CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETES

SUBSÍDIOS TÓXICO-EPIDEMIOLÓGICOS PARA A FIXAÇÃO DE PADRÕES DE QUALIDADE DO AR PARA TEMPOS DE EXPOSIÇÃO NÃO CONVENCIONAIS

1985

16690

DIRETORIA

Werner Eugênio Zulauf
Diretor-Presidente

Antônio Alves de Almeida
Diretor Administrativo

Fredmar Corrêa
Diretor de Planejamento Ambiental

Nelson Mansour Nabhan
Diretor de Engenharia

Nelson Vieira de Vasconcelos
Diretor de Controle

Paulo Bezerril Júnior
Diretor Financeiro

Samuel Murgel Branco
Diretor de Pesquisa

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CETESB

PLANO - Controle da Poluição Ambiental de Cubatão

Coordenador: Fernando de Araújo Guimarães

PROGRAMA - Apoio Técnico às Ações de Controle

Coordenador: Volker R. Link

SUB-PROJETO - Subsídios tóxico-epidemiológicos para a fixação de padrões de qualidade do ar para tempos de exposição não convencionais

O.S. - 466.812

Coordenadora: Isa Ramos de Queiroz

Executantes: Isa Ramos de Queiroz
Fausto Antonio de Azevedo

SUB-PROJETO - Subsídios tóxico-epidemiológicos para a fixação de padrões de qualidade do ar para tempos de exposição não convencionais

SUMÁRIO

1. Introdução
   1.1. Efeitos da poluição do ar sobre as construções e os materiais
   1.2. Efeitos da poluição do ar sobre o solo, vegetação, culturas e vida animal
   1.3. Efeitos da poluição do ar sobre os seres humanos
      1.3.1. Efeito agudo da poluição do ar sobre a saúde humana
      1.3.2. Efeito crônico da poluição do ar sobre a saúde humana

2. Objetivos

3. Problemática da poluição do ar na região de Cubatão

4. Padrões de qualidade do ar e saúde pública

5. Relação exposição/efeito dos principais poluentes da Região de Cubatão

6. Conclusões e Recomendações

7. Referências bibliográficas

CETESB

R E L A T Ó R I O

SUBSÍDIOS TÓXICO-EPIDEMIOLÓGICOS PARA A EXPOSIÇÃO DE PADRÕES DE QUALIDADE DO AR PARA TEMPOS DE EXPOSIÇÃO NÃO CONVENCIONAIS

1. INTRODUÇÃO

As substâncias químicas, conforme seu lançamento na atmosfera são denominadas poluentes primários. Alguns destes poluentes sofrem mudanças químicas na presença de água, oxigênio e energia solar ultravioleta formando os denominados poluentes intermediários ou secundários. Exemplos destas transformações químicas estão sumarizadas na Tab. 1.

Tabela 1 - Reações que ocorrem com alguns poluentes na troposfera

poluente primário	reação	poluente secundário
dióxido de enxofre	a)com água forma ácido sulfuroso	
	b)ácido sulfuroso oxida.....	ácido sulfúrico
dióxido de enxofre	a)lentamente oxida-se à trióxido de enxofre	
	b)trióxido de enxofre com água forma.....	ácido sulfúrico
dióxido de nitrogênio	a)com água forma.....	ácido nitroso e ácido nítrico
	b)ácido nitroso com água forma.....	ácido nítrico e monóxido de nitrogênio
dióxido de carbono	com água forma.....	ácido carbônico
sulfeto de hidrogênio	oxida-se.....	dióxido de enxofre
fluoreto de hidrogênio	com água forma.....	ácido fluorídrico
tetrafluoreto de silício	com água forma	ácido fluorídrico e dióxido de enxofre
dióxido de nitrogênio	a)dissocia-se em oxigênio atômico e.....	monóxido de nitrogênio
	b)monóxido de nitrogênio oxida-se a.....	dióxido de nitrogênio
oxigênio molecular(O_2)	dissocia-se para oxigênio atômico (O)	
hidrocarboneto e aldeídos	a)dissociam-se para radicais orgânicoslivres	
	b)radicais com O formam radicais peroxiacila	
	c)radicais peroxiacilas com NO_2 formam,.....	nitrato de peroxiacila (PAN)
	d)radicais peroxiacila com O formam.....	ozônio (O_3)
	e) radicais livres com oxidantes formam.....	aldeídos, cetonas e peroxibenzol
monóxido de carbono	oxida-se a.....	dióxido de carbono

FONTE: DIX, 1981

O efeito global da poluição na atmosfera pode ser considerado sob três tópicos principais: a) efeito sobre as construções e materiais; b) efeito sobre o solo, vegetação, culturas e vida animal; c) efeito sobre a saúde das pessoas.

1.1. Efeito da poluição do ar sobre as construções e os materiais

O principal efeito dos poluentes sobre as construções e os materiais é a corrosão devida a fatores combinados da poluição química com os ventos, chuvas, poeira e fuligem suspensas. Os poluentes gasosos tais como SO_2, CO_2, sulfeto de hidrogênio e fluoreto, juntos com a chuva e a radiação solar, atacam a superfície dos edifícios. O SO_2 é convertido a ácido sulfúrico que desta forma reage com os carbonatos de cálcio e magnésio, originando sulfatos, e, assim, provoca desgaste nas construções. A erosão das pedras é também aumentada pelo CO_2 que se dissocia na chuva para formar ácido carbônico e, assim, ataca as pedras por formar cálcio solúvel e carbonato ácido de magnésio. DIX, 1981.

As superfícies de ferro e aço sofrem corrosão, porque na presença de água de condensação e oxigênio há a formação do óxido de ferro III hidratado ou ferrugem. Esta reação ocorre naturalmente, mas é muito acelerada pelo SO_2 e CO_2. DIX 1981; PARKER, 1978.

Materiais tais como algodão, madeira e linho são também afetados pelos poluentes. O SO_2 dissolvido nas gotas de chuva forma ácido sulfuroso que pode descolorir ou reduzir os corantes químicos. Esta ação é acelerada pelo ozônio e pelo ácido sulfúrico, que podem causar uma decomposição daqueles produtos. DIX, 1981.

O material plástico é mais resistente à poluição, mas alguns polímeros podem eventualmente se romper, tornando-os quebradiços. DIX, 1981.

O couro e a borracha podem também absorver o ácido sulfuroso, sendo também afetados pelo ozônio, assim podem sofrer uma deterioração depois de um certo período de tempo.

O sulfito de hidrogênio no ar das cidades pode afetar as tintas que contenham como pigmento o carbonato de chumbo II, pois ao formar o sulfeto de chumbo, provoca uma descoloração nas pinturas.

1.2. Efeitos da poluição do ar sobre o solo, vegetação, culturas e vida animal

A poluição do ar advinda das atividades antropogênicas industriais e domésticas é bastante significativa, podendo causar efeitos devastadores sobre as plantas, tanto as naturais quanto as cultivadas, e sobre os animais.

Os principais poluentes atmosféricos responsáveis pelos danos às plantas são o dióxido de enxofre, fluoreto, fumaça, fuligem, poeira e os componentes fotoquímicos do "smog". Os danos aos animais são causados principalmente pelo fluoreto e pelas poeiras metálicas.

Geralmente as plantas são mais susceptíveis aos poluentes gasosos, ao passo que os animais são mais susceptíveis ao dano tanto direto como indireto dos poluentes particulados (JONES & COWLING, 1977).

A presença de poluentes gasosos e a deposição de particulados no solo pode afetar as plantas. A precipitação das chuvas contendo SO_2 dissolvido, por um certo período de tempo, tende a baixar o pH, tornando-o ácido. Além disso, a emissão de compostos metálicos pode causar elevadas concentrações destas substâncias no solo. JONES & COWLING, 1977.

Onde ocorrem estas situações, a taxa de crescimento

das plantas é severamente reduzida.

Algumas espécies de plantas são mais sensíveis do que outras aos poluentes atmosféricos. O material particulado deposita-se nas folhas bloqueando os estômatos e os poros das plantas, restringindo a fotossíntese, e também restringindo a perda de vapor d'água e a taxa de transpiração. Estes efeitos fisiológicos causam o impedimento do crescimento de todas as plantas,assim como a redução de produção das culturas (JONES & COWLING, 1977).

Os poluentes atmosféricos causam também injúrias e perdas das folhas, além de serem considerados mutagênicos, como por exemplo os óxidos de enxofre, os óxidos de nitrogênio e o ozônio (FISHBEIN, 1978).

Os poluentes atmosféricos podem entrar nos animais através de duas principais vias, pela ingestão de plantas contaminadas e pela inalação. Outras vias de introdução são, o hábito de lamber o pelo ou couro, e a deposição direta, causando irritação nos olhos e na pele.

