1
East Germany	0.004	—	24	0.008	—	30	1
<i>o</i> - and <i>p</i> -Nitrochlorobenzene	0.004	—	24	—	—	—	—
USSR	0.004	—	24	—	—	—	—
Nitrogen dioxide	—	—	—	0.85	0.15	60	—
Argentina	0.085	0.015	24	0.085	0.045	30	2, 5
Bulgaria, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.06	0.03	1 yr	—	—	—	15, 16
Canada - Desirable level	0.1	0.05	1 yr	0.4	0.21	60	15, 17
Acceptable level	0.2	0.11	24	—	—	—	15, 17
Acceptable level	0.1	0.05	24	0.3	0.16	30	—
Czechoslovakia, Romania, West Germany	0.2	0.1	24	0.56	0.3	30	71
Finland	0.15	0.08	24	0.5	0.27	30	—
Hungary	0.04	0.02	24	—	—	—	19
Japan	—	—	—	—	—	—	—
Nitrogen monoxide	0.4	—	½	0.8	—	30	—
West Germany	—	—	—	—	—	—	—
Nitrogen oxides	0.9	0.45	1	—	—	—	49
Argentina	0.004	0.002	24	0.1	0.06	30	1, 49
East Germany	0.15	0.075	24	0.5	0.25	30	49
Hungary	0.65	0.025	21	0.15	0.075	30	5, 49
Israel	0.6	0.3	24	1.0	0.5	30	49
Italy	0.2	0.1	24	0.6	0.3	30	18, 49
Poland	0.2	0.1	24	0.6	0.3	20	49
Spain	0.05	0.025	24	0.15	0.075	20	10, 49
United States	0.2	0.1	24	0.4	0.2	30	20, 49
West Germany (VDI 2105)	0.1	0.05	1 yr	—	—	—	21, 37, 49
Nitrogen pentoxide	1.0	0.5	½	2.0	1.0	30	3, 41, 49
Yugoslavia	0.1	—	24	0.3	—	30	—
Oxidants	—	—	—	0.2	0.1	60	51
Argentina	0.05	0.025	24	0.16	0.08	60	15, 17, 51
Canada - Acceptable level	0.03	0.015	1 yr	—	—	—	15, 17, 51
Acceptable level	0.03	0.015	24	0.1	0.05	60	15, 16, 51
Desirable level	0.2	0.1	8	0.4	0.2	30	51
Israel	—	—	—	0.12	0.06	60	50
Japan	0.03	0.015	24	0.1	0.05	30	51
Romania	—	—	—	0.16	0.08	60	21, 37, 51
United States	—	—	—	—	—	—	—
Ozone	0.1	0.05	24	0.2	0.1	30	6
Israel	—	—	—	—	—	—	—
Pentane	25.0	8.5	24	100.0	33.9	30	1
Bulgaria, East Germany, USSR, Yugoslavia	—	—	—	—	—	—	—
Perchloroethylene	35.0	5.0	½	110.0	15.0	30	3, 4
West Germany (VDI 2300)	—	—	—	—	—	—	—
Phenol	0.01	0.0026	24	0.01	0.0026	30	5
Bulgaria, Hungary, Yugoslavia	0.1	0.026	24	0.3	0.079	30	—
Czechoslovakia	0.01	0.0026	24	0.03	0.0079	30	1
East Germany	0.2	0.052	24	0.6	0.16	30	—
Hungary	0.1	0.025	24	0.3	0.075	30	6
Israel	0.01	0.0026	24	0.02	0.0052	20	9
Poland	0.003	0.0008	24	0.01	0.0026	20	10

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
Romania	0.03	0.0079	24	0.1	0.026	30	—
USSR	0.01	0.0026	24	0.01	0.0026	20	2
West Germany (VDI 2306)	0.2	0.05	$\frac{1}{2}$	0.6	0.15	30	3, 4
Phosphoric acid							
Romania	0.1	—	24	0.3	—	30	—
Phosphoric anhydride							
East Germany	0.05	0.0085	24	0.15	0.026	30	1
Israel	0.1	0.017	24	0.05	0.0085	30	6
Phosphorus pentoxide							
USSR, Yugoslavia	0.05	0.0085	24	0.15	0.026	30	—
Phthalic anhydride							
Bulgaria	0.1	0.015	24	0.2	0.03	30	—
East Germany	0.03	0.005	24	0.1	0.015	30	1
USSR	0.1	0.015	24	0.1	0.015	30	2, 14
Yugoslavia	0.2	0.03	24	0.4	0.06	30	—
Propane-2-ol							
USSR	0.6	—	24	0.6	—	30	—
Propanol							
Bulgaria	—	—	—	0.3	0.12	30	—
East Germany	0.3	0.12	24	1.0	0.36	30	1
USSR, Yugoslavia	0.3	0.12	24	0.3	0.12	30	—
West Germany (VDI 2306)	50.0	20.0	$\frac{1}{2}$	150.0	60.0	30	3, 4
Propyl-isobenzene hydroxide							
Yugoslavia	0.007	—	24	0.007	—	30	—
Propylene							
Bulgaria, USSR	3.0	1.5	24	3.0	1.5	30	2
East Germany	2.0	1.0	24	3.0	1.5	30	1
Pyridine							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	0.08	0.023	24	0.08	0.023	30	—
East Germany	0.03	0.009	24	0.08	0.023	30	1
Romania	0.05	0.014	24	0.15	0.04	30	—
West Germany (VDI 2306)	0.7	0.2	$\frac{1}{2}$	2.1	0.6	30	3, 4
Silica							
Italy	0.02	—	24	0.1	—	120	18
Soot							
Bulgaria, Czechoslovakia, East Germany, Romania, USSR	0.05	—	24	0.15	—	30	1
Hungary	0.1	—	24	—	—	—	—
	0.05	—	24	—	—	—	5
Israel	0.1	—	24	0.3	—	30	6
Styrene							
Bulgaria, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.003	0.0007	24	0.003	0.0007	30	5
East Germany	0.003	0.0007	24	0.01	0.0023	30	1
Hungary	20.0	4.6	24	50.0	11.7	30	—
West Germany (VDI 2306)	20.0	4.6	$\frac{1}{2}$	65.0	15.16	30	3, 4
Sulfur dioxide							
Argentina	0.07	0.03	30 days	—	—	—	—
Belgium, Spain	0.15	0.06	1 yr	—	—	—	20, 76
Bulgaria, USSR	0.05	0.02	24	0.5	0.2	30	2
Canada—Acceptable level	0.06	0.02	1 yr	—	—	—	15, 17
Acceptable level	0.3	0.11	24	0.9	0.31	60	15, 17
Desirable level	0.03	0.01	1 yr	—	—	—	15, 16
Desirable level	0.15	0.06	24	0.45	0.17	60	15, 16
Columbia	0.07	0.03	1 yr	—	—	—	70
Czechoslovakia, East Germany, Hungary, West Germany, Yugoslavia	0.15	0.06	24	0.5	0.2	30	1, 5

