

ESTUDO BIOGEOGRÁFICO DE LÍQUENS COMO INDICADORES DE POLUIÇÃO DO AR EM CUBATÃO – SP *

Maria Eugênia M. Costa Ferreira * *

RESUMO:

Líquens são vegetais de ocorrência comum, desaparecendo quando expostos a atmosferas poluídas. A sua ausência na zona industrial e nas encostas florestadas da Serra do Mar em Cubatão, fornece indicações sobre o alto grau de poluição do ar na área. A partir da identificação das zonas ricas ou pobres em líquens, e portanto, pouco ou muito poluídas, pode-se avaliar a importância das emissões de impurezas no ar, do relevo e da circulação atmosférica regional e local, nos processos de concentração e difusão dos poluentes, nesse município de intensa atividade industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Biogeografia, poluição do ar, poluição industrial, líquens – vegetais indicadores, impacto ambiental, concentração, difusão e dispersão de poluentes.

INTRODUÇÃO:

O presente estudo trata de alguns efeitos da poluição do ar sobre o meio ambiente, atentando-se para os processos de concentração, dispersão e difusão dos poluentes. Sendo um estudo biogeográfico, as observações incidem sobre vegetais – os líquens – sensíveis à poluição aérea; por se tratar de Geografia Física, têm relevância os aspectos físicos do ambiente, ainda que relacionados às atividades antrópicas (Sotchava, 1977); e por utilizar uma técnica já divulgada anteriormente, aplicada agora a determinada área industrial paulista, fica definido o seu caráter operacional.

O OBJETO:

A escolha do Município de Cubatão justifica-se pela importância do fenômeno de poluição do ar, resultante da atividade industrial de refinação de petróleo, petroquímica em geral, siderúrgica e de fabricação de fertilizantes.

