

**10º CONGRESSO
BRASILEIRO DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL**
MANAUS/21 A 26 DE JANEIRO DE 1979

PROMOVIDO PELA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL — ABES SEÇÃO DO AMAZONAS, SOB OS AUSPÍCIOS DA ABES-NACIONAL

**COMPANHIA DE
TECNOLOGIA
DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

CETESB

II SISTEMA DE PREVISÃO METEOROLÓGICA APLICADA À POLUIÇÃO DO AR NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO



ARQUIVO TECNICO

8400
Z15s
009418



10577



009418

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE
COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

11 SISTEMA DE PREVISÃO METEOROLÓGICA APLICADA À POLUIÇÃO DO AR
NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Manaus 21 a 26 de janeiro de 1979

promovido pela associação brasileira de engenharia sanitária e ambiental - abes - seção do amazonas,
sob os auspícios da abes - nacional

Class 86405
Tombé 9418

8400
Z15s
009418

SISTEMA DE PREVISÃO METEOROLÓGICA APLICADA A POLUIÇÃO DO AR NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO

- Pierre Toufic Zanati
 - Silvio de Oliveira
 - Maria Angélica Lopes de Almeida

 - Chefe da Divisão de Meteorologia
 - Meteorologista da Divisão de Meteorologia
 - Geógrafa da Divisão de Meteorologia
-

RESUMO

Existe evidência na literatura que há uma relação funcional entre Meteorologia e Poluição do Ar. Quando esta relação é prevista para uma duração curta de 24 horas, o prognóstico meteorológico deve seguir dois critérios: um térmico e outro dinâmico.

Atualmente, o sistema de previsão aplicado para a Grande São Paulo, na Divisão de Meteorologia da CETESB segue esses dois critérios para certos parâmetros meteorológicos quantitativamente e para outros qualitativamente nas três escalas, macro, meso e micro.

Na macro-escala, além da determinação do sistema sinótico que predominará na área são definidas as características do sistema; tipo e posição na parte térmica, gradiente e deslocamento na parte dinâmica.

Essas análises estão sendo acompanhadas de estudos específicos com objetivo de desenvolver um sistema de previsão mais quantitativo, é também necessário considerar as características geográficas da região cuja influência sobre comportamento dos parâmetros meteorológicos é de uma importância relevante.

O presente trabalho descreve o método atual e propõe um novo sistema baseado na correlação entre variáveis meteorológicas e concentração que será implantado pela CETESB.

INTRODUÇÃO

O objetivo final de todas as análises científicas é o de prever as consequências ou os fatos que ocorrerão futuramente. As variáveis meteorológicas são puramente físicas e somente se aplicam para diagnosticar ou prognosticar o tempo. Assim para usar-se essas variáveis em aplicações não meteorológicas, é necessário encontrar-se um meio de convertê-las numa variável de aplicação, a fim de que a previsão meteorológica possa ser transformada em uma previsão dessas variáveis de aplicação. Para isso se estabelece uma relação funcional entre a variável meteorológica apropriada e a variável interveniente no problema de aplicação. A pesquisa dessa relação, constitui-se num problema de relação, sua solução vai depender da colaboração entre os meteorologistas e os especialistas do problema de aplicação. A solução do problema de relação se apresenta sempre sob a forma de uma relação, entre a variável meteorológica e a variável de aplicação.

Em certos casos esta função é conhecida através de princípios fundamentais e de regras empíricas que devem ser usadas em todos os casos, o problema apresenta uma estrutura convencional.

RELAÇÃO ENTRE METEOROLOGIA E POLUIÇÃO DO AR

Suponhamos que a variável de aplicação é conhecida, o primeiro passo será a escolha da variável meteorológica apropriada que poderá ser elementos meteorológicos habitualmente observados ou uma combinação de vários elementos. Estes elementos não poderão ser somente os que pertençam a um programa de observação, mas eles precisarão ter sido observados durante um período suficiente, aproximadamente 48 horas, a fim de que a análise meteorológica seja possível.