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
Finland	0.25	0.1	24	0.72	0.28	30	71
	0.18	0.07	1 yr	—	—	—	71
France	1.0	0.38	24	—	—	—	—
Hungary	0.5	0.2	24	1.0	0.38	30	—
Israel	0.26	0.1	24	0.75	0.3	30	—
Italy	0.38	0.15	24	0.75	0.3	30	18
Japan	0.1	0.04	24	0.26	0.1	60	19
Netherlands	0.075	0.03	24	—	—	—	52, 53
	0.25	0.1	24	—	—	—	52, 54
	0.35	0.13	24	—	—	—	56, 57
	0.125	0.05	24	—	—	—	56, 58
	0.275	0.1	24	—	—	—	56, 59
Netherland, Turkey	0.15	0.06	24	—	—	—	55, 56, 63, 64
Poland	0.35	0.13	24	0.9	0.35	20	9
	0.075	0.03	24	0.25	0.1	20	10
Romania	0.25	0.1	24	0.75	0.3	20	—
Spain	0.4	0.15	24	0.8	0.3	30	20
	0.256	0.1	30 days	—	—	—	20
Sweden	0.25	0.1	24	0.625	0.25	30	60
	0.125	0.05	30 days	—	—	—	60
Switzerland	0.75	0.3	24	1.25	0.5	30	62
Switzerland, West Germany (VDI 2108)	0.5	0.2	24	0.75	0.3	30	3, 40, 61
Turkey	0.30	0.12	24	—	—	—	63, 65
United States	0.08	0.03	1 yr	—	—	—	66
	0.365	0.14	24	—	—	—	57, 66
	1.3	0.5	3	—	—	—	57, 67
West Germany	0.4	0.15	1/2	0.75	0.3	30	—
Sulfuric acid							
Bulgaria, Romania, USSR, Yugoslavia	0.1	—	24	0.3	—	30	2, 68
Bulgaria, Yugoslavia	0.006	—	24	0.006	—	30	38
Czechoslovakia	—	—	—	0.01	—	30	38
East Germany	0.02	—	24	0.05	—	30	1
Hungary, Israel	0.1	—	24	0.3	—	30	6
Poland	0.1	—	24	0.3	—	20	9
	0.05	—	24	0.15	—	20	10
USSR	0.002	—	24	0.006	—	30	2, 38
Suspended particulates							
Argentina	0.15	—	30 days	—	—	—	—
Bulgaria, Czechoslovakia, East Germany, Finland, Romania, USSR	0.15	—	24	0.5	—	30	1, 71, 73
Canada—Acceptable level	0.07	—	1 yr	—	—	—	15, 17, 69
Acceptable level	0.12	—	24	—	—	—	15, 17
Canada (Desirable level), United States, Colombia	0.08	—	1 yr	—	—	—	15, 16, 67, 69
	0.1	—	24	—	—	—	70
Hungary	0.2	—	24	—	—	—	15, 17
Hungary, Turkey, United States	0.15	—	24	—	—	—	5, 63, 64, 67
Israel	0.2	—	24	—	—	—	—
Israel, United States	0.075	—	1 yr	—	—	—	66
Italy	0.3	—	24	0.75	—	120	18
Japan	0.1	—	24	0.2	—	60	19
Poland	0.2	—	24	0.6	—	20	9, 72
	0.075	—	24	0.2	—	20	10, 72
Spain	0.13	—	1 yr	—	—	—	20
	0.202	—	30 days	—	—	—	20
	0.3	—	24	0.6	—	30	20

ANEXO 1. (continuação).

Table III (Continued)

Substance and country	Long-term standard ^a			Short-term standard ^a			Notes ^b
	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (hours)	mg/m ³	ppm	Averag- ing time (minutes)	
Sweden	—	—	—	0.1	—	60	73
United States	0.26	—	24	—	—	—	66
West Germany	—	—	—	0.48	—	30	73
	0.1	—	$\frac{1}{2}$	0.3	—	30	—
Tar							
Israel	1.0	—	24	3.0	—	30	6
Tetrachloromethane							
Bulgaria	—	—	—	4.0	—	30	—
Tetrahydrofuran							
East Germany	0.2	0.07	24	0.6	0.21	30	1
USSR	0.2	0.07	24	0.2	0.07	30	—
West Germany (VDI 2306)	30.0	10.0	$\frac{1}{2}$	90.0	30.0	30	3, 4
Thiophene							
Bulgaria, USSR, Yugoslavia	—	—	—	0.6	0.17	30	—
East Germany	0.2	0.06	24	0.6	0.17	30	1
Toluene							
Bulgaria, East Germany, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.6	0.16	24	0.6	0.16	30	1, 5
Hungary	20.0	5.3	24	50.0	13.3	30	—
West Germany (VDI 2306)	20.0	5.0	$\frac{1}{2}$	60.0	15.0	30	3, 4
Toluene diisocyanate							
Bulgaria, East Germany, Romania, USSR, Yugoslavia	0.02	0.0029	24	0.05	0.0071	30	1
West Germany (VDI 2306)	0.009	0.001	$\frac{1}{2}$	0.021	0.003	30	3, 4
Tributyl phosphate							
Bulgaria	—	—	—	0.01	—	30	1
USSR	0.01	—	24	0.01	—	30	—
Trichlorfon							
USSR	0.02	—	24	0.04	—	30	74
Trichloroethane							
West Germany (VDI 2306)	30.0	5.0	$\frac{1}{2}$	90.0	15.0	30	3, 4
Trichlorethylene							
Bulgaria, East Germany, USSR, Yugoslavia	1.0	0.18	24	4.0	0.74	30	1
Hungary	30.0	5.6	24	50.0	9.3	30	—
	0.2	0.04	24	0.2	0.04	30	5
West Germany (VDI 2306)	30.0	5.0	$\frac{1}{2}$	90.0	15.0	30	3, 4
Triethylamine							
East Germany	0.05	0.012	24	0.14	0.035	30	1
USSR	0.14	0.035	24	0.14	0.035	30	—
West Germany (VDI 2306)	0.04	0.01	$\frac{1}{2}$	0.12	0.03	30	3, 4
2,4,6-Trimethylaniline							
East Germany	0.003	—	24	0.01	—	30	1, 75
Turpentine							
West Germany (VDI 2306)	25.0	5.0	$\frac{1}{2}$	75.0	15.0	30	3, 4, 41
n-Valeric acid							
Bulgaria, East Germany, USSR, Yugoslavia	0.01	0.003	24	0.03	0.008	30	1
Vanadium pentoxide							
Bulgaria, East Germany, USSR	0.002	—	24	—	—	—	—
Czechoslovakia, Yugoslavia	0.003	—	24	—	—	—	—
Vinyl acetate							
Bulgaria, Czechoslovakia, Yugoslavia	0.2	0.006	24	0.2	0.006	30	—
East Germany	0.15	0.0045	24	0.4	0.012	30	1
Israel	4.0	1.0	24	12.0	3.0	30	6
USSR	0.15	0.0045	24	0.15	0.0045	30	—
West Germany (VDI 2306)	20.0	5.0	$\frac{1}{2}$	60.0	15.0	30	3, 4
Xylene							
Bulgaria, Hungary, USSR, Yugoslavia	0.2	0.05	24	0.2	0.05	30	5
East Germany	0.2	0.05	24	0.6	0.14	30	1
Hungary	20.0	4.6	24	50.0	11.5	30	—
West Germany (VDI 2306)	20.0	5.0	$\frac{1}{2}$	60.0	15.0	30	3, 4

ANEXO 1. (continuação).

* Italicized concentrations represent the standards listed in promulgated regulations; those not italicized are approximate conversions.