Os poluentes que penetram pelas vias respiratórias podem causar respostas em várias partes do trato respiratório. O SO_2 causa constricção das vias aéreas provocando tosse, enquanto o NO_2 e O_3 causam danos nos capilares pulmonares reduzindo a absorção. Outros poluentes podem influenciar na pressão dos vasos bronquiais e assim a absorção pela mucosa é reduzida, podendo desta maneira, afetar a pressão circulatória.

A interferência na função das células macrófagas dos pulmões, que têm a capacidade de "limpar" os alvéolos e as outras partes do tecido pulmonar de substâncias estranhas, é outro importante efeito dos poluentes inalados.

Os efeitos tóxicos dos poluentes nos animais são da

nos químicos, fisiológicos e morfológicos nos tecidos dos órgãos, bem como efeitos sensoriais e sobre o comportamento. (JONES & COWLING, 1978).

1.3. Efeitos da poluição do ar sobre os seres humanos

A fonte mais comum e mais extensa de contaminação atmosférica é o consumo de combustíveis e produção de energia para calefação. As emissões industriais são muito mais limitadas em relação a área afetada e ao número de fontes. Sem dúvida, em muitos lugares as atividades industriais constituem uma importante fonte de contaminação. Os efeitos das fontes localizadas, como as instalações industriais, dependem de muitos fatores, entre eles a topografia, condições climáticas, altura das chaminés, localização, equipamentos de controle, matéria prima e tipo de processo utilizado. Além do dióxido de enxofre, das partículas em suspensão e dos óxidos de nitrogênio, os contaminantes industriais incluem chumbo, cádmio, mercúrio, berílio, mercaptanas, ácido sulfúrico, fluoretos, cloro, asbestos e muitos outros dejetos e subprodutos de processos tecnológicos.

Os efeitos causados pelos poluentes nos seres humanos podem diferir entre localidades, porque dependem da sua concentração, do tempo de exposição (curto ou longo prazo), da espécie de poluentes, além das condições citadas no item anterior.

Os efeitos dos poluentes do ar sobre a saúde são devidos ao contato entre o contaminante e o organismo. As principais exceções a esta regra são: a absorção das radiações solares pelo contaminante, o que provoca uma diminuição da intensidade dos raios desta natureza que podem alcançar o homem, e a emanação de radiações ionizantes, cujos efeitos são prejudiciais ao homem.

O contato dos poluentes com o corpo humano acontece

pela superfície da pele e das mucosas expostas. O contato com as mucosas são de maior importância, pois estas são mais sensíveis às lesões e porque têm uma maior capacidade de absorção que a pele. Os gases, vapores, fumos, névoas e poeira, transmitidos pelo ar, podem entrar em contato com as superfícies dos olhos, do nariz, dos seios paranasais, da garganta, da laringe e árvore traqueobronquial, assim como o parênquima pulmonar, e causar irritação nestas partes do corpo. Alguns agentes irritantes chegam a alcançar inclusive a mucosa do aparelho digestivo.

A irritação manifesta-se por meio dos mecanismos protetores do organismo. No caso da superfície ocular, ou seja, a conjuntiva e a córnea, a primeira reação é uma sensação desagradável de queimadura, seguida por pestanejo e lacrimação excessiva que limpam os olhos dos materiais nòcivos com bastante eficácia.

As irregularidades da cavidade nasal direcionam uma porção importante dos contaminantes atmosféricos · contra as superfícies das mucosas. Estas superfícies úmidas e as vibrissas eliminam parte das impurezas, impedindo, assim, que penetrem mais profundamente nas vias respiratórias.

As secreções mucóides que se encontram normalmente nos septos das cavidades nasais e na garganta, e o aumento destas secreções, provocado pelos agentes irritantes servem para proteger o epitélio.

Em geral, a ação filtrante do nariz, além de reter uma porção mínima dos gases inalados, rechaça apenas as partículas sólidas e líquidas de maior tamanho, em particular as que medem 5 μ ou mais.

De maneira geral, a proteção nasal é muito reduzida contra os efeitos nocivos da poluição.

Uma ação protetora importante tem lugar nas mucosas que revestem a árvore traqueobronquial e consiste na produção de mucosidades e na ativação dos cílios. As vibrações dos cílios expelem para fora, em direção à garganta, as partículas retidas nas mucosidades que, ao alcançar a garganta, são expectorados ou deglutidos. O mecanismo da tosse contribui,também, para eliminar as substâncias estranhas das partes mais profundas do pulmão.

Quando um gás muito irritante alcança as mucosas da traquéia ou dos brônquios, ele paralisa os cílios e pode, inclusive, provocar uma descamação das partes superficiais do revestimento epitelial. Repetidas irritações dessa mucosa podem causar mudanças hiperplásticas e metaplásticas nas células (HEIMANN, 1961).

Tendo a partícula alcançado os alvéolos, seu destino poderá ser um dos seguintes:

a) passagem (translocação) direta do alvéolo para o sangue. Dependerá principalmente do tamanho (1 - 3 μm) e da solubilidade da partícula;

b) remoção até os brônquios seguida de deglutição ou expectoração. Sabe-se que este movimento é por duas fases: uma rápida, que leva cerca de 1 dia e independe da natureza do agente e outra demorada, que leva de meses a anos e é influenciada pela natureza química do composto. Esse mecanismo desempenha papel muito importante, já que 80% das partículas podem ser removidas;

c) passagem para o sistema linfático. As partículas livres ou fagocitadas podem penetrar no líquido intersticial do pulmão e daí migrar para o sistema linfático, onde podem permanecer por muito tempo;

d) retenção nos alvéolos. Algumas partículas podem permanecer indefinidamente nos alvéolos ocasionando as pneumoconioses.

Se o gás ou vapor alcança os alvéolos, ele pode ir para o sangue e se comportar de duas maneiras diferentes: seja como veículo inerte, seja como um meio reativo. Noutros termos, o tóxico pode se dissolver por simples processo físico ou, ao contrário, combinar-se quimicamente como um constituinte plasmático ou globular do sangue (WEIL, 1975).

De maneira geral, três categorias de doenças são influenciadas pela poluição do ar: alteração da ventilação pulmonar e aumento da prevalência de doenças na parte baixa do pulmão em crianças; aumento da frequência ou severidade de ataques asmáticos e aumento da prevalência de doenças respiratórias crônicas (COFFIN & KNELSON, 1976).

1.3.1. Efeito agudo da poluição do ar sobre a saúde

Periodicamente há situações nas quais a poluição do ar pode elevar-se a níveis tais que se torna perigosa tanto para a saúde quanto para a vida humana. Em geral, quando se referem episódios agudos de poluição do ar tem-se em mente três episódios clássicos. O primeiro no Vale Mosa, na Bélgica em 1930; o segundo em Donora, na Pensilvânia, em 1948; e o terceiro em Londres em 1952.

Nesses incidentes muitos indivíduos adoeceram como resultado da poluição, ocorrendo a morte de 65 pessoas no Vale Mosa, 20 pessoas em Donora e 4.000 em Londres. A morbidade e a mortalidade aconteceram principalmente nas pessoas idosas e entre aquelas com problemas cardíacos e/ou doenças respiratórias, embora tenham morrido também crianças e até mesmo adultos considerados sadios antes do episódio (AMDUR, 1980; DIX, 1981).

Esses episódios tiveram muito em comum: as condições meteorológicas que determinaram inver

sões térmicas resultando numa estagnação da massa do ar nas quais as múltiplas fontes continuaram a adicionar poluentes. Estes episódios são do tipo redutor, caracterizados pela presença de material particulado, dióxido de enxofre e inversão térmica.

Nos notórios "smog" de Los Angeles, os efeitos são principalmente lacrimejamento dos olhos e problemas respiratórios, devido às substâncias químicas resultantes da ação da luz sobre as fumaças exauridas dos automóveis. Em áreas de grande tráfego e condições de inversão térmica, onde estima-se que grandes quantidades de óxidos de nitrogênio e substâncias orgânicas são liberadas na atmosfera, pode surgir um "smog" fotoquímico, consistindo de mistura de poluentes primários e secundários nos quais o PAN e o O_3 são os mais significantes. Este tipo de poluição é denominada oxidante (AMDUR, 1980; DIX, 1981).

1.3.2. Efeito crônico da poluição do ar sobre a saúde humana

Concentrações de poluentes na atmosfera de muitas cidades do mundo contribuem para a ocorrência e/ou agravação de doenças nas populações urbanas. Estas doenças são classificadas na categoria das doenças não-específicas do aparelho respiratório (por exemplo "resfriados comuns"), bronquite crônica, doença ventilatória obstrutiva crônica, enfisema pulmonar, asma brônquica e câncer pulmonar.

As interpretações para as reações que produzem a poluição do ar sobre a saúde humana dependem de informações colhidas em estudos de duas classes: epidemiológicos e toxicológicos. Os estudos epidemiológicos se referem aos efeitos devidos às baixas concentrações de exposição das populações; os estudos experimen

tais nos quais a concentração a duração e as condições da exposição são controladas pelo investigador são denominados toxicológicos (OMS, 1976).