Seja P a variável de aplicação, no caso o nível de poluição no ar, e M a variável meteorológica, a relação poderá ser expressa na equação seguinte: $P=f(M)$.

Esta equação relaciona a variável de aplicação P da poluição à variável meteorológica M e servirá para concluir na previsão meteorologia uma previsão da variável P .

A solução do problema de relação implica numa verdadeira cooperação entre o meteorologista e o especialista. A escolha da variável P , cabe evidentemente ao especialista, mas o número limitado de elementos meteorológicos disponíveis e as possibilidades variadas para a adoção de uma fórmula de previsão meteorológica, conduzem a confiar a escolha de M ao meteorologista.

Para supervisionar os níveis de poluição com a finalidade de não serem atingidos os níveis de atenção, alerta e emergência, previstos pelo Decreto Estadual nº 8468 de 08 de setembro de 1976, foi criado o Boletim de Previsão Meteorológica.

CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DA GRANDE SÃO PAULO

A região da Grande São Paulo está localizada no Planalto Atlântico (Figura 1, 2 e 3) na latitude do Trópico de Capricórnio com uma área de 8.000 Km². A área correspondente ao sítio urbano e arredores denomina-se Planalto Paulistano, possui cerca de 5.000 Km² de extensão e altitudes que variam de 715 a 900 m. A área apresenta relevo suavizado de morros e espigões de modesta altura.

A Bacia Paulistana é cortada pelo Rio Tietê de leste para oeste. Os principais afluentes são os Rios Pinheiros e Tamanduatei. As mais importantes formações serranas do planalto paulistano são as serras da Cantareira ao norte, as de Taxaquara e Itaquí a oeste, e de Itapevi a nordeste, ao sul o Planalto é limitado pela Serra do Mar. Os maiores espigões se erguem a uma altitude de 810m, mas o divisor de águas dos rios Tietê e Pinheiros atinge a altitude de 830m.

São Paulo de uma certa forma encontra-se localizado em uma região desfavorável à poluição, porque é uma área rebaixada do Planalto Atlântico. O ar poluído tende a ficar no fundo dos vales e em períodos de calmaria passa a ser um berço para os poluentes.

Por outro lado a conformação do Planalto Paulistano com baixas altitudes favorece a



FIGURA 1 - Posição Geográfica do Estado de São Paulo



FIGURA 2 - Posição Geográfica da Região da Grande São Paulo

penetração da massa polar; também a Serra do Mar favorece outra perturbação de caráter secundário na circulação do ar, a Brisa Marítima mais frequente na primavera e verão. (Figura 4).