NOTES:

1. Short-term averaging time 10-30 minutes for East Germany.
2. In USSR:
 - A. If several substances with synergistic toxic properties are present in the air, the maximum permissible concentration (MPC) of the mixture is calculated from the formula $X = (A/M_1) + (B/M_2) + (C/M_3)$, where X is the (relative) MPC; A, B, C are the concentrations of the substances in the mixture, and M_1, M_2, M_3 are their respective maximum permissible concentrations.
 - B. If this formula is applied to the following two, three, or four component systems, the value X should not exceed 1.0 for (a) acetone and phenol; (b) sulfur dioxide and phenol; (c) sulfur dioxide and nitrogen dioxide; (d) sulfur dioxide and hydrogen fluoride; (e) sulfur dioxide and sulfuric acid aerosol; (f) hydrogen sulfide and "dinityl"; (g) isopropyl benzene and isopropyl benzene hydroperoxide; (h) furfural, methanol, and ethanol; (i) strong mineral acids (sulfuric, hydrochloric and nitric—concentrations expressed as H^+); and (j) ethylene, propylene, butylene and amylene. The value X should not exceed 1.3 for acetic acid and acetic anhydride, and should not exceed 1.5 for (a) acetone and acetophenone, (b) benzene and acetophenone, (c) phenol, and acetophenone.
 - C. If (a) hydrogen sulfide and carbon disulfide; (b) carbon monoxide and sulfur dioxide; (c) phthalic anhydride, maleic anhydride and α -naphthoquinone are present in the mixture, the MPC values of individual substances should not be exceeded.
 - D. If *p*-chlorophenyl isocyanate is present together with *m*-chlorophenyl isocyanate, the MPC is determined by the presence of the more toxic substance, i.e., of *p*-chlorophenyl isocyanate.
3. VDI = Verein Deutscher Ingenieure Kommission Reinhaltung der Luft, VDI-Verlag GmbH, Duesseldorf, Federal Republic of Germany.
4. Short term = Short-term exposure limit, not to be exceeded more than once in any 4 hours in West Germany.
5. Highly protected and protected areas in Hungary.
6. Tentative standards in Israel.
7. Also the inorganic compounds, except arsine, AsH_3 .
8. As AsH_3 .
9. Protected areas in Poland.
10. Specially protected areas in Poland.
11. As C.
12. Listed in Regulations as <10% aromatics.
13. Also benzene from oil shale.
14. Fumes and aerosols.
15. National Air Quality Objectives in Canada.
16. Desirable level in Canada.
17. Maximum acceptable level in Canada.
18. Once in 8 hours in Italy.
19. Average of hourly means for 24 hour value in Japan.
20. Proposed standard in Spain.
21. Primary and secondary ambient air quality standards in the United States.
22. 0.6 mg/m³ once as a 30 minutes average in a time period of 8 hours in West Germany.
23. Also called trichloromethane.
24. Also called aureomycin.
25. For mixing with animal feed.
26. As Cr_6 .
27. As CrO_3 .
28. Diphenyl plus its oxide.
29. HF, SiF_4 .
30. As F, gaseous compounds.
31. Gaseous plus salt combined.[§]
32. As HF.
33. NaF, Na_2SiF_6 .
34. AlF_3 , $NaAlF_6$, CaF_2 .
35. Readily soluble inorganic fluoride.
36. As hexane, for hydrocarbons emitted by oil refineries.
37. Not to be exceeded more than once a year.
38. As H^+ .
39. As HCl.
40. Short-term standard not to be exceeded more than once in 2 hours in West Germany.
41. Short-term standard = short-term exposure limit, not to be exceeded more than once in any 8 hours.
42. Lead and its compounds, except tetraethyllead.
43. As MnO_2 .
44. 2-Amino-1,3,5-trimethylbenzene.
45. Also called Carbophos.
46. Also called Metaphos.
47. As HNO_3 .
48. Diethylene dioxide.
49. As NO_2 .
50. By KI.
51. As O_3 .
52. For areas with low smoke level.
53. Percentile of the cumulative frequency distribution of consecutive 24 hour samples: 50%.
54. Percentile of the cumulative frequent distribution of consecutive 24 hour samples: 38%.
55. Soot level <0.03 mg/m³, frequency 50% in Netherlands.
56. Interim limit value in Netherlands for areas designated by commission.
57. Soot level <0.09 mg/m³, frequency 98%.
58. Soot level <0.04 mg/m³, frequency 50%.
59. Soot level <0.125 mg/m³, frequency 98%.
60. Guideline.
61. Summer—March 1–October 31 guideline in Switzerland.
62. Winter—November 1–February 28/29 guideline.
63. Recommended standard in Turkey.
64. Residential areas in Turkey.
65. Industrial areas.
66. Primary standard in United States.
67. Secondary standard in United States.
68. As H_2SO_4 .
69. Annual geometric mean.
70. Reference level.
71. Not national legal norms, communal health councils can enforce them.
72. Particle size <20 μm .
73. Basis for stack height calculation.
74. Also called Chlorophos.
75. Also called Mesidine.
76. Protected area in Belgium.

ANEXO 2.- PADRÕES DE EMISSÃO DE FONTES ESTACIONÁRIAS PARA DIVERSOS PAÍSES

Table IX National Emission Standards for Specific Pollutants in Effluent Air or Gas from Stationary Sources* (6)

Substance and country	Source	Standard		Notes ^b
		Original units	mg/m ³	
Acid gases				
Australia	New H ₂ SO ₄ manufacture	3.0 gm/m ³	3000.0	1, 2, 3
Great Britain	Superphosphate fertilizer manufacture	0.1 grains/ft ³	223.8	1, 4
Ireland	H ₂ SO ₄ manufacture	4.0 grains/ft ³	9153.0	1
New Zealand	New H ₂ SO ₄ manufacture	5.0 gm/m ³	5000.0	1, 3
Singapore	H ₂ SO ₄ manufacture	6.0 gm/m ³	6000.0	1, 2, 5*
Acrolein				
Czechoslovakia	All	3 kg/hour	—	6
Aldehydes				
West Germany	Gas-burning furnaces	mg/m ³	20.0	7
Ammonia				
Czechoslovakia	All	3 kg/hour	—	6
Antimony				
Australia	New plants	mg/m ³	10.0	2, 3, 8, 9, 10
Great Britain	Less than 5000 cfm	0.05 grains/ft ³	114.4	9, 11
	More than 5000 cfm	0.02 grains/ft ³	45.7	9, 11
Singapore	All	0.02 gm/m ³	20.0	2, 8, 9, 12
Arsenic				
Australia	All	mg/m ³	10.0	2, 3, 8, 9, 10
Czechoslovakia	All	0.03 kg/hour	—	6, 13
Great Britain	Less than 5000 cfm	0.05 grains/ft ³	114.4	9, 11
	More than 5000 cfm	0.02 grains/ft ³	45.7	9, 11
Singapore	All	0.02 gm/m ³	20.0	2, 8, 9, 12
Benzene				
Czechoslovakia	All	24.0 kg/hour	—	6
Beryllium				
Australia	All	mg/m ³	0.1	2, 3, 9, 14
Cadmium				
Australia	All	mg/m ³	3.0	2, 3, 8, 10, 15
Great Britain	Maximum, 30 pounds/168 hours	0.017 grains/ft ³	38.9	8, 9
Japan	Cadmium pigment, cadmium carbonate, and glass manufacture; copper, lead, and cadmium refining	mg/m ³	1.0	9, 16
Singapore	All	0.02 gm/m ³	20.0	2, 8, 9, 12
Carbon				
West Germany	Graphite electrode manufacture	mg/m ³	250.0	17
	Refuse incineration	mg/m ³	50.0	49, 60
Carbon black				
Czechoslovakia	Amorphous carbon	1.5 kg/hour	—	6
Carbon dioxide				
Italy	Thermal installations	10% by volume	—	—
Switzerland	Oil burners			
	<3 kg/hour	8.0% by volume	—	3
	3-9 kg/hour	10.0% by volume	—	3
	>10.0 kg/hour	12.0% by volume	—	—
Carbon disulfide				
Czechoslovakia	All	0.3 kg/hour	—	6
Carbon monoxide				
Australia	All	0.5 gm/m ³	500.0	2, 3
Czechoslovakia	All	60.0 kg/hour	—	6
France	Electric generating plants	0.05% by volume	—	—
	Incinerators	0.1% by volume	—	—
United States	Fluid catalyst regenerator	0.50% by volume	—	—
	Ferroalloy manufacture	20% by volume	—	—
West Germany	Solid fuel burning	mg/m ³	250.0	61
	Gas burning	mg/m ³	100.0	7

ANEXO 2. (continuação).