As relações existentes entre as enfermidades humanas e a contaminação do ar não são muito sensíveis e não se as conhece com exatidão. A morte e a enfermidade representam o extremo de toda uma gama de respostas. Além do mais, outros fatores ambientais podem afetar certos grupos populacionais, em especial os mais jovens, os mais velhos, os que padecem de enfermidades, e os expostos a outros produtos tóxicos ou a outros "stress" (OMS, 1976).

Sabe-se contudo que a poluição em excesso, seja aguda ou crônica, causa doença respiratória independentemente do estado sócio-econômico e do hábito de fumar (FRENCH et alii, 1973).

2. OBJETIVO

Desde 1976 foram estabelecidos os padrões de qualidade do ar através da Portaria 231 do Ministério do Interior. As substâncias que tiveram padrões fixados nesta Portaria, foram material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos.

A CETESB tem verificado que muitas vezes ou há violações destes padrões, ou há situações de picos muito elevados de concentrações de poluentes na atmosfera da região de Cubatão, embora neste último caso ao se fazer a média diária, estas concentrações fiquem em níveis considerados "normais" pela legislação.

Por outro lado, tem-se verificado a necessidade de estabe

lecer padrões para outras substâncias com importância toxicológica que são lançadas nesta região.

O objetivo deste trabalho foi o de criar condições para propor padrões de qualidade do ar diferentes dos atualmente adotados para esta localidade, onde sabe-se que a poluição do ar é intensa, tendo-se verificado numerosas violações dos padrões e consequentes danos sobre a saúde e a vegetação.

3. PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO DO AR NA REGIÃO DE CUBATÃO

O polo industrial de Cubatão conta com mais de duas dezenas de zonas de indústrias numa área de cerca de 20 km^2, a qual comporta também pelo menos dois importantes núcleos residenciais (Cubatão Centro e Vila Parisi), estando todo o conjunto localizado próximo à Serra do Mar, numa topografia que não é favorável à dispersão dos poluentes.

As indústrias que cercam o centro urbano de Cubatão residencial, lançam grande quantidade de poluentes gasosos, especialmente o dióxido de enxofre (SO_2). Nesta região estão localizadas as indústrias químicas e petroquímicas. Ao redor do núcleo urbano de Vila Parisi é lançada na atmosfera grande quantidade de material particulado vindo das indústrias de fertilizantes e da siderúrgica.

Por ocasião da implantação do parque industrial nesta região, não foi considerada, na época, a alta sensibilidade do meio ambiente e as condições atmosféricas adversas à dispersão dos poluentes. Hoje a região de Cubatão está arrolada entre as treze áreas críticas de poluição relacionadas pelo II PND, e no Artigo 8º do Decreto Federal nº 76389, de 03 de outubro de 1975, que "dispõe sobre as medidas de proteção e controle da poluição industrial" de que trata o Decreto Lei nº 1413 de 14 de agosto de 1975 e dá outras providências.

Os estudos dos valores horários das concentrações de material particulado e dióxido de enxofre realizado pela CETESB mostram a existência de picos de concentração várias vezes acima do valor médio diáric, indicando que a população humana pode ser afetada, mesmo quando os níveis destes poluentes estão de acordo com a legislação vigente (ROSSIN et alii, 1983). Torna-se, desta maneira, de grande importância a adoção de padrões mais restritivos para uma maior proteção da saúde do bem estar público.

Segundo estudo epidemiológico realizado por CROCE et alii. 1983 , na região de Cubatão, a prevalência de asma brônquica é bastante elevada, com uma incidência de 14,1% na Vila Parisi, praticamente o dobro em relação à Vila Residencial de Cubatão (6,8%) onde a poluição é relativamente menor. Neste trabalho as outras afecções do trato respiratório na Vila Parisi são:rinîticos (8,5%) e bronquîticos crônicos (2,8%). Na Vila Residencial esses valores são: rinîticos (8,0%) e bronquîticos crônicos (3,7%). Todos estes valores são considerados elevados em relação a grandes cidades.

4. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR E SAÚDE PÚBLICA

O desenvolvimento de medidas de controle para evitar ou limitar a poluição do ar é uma preocupação comum a todos os países e não somente para os industrializados.

Os padrões de qualidade do ar adotados para salvaguardar a saúde da população podem variar de um país para outro (Tab. 3). Estas diferenças estão relacionadas com os critérios em que se baseiam os programas de controle, os métodos de amostragem e medição, e o fundamento legal para a aplicação destas normas (CLIFTON & STUART-HARRIS, 1978; OMS, 1976).

Os padrões de qualidade do ar podem ser divididos, segundo seus objetivos, em 3 grupos: padrão primário - para proteger a saúde humana; padrão secundário - mais restringente - para proteger o bem-estar humano e outros receptores: plantas, animais e objetos; e padrão terciário, para previnir uma significante deterioração. Este último fornece uma melhor qualidade do ar que os anteriores (MALM, 1979).

Geralmente, usam-se os padrões primários e secundários. Padrões primários são os que se baseiam em critérios, segundo o órgão administrador, permitem uma adequada margem de segurança para a proteção da saúde pública e das pessoas susceptíveis de efeitos adversos. Assume-se a existência de um valor limite da relação exposição/efeito ou resposta (KAGAWA, 1984). Padrões secundários são aqueles que, estabelecidos pelo órgão administrador, são baseados nos critérios de qualidade do ar necessários para a proteção do bem estar público. Estes padrões são estabelecidos para evitar ou prevenir efeitos adversos associados com a presença do poluente no ar ambiental(KATZ, 1980).

Para se estabelecer os padrões de qualidade do ar, deve-se levar em consideração o efeito sinergético de alguns poluentes como, por exemplo, do SO_2 e do material particulado. Os efeitos causados por estas substâncias têm considerável diferença se estão ambas presentes ou apenas uma delas. O material particulado, dependendo de sua composição e do tipo, pode elevar os efeitos adversos sobre a saúde dos poluentes gasosos

A concentração diária mínima que causa um efeito danoso so

bre a saúde é de 500 $\mu g/m^3$ de SO_2 acompanhados de 250 $\mu g/m^3$ de material particulado. Estas concentrações estão muito abaixo daquelas que causam efeitos, quando as substâncias são analisadas separadamente. Por exemplo, para pessoas sadias apresentarem uma reação tóxica causada pelo SO_2 isoladamente, é necessária a concentração de 14300 $\mu g/m^3$ por um intervalo de 30 minutos, para as pessoas susceptíveis apresentarem estes mesmos efeitos é necessária a concentração de 2860 $\mu g/m^3$ durante igual período de tempo (CLIFTON & STUART-HARRIS, 1978).

Segundo o critério de qualidade do ar, as concentrações máximas permitidas de SO_2 nos EUA são: 0,08 ppm (229 $\mu g/m^3$) para uma média de 24 horas e para 1 hora 0,5 ppm (1430 $\mu g/m^3$); na URSS o limite é de 0,050 ppm (166 $\mu g/m^3$) para 20 minutos.

A OMS, 1976, considera que para se adotar padrões de qualidade do ar dever-se-ia observar se a aplicação destes padrões é para curto ou longo prazo. Em alguns países há necessidade de se basear em normas de concentrações toleráveis e de se estabelecer as metas intermediárias de prevenção de enfermidades e mortandade aos grupos susceptíveis da população. A meta a longo prazo deve consistir, sem dúvida alguma, na proteção contra todos os efeitos importantes sobre a saúde humana, incluindo-se as alterações somáticas e genéticas.

A Tab. 2 apresenta a concentração sugerida para os objetivos a longo prazo.

Tabela 2 - Objetivos a longo prazo

Contaminante	Limite
óxidos de enxofre	média anual 60 $\mu g/m^3$; 98% das observações inferiores a 200 $\mu g/m^3$
material particulado	média anual 40 $\mu g/m^3$; 98% das observações inferiores a 120 $\mu g/m^3$

FONTE: OMS, 1976

Tabela 3 - Padrões de qualidade do ar em alguns países e locais

1. Padrões brasileiros

Poluente		Padrão	Plano de ação de emergência		
		$\mu g/m^3$	atenção $\mu g/m^3$	alerta $\mu g/m^3$	emergência $\mu g/m^3$
material particulado	média geométrica anual	80	-	-	-
	concentração máxima diária	240 média 24 hs	375 média 24 hs	625 média 24 hs	875 média 24 hs
SO_2	média aritmética anual	80	-	-	-
	concentração máxima diária*	365 média 24 hs	800 média 24 hs	1600 média 24 hs	2100 média 24 hs
Produto MP x SO_2			65×10^3 média 24 hs	261×10^3 média 24 hs	393×10^3 média 24 hs

* não deve ser untrapassado mais que uma vez por ano

2. Padrões japonenses

Poluente		Padrão
material particulado	média diária	100 $\mu g/m^3$
	uma hora	200 $\mu g/m^3$
SO_2	média diária	0,04 ppm