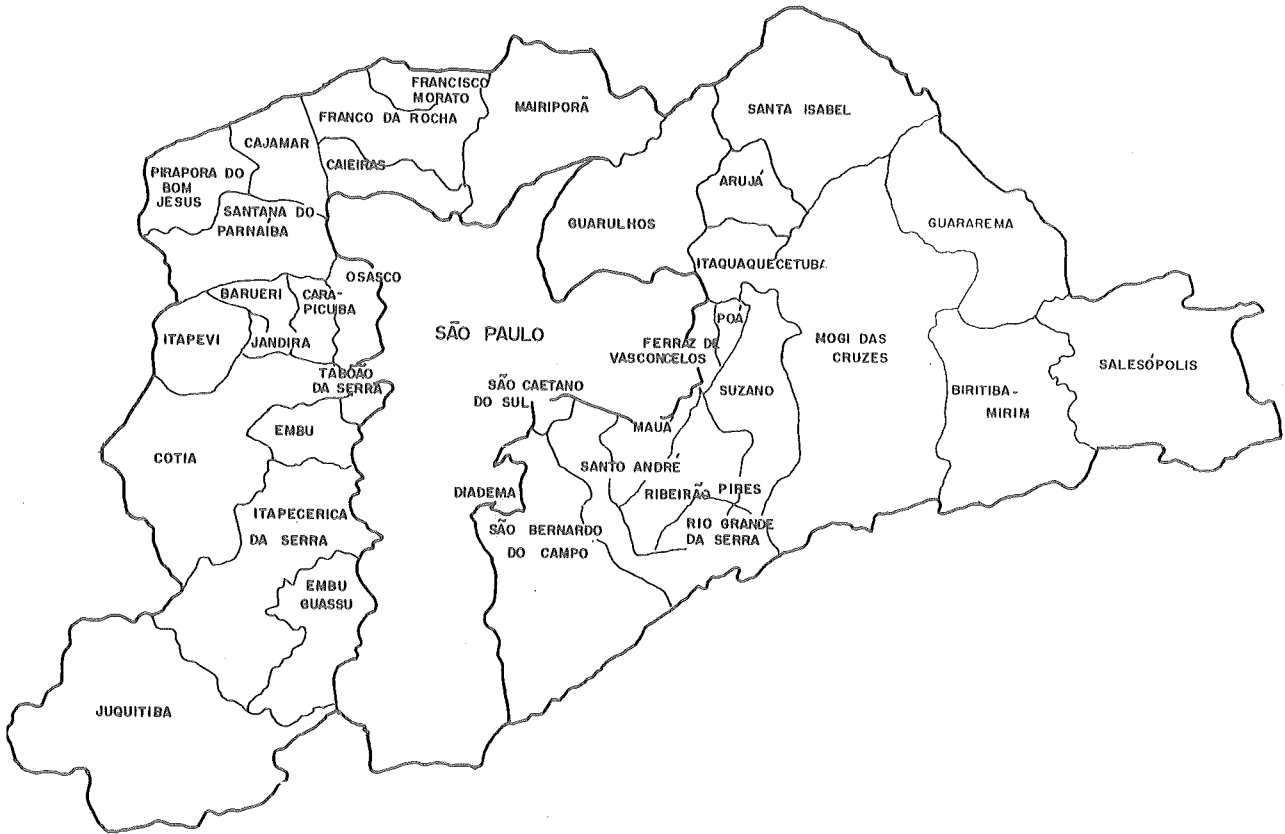
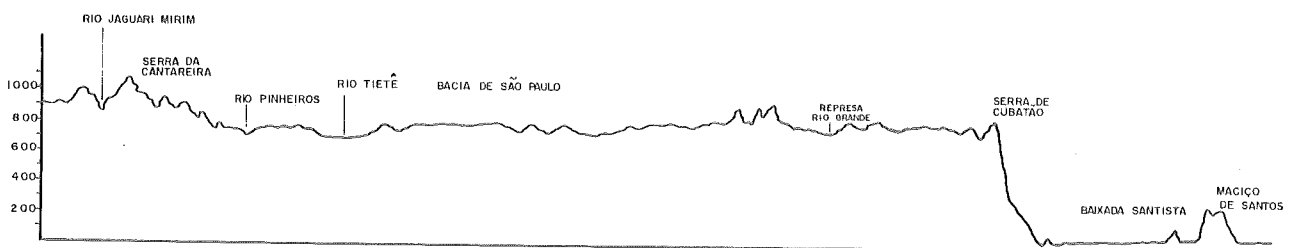


FIGURA 3 - Grande São Paulo



OBS: ADAPTADO DE AZIS NACIB AB'SABER

FIGURA 4 - Corte topográfico da Serra da Cantareira ao maciço de Santos

DESCRIÇÃO DO ATUAL BOLETIM

Na elaboração do Boletim Meteorológico, que é emitido diariamente no período da tarde, são utilizados: o diagrama SKEW T Log P, a fim de se obter o perfil vertical (vento, temperatura, ponto de orvalho e pressão), para determinar as inversões térmicas, temperatura real e convectiva, a altura máxima da mistura, os níveis de condensação e os índices de instabilidade ou estabilidade, as cartas sinóticas (de superfície 850, 700 e 500mb) que dão um diagnóstico da situação sinótica da atmosfera na superfície e em altitude e as imagens do satélite NOAA-5 nos espectros infra vermelho e visível para confirmação das cartas analisadas; serão definidos os parâmetros usados no Boletim.