Table IX (Continued)

Substance and country	Source	Standard		Notes ^b
		Original units	mg/m ³	
	Oil burning	mg/m ³	175.0	7
	Refuse burning			
	Household	1.0 gm/m ³	1000.0	62
	Other	mg/m ³	100.0	49
West Germany (VDI 2117E)	Vaporizer oil burners	0.1 by volume	—	18
Chlorine				
Australia	All	0.2 gm/m ³	200.0	2, 3, 8, 9
Czechoslovakia	All	1.0 kg/hour	—	6
Denmark, Sweden	Mercury cell	mg/m ³	3.0	—
Great Britain	All	0.1 grains/ft ³	228.8	8
Japan	Ferric chloride, chlorinated ethylene, activated carbon, and other chemical manufacture	mg/m ³	30.0	19
Singapore	All	0.2 gm/m ³	200.0	2
West Germany	All sources >3 kg/hour	mg/m ³	30.0	—
	Aluminum reduction	mg/m ³	3.0	49
	Refuse burning			
	Household (<0.75 tons/hour)	kg/hour	6.0	—
	Household (>0.75 tons/hour)	mg/m ³	100.0	49
	Other	mg/m ³	100.0	63
	Chlorine manufacture	mg/m ³	3.0	—
	Chlorine manufacture	mg/m ³	6.0	20
	Chlorine manufacture—Mercury cells	1 gm/ton Chlorine	—	—
Copper				
Singapore	All	0.02 gm/m ³	20.0	2, 8, 9, 12
Formaldehyde				
Czechoslovakia	All	0.5 kg/hour	—	6
Fluorine				
Czechoslovakia	Gaseous inorganic compounds	0.3 kg/hour	—	6
Japan	Aluminum reduction—ducts	mg/m ³	3.0	—
	Aluminum reduction—vents	mg/m ³	1.0	—
	Calcium superphosphate manufacture	mg/m ³	15.0	—
	Phosphoric acid fertilizer manufacture	mg/m ³	20.0	—
	Trisodium phosphate, phosphoric acid, and glass manufacture	mg/m ³	10.0	21
Singapore	All	0.1 gm/m ³	100.0	2, 22
Sweden	Ferrumolybdenum manufacture	1 kg/ton of product	—	—
United States	Aluminum reduction			
	Prebake plant	0.95 kg/ton Al	—	—
	Soderberg plant	1.0 kg/ton Al	—	—
	Phosphate fertilizer manufacture			
	Diammonium phosphate manufacture	30.0 gm/ton P ₂ O ₅	—	—
	Superphosphoric acid manufacture	5.0 gm/ton P ₂ O ₅	—	—
	Triple superphosphate			
	Manufacture	100.0 gm/ton P ₂ O ₅	—	—
	Curing	0.25 gm/hour ton equivalent P ₂ O ₅	—	—
	Wet process phosphoric acid manufacture	10.0 gm/ton P ₂ O ₅	—	—
West Germany (VDI 2286)	Aluminum reduction	0.05 gm/m ³	50.0	18
Fluorine compounds				
Australia	New aluminum reduction	0.02 gm/m ³	20.0	2, 3, 22
	All other new processes	0.05 gm/m ³	50.0	2, 3, 22
Fluorine inorganic compounds				
Singapore	All	0.1 gm/m ³	100.0	2, 22
Heavy metals (total)				
Australia	All	mg/m ³	10.0	15
Hydrochloric acid				
Czechoslovakia	All	0.1 kg/hour	100.0	6, 23

ANEXO 2. (continuação).

Table IX (Continued)

Substance and country	Source	Standard		Notes ^b
		Original units	mg/m ³	
West Germany	Hydrogen chloride manufacture	mg/m ³	10.0	—
Hydrogen chloride				
Great Britain	Alkali (salt cake) works	0.2 grains/ft ³	4576.0	—
Great Britain; Ireland	Hydrogen chloride manufacture	0.2 grains/ft ³	4576.0	—
Japan	Ferric chloride, chlorinated ethylene, activated carbon, and other chemical manufacture	mg/m ³	80.0	19
Singapore	All	0.4 gm/m ³	400.0	2
Sweden	Cable burning	mg/m ³	250.0	
West Germany	Incinerators (all)	mg/m ³	100.0	24
West Germany (VDI 3451E)	Absorption	0.025 gm/m ³	25.0	18, 25
	Sulfate methods	0.40 gm/m ³	400.0	18, 25
	Hydrogen chloride electrolysis	0.10 gm/m ³	100.0	—
	Filling and transfer	0.10 gm/m ³	100.0	18, 25
	Zinc chloride manufacture	0.16 gm/m ³	160.0	18, 25
	Silicon tetrachloride manufacture	0.20 gm/m ³	200.0	18, 25
	Vinyl chloride manufacture	0.17 gm/m ³	170.0	18, 25
	α -Chloropropionic acid manufacture	0.18 gm/m ³	180.0	18, 25
	Sintering crude phosphate	0.35 gm/m ³	350.0	18, 25
	Burning organic by-products	0.30 gm/m ³	300.0	18, 25
	Hydrogen chloride absorption	0.33 gm/m ³	330.0	18, 25
Hydrofluoric acid				
Singapore	All	0.1 gm/m ³	100.0	2, 22
Hydrogen fluoride				
Great Britain	All	0.1 grains/ft ³	229.0	26
Japan	Aluminum reduction—ducts	mg/m ³	3.0	—
	Aluminum reduction—vents	mg/m ³	1.0	—
	Calcium superphosphate manufacture	mg/m ³	15.0	—
	Phosphoric acid fertilizer manufacture, baking furnace	mg/m ³	30.0	—
	Trisodium phosphate, phosphoric acid, and glass manufacture	mg/m ³	1.0	21
Hydrogen fluoride (as F)				
West Germany	Incinerators, iron ore sintering	mg/m ³	5.0	27
	Gases and vapors >5 kg/hour	mg/m ³	5.0	59
	Refuse burning			
	Household (<0.75 tons/hour)	kg/hour	0.2	—
	Household (>0.75 tons/hour)	mg/m ³	5.0	49
	Other	mg/m ³	5.0	49
	Ceramic kilns	mg/m ³	30.0	7, 28
	Aluminum reduction	mg/m ³	2.0	
	Closed furnaces	1 kg/ton Al	—	
	Open furnaces	0.8 kg/ton Al	—	
	Glass manufacture	mg/m ³	15.0	—
	Sintering crude phosphate concentrates	mg/m ³	10.0	—
	Slag remelting	mg/m ³	1.0	—
Hydrogen sulfide				
Australia	All	mg/m ³	5.0	2, 3, 29
Czechoslovakia	All	0.08 kg/hour	—	6
Great Britain; Singapore	All	5.0 ppm	7.5	—
Sweden	Kraft recovery furnace	mg/m ³	10.0	30
United States	Petroleum refineries	mg/m ³	230.0	31
West Germany	Refineries	mg/m ³	10.0	32
	Claus sulfur plant	mg/m ³	10.0	—
	Coke oven gas	1.5 gm/m ³	1500.0	34

ANEXO 2. (continuação).