FONTE: KAGAWA,1984

3. Padrões holandeses

Poluente		padrão primário	padrão secundário
SO_2	50% média diária	75 $\mu g/m^3$	30 $\mu g/m^3$
	95% "	200 $\mu g/m^3$	-
	98% "	250 $\mu g/m^3$	100 $\mu g/m^3$

média máxima de 24 horas: 500 $\mu g/m^3$
média máxima de 1 hora : 830 $\mu g/m^3$

FONTE: BOVENKERK et alii, 1984

4. Padrões suecos

Poluente		Padrão	
SO_2	média mensal	0,05 ppm	não deve ser excedido
	média diária	0,10 ppm	não deve ser excedido mais que uma vez ao mês
	30 minutos	0,25 ppm	não deve ser excedido mais que 15 vezes ao mês (1% do tempo)

FONTE: ROYAL MINISTRY FORM FORGIGN AFFAIRS, 1971

5. Padrões americanos

Poluente		padrão primário	padrão secundário	padrão Ohio-EUA
material particulado	média geométrica anual	75 $\mu g/m^3$	60 $\mu g/m^3$	60 $\mu g/m^3$
	média diária*	260 $\mu g/m^3$	150 $\mu g/m^3$	150 $\mu g/m^3$
SO_2	média geométrica anual	80 $\mu g/m^3$		60 $\mu g/m^3$
	média diária*	365 $\mu g/m^3$		260 $\mu g/m^3$
	média 3 hs*		1300 $\mu g/m^3$	

* não deve ser excedida mais que uma vez por ano
FONTE: KATS, 1984; MOSTARDI, et alii, 1981

6. Padrões canadenses

Poluente		Limite máximo aceitável	Limite máximo desejável	Limite máximo tolerável
material particulado	média anual	70 $\mu g/m^3$	60 $\mu g/m^3$	-
	média diária	120 $\mu g/m^3$	-	400 $\mu g/m^3$
SO_2	média anual	60 $\mu g/m^3$	30 $\mu g/m^3$	-
	média diária	300 $\mu g/m^3$	150 $\mu g/m^3$	800 $\mu g/m^3$
	média horária	900 $\mu g/m^3$	450 $\mu g/m^3$	-

Limite máximo aceitável = é a concentração estabelecida para fornecer uma proteção adequada contra os efeitos nocivos das substâncias no solo, água, vegetação, materiais, animais, visibilidade, conforto e bem-estar das pessoas. Quando este limite é ultrapassado, uma ação de controle pelo órgão responsável é realizada.
Limite máximo desejável = define o objetivo a longo prazo para os padrões de qualidade do ar. Fornece um limite básico para um policiamento antidegradação do meio ambiente para as áreas do país onde não existe poluição e para um contínuo desenvolvimento do controle tecnológico.
Limite máximo tolerável = é a concentração estabelecida de um poluente no ar, que requer uma diminuição sem demora para evitar danos à saúde ou ao meio ambiente.
FONTE: FISHERIES AND ENVORNMENT CANADA, 1976; KATZ, 1980

7. Padrão russo

Poluente		Concentração máxima aceitável
SO_2	média diária	166 µg/m^3 (0,058 ppm)
	20 minutos	543 µg/m^3 (0,19 ppm)

FONTE: CLIFTON & STUART-HARRIS, 1978.

5. RELAÇÃO EXPOSIÇÃO/EFEITO DOS PRINCIPAIS POLUENTES DA REGIÃO DE CUBATÃO

Muitas substâncias químicas são lançadas no ar da Região de Cubatão, mas, segundo um levantamento feito em várias áreas da CETESB, os mais significantes são: material particulado , dióxido de enxofre, fluoreto, amônia e sulfato*. Estas substâncias químicas podem causar diferentes efeitos na população, dependendo da composição química, concentração, tempo de exposição, susceptibilidade da população exposta, além de outros fatores. Devido à pouca disponibilidade de tempo, somente as três primeira substâncias serão alvo de estudo neste ano, ficando as duas restantes para o ano de 1985.

5.1. Relação exposição/efeito entre o material particulado e o dióxido de enxofre e a saúde

5.1.1. Material particulado (MP)

O termo material particulado abrange uma grande variedade de gotas de líquidos ou sólidos finamente divididos que podem ser dispersos no ar através dos processos das atividades industriais ou fontes naturais.

Dependendo do tamanho da partícula recebe diferentes denominações e significados. O tamanho da partícula está relacionado com o comportamento do poluente no meio ambiente e com o tempo que permanece na atmosfera, ou seja, da velocidade de sedimentação das partículas. As menores partículas, sólidos ou gases particulados, podem permanecer suspensos na atmosfera por dias, semanas, meses ou anos (DIX, 1981; WHO,1979).

O material particulado é a mais comumente per

* Informação pessoal colhida junto a diferentes técnicos da CETESB

ceptível forma de poluição. Frequentemente manifesta-se pela interferência com a visibilidade, por sujar materiais e como irritante do sistema respiratório.

O material particulado pode ser tóxico por si mesmo, ou por ser veículo para outras substâncias, tais como o ácido sulfúrico, o benzopireno, etc. A irritação destas substâncias é caracterizada por alterações no mecanismo pulmonar, sendo predominante o aumento de resistência ao fluxo de ar.

Estes efeitos foram demonstrados por AMDUR (1958) para o ácido sulfúrico e por AMDUR & CORN (1963) para o sulfato de amônia e zinco, usando cobaias nos seus ensaios.

Quanto menor o tamanho da partícula maior seu poder irritante, pois é maior sua penetração nas vias aéreas inferiores (MARTIN & BRADLEY, 1960). A concentração média diária de 750 $\mu g/m^3$ ou mais de SO_2 pode causar mortes excessivas e um considerável aumento de doenças (LAWTHER, 1963 em Air Quality Criteria 1969). Se uma concentração de MP acima de 300 $\mu g/m^3$ persistir por um período de 24 horas e for acompanhada de uma concentração de SO_2 acima de 630 $\mu g/m^3$ no mesmo período de tempo, os pacientes com bronquite crônica sofrerão agravamento dos sintomas (AIR QUALITY CRITERIA, 1969).

Quando a concentração de MP varia de 100 - 300 $\mu g/m^3$ (média anual) e acima de 120 $\mu g/m^3$ para o SO_2 causa aumento da incidência de certas doenças respiratórias em crianças (AIR QUALITY CRITERIA, 1969).

Uma concentração de MP de 80 - 100 $\mu g/m^3$, acompanhada de uma taxa de sulfatação, com cerca de 30 mg/cm^2 /mês, aumenta a taxa de mortandade em pessoas com mais de

50 anos de idade. (AIR QUALITY CRITERIA, 1969).

O efeito sobre luminosidade é observado quando o MP está na concentração de 100-150 $\mu g/m^3$. Nos locais onde grande turbidez de fumaça persiste nas latitudes média e alta, a luz solar é reduzida em cerca de 1/3 no verão e 2/3 no inverno. (Air Quality Criteria,1969).

O efeito na visibilidade é observado quando o MP está na concentração de cerca de 150 $\mu g/m^3$.Onde as partículas predominantes variarem de tamanho de 0,2 μ - 1,0 μ e a umidade relativa do ar for menor que 70%, a visibilidade é reduzida para valores tão baixos quanto 5 milhas.

O efeito sobre os materiais é observado quando o MP está numa concentração variando de 60-180 $\mu g/m^3$ (média geométrica anual), na presença de SO_2 e umidade, ocorrendo corrosão nas superfícies do aço e do zinco numa taxa acelerada.

Através de estudos epidemiológicos observou-se que o MP pode aumentar os casos de mortandade e morbidade, como também provocar exacerbação dos sintomas naquelas pessoas já doentes. As Tabs. 5 e 6 apresentam vários destes estudos, relacionados com o binômio concentração/efeito em exposições a curto e longo prazo.

5.1.2. Dióxido de enxofre (SO_2)

O SO_2 é quase completamente absorvido pelas mucosas do nariz e garganta. Por outro lado, pequenas partículas (cerca de 0,001 mm de diâmetro) contendo sulfato ou ácido sulfúrico são capazes de penetrar muito profundamente pelas vias respiratórias e assim causar grandes irritações e possíveis danos.

A irritação nas vias aéreas é observada quando o SO_2 está presente numa concentração acima de 5 ppm (14 mg/m^3), mas para as pessoas particularmente susceptíveis, tais efeitos podem ser observados se a concentração é de 1 - 2 ppm. Concentrações de 5 - 10 ppm causam nos susceptíveis espasmos brônquicos severos, embora haja casos em que não se observa nenhum efeito, mesmo numa concentração acima de 10 ppm (SPENGLER et alii., 1979). A Tab. 4 apresenta estudos toxicológicos realizados com seres humanos em diferentes tempos de exposição.

Alguns estudos epidemiológicos têm revelado os efeitos do SO_2 sobre a saúde em concentração variando de 115 - 120 $\mu g/m^3$. Estes estudos indicam aumento da morbidade nestas concentrações, juntamente com a presença de 160 $\mu g/m^3$ de material particulado, e aumento de doenças respiratórias quando o material particulado está na concentração de 100 $\mu g/m^3$ (SPENGLER et alii., 1979).