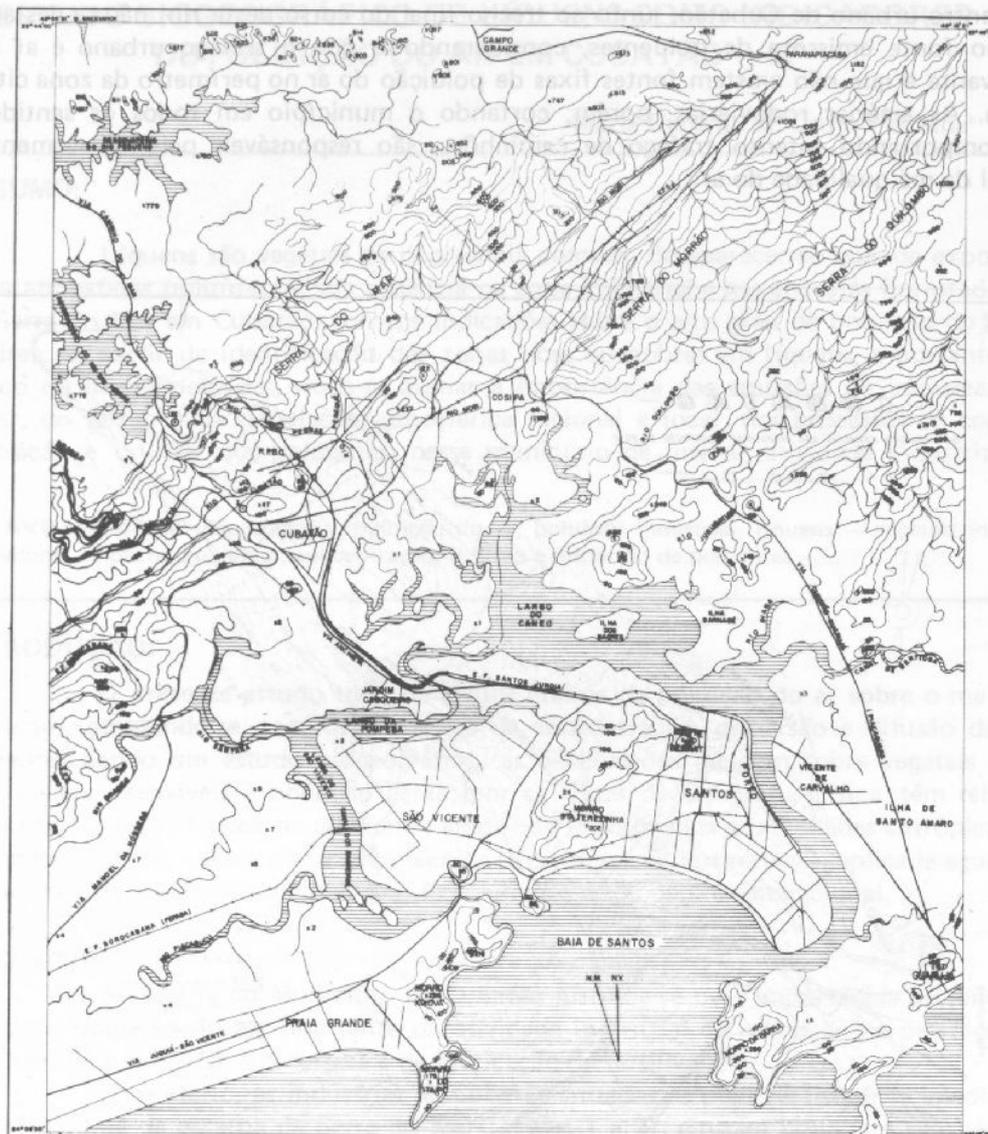
Com efeito, as indústrias de Cubatão situadas na planície litorânea imediatamente ao pé da escarpa da Serra do Mar (Mapas 1 e 2), emitem poluentes que têm sua dispersão limitada pelo anteparo natural constituído pela borda do planalto, que barra os ventos predominantes vindos do sul; a circulação local ao longo do corredor formado pelos vales dos rios Cubatão e Mogi, com ventos de sul e de sudoeste, determina os altos índices de poluição aérea no Vale do Rio Mogi – onde é nítida a degradação ambiental – e a qualidade satisfatória do ar no vale oposto, do Rio Cubatão.

* Resumo de Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de São Paulo em 1980, sob orientação do Prof. Dr. Helmut Troppmair; com atualização de dados efetuada no ano de 1981.

** Professora do Depto. de Geografia da Universidade Estadual de Maringá - Área Física

O centro urbano de Cubatão, junto ao trecho final do curso deste rio, não se destaca como fonte emissora de poluentes, considerando-se que o tráfego urbano é aí irrelevante e que não existem fontes fixas de poluição do ar no perímetro da zona citadina. As artérias rodoviárias, porém, cortando o município em todos os sentidos e comportando intenso tráfego de caminhões, são responsáveis pelo agravamento local da má qualidade do ar.





**SITUAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CUBATÃO
NA BAIXADA SANTISTA**



BASE CARTOGRÁFICA:
 CARTA 189 - FOLHA "SANTOS" 1972
 DR. M. EUGÊNIA FERREIRA
 DES. PAULINO MAPA 2

OS OBJETIVOS:

Considerando-se que a maior ou menor ocorrência de líquens nos troncos das árvores, em áreas urbanizadas, está intimamente relacionada ao grau de poluição aérea, propõe-se:

- aplicar uma técnica de mensuração dos efeitos de poluição do ar em um geossistema e quantificar o fenômeno, estabelecendo, no espaço, os diferentes níveis de alterações físicas e biológicas que os poluentes aéreos produzem no sistema;
- mapear a área segundo classes de zonas onde o fenômeno de poluição do ar ocorre com maior ou menor intensidade;
- compreender os mecanismos responsáveis pela configuração do zoneamento, decorrente da ação de inúmeros fatores geográficos de ordem física, em um sistema caracterizado por forte poluição do