Table IX (Continued)

Substance and country	Source	Standard		Notes ^b
		Original units	mg/m ³	
Lead				
Australia	All	mg/m ³	10.0	2, 3, 8, 9, 10, 15
Canada	Secondary lead smelting	—	—	48
Czechoslovakia	Except tetraethyllead	0.007 kg/hour	—	6
Great Britain	Up to 3000 cfm of exhaust	0.05 grains/ft ³	114.4	8
	3000-10,000 cfm	0.05 grains/ft ³	114.4	8, 35
	10,000-140,000 cfm	0.01 grains/ft ³	22.8	8, 36
	Over 140,000 cfm	0.005 grains/ft ³	11.4	8, 37
	Refining copper, lead, or zinc; blast and sintering furnaces	mg/m ³	30.0	9
Japan	Glass manufacture using lead oxides, baking furnace	mg/m ³	20.0	9
	Pipe, sheet, wire, pigment, and storage battery manufacture and secondary refining	mg/m ³	10.0	9
	Refining copper, lead, and zinc; other furnaces	mg/m ³	16.0	9
New Zealand	All	mg/m ³	100.0	3, 9
Singapore	All	0.02 gm/m ³	200.0	2, 8, 9, 12
Manganese				
Czechoslovakia	All	0.1 kg/hour	—	6, 38
Mercury				
Australia	All	mg/m ³	3.0	2, 3, 8, 9, 10, 15
Czechoslovakia	All	0.003 kg/hour	—	6, 39
Singapore	All	0.02 gm/m ³	20.0	2, 8, 9, 12
Sweden	In ventilation air from new CI manufacture	0.001 kg/ton	—	—
	In H ₂ vented from new CI manufacture	0.0001 kg/ton	—	—
Nickel				
Australia	All	mg/m ³	20.0	2, 3, 8, 9, 14, 40
Nickel carbonyl				
Australia	All	mg/m ³	0.5	2, 3, 8, 14
Nitric acid				
Australia	New HNO ₃ or H ₂ SO ₄ manufacture	1.0 gm/m ³	1000.0	2, 3, 41
	Any other process except new gas-fired power plants	0.5 gm/m ³	500.0	2, 3, 41
Czechoslovakia	All	0.1 kg/hour	—	6, 23
Singapore	HNO ₃ manufacture	4.0 gm/m ³	4000.0	1, 2
	Any other process	2.0 gm/m ³	2000.0	1, 2
Nitrogen oxides				
Australia	New HNO ₃ and H ₂ SO ₄ manufacture	1.0 gm/m ³	1000.0	2, 41
	New gas-fired power plants	0.35 gm/m ³	350.0	2, 3, 41
	Any other new process	0.5 gm/m ³	500.0	2, 3, 41
Czechoslovakia	All	3.0 kg/hour	—	6, 41
Great Britain	HNO ₃ manufacture	1000.0 ppm	1800.0	41, 42
	All other processes	1.0 grains/ft ³	2288.3	2, 41
Japan	All	—	—	43
Singapore	HNO ₃ manufacture	4.0 gm/m ³	4000.0	1, 2
	Any other process	2.0 gm/m ³	2000.0	1, 2
United States	New gas-fired power plants	0.2 pound/MMBTU	—	—
	New liquid-fuel-fired power plants	0.3 pound/MMBTU	—	—
	New solid-fuel-fired power plants	0.7 pound/MMBTU	—	—
	New HNO ₃ manufacture	3.0 pounds/ton acid	—	—
	HNO ₃ manufacture	—	—	44, 46
West Germany	Concentrated HNO ₃ manufacture	—	—	45, 46
Organic compounds				
West Germany	Fluid incineration	mg/m ³	50.0	49
Organic gases and vapors				
West Germany	Petroleum refining	0.04% of crude	—	—

ANEXO 2. (continuação).

Table IX (Continued)

Substance and country	Source	Standard		Notes ^b
		Original units	mg/m ³	
Phenol				
Czechoslovakia	All	3.0 kg/hour	—	6
Silicon fluoride				
Japan	Aluminum reduction—duets	mg/m ³	3.0	—
	Aluminum reduction—vents	mg/m ³	1.0	—
	Calcium superphosphate manufacture	mg/m ³	15.0	—
	Phosphoric acid fertilizer manufacture	mg/m ³	20.0	—
	Trisodium phosphate, phosphoric acid, and glass manufacture	mg/m ³	10.0	21
Sulfur dioxide				
Canada	Burning coke oven gas	1300 gm/metric ton of coke	—	3, 64
	Combustion of fuel oil in Arctic mining plants	1.1 gm/1000 kcal	—	—
Czechoslovakia	All	—	—	50
Denmark	Sulfite pulp mills (new)	10 kg/ton pulp	—	—
	Sulfite pulp mills (existing)	20 kg/ton pulp	—	—
	Sulfuric acid manufacture (new)	5 kg/ton acid	—	—
	Sulfuric acid manufacture (existing)	20 kg/ton acid	—	—
East Germany	All	—	—	51
Great Britain	H ₂ SO ₄ concentration	1.5 grains/ft ³	3432.4	1
	New contact H ₂ SO ₄ manufacture	0.5% of the sulfur burned	—	—
	Old sulfur-burning H ₂ SO ₄ manufacture	2% of the sulfur burned	—	—
	Old H ₂ SO ₄ manufacture other than sulfur burning	4.0 grains/ft ³	9153.2	1
Italy	Heating plants	0.20% by volume	—	52
Japan	All	—	—	53
Sweden	New H ₂ SO ₄ manufacture	5 kg/ton acid	—	54
	Existing H ₂ SO ₄ manufacture	20.0 kg/ton acid	—	54
	NH ₃ manufacture	—	—	55
	New sulfite pulp mills	10.0 kg/ton pulp	—	—
	Existing sulfite pulp mills	20.0 kg/ton pulp	—	—
	Oil steam-electric power plants over 300 MW	20.0 kg/ton fuel	—	—
United States	New liquid-fuel-fired power plants	0.8 pound/MMBTU	—	—
	New solid-fuel-fired power plants	1.2 pounds/MMBTU	—	—
	Primary copper smelters	—	—	—
	Roaster, smelting furnace, converter	0.065%	—	—
	Primary lead smelters	—	—	—
	Sintering machine, electric smelting furnace, converter	0.065%	—	—
	Primary zinc smelters	—	—	—
	Roasters	0.065%	—	—
	Sulfuric acid manufacture	4.0 pounds/ton	—	—
West Germany	SO ₂ manufacture	mg/m ³	30.0	—
	Natural gas burning	mg/m ³	50.0	7
	Coal gas burning	mg/m ³	100.0	7
	Nonferrous smelting	3 gm/m ³	3000.0	—
West Germany (VDI 2110)	Waste coke oven gas	2.54 gm/m ³	2540.0	18
	Waste coke oven gas	0.59 gm/m ³	590.0	18, 56
	H ₂ SO ₄ (100%) manufacture	1.5 gm/m ³	1500.0	18
Sulfuric acid				
Australia	All	0.1 gm/m ³	1000.0	3
Czechoslovakia	All	0.1 kg/hour	—	6, 23
Singapore	Other than combustion or H ₂ SO ₄ manufacture	0.2 gm/m ³	200.0	1, 2
United States	New H ₂ SO ₄ manufacture	0.15 pound/ton acid	—	57
West Germany (VDI 2298)	SO ₂ and H ₂ SO ₄ manufacture	mg/m ³	5.0	18
		2 kg/ton acid	—	18

ANEXO 2. (continuação).