BRISA MARÍTIMA

Brisa Marítima é considerada um fenômeno mesometeorológico de curta duração (algumas horas) geralmente este fenômeno acontece no período da tarde e tem como características básicas: alterações na temperatura, umidade e velocidade e direção do vento. No caso de São Paulo estas alterações provocam uma redução no campo de temperatura de 2° e 10°C e um aumento de umidade de 20 a 30% aproximadamente.

VENTO

O vento na média troposfera (700 mb) é de escala macro-meteorológica e a influência da rugosidade do terreno é mínima, o escoamento é livre e geotrópico.

CONDIÇÕES DA ATMOSFERA: instabilidade ou estabilidade

Para facilitar a análise da estabilidade das massas de ar, faz-se uma verificação na distribuição geral dos parâmetros significantes para a estabilidade predominante. Existe vários índices para a determinação da estabilidade, o que utilizamos é o Showalter que é calculado através da diferença entre a temperatura observada nos 850mb e a temperatura que uma parcela adquiriria se fosse erguida adiabaticamente seca até seu NCL e a partir daí adiabaticamente úmida para os 500mb.

O "K" índice, representa o teor de vapor d'água presente na atmosfera indicando se esta água precipitará ou não.

O "K" índice é obtido através da seguinte fórmula:

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + (T - T_d)_{850} - (T_d)_{700}$$

Quando o índice é $K > 30$ haverá possibilidade de precipitação.

Estes índices não são representativos na presença de um superfície frontal, ou inversão, entre 850 mb e 500 mb.

FRENTES

A frente representa fisicamente uma zona descontínua que separa duas massas de ar de propriedades termodinâmicas diferentes.

Quanto ao tipo as frentes podem ser quentes ou frias.

A frente fria é aquela que separa o ar polar do ar tropical ou sub-tropical; a frente quente é aquela que separa o ar tropical do ar polar que vai sendo substituído por ar tropical cuja declividade é (1/100).

Os sistemas frontais estão associados entre dois anticiclones, suas atividades dependem do estado sinótico geral e especificamente dos dois centros de ação anticiclônicos:

A obtenção e a análise das frentes, parte-se de duas premissas; horizontal (cartas sinóticas de superfície e fotos de satélites) e vertical (cartas de altitude de 500, 700 e 850 mb).

NEBULOSIDADE

A nebulosidade é um parâmetro observacional de grande importância que indica a intensificação ou enfraquecimento do movimento vertical (convecção). Por isso torna-se necessário a determinação do tipo das nuvens como também a quantidade, e através deste dado poder-se-á avaliar a redução de quantidade de energia solar emitida que atingirá a terra. Este parâmetro é obtido através das cartas sinóticas de superfície e do Boletim "QAMS", observações sinóticas horárias emitida pela F.A.B.

TENDÊNCIA DE PRESSÃO

A tendência de pressão indicará o tipo de sistema atmosférico que está atuando (frente polar atlântica e massa sub-tropical atlântica) bem como os centros isobáricos de ação (anticiclone tropical atlântico, anticiclone polar e ciclone). Anticiclone é um sistema de isóbaras fechadas, rodeando um centro de alta pressão, cujos valores decrescem do centro para a periferia. Gira horizontalmente no sentido contrário aos ponteiros do relógio e verticalmente no sentido descendente.

O fenômeno da descida de ar aquece e reduz a umidade das camadas de ar em altitude, produzindo estabilidade das camadas inferiores e a formação de inversões, as quais limitam a mistura vertical nos baixos níveis.

Existem três tipos de anticiclones: polar, tropical e sub-tropical que são determinados através da localização do centro em função da latitude ou das coordenadas geográficas, como também o tipo da massa de ar (temperatura e umidade) que caracteriza cada um.

O movimento do anticiclone é caracterizado por três situações: estacionário, semi-estacionário e moderado. Estas situações de movimento são obtidas através de dois sentidos; horizontal (cartas sinóticas de superfície), vertical (cartas sinóticas de altitude) e a inclinação do eixo (superposição das cartas de superfície e de altitude).