Como já se discutiu anteriormente, a maioria dos danos sobre a saúde causado pelos poluentes do ar é devida aos efeitos sinergéticos destas substâncias. Desta maneira, geralmente os estudos epidemiológicos são feitos com as duas substâncias presentes conjuntamente. Os resultados destes trabalhos encontram-se nas Tabs. 5 e 6.

A partir de diversos dados epidemiológicos registrados e apresentados na literatura, algumas tentativas de síntese de relação exposição/efeito ao SO_2 e material particulado foram apresentados conforme mostra a Tab. 7, nos itens A e B.

Tabela 4 - Relação entre a dose, tempo de exposição e os efeitos causados pelo dióxido de enxofre

concentração mg/m^3	concentração ppm	tempo de exposição (min.)	efeitos	grupo exposto	Referências bibliográficas
2,9 - 23	1 - 8	10	pulso acelerado, diminuição do volume corrente e aceleração da respiração	14 homens sadios	AMDUR et alii., 1953
2,9	1	10 - 30	aumento da resistência pulmonar	11 homens sadios	FRANK et alii., 1962
2,9	1	15	aumento da resistência respiratória	9 indivíduos sadios	SNELL & LUCHSINGER, 1969
2,9	1	60 - 180	diminuição do fluxo da mucosa nasal e diminuição do corte transversal da passagem nasal	15 homens sadios	ANDERSEN et alii., 1974
2,1	0,75	120	ligeiro efeito nos 30 minutos no FVC, FEV_{1-0}, MMFR e $MEFR_{50}$; nenhum efeito sobre o closing volum	4 indivíduos sadios	BATES & HAZUCHA, 1973
1,1	0,37	120	Nenhum efeito nos testes de função pulmonar	4 indivíduos sadios	BATES & HAZUCHA, 1973

CETESB

Os principais gases fitotóxicos encontrados na atmosfera são: SO_2, O_3, NO e HF. As injúrias causadas pelo SO_2 nas plantas pode ser devido tanto à exposição a curto quanto a longo prazo. Danos são observados quando o SO_2 está presente em altas concentrações mesmo em curto período de tempo. Os danos crônicos são observados como resultado de baixas concentrações durante um período de tempo relativamente longo. Os danos crônicos são geralmente acompanhados de diminuição do crescimento. A susceptibilidade das plantas difere entre as espécies, mas concentrações de SO_2 no ar de 0,01 - 0,02 ppm por um longo período de tempo causam danos nas plantas, principalmente nas árvores coníferas. A presença de partículas de fuligem pode aumentar o dano, principalmente se o SO_2 e o H_2SO_4 são enriquecidos com partículas de sulfato (ROBERTS, 1984; ROYAL MINISTRY OF AGRICULTURE, 1971).

Segundo ASHENDEN & MANSFIELD (1978), as concentrações de SO_2 abaixo de 0,15 ppm podem ser danosas para as plantas. Quando existe na atmosfera SO_2 e NO_2 juntos, os efeitos nocivos aumentam devido ao sinergismo destas substâncias.

Em estudos feitos com plantas, para se observar a susceptibilidade frente aos diferentes poluentes atmosféricos, foi observado que a concentração de SO_2 de 572 $\mu g/m^3$ (0,20 ppm tem-se tornado bem aceita como um limite crítico abaixo do qual muitas plantas não sofreriam injúrias, mesmo após exposição prolongada. Contudo, em estudos feitos nos campos da Alemanha, sugeriu-se que este limite deveria ser reduzido para 57 $\mu g/m^3$ (0,02 ppm). A sugestão é de considerável significado, pois o "American Air Quality Criteria" acredita que danos às plantas ocorrem quando a concentração média do SO_2 no ar excede 85 $\mu g/m^3$ (0,03 ppm)(CLIFTON & STUART-HARRIS, 1978).

Segundo os padrões suecos, para se evitar danos à vida vegetal, a concentração máxima permitida (média mensal) é 0,02 ppm (ROYAL MINISTRY OF AGRICULTURE, 1971). A Alemanha fixa o valor limite de 53 ppb, média anual, para evitar danos a longo prazo e 150 ppb com um limite de 30 min para evitar danos nas folhas (ROBERTS, 1984).

Tabela 5 - Relação exposição/efeito do SO_2, fumaça e material particulado total (MPT): efeitos de exposições a curto prazo

Concentração média de 24 horas ($\mu g/m^3$)			Efeito
SO_2	fumaça	MPT	
2860 (max.)	...	>200 3 dias	Detroit, 1952. Mortandade excessiva nas crianças e mortandade por cancer AIR QUALITY CRITERIA 1969.
2460	...	...	N.York, 1953. Mortandade excessiva em todos os grupos populacionais. Observou-se um efeito retardado. AIR QUALITY CRITEIRA, 1969
2145	...	...	N.York, 1962. Mortes excessivas nas pessoas acima de 45 anos de idade. MCCARROL & BRADLEY, 1966.
1200	2000	...	Londres episódios de "fogs" em 1954, 1955, 1956 e 1957. Aumento da taxa de mortandade por bronquite e por outras causas. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
1145	2000	...	Londres episódio de "fog" em 1962. Aumento das taxas de mortandade de pessoas idosas; e aumento de mortandade por bronquite. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
>1000	>1000	...	Londres 1952. Aumento da mortandade em cerca de 3% do normal durante os dias do "smog". Os valores máximos foram 3700 $\mu g/m^3$ e fumaça 4500 $\mu g/m^3$. WHO, 1979.
715	1000	...	Londres (inverno) 1958-59. Aumento de mortandade de todas as causas. MARTIN & BRADLEY, 1960.
715	...	...	N.York, 1953. Aumento de doenças respiratórias no trato superior e morbidade cardíaca. GREENBURG, et alii 1962.
710	750	...	Londres 1958-59. Aumento da mortandade diária em cerca de 1,25 vezes o valor esperado. WHO, 1979.
500	500	...	Londres 1958-60. Aumento da mortandade diária, como a apresentado acima e aumento de hospitalização, tornando-se evidente quando os níveis de poluição excediam. WHO, 1979.
500	...	...	N.York, 1962-66. Mortandade correlacionada com a poluição: 2% em excesso. BUECHLEY et alii., 1973.
500	250	...	Londres, 1954-68. Aumento do número de doenças entre os pacientes com bronquite. WHO, 1979.

(continua)

CETESB

Tabela 5 - (continuação)

Concentração média de 24 horas ($\mu g/m^3$)			Efeito
SO_2	fumaça	MPT	
300	140	...	Holanda 1969-72. Diminuição temporária da função ventilatória. WHO, 1979.
285	...	1000	Osaka 1962. Observou-se 60 casos de mortandade. AIR QUALITY CRITERIA 1969.
200	...	150	Cumberland. EUA. Aumento de ataques asmáticos entre pequeno número de pacientes quando o nível de poluição excedia. WHO, 1979.
> 75	> 200	...	Londres 1958 - 59. Correlação da mortandade diária (todas as causas) e correlação entre a mortandade e bronquite com a fumaça; correlação positiva com o SO_2 e mortes. MARTIN & BRADLEY, 1960.

CETESB

Tabela 6 - Relação entre exposição/efeito do SO_2, fumaça e material particulado total (MPT). Efeitos de exposição a longo prazo

Concentração $\mu g/m^3$			Efeito
SO_2 média diária	fumaça	MPT	
>600	...	300	Londres 1955-56. Agravamento dos sintomas em pacientes com bronquite. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
460	...	400	Reino Unido, 1962-63. Possível aumento da incidência de doenças respiratórias. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
>400	>500	...	Londres, 1958-60. Aumento da mortandade e morbidade com associações positivas com as flutuações de poluição do ar. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
750 pico inverno 270 pico verão 360 valor mínimo inverno 150 valor mínimo verão	680 pico inverno 270 pico verão 450 valor mínimo inverno 170 valor mínimo verão	...	Salford. Reino Unido, 1957. Alta taxa de bronquite e mortandade por cancer pulmonar. Aumento da incidência de morte de todas as causas nos picos altos em relação aos baixos. BURN & PEMBERTON, 1963.
275	100	...	Sheffield. Reino Unido. Redução do $FEV_{0,75}$ e FVC em áreas muito poluídas. Possível persistência da diminuição da função respiratória relacionada com as áreas de intensa poluição. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
200	200	...	Reino Unido. 1955-59 (214 áreas estudadas). Mortandade excessiva. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
200*	200*	...	Sheffield. Inglaterra. Aumento de doenças respiratórias em crianças. WHO, 1979.
200 diminuindo p/ 160	...	140 diminuindo p/60	Londres. Diminuição do volume salivar matinal com a diminuição dos níveis de poluição do ar em pacientes com bronquite sob observação durante 6 anos. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
150*	...	...	Inglaterra e Wates. Aumento de sintomas respiratórios em crianças. WHO, 1979.
...	...	180*	Berlin, NH.EUA. Aumento de sintomas respiratórios. Diminuição da função respiratória em adultos, WHO, 1979.
140*	140*	...	Grã-Bretanha. Aumento de doenças no trato inferior do sistema respiratório em crianças. WHO, 1979.