Table IX (Continued)

Substance and country	Source	Standard		Notes ^b
		Original units	mg/m ³	
Sulfur trioxide				
Australia	All new plants	0.1 gm/m ³	100.0	1, 2, 3
Singapore	Other than combustion or H ₂ SO ₄ manufacture	0.2 gm/m ³	200.0	1, 2
Sweden	New H ₂ SO ₄ manufacture	0.5 kg/ton acid	—	54
	Existing H ₂ SO ₄ manufacture	0.8 kg/ton acid	—	54
West Germany (VDI 2298)	SO ₂ and H ₂ SO ₄ contact manufacture	0.4 kg/ton acid	—	18, 47, 58
West Germany	SO ₂ and H ₂ SO ₄ manufacture	0.6 kg/ton acid	—	33
Sulfur trioxide and sulfuric acid mist				
Denmark, Sweden	Sulfuric acid manufacture (new)	0.5 kg/ton acid	—	—
	Sulfuric acid manufacture (existing)	0.8 kg/ton acid	—	—
Tar				
West Germany	Graphite electrode manufacture	mg/m ³	50.0	—
Vinyl chloride				
United States	Ethylene dichloride purification, vinyl chloride formation, purification, stripping, recovery, mixing, weighing, holding, venting, leakage	10 ppm	—	—
	Oxychlorination reactor	0.2 gm/kg product	—	—
	PVC (polyvinyl chloride) plants			
	Reactor opening loss	0.02 gm/kg product	—	—
	Stripping Technology			
	Dispersion PVC resins	2000 ppm	—	—
	Other PVC resins	400 ppm	—	—
	Other than stripping technology			
	Dispersion PVC resins	2 gm/kg product	—	—
	Other PVC resins	0.4 gm/kg product	—	—

^a See also Table IXA for standards for Spain, and Table X for both organic and inorganic compounds, Federal Republic of Germany.

^b NOTES:

ANEXO 2. (continuação).

1. As SO_2 .
2. STP at 0°C and 1 atm (dry).
3. National guideline.
4. Or efficiency of condensation of acid gases greater than 99%.
5. Discharge free from persistent mist.
6. Emission rate above which it is necessary to submit a report to the government. Where discharge is for less than 1 hour, there is a proportionate increase in emission rate permissible without such reporting. For permissible emission, see Table XXIX.
7. As formaldehyde; at 3% O_2 by volume.
8. As the element
9. Also compounds of the element.
10. Total of antimony, arsenic, cadmium, lead, mercury, or their compounds may not exceed this limit.
11. As the trioxide.
12. Total of antimony, arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, or their compounds may not exceed this limit.
13. Inorganic compounds except arsenic.
14. Tentative standard.
15. Addition of each metal or compound expressed as the metal in each case.
16. Glass manufacture using cadmium sulfide or carbonate as raw materials.
17. At 8% CO_2 by volume.
18. Verein Deutscher Ingenieure.
19. Includes chlorine quick cooling for chlorinated ethylene manufacture.
20. If complete liquification; also short-term peaks.
21. Glass manufacture using fluorite or sodium silicofluorate as raw materials.
22. As HF .
23. As hydrogen ion.
24. Applies to sources with 3 kg/hour hydrogen chloride or more.
25. Wet.
26. As SO_2 equivalent in original units.
27. Applies to sources with 150 gm/hour hydrogen fluoride or more.
28. If on crest or valley, 5 mg/ m^3 .
29. As H_2S .
30. Ninety-nine percent of the time per month for new units; 90% for existing units; also (concentration in stack gas/concentration at odor threshold) = at least 10,000.
31. Unless burned to SO_2 in a manner that prevents release of SO_2 to atmosphere.
32. 0.4% H_2S by volume must be cleaned.
33. <6% SO_2 in input and <100 tons/day.
34. Other sulfur-bearing compounds, 0.5 gm/ m^3 hourly average.
35. One hundred pounds/week mass emission limit.
36. Four hundred pounds/week mass emission limit.
37. One thousand pounds/week mass emission limit.
38. As MnO_2 .
39. Metallic.
40. Except nickel carbonyl.
41. As NO_2 .
42. And the emission shall be colorless.
43. See Table XI.
44. See Figure 4.
45. See Figure 5.
46. Decolorization of nitric acid plant effluent = $(6100 \cdot 2.05 \cdot d) \text{ mg } \text{m}^3$, where d = inside exit stack diameter.
47. >6% SO_2 in input.
48. Proposed national guideline <63% Pb in particulate matter. If >63%, limit particulate matter to 63% of particulate matter limit for process in Table XVI.
49. 11% volume O_2 in gas.
50. See Table XXIX.
51. See Tables XXX, XXXI, and XXXII.
52. For heating installations burning liquid fuels with viscosity >5° Engler and >4% S.
53. See Table XXXIII.
54. Sulfur or pyrite as raw material.
55. Equipment for releasing sulfur required.
56. By using partly desulfurized coke oven gas.
57. As H_2SO_4 .
58. At least 99% SO_2 has to be recycled.
59. See Figure 6.
60. In combustible organic matter in flue gas.
61. At 13% O_2 for wood, 7% O_2 for grate-fired coal, 6% O_2 for dry-bottom pulverized coal, and 5% O_2 for wet-bottom pulverized coal.
62. At 17% O_2 for <0.75 tons/hour refuse and 11% O_2 for >0.75 tons/hour refuse.
63. At 7% CO_2 .
64. 2.6 pounds short ton (equivalent to 50 grains/standard cubic foot).

ANEXO 3.- TÉCNICAS DE CONTROLE PARA IMPORTANTES FONTES DE EMISSÃO

TABLE 2-10 Control techniques applicable to unit processes at important emission sources.

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Aluminum reduction plants	Materials handling: buckets and belt conveyor or pneumatic conveyor	Particulates (dust)	Exhaust systems and baghouse
	Anode and cathode electrode preparation		Exhaust systems and mechanical collectors
	Cathode: baking	Hydrocarbon emissions from binder	
	Anode: grinding and blending	Particulates (dust)	
	Baking	Particulates (dust), CO, SO ₂ , hydrocarbons, and fluorides	High-efficiency cyclone, electrostatic precipitators, scrubbers, catalytic combustion or incinerators, flares, baghouse
	Pot charging	Particulates (dust), CO, HF, SO ₂ , CF ₄ , and hydrocarbons	High-efficiency cyclone, baghouse, spray towers, floating-bed scrubber, electrostatic precipitators, chemisorption, wet electrostatic precipitators
Asphalt batch plants	Metal casting	Cl ₂ , HCl, CO, and particulates (dust)	Exhaust systems and scrubbers
	Materials handling, storage and classifiers: elevators, chutes, vibrating screens	Particulates (dust)	Local exhaust systems with a cyclone precleaner and a scrubber or baghouse
	Drying: rotary oil- or gas-fired	Particulates and smoke	Proper combustion controls, fuel-oil preheating where required; local exhaust system, cyclone and a scrubber or baghouse
Cement plants	Truck traffic	Dust	Wetting down truck routes
	Quarrying: primary crusher, secondary crusher, conveying, storage	Particulates (dust)	Wetting, exhaust systems with mechanical collectors
	Dry processes: materials handling, air separator (hot-air furnace)	Particulates (dust)	Local exhaust system and mechanical collectors and baghouse
	Grinding	Particulates (dust)	Local exhaust system with cyclones and baghouse
	Pneumatic, conveying and storage	Particulates (dust)	
	Wet process: materials handling, grinding, storage	Wet materials, no dust	
	Kiln operations		
	Rotary kiln	Particulates (dust), CO, SO _x , NO _x , hydrocarbons, aldehydes, ketones	Electrostatic precipitators and baghouses, scrubber, flare
	Clinker cooling: materials handling	Particulates (dust)	Local exhaust system and mechanical collectors
	Grinding and packaging: air separator, grinding, pneumatic conveying, materials handling, packaging	Particulates (dust)	Local exhaust systems and mechanical collectors
Coal preparation plants	Materials handling: conveyors, elevators, chutes	Particulates (dust)	Local exhaust systems and cyclones
	Sizing: crushing, screening, classifying	Particulates (dust)	Local exhaust systems and cyclones
	De-dusting	Particulates (dust)	Local exhaust system, cyclone precleaners, and baghouse
	Storing coal in piles	Blowing particulates (dust)	Wetting, plastic spray covering

ANEXO 3. (continuação).