A intensidade é detectada através do gradiente horizontal de pressão (cartas sinóticas de superfície).

O ciclone é um sistema de baixa pressão, formado por isóbaras fechadas onde a pressão cresce do centro para a periferia. Gira horizontalmente no sentido dos ponteiros do relógio e na vertical apresenta correntes ascendentes.

O ciclone possui movimento de deslocamentos rápidos e fortes gradientes de pressão.

VENTO DE SUPERFÍCIE

O vento é uma consequência fundamental da instabilidade atmosférica condicionado pelas variações de pressão e da temperatura. Em geral circula entre as zonas de baixa pressão e alta pressão. Baseado nestes processos de circulação, tem-se observado que o poder de dispersão inicia-se a partir de valores baixos de velocidade de ordem de 2,0 m/s.

INVERSÕES DE TEMPERATURA

A temperatura do ar livre normalmente decresce com a altitude na atmosfera, entretanto quando ocorre uma reversão do gradiente e a temperatura aumenta com a altitude ou inverte, essas camadas são chamadas "inversões" ou mais especificamente inversões de temperatura.

Uma camada através da qual a temperatura não varia com a altura é chamada isotérmica. Existem vários tipos de inversões: radiação, subsidência, frontal e marítima. A inversão de subsidência está em geral associada a presença de um anticiclone.

Cada tipo de inversão é caracterizada pelos seguintes parâmetros:

- Espessura (m)
- Altura (m)
- Duração (hrs)
- Intensidade ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)
- Ponto de orvalho da base e do topo ($^{\circ}\text{C}$)

As inversões são obtidas através da plotagem de dados da temperatura do ar livre e do ponto de orvalho num diagrama termodinâmico.

A previsão do tempo para um determinado dia é agora feita utilizando os parâmetros já discutidos. Um resumo é feito levando em consideração quais são os fatores que são favoráveis ou desfavoráveis à dispersão dos poluentes (Por exemplo, a existência ou aproximação de uma frente é um fator que é considerado altamente favorável para a dispersão. Além disso, outros fatores considerados favoráveis são a brisa marítima, instabilidade atmosférica, a possível existência de ventos acima de 4 m/s na superfície, e acima de 12 m/s em altura. Por outro lado, a existência de um anticiclone se estacionário, a presença de uma inversão de subsidência, ventos abaixo de 4 m/s, e a predominância de determinadas direções do mesmo, são fatores considerados desfavoráveis à dispersão).

Baseado neste resumo uma decisão é tomada sobre a predominância da totalidade dos fatores ou favorabilidade ou desfavorabilidade.

Esta condição de favorabilidade ou desfavorabilidade, é dividida em seis condições baseadas na influência relativa dos fatores discutidos acima sobre a concentração dos poluentes.

Estas seis condições são:

- altamente desfavorável
- desfavorável
- levemente desfavorável
- levemente favorável

- favorável
- altamente favorável

A decisão final sobre qual condição será atribuída para a Previsão do dia seguinte é tomada usando um julgamento subjetivo da importância relativa de cada um dos fatores discutidos acima.

O método atual continua apresentando resultados aceitáveis, entretanto, esta sendo desenvolvido paralelamente um estudo estatístico para fornecer um Boletim tanto qualitativo cuja filosofia básica é atribuir pesos aos parâmetros meteorológicos, especificamente para a área da Grande São Paulo, que será descrito sucintamente no próximo item.