(continua)

CETESB

Tabela 6 - continuação

Concentração $\mu g/m^3$			Efeito
SO_2 média diária	fumaça	MPT	
>130	...	>130	Reino Unido. 1946-61. Aumento da frequência e severidade das doenças respiratórias inferiores em crianças escolares. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.
125*	170*	...	Cracow. Polonia. Aumento de sintomas respiratórios em adultos. WHO, 1979.
>120	...	100	Sheffield. Reino Unido. 1963-65. Aumento da associação de infecções respiratórias em crianças escolares de 5-6 anos. LUNN et alii., 1967.
60-140*	...	100-200*	Tóquio. Aumento de doenças respiratórias em adultos. WHO, 1979.
115	160	...	Eston-Inglaterra. Associação positiva entre o grau de poluição do ar e a incidência de bronquite e cancer pulmonar. AIR QUALITY CRITERIA, 1969.

* concentração média anual dos valores médias de 24 horas.

FEV_t/FVC = volume expiratório forçado cronometrado/capacidade vital forçada.

CETESB

Tabela 7 - Relação entre exposição do SO_2 e material particulado e efeitos adversos:
A: Segundo FISHERIES AND ENVIROMENT CANADA, 1976

Efeito	Concentração	
	SO_2	Material particulado
Vegetação		
danos para o pinheiro	90 µg/m^3(0,34 ppm) média anual	...
Materiais		
corrosão moderada low-carbon steel	70 µg/m^3(0,27 ppm) média anual	...
Efeitos nos seres humanos		
. aumenta a ausência no trabalho industrial	250 µg/m^3(0,096 ppm) média 24 hs	200 µg/m^3 média de 24 hs
. acentua os sintomas em pacientes com doenças pulmonares crônicas	600 µg/m^3(0,23 ppm) média 24 hs	300 µg/m^3 (smoke) média 24 hs
. grande aumento da taxa de bronquite entre as pessoas com idade acima de 54 anos	715 µg/m^3(0,27 ppm) média de 24 hs	150 µg/m^3 (partic) média de 24hs
. aumento da hospitalização	300 µg/m^3 - 500 µg/m^3(0,11 - 0,19 ppm) média de 24 hs	partículas pequenas
. aumento a mortalidade	500 µg/m^3 (0,19 ppm) média de 24hs 715 µg/m^3 (0,27 ppm) média de 24hs 1500 µg/m^3 (0,57 ppm) média de 24hs	partículas pequenas 750 µg/m^3 (fumaça) 6 cohs (index de sujeira)
. aumento da frequência dos sintomas das doenças respiratórias e pulmonares	105-265 µg/m^3(0,040-0,101 ppm) média de 24 hs	185 µg/m^3 média de 24 hs
. aumento da frequência e severidade de doenças respiratórias entre crianças	130 µg/m^3 (0,050 ppm)	100-130 µg/m^3 média anual
. aumento da mortandade, bronquite e cancer pulmonar	115 µg/m^3 (0,044 ppm) média anual	160 µg/m^3 média anual
. odor facilmente detectável	7,8 mg/m^3 (3,0 ppm)	
. detectável pelo gosto	0,78-2,62 mg/m^3 (0,3-1,0 ppm)	

Obs.: Para o material particulado a média anual é geométrica. Para o SO_2 a média da concentração anual é aritmética

CETESB

B: Segundo a WHO, 1976

Efeito adverso	SO_2 µg/m^3	fumaça µg/m^3
Efeito sobre a visibilidade e/ou molestias a seres humanos	80 (média geométrica anual)	80 (média geométrica anual)
sintomas respiratórios	100 (média aritmética anual)	100 (média aritmética anual)
Agravamento de casos de enfermidades pulmonares	500 - 250 (média diária)	250 (média diária)
Mortalidade e hospitalização excessiva	500 (média diária)	500 (média diária)

CETESB

5.2. Fluoreto

O fluoreto é emitido na atmosfera na forma elementar como gás (ex. HF) ou poeira solúvel (NaF) e insolúvel(criolita). A concentração de fluoreto na atmosfera depende da quantidade emitida, da distância da fonte emissora e das concentrações metereológicas,topográficas e edafológicas da área, tais como temperatura, umidade, mistura e nutrição dos solos, etc. DRURY et alii, 1980; MACLEAN et alii 1982).

O termo flúor ou fluoreto refere-se a um grupo heterogêneo de compostos contendo flúor. Tanto o fluoreto gasoso quanto o particulado são emitidos no ar.

A fração particulada varia de composição química ou tamanho da partícula. O fluoreto gasoso pode consistir de um ou vários compostos. Além disso, processos físicos e químicos da atmosfera podem ocorrer mudando a natureza do fluoreto emitido.

A forma do fluoreto atmosférico é um fator determinante do grau de fitoxicidade. O fluoreto gasoso é o que mais causa danos sobre a vegetação, destes compostos os principais são: HF, F_2, SiF_4, H_2SiF_6. Os fluoretos particulados são geralmente menos tóxicos que os gasosos, e sua toxicidade está relacionada com a solubilidade e o tamanho dos íons hidratados (DRURY et alii, 1980).

As características químicas e físicas do fluoreto atmosférico devem ser consideradas nos critérios de qualidade do ar, o significado disso é que o tipo de composto de fluoreto determininará sua toxicidade para as plantas. Os dados disponíveis sobre os critérios de qualidade do ar são estabelecidos com o fluoreto gasoso. Os padrões de qualidade do ar ou técnicas de monitoramento da qualidade do ar devem considerar esta forma e não somente o fluoreto to

tal .

O fluoreto solúvel depositado na superfície das folhas das plantas pode ser absorvido, contudo a quantidade é muito pequena ao se comparar com o fluoreto gasoso. O fluoreto particulado aparentemente tem grande dificuldade de penetrar no tecido da planta numa forma fisiologicamente ativa AIR QUALITY CRITERIA FOR PARTICULATE MATTER,1969

O fluoreto absorvido ou depositado nas plantas pode ser prejudicial para a vida animal. Fluorose em animais tem sido reportada devido a ingestão de vegetação com altas concentrações de fluoreto.

O fluoreto é encontrado em todas as plantas. Nas áreas não poluidas, a concentração de fluoreto varia de cerca de 2 - 20 µg/g de material seco da planta. Próximo de fontes industriais a concentração de fluoreto nas plantas varia de 10 - 100 vezes, maior que no solo, mas não há uma relação direta entre a concentração do fluoreto no solo e nos tecidos das plantas. O consumo pela planta de fluoreto no solo é fortemente dependente do pH. (DRURY et alii., 1980).

As plantas absorvem o fluoreto, tanto gasoso quanto particulado através das folhas, e mesmo baixas concentrações atmosféricas podem levar a uma significante acumulação.

Embora o crescimento linear de determinadas plantas possa ser favorecido pela exposição do fluoreto numa concentração de poucos ppm, a presença de fluoreto na planta em quantidade excessiva, em geral, deprime seu desenvolvimento.

Quantidades elevadas de F^- nas plantas causam inibição do crescimento, necrose na ponta e margem da folha, clorose , definhamento (murchamento) e eventual morte. A quantidade e produção de frutos pode sofrer redução. A inibição da germinação também ocorre.

O fluoreto causa efeitos pela alteração da fotossíntese; do metabolismo de carboidratos; dos processos respiratórios e oxidativos; do metabolismo do RNA e da nutrição do cálcio. Pode causar também inibição das reações enzimáticas essenciais e efeito sobre a integridade estrutural da planta.

O fluoreto parece ser mutagênico para plantas pois produz anormalidades cromossômicas em algumas espécies quando estas são expostas a baixas concentrações (DRURYet alii, 1980).

De acordo com um estudo feito pelo Departamento de Agricultura dos EUA, o fluoreto tem causado mais dano à vida silvestre que qualquer outro poluente. Algumas plantas, incluindo importantes árvores coníferas, são sensíveis ao F^-. Concentrações de 1 ppb, ou menos, podem provocar, a longo prazo, danos ambientais devido à biomagnificação. Algumas gramas forrageiras podem acumular 200.000 vezes o nível de fluoreto presente no ar (GROTH III, 1975).

Segundo DRURY et alii (1980), para se estabelecer padrão de qualidade no ar para fluoreto devem ser observados os seguintes critérios: 1) conteúdo na vegetação; 2) conteúdo no ar; 3) danos sobre a vegetação (necrose, clorose, etc.). Deve também ser considerado que: a) o fluoreto é um tóxico acumulativo; b) as formas gasosa e particulada diferem na fitotoxicidade; c) as várias espécies de plantas variam diferentemente frente ao fluoreto, pois exibem diferentes graus de sensibilidade; d) concentrações no ar extremamente baixas podem causar danos nas espécies de plantas sensíveis.