TABLE 2-10 (continued)

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Coke plants	Refuse piles	H ₂ S, particulates, and smoke from burning storage piles	Digging out fire, pumping water onto fire area, blanket with incombustible material
	Coal drying: rotary, screen, suspension, fluid bed, cascade	Dust, smoke, particulates, sulfur oxides, H ₂ S	Exhaust systems with cyclones and venturi scrubbers
	By-product ovens charging	Smoke, particulates (dust)	Pipeline charging, careful charging techniques; portable hooding and scrubber or baghouses
	Pushing	Smoke, particulates (dust), SO ₂	Minimize green coke pushing, scrubbers and baghouses
	Quenching	Smoke, particulates (dust and mists), phenols, and ammonia	Baffles and spray tower
	By-product processing	CO, H ₂ S, methane, ammonia, H ₂ , phenols, hydrogen cyanide, N ₂ , benzene, xylene, etc.	Electrostatic precipitator, scrubber, flaring
Fertilizer industry (chemical)	Material storage (coal and coke)	Particulates (dust)	Wetting, plastic spray, fire-prevention techniques
	Phosphate fertilizers: crushing, grinding, and calcining	Particulates (dust)	Exhaust system, scrubber, cyclone, baghouse
	Hydrolysis of P ₂ O ₅	PH ₃ , P ₂ O ₅ , H ₃ PO ₄ mist	Scrubbers, flare
	Acidulation and curing	HF, SiF ₄	Scrubbers
	Granulation	Particulates (dust) (product recovery)	Exhaust system, scrubber, or baghouse
	Ammoniation	NH ₃ , NH ₄ Cl, SiF ₄ , HF	Cyclone, electrostatic precipitator, baghouse, high-energy scrubber
Foundries	Nitric acid acidulation	NO ₂ , gaseous fluoride compounds	Scrubber, addition of urea
	Superphosphate storage and shipping	Particulates (dust)	Exhaust system, cyclone, or baghouse
	Ammonium nitrate reactor	NH ₃ , NO _x	Scrubber
	Prilling tower	NH ₃ , NO _x	Proper operation control, scrubbers
	Melting (cupola):		
	Charging	Smoke and particulates	
Iron	Melting	Smoke and particulates, fume	Flued top with exhaust system, CO afterburner, gas-cooling device and scrubbers, baghouse or electrostatic precipitator, wetting to extinguish fire
	Pouring	Oil, mist, CO	
	Bottom drop	Smoke and particulates	
Brass bronze	Melting		
	Charging	Smoke particulates, oil mist	Low-zinc-content red brass: use good combustion controls and slag cover; high-zinc-content brass: use good combustion controls, local exhaust system, and baghouse or scrubber
	Melting	Zinc oxide fume, particulates, smoke zinc oxide	
Aluminum	Pouring	Fume, lead oxide fume	
	Melting: charging, melting, pouring	Smoke and particulates	Charge clean material (no paint or grease); proper operation should be required; no air pollution control equipment if no fluxes are used and degassing is not required; dirty charge requires exhaust system with scrubbers and baghouses
Zinc	Melting		
	charging	Smoke and particulates	Exhaust system with cyclone and baghouse; charge clean material (no paint or grease)
	Melting	Zinc oxide fume	Careful skimming of dross
	pouring	Oil mist and hydrocarbons from die-casting machines	Use low-smoking die-casting lubricants
	Sand handling shake-out	Particulates (dust), smoke, organic vapors	
	Magnetic pulley, conveyors and elevators, rotary cooler, screening, crusher mixer	Particulates (dust)	Exhaust system, cyclone, and baghouse

ANEXO 3. (continuação).

TABLE 2-10 (continued)

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Galvanizing operations	Coke-making ovens	Organic acids, aldehydes, smoke, hydrocarbons	Use of binders that will allow ovens to operate at less than 400°F or exhaust systems and afterburners
	Hot-dip galvanizing tank kettle: dipping material into the molten zinc; dusting flux onto the surface of the molten zinc	Fumes, particulates (liquid), vapors: NH_4Cl , ZnO , ZnCl_2 , Zn , NH_3 , oil, and carbon	Close-fitting hoods with high indraft velocities (in some cases the hood may not be able to be close to the kettle, so that the in-draft velocity must be very high), baghouses, electrostatic precipitators
	Kraft pulp mills	Digesters: batch and continuous Multiple-effect evaporators	Condensers and use of lime kiln, hog fuel boiler, or furnaces as afterburners Caustic-scrubbing and thermal oxidation of noncondensibles
Municipal and industrial incinerators	Recovery furnace	H_2S , mercaptans, organic sulfides, and disulfides	Paper combustion controls for fluctuating load and unrestricted primary and secondary air flow to furnace and scrubber or electrostatic precipitator
	Weak and strong black liquor oxidation	H_2S	Packed tower and cyclone
	Smelt tanks	Particulates (mist or dust)	Demisters, venturi, packed tower, or impingement-type scrubbers
	Lime kiln	Particulates (dust), H_2S	Venturi scrubbers
	Single-chamber incinerators	Particulates, smoke, volatiles, CO , SO_2 , ammonia, organic acids, aldehydes, NO_x , hydrocarbons, odors, HCl	
	Flue-fed		Settling chambers, scrubbers, afterburner, bypass flue, ash cleanout
	Multiple-chamber incinerators: retort, inline	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Operating at rated capacity, using auxiliary fuel as specified and good maintenance, including timely cleanout of ash
	Flue-fed	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Use of charging gates and automatic controls for draft
	Wood waste	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Continuous-feed systems; operate at design load and excess air; limit charging of oily material
	Municipal incinerators: 50-100 tons/day	Particulates, smoke, volatiles, CO , ammonia, organic acids, aldehydes, NO_x , hydrocarbons, SO_2 , hydrogen chloride, odors	Preparation of materials, including weighing, grinding, shredding; control of tipping area, furnace design with proper automatic controls; proper startup techniques; maintenance of design operating temperatures; use of electrostatic precipitators, scrubbers and baghouses; proper ash cleanout
Nonferrous Smelters, primary Copper	Pathological incinerators	Odors, hydrocarbons	Proper charging
	Wood waste and industrial waste	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Modified fuel feed, auxiliary fuel and dryer systems
	Box type	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Allow proper startup, charge material slowly, don't overload
	Roasting	SO_2 , particulates, fume	Exhaust system, settling chambers, cyclones or scrubbers and electrostatic precipitators for dust and fumes and sulfonic acid plant for SO_2
	Reverberatory furnace	Smoke, particulates, fume, SO_2	Exhaust system, settling chambers, cyclones or scrubbers and electrostatic precipitators for dust and fumes and sulfonic acid plant for SO_2

ANEXO 3. (continuação).