RELATÓRIO A - BOLETIM METEOROLÓGICO - COMUNICAÇÃO DIÁRIA À TARDE PARA A STAR
PREVISÃO DO TEMPO PARA POLUIÇÃO DO AR NO DIA / /
DIVISÃO DE METEOROLOGIA

Perfil de Pressão de Superfície	Foto do Satélite Mapas 700mb	Índice Showalter	Foto do Satélite Mapas 500mb	Foto do Satélite Análise de Superfície	Mapas 500mb 300mb 250mb	Análise de Superfície	Radio-sonda
Brisa Marítima	Vento	Estabilidade ou Instabilidade	Frentes	Nuvens Tipo e Quantidade	Tendência de Pressão	Vento	Inversão Altura e Espessura

Resumo:

LEGENDA

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| a) altamente desfavorável | d) levemente favorável |
| b) desfavorável | e) favorável |
| c) levemente desfavorável | f) altamente favorável |

APERFEIÇOAMENTO DO SISTEMA

No aperfeiçoamento do atual Boletim, adotou-se a metodologia de atribuir-se pesos aos parâmetros meteorológicos previamente selecionados e definidos, conforme descrição no item anterior, os quais resumidamente são: Anticiclones; Ciclones; Brisa Marítima; Nebulosidade; Precipitação; Altura de Mistura; Temperaturas real e convectiva; Inversões térmicas; Vento de Superfície e de Altitude; Taxa de Ventilação e Índices de Estabilidade, etc. . . Estes parâmetros foram selecionados para serem submetidos a uma análise preliminar, a fim de verificar-se quais os que melhor se ajustam aos dados de qualidade do ar.

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO PESO

Para determinar-se os pesos dos parâmetros meteorológicos adotou-se o critério de análise retrospectiva de séries temporais dos dados meteorológicos, através das técnicas estatísticas, e os de qualidade do ar. O processo consiste em estabelecer-se relações (equações de regressões ou diagramas de espalhamento) que tenham alguma ligação física e dinâmica com os objetivos finais da previsão. Entretanto levando-se em conta a complexidade dos diferentes tipos de análises, optou-se por técnicas simples estatísticas como a distribuição de frequências e a sucessão de diagramas de espalhamento que proporcionará correlações gráficas e regressões; este procedimento tem a vantagem de admitir vários graus de liberdade das relações procuradas e examinar observações de flutuações individuais.

É importante ressaltar que o método acima possui certas limitações inerentes, como muitos fenômenos meteorológicos governados por várias equações complexas; e o tratamento de diagramas de espalhamento e gráficos resolve apenas equações relativamente simples segundo Pettersen.

A seguir apresentar-se-á um exemplo de aplicação do método acima proposto; suponhamos que se deseje estabelecer pesos para as variáveis meteorológicas, calmarias e inversões térmicas, juntamente com dados de qualidade do ar. Inicialmente plotar-se-á os dados num diagrama de espalhamento tomando-se como abcissas as inversões térmicas e ordenadas as calmarias, conforme exemplo fictício da Figura 5. A figura mostra o alto grau de separação entre as duas áreas (A e B), significando que as variáveis foram bem correlacionadas. A área A reúne os casos de altos índices de concentração enquanto na área B baixos índices de concentração. Foram traçadas retas paralelas às abcissas e ordenadas significando os pesos a serem adotados, conforme as condições favoráveis ou desfavoráveis.

Para se obter um grau elevado de separação das áreas é necessário uma amostra de dados razoavelmente grande, no mínimo 5 anos por exemplo (que está implícito na análise retrospectiva), e analisá-los por estação do ano. Caso não ocorram resultados aceitáveis no primeiro diagrama plotar-se-ão outros admitindo uma nova variável e assim sucessivamente até o atingimento da condição otimizada.

Este tipo de análise deverá ser estendida entre os demais parâmetros de tal maneira que se tenha os seus respectivos pesos conforme o exemplo fictício apresentado na Tabela 1.

Conforme se verifica cada parâmetro contribuirá com seu respectivo peso; após realizar-se a somatória das colunas positivas e negativas, obter-se-á um peso final o qual deverá estar enquadrado dentro dos números das legendas à baixo, conforme a classificação será emitida a previsão do dia.

Este é o objetivo final a que se pretende alcançar na elaboração de pesos para os parâmetros meteorológicos. Os exemplos acima ilustraram aspectos gerais de uma metodologia de análise para a determinação quantitativa do Boletim da Previsão de Poluição do Ar, e para se obter resultados aceitáveis dependerá da precisão dos dados disponíveis na Grande São Paulo e das diversas combinações gráficas e tabelas de contingências, cujo produto final variará de um método para outro.