Segundo WEINSTEIN 1977 (em HODGE & SMITH, 1977)certas formas de vegetação são tão sensíveis ao fluoreto que a concentração no ar para proteger a vegetação deveria ser mantida abaixo de 1 ppb. Um valor de 1 ppb no ar pode con

centrar 30 ppm nas folhas, valor considerado seguro para a vida animal e vegetal.

O padrão de fluoreto, média de 24 hs no ar, varia entre as localidades. Assim para a URSS e Checoslováquia a concentração deve ser 10 $\mu g/m^3$; para Montana (USA) 7 $\mu g/m^3$; Pensilvânia (EUA) 5 $\mu g/m^3$; Texas (EUA) 2,9 $\mu g/m^3$; Nova York (EUA) 2,8 $\mu g/m^3$.

SUTTIE (1969) sugere que o conteúdo de fluoreto nas folhagens não deve exceder a concentração média de 40 μgFg^{-1} nas amostras mensais e anuais; a concentração não deve exceder 60 μgFg^{-1} para mais de 2 meses consecutivos; 80 μgFg^{-1} para mais que um mês, mesmo quando a média anual não exceda 40 μgFg^{-1}. A razão que ele recomenda para o padrão ser baseado na média de várias amostras mensais é que foi observada uma variação do conteúdo de fluoreto nas folhagens. A mesma variação de concentração foi também notada por DAVIDSON et alii, (1979).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Depois dos levantamentos feitos chegou-se às seguintes conclusões:

. Há muitas violações dos padrões de qualidade do ar em Cubatão. Mesmo que a média diária algumas vezes consiga "esconder" picos horários elevados, estes só deveriam ser, de acordo com a Legislação, ultrapassados uma vez ao ano, o que não está acontecendo na região;

. no ano de 1983, para material particulado, foi ultrapassado 135 vezes o padrão de qualidade do ar na Vila Parisi e 3 vezes em Cubatão Residencial (Relatório CETESB , 1984);

. as médias geométricas anuais para a concentração de material particulado em Cubatão Residencial e Vila Parisi, neste mesmo ano (1983), foram de 85 $\mu g/m^3$ e 188 $\mu g/m^3$, respectivamente, ultrapassando o padrão de qualidade do ar anual, que é de 80 $\mu g/m^3$ (Relatório CETESB, 1984);

. comparando-se a média anual de material particulado na Vila Parisi com as médias anuais apresentadas nas Tabs. 6 e 7 observamos que: a partir de uma concentração média anual de 24 horas de 180 $\mu g/m^3$, nota-se aumento de sintomas respiratórios e de alteração da função pulmonar, o que é perfeitamente compatível com os trabalhos de CROCE et alii (1983) e de FISHER & HOFFMEISTER (1983)*;

. com uma média geométrica anual de 80 $\mu g/m^3$ de material particulado, acompanhada de 80 $\mu g/m^3$ de SO_2, há um efeito sobre a visibilidade e/ou moléstias nos seres humanos;

---

* informação pessoal: FISHER,F.M.& HOFFMEISTER, V. Avaliação da capacidade pulmonar de crianças das escolas de educação infantil do Município de Cubatão, SP.

. os sintomas respiratórios começam a ser observados a partir de uma concentração média aritmética anual para MP e SO_2 de 100 $\mu g/m^3$;

. uma média anual de MP variando de 100-130 $\mu g/m^3$, acompanhada de 130 $\mu g/m^3$ de SO_2, aumenta a frequência e severidade das doenças respiratórias em crianças;

. para uma concentração de 185 $\mu g/m^3$ (média de 24 hs), acompanhada de uma concentração de SO_2 variando de 105-265 $\mu g/m^3$, há um aumento da frequência dos sintomas das doenças respiratórias e pulmonares;

. para uma média diária de 250 $\mu g/m^3$ de MP, acompanhada de 250-500 $\mu g/m^3$ de SO_2, há um aumento da incidência de enfermidades pulmonares.

De acordo com o já exposto, e considerando também a insuficiência de dados tóxico-epidemiológicos para nossa realidade, bem como os padrões de qualidade do ar utilizados em outros países (Tab. 3), cremos que poderiam ser feitos os seguintes comentários e sugestões para discussão de propostas de padrões:

a. Material Particulado (MP)

.Não foram encontrados, na literatura revista, estudos toxicológicos da exposição humana a particulados por períodos de tempo diferentes daqueles levados em conta na Legislação Brasileira vigente (que são: 240 $\mu g/m^3$ média de 24 horas, e 80 $\mu g/m^3$ média geométrica anual), ou seja, não se localizou qualquer informação para correlação dos efeitos causados por altas concentrações do MP num curto período de tempo. Na maioria, os trabalhados estudados são feitos com média de 24 horas e considerada a exposição conjunta ao SO_2.

O único país, a possuir padrão de qualidade do ar para tempo de exposição diferente do convencional, é o Japão, que adota como padrão horário o valor de 200 $\mu g/m^3$ (Tab. 3), sendo que, de modo geral, como se observa na mesma tabela, é o padrão mais exigente.

O que se poderia fazer como uma medida de maior proteção para a saúde humana é a adoção de padrões primários com valores iguais aos dos secundários, assim como realizou o Estado de Ohio dos EUA (Tab. 3).

b. Dióxido de Enxofre (SO_2)

. para o padrão secundário do dióxido de enxofre poderia ser adotado o padrão de Ohio (EUA), uma vez que não foi encontrada na literatura referência a padrão secundário para o SO_2, nos vários países que se servem de metodologia semelhante à adotada pela Legislação Brasileira vigente.

O padrão de Ohio (EUA) é o seguinte:
60 $\mu g/m^3$ média aritmética anual; 260 $\mu g/m^3$ média diária que não deve ser ultrapassada mais do que uma vez ao ano.

Caso seja necessário adotar um padrão para um tempo de exposição diferente do convencional, o padrão secundário americano para uma média de 3 horas é de 1300 $\mu g/m^3$ (valor que não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano) e poderia ser de utilidade entre nós.

c. Fluoretos

O padrão de qualidade do ar para os fluoretos visa mais proteger a vegetação e a vida animal, do que, propriamente, a saúde dos seres humanos, como já foi exposto no item 5.2. Dessa maneira, sugerimos que além dos valores referenciados pela DAMAR-CETESB, e que são:

fluoreto gasoso - 2 $\mu g/m^3$, média de 24 horas (segundo padrão da Alemanha Ocidental)

fluoreto particulado - 10 $\mu g/m^3$, média de 24 horas (padrão da Alemanha Oriental).

dever-se-ia, também, usar aqueles sugeridos por SUTTIE (1969) para servir de critério de avaliação ao dano à vegetação e que são de:

40 $\mu g\ Fg^{-1}$ folhagem - concentração média das amostras mensais e anuais que não deve ser excedida;

60 $\mu g\ Fg^{-1}$ folhagem - concentração que não deve ser exeedida em amostragens de 2 meses consecutivos;

80 $\mu g\ Fg^{-1}$ folhagem - concentração que não deve ser excedida mais do que 1 mês, mesmo que a média anual não ultrapasse 40 $\mu g\ Fg^{-1}$.

Segundo WEBER (1981), os valores limites de qualidade do ar para o fluoreto gasoso como critério para proteção aos animais, plantas e materiais varia de 0,3 a 1,0 $\mu g/m^3$.

Recomendamos que todas estas sugestões aqui apresentadas, sejam apreciadas pelas várias áreas da CETESB relacionadas com a medição e a avaliação da qualidade do ar e por aqueles que fazem o controle, uma vez que o estabelecimento de um padrão de qualidade depende não só de estudos tóxico-epidemiológicos, mas também dos métodos de amostragem e de medição, do fundamento legal para sua aplicação, etc., e também porque, segundo

KATS (1980), é essencial que os padrões de qualidade de cada poluente sejam acompanhados de uma detalhada descrição dos métodos de amostragens e analíticos requeridos para se determinar um grau de confiança.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR QUALITY CRITERIA FOR PARTICULATE MATTER U.S. Dept of Health, Education and Welfare, Washington, D.C. 1969

AMDUR, M.O. The respiratory respiratory response of guinea pigs to sulfuric acid mist. Arch.Ind.Health, 18: 407-14,1958

AMDUR, M.O. Air pollutants. In. DOULL, KLAASSEN & AMDUR.(ed.) Toxicology the basic science of poisons. MAC MILLAN Publ. Canada. N.York, 1980. p. 608-631.

AMDUR, M.O.; MELVIN, W.W.; Jr. & DRINKER, P. Effects of inhalation of sulfur dioxide by man. Lancet, 2:753-759, 1953.

AMDUR, M.O. & CORN, M. The irritant potency of, zinc ammonium sulfate of different particle sizes. Industrial Hygiene Journal, 326-333, 1963.