TABLE 2-10 (continued)

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Lead	Converters: charging, slag skim, pouring, air or oxygen blow	Smoke, fume, SO ₂	Exhaust system, settling chambers, cyclones or scrubbers, electrostatic precipitators for dust and fumes and sulfuric acid plant for SO ₂
	Sintering	SO ₂ , particulates, smoke	Exhaust system, cyclones and baghouse or precipitators for dust and fumes, sulfuric acid plant for SO ₂
	Blast furnace	SO ₂ , CO, particulates, lead oxide, zinc oxide	Exhaust system, settling chambers, afterburner and cooling device, cyclone, and baghouse
	Dross reverberatory furnace Refining kettles	SO ₂ , particulates, fume SO ₂ , particulates	Exhaust system, settling chambers, cyclone and cooling device, baghouse Local exhaust system, cooling device, baghouse or precipitator
Cadmium	Roasters, slag, fuming furnaces, deleading kilns	Particulates	Local exhaust system, baghouse or precipitator
Zinc	Roasting	Particulates (dust) and SO ₂	Exhaust system, humidifier, cyclone scrubber, electrostatic precipitator, and acid plant
	Sintering	Particulates (dust) and SO ₂	Exhaust system, humidifier, electrostatic precipitator and acid plant
	Calcining	Zinc oxide fume, particulates, SO ₂ , CO	Exhaust system, baghouse
	Retorts: electric arc		
Nonferrous smelters, secondary	Blast furnaces and cupolas—recover metal from scrap and slag	Dust, fumes, particulates, oil vapor, smoke, CO	Exhaust systems, cooling devices, CO burners and baghouses or precipitators
	Reverberatory furnaces	Dust, fumes, particulates, smoke, gaseous fluxing materials	Exhaust systems and baghouses, or precipitators or venturi scrubbers
	Crucible furnaces	See Nonferrous smelters	
	Sweat furnaces	Smoke, particulates, fumes	Precleaning metal and exhaust systems with afterburner and baghouse
Paint and varnish manufacturing	Wire reclamation and autobody burning	Smoke, particulates	Scrubbers and afterburners
	Resin manufacturing: closed reaction vessel	Acrolein, other aldehydes and fatty acids (odors); phthalic anhydride (subl.)	Exhaust systems with scrubbers and fume burners
	Varnish cooking—open or closed vessels	Ketones, fatty acids, formic acids, acetic acid, glycerine, acrolein, other aldehydes, phenols and terpenes; from tall oils, hydrogen sulfide, alkyl sulfide, butyl mercaptan, and thiophene (odors)	Exhaust system with scrubbers and fume burners—close-fitting hoods are required for open kettles
	Solvent thinning	Olefins, branched chain aromatics and ketones (odors), solvents	Exhaust system with fume burners
Rendering plants	Feedstock storage and housekeeping	Odors	Quick processing, washdown of all concrete surfaces, pave dirt roads, proper sewer maintenance, packed towers
	Cookers and percolators	SO ₂ , mercaptans, ammonia, odors	Exhaust system, condenser, scrubber, or incinerator
	Grinding	Particulates (dust)	Exhaust system and scrubber

ANEXO 3. (continuação)

TABLE 2-10 (continued)

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Roofing plants (asphalt saturators)	Felt or paper saturators: spray section, asphalt tank, wet looper	Asphalt vapors and particulates (liquid)	Exhaust system with high inlet velocity at hoods (>200 ft/min) with either spray scrubbers, baghouses, or two- stage low-voltage electrostatic precipitators
	Crushed rock or other minerals handling	Particulates (dust)	Local exhaust system, cyclone or multiple cyclones
Steel mills	Blast furnaces: charging, pouring	CO, fumes, smoke, Particulates (dust)	Good maintenance, seal leaks; use of higher ratio of pelletized or sintered ore; CO burned in waste heat boilers, stoves or coke ovens; cyclone, scrubber, electrostatic precipitator, or venturi scrubber
	Electric steel furnaces: charging, pouring, oxygen blow	Fumes, smoke, particulates (dust), CO	Segregate dirty scrap; proper hooding, baghouses, venturi scrubbers, or electrostatic precipitator
	Open-hearth furnaces: oxygen blow, pouring	Fumes, smoke, SO ₂ , particulates, (dust), CO, NO _x	Proper hooding, settling chambers, waste-heat boiler, baghouse, electrostatic precipitator, or venturi scrubber
	Basic oxygen furnaces: oxygen blowing	Fumes, smoke, CO, particulates, (dust)	Proper hooding (capture emissions and dilute CO), scrubbers, or electrostatic precipitator
	Raw material storage	Particulates (dust)	Wetting or application of plastic spray
	Pelletizing	Particulates (dust)	Proper hooding, cyclone, baghouse
	Sintering	Smoke, particulates (dust), SO ₂ , NO _x	Proper hooding, cyclones, venturi scrubbers, baghouse, or precipitator

10.- BIBLIOGRAFIA

- 10.1.- Fellenberg, Gunter
"Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental"
EPU - Springer - EDUSP - 1980
- 10.2.- Escritório dos Arquivos Nacionais do Registro Federal
dos Estados Unidos
"Code of Federal Regulations"
Título 40, partes 53 - 80
Julho 1984
- 10.3.- CETESB, Acessoria Jurídica
"Legislação Federal - Controle da Poluição Ambiental"
Gráfica da CETESB - Abril 1988
- 10.4.- CETESB, Acessoria Jurídica
"Legislação Estadual - Controle da Poluição Ambiental"
Gráfica da CETESB - Abril 1988
- 10.5.- Assunção, João V.
"Controle de Poluição Atmosférica" - curso
Associação Brasileira de Engenharia Química - 1987
- 10.6.- Mesquita, Armando L. S. ; Guimarães, Fernando A. e
Neffusi, Nelson
"Engenharia de Ventilação Industrial"
1o. Edição - CETESB - 1977
- 10.7.- Assunção, João V.
"Técnicas de Controle Direto de Fontes de Poluição do
Ar" - curso
CETESB
- 10.8.- Stern, Arthur C.
"Air Quality Management" - Air Pollution - Volum V
3o. Edição - Academic Press, Inc.
- 10.9.- Stern, Arthur C.
"Engineering of Pollution Control" - Air Pollution
Volum IV
3o. Edição - Academic Press, Inc.
- 10.10.- Stern, Arthur C. ; Turner, Richard ; Turner, D. Bruce e
Fox, Donald L.
"Air Pollution Control"
2o. Edição - Academic Press, Inc.
- 10.11.- Japan International Cooperation Agency - JICA
"Textbook for the Group Training Course in Environmental
Administration"
1985

- 10.12.- Environmental Agency of Japan
"Air Pollution Control" - legislação
1984
- 10.13.- Theodore, Louis e Bounicore, Anthony J.
"Air Pollution Control Equipment"
Prentice Hall, Inc. - Englewood Cliffs - NJ - 1982
- 10.14.- Chemical Engineering Magazine
"Industrial Air Pollution Engineering"
McGraw Hill Publications Co. - New York - NY - 1980
- 10.15.- Hesketh, Howard E.
"Air Pollution Control"
Ann Arbor Science - 1981
- 10.16.- Gondim, Pedro
"Controle da Poluição do Ar" - Cap. 3.3 do
"Seminário Sobre Poluição do Ar"
USP - FHSP - 1966

São Paulo, 06 de junho de 1989