O método acima descrito é uma adaptação às nossas condições baseado em informações contidas na literatura de programas internacionais sobre previsão de condições potenciais de poluição do ar através da meteorologia. Segundo Niemeyer et al (1963), Holzworth (1962), Stackpole (1967) o desenvolvimento de programas dessa natureza, para escala local, tem permitido aos setores de meteorologia de agências de controle de poluição do ar, nos EEUU, exercerem eficazmente este tipo de previsão.

CONCLUSÃO

A relação funcional existente entre a meteorologia e os níveis de poluição foi básica na implantação do sistema de Previsão Meteorológica. Para o estabelecimento do sistema foram escolhidos certos parâmetros meteorológicos em função da topografia da Grande São Paulo e que tem efeito direto sobre os poluentes. Isto, conduziu a elaboração de um Boletim diário de previsão, seguindo dois critérios físicos; para certos parâmetros meteorológicos quantitativamente e para outros qualitativamente nas três escalas; macro, meso e micro.

Paralelamente ao funcionamento do atual Boletim esta sendo realizado um estudo estatístico retrospectivo dos dados meteorológicos e dos níveis de poluição para poder atribuir pesos aos parâmetros meteorológicos em relação aos níveis de poluição, conseguindo-se cada vez um sistema de previsão mais quantitativo do que qualitativo.

Quando o novo sistema de previsão for implantado far-se-á necessário a continuidade do tratamento estatístico retrospectivo dos dados, para que sempre haja uma calibração contínua dos pesos pelas razões seguintes:

- os parâmetros meteorológicos são físicos, ligados ao espaço e o tempo que estão sempre em evolução;
- o acréscimo ou decréscimo das fontes emissoras de poluentes na área em estudo.

Quisemos com essas considerações, fornecer alguns subsídios para aquilo que consideramos básico no momento: a adoção de um critério correto e viável para a previsão de concentração de poluentes e a correspondente definição de responsabilidade para que tal se concretize.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - AB'SÁBER, Aziz Nacib - Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo., USP, 1957, 343 p.
- 2 - BLAIR, T.A. & FITE, R.C. - Meteorologia. Prentice-Hall, Inc., 1961, 113 p.
- 3 - HOLZWORTH, G.C. - A study of air pollution potential for the wester United States, J. Appl. Meteor. 1 (3): 366 - 382p., 1962.
- 4 - MANUAL DE ANÁLISE DO DIAGRAMA "Skew-T, Log P", v.1 - Análise de Radiossondagem-Força Aérea dos EEUU, 1969.
- 5 - NIEMEYER, L.E. and Miller - Air pollution potential forecast - JAPCA, 13, 1963, 205-210p.
- 6 - PLANO URBANÍSTICO BÁSICO - Prefeitura Municipal - Grupo Executivo do Planejamento, São Paulo, 1969.
- 7 - PETERSEN, S. - Weather analysis and forecasting. Sec. Edition V.1 - McGraw-Hill Book Comp. Inc., 1956.
- 8 - Relatório Interno - Projeto 12.1 - Divisão de Meteorologia, fev/1978, 18p.
- 9 - RIEHL, Herbert - Meteorologia tropical, Rio de Janeiro. USAID. 1965, 426p.
- 10 - STACKPOLE, J.D. - APP - The Air Pollution Potential Forecast Program (Nov/1967).

ÍNDICE

Resumo, 11.1

Relação entre meteorologia e poluição do ar, 11.2

Descrição do atual boletim, 11.5

Brisa marítima, 11.5

Vento, 11.5

Condições da atmosfera: instabilidade ou estabilidade, 11.5

Frentes, 11.5

Nebulosidade, 11.6

Tendência de pressão, 11.6

Vento de superfície, 11.7

Inversões de temperatura, 11.7

Aperfeiçoamento do sistema, 11.10

Método para determinação do peso, 11.10

Conclusão, 11.11

Bibliografia, 11.12