ANDERSEN, I.; LUNDQUIST, G.R.; JENSEN, P.L.; PROCTOR, D.F. Human response to controlled levels. Arch.Environ.Health,28: 31.39, 1974.

ASHENDEN, T.W. & MANSFIELD, T.A. Extreme pollution sensitivity of grasses when SO_2 and NO_2 are presented in the atmosphere together. Nature, 273: 142-143, 1978

BATES, D.V.; HAZUCHA, M. The short-terms effects of ozone on the human lung. Proceedings of the conference on health effects of air pollution, NASNRC, Washington, D.C. Oct. 3-5. In: Committee Print, Committee on Public Works, United States Senate, US Gout. Printing Office. 1973 p. 507.540.

BOVENKERK, M.; BUILTJES, P.J.H. & ZWERVER, S. An air quality management system as a tool for establishing a SO_2^- and NO_x^- policy. Atmospheric Environment. 18 (3): 519-529, 1984

BUECHLEY, R.W.; RIGGAN, W.B.; HASSELBLAD, V. & VAN BRUGGEN,J. B. SO_2 levels and pertubations in mortality - a study in the New York/New Jersey metropolis. Arch.Environ.Health , 27: 134-137, 1973.

BURN, J.L. & PEMBERTON, J. Air pollution, bronchitis,and lung cancer in salford. Intern. J. Air Water Pollution, 7: 5-16, 1963.

CETESB. Avaliação das emissões de poluentes atmosféricos de origem industrial na região de Cubatão - subsídios para uma política de ação. CETESB, 1980.

CHARLES, J.M. & MENZEL, D.B. Ammonium and sulfate ion release of histamine from lung fragments. Arch.Environ.Health, 30: 314-316, 1975.

CLIFTON, M. & STUART-HARRIS, S.C. Air pollution and health In: A. PARKER, ed. Industrial Air Pollution Handbook.MCGRAW-HILL Book Company (UK) Limited 1978, p. 19-31

COFFIN, D.L. & KNELSON, J.H. Effects of sulfur dioxide and sulfate aerosol particles on human health. Ambio 5 (5-6) : 239-242, 1976.

CROCE, J.; NUNES, A.F.; PINHEIROS, F.R. de O.; PEREIRA, I.C.; RIBEIRO, P.A. Prevalência de asma, brônquite crônica e rinite no Município de Cubatão - Estado de São Paulo. CETESB Seminário sobre uma síntese do conhecimento sobre a Baixada Santista, CETESB. 10 a 14 de janeiro de 1983. p. 218 - 221.

DAVIDSON, A.W.; BLAKEMORE, J.; CRAGGS, C. The fluoride content of forage as an environmental quality standard for the protection of Livestock. Environ.Poll. 20(4):279-296 , 1979.

DIX, H.M. Environmental Pollution. The Institution of Environmental Sciences series. John Wiley & Sons. N.Y. 1981

DRURY, J.S.; ENSMINGER, J.T.; HAMMONS, A.S.; HOLLEMAN, J. W.; LEWIS, E.B.; PRESTON, E.L.; SHRINER, C.R.; TOWIIL; L.E. Reviews of the environmental effects of pollutants: IX Fluoride. EPA-600/1-78-050. 1980. 5 m.

FISHBEIN, L. Environmental sources of chemical mutangens. In: FLAM M & MEHLMAN (ed.) Advances in Modern Toxicology. Vol. 5. Mutagenesis JOHN WILEY & SONS. N.York. 1978. p. 175 - 231.

FISHERIES AND ENVIRONMENT CANADA. Criteria for National air quality objectives. Federal - Provincial Committee on air pollution. Canada. 1976. 41 p.

FRANK, N.R.; AMDUR, M.O.; WORCESTER, J. & WHITTENBERGER, J.L. Effects of acute controlled exposure to SO_2 on respiratory mechanics in healthy male adults J.Appl.Physiol. 17: 252 - 258, 1962.

FRENCH, J.G.; LOWRIMORE, G.; NELSON, W.C.; FINKLER, J.F.; ENGLISH, T.; HERTZ, M. The effect of sulfur dioxide and suspended sulfates on acute respiratory disease. Arch.Environ. Health, 27: 129-133, 1973.

GREENBURG, L.; FIELD, F.; REED, J.I.; ERHARDT, C.L. Air pollution and morbidity in New York City. J.Amer.Med.Assoc., 182: 161-164, 1962.

GROTH III, E. Fluoride pollution. Environment. 17(3): 29-38, 1975.

HEIMANN, H. Efectos de la contaminacion del aire sobre la salud. OMS. Contaminacion de la atmosfera. Serie de Monografias nº 46, 1961.

HODGE, H.C. & SMITH, F.A. Occupational fluoride exposure. J. of Occup. Med., 19(1): 12-39, 1977.

JONES, L.H.P. & COWLING, D.W. Air pollution and plants and farm animals. In: PARKER, A. (ed.) Industrial Air Pollution Handbook. 1978. p.32-56.

KAGAWA, J. Health effects of air pollutants and their Management. Atmospheric Environment 18(3) 613-620, 1984.

KATZ, M. Advances in the analysis of air contaminats. A critical review. J.of the Air Poll. Control Association. 30(5): 528-557, 1980.

MACLEAN, D.C.; SCHNEIDER, R.E.; WEINSTEIN, L.H. Fluoride-induced foliar injury in solanum pseudo-capsicum: its induction in the dark and activation in the light. Envion.Poll. (serie A) 29: 27-33, 1982.

MALM, W. Considerations in the measurement of visibility. J. of the Air Poll. Con. Assoc., 29 (10): 1042-1047, 1979.

MARTIN, A.E. & BRADLEY, W. Mortality, fog and atmospheric pollution. Monthy Bull. Ministry Health, 19: 56.59, 1960.

MC CARROLL, J. & BRADLEY, W. Excess mortality as an indicator of health effects of air pollution. Am.J.Public. Health , 56: 1933-1942, 1966.

MOSTARDI, R.A.; WOEBKENBERG, N.R.; ELY, D.L.; ATWOOD, G. CONLON, M.; JARRETTE, M.; DAHLIN, M. Air pollution and health effects in children residing in Akron, Ohio. EPA - 600/1 - 81 - 004. PB81-152. 498.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD-OMS-Riesgos del ambiente humano para la salud. OMS-OPS Publicación científica nº 329. 1976. 359 p.

PARKER, A. Air pollution and materials. In: PARKER,A.(ed.) Industrial Air Pollution Handbook. McGRAW-HILL Book Company (UK) Limited. 1978. p. 57-66.

RELATÓRIO CETESB. Avaliação da qualidade do ar na região da Grande São Paulo e Cubatão. CETESB 1984 36 p.

ROBERTS, T.M. Effects of air pollutants on agriculture and forestry. Atmospheric Environment. 18(3): 629-652, 1984.

ROSSIN, A.C.; ZANATI, P.T.; CAMARGO, S.R. Qualidade do ar em Cubatão - Necessidade de padrões específicos para a área CONGRESSO BRAS. DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. (12º) Balneário Camboriu. Santa Catarina 20 a 25 nov. 1983.

ROYAL MINISTRY OF AGRICULTURE. Air pollution across national boundaries. The impact on the enviroment of sulfur in air and precipitation. Sweden's case study for the United Nations conference on the human enviroment. Stockholm, 1971, 96 p.

ROYAL MINISTRY FOR FOREIGN AFFAIRS. ROYAL MINISTRY OF MINISTRY OF AGRICULTURE. Air pollution across national bondaries. The impact on the environment of sulfur in air and precipitation. Swedwn's case study for the United Nations conference on the human environment. Stockholm, 1971, p. 96.

SNELL, R.E. & LUCHSINGER, P.C. Effects of sulfur dioxide on expiration flow rates and total respiratory flow rates and total respiratory resistance in normal human subjects.Arch. Environ.Health, 18: 693-698, 1969.

SPENGLER, J.D.; FERRIS, B.G.Jr.; DOCKERY, D.W. Sulfur dioxide and nitrigen dioxide levels inside and outside homes and the implications on health effects research. Environ. Sci. Tech. 13 (10): 1276-1280, 1979.

SUTTIE, J.W. Air quality standards for the protection of farm animals from fluorosis. J. Air Pollut. Control.Ass. 19 : 239-242, 1979.

WEBER, E. Air pollution control strategy in the Federal Republic of Germany. J. of the Air Poll. Con.Assoc., 31 (1) : 24.30, 1981.

WEIL, E. Elements de toxicologie industrielle. Paris, Masson et Cie. Editeur, 1975 p. 17-40.

WEIR, F.W.; STEVENS, D.H. & BROMBERG, P.A. Pulmonary function studies of men exposed for 120 hours to sulfur dioxide. Toxicol.Appl. Pharmacol., 22(2): 319, 1972.

WHO, Sulfur oxides and suspended particulate matter. Environmental Health Criteria 8. WHO. Geneva. 1979. 107 p.

Doação DPTA

2707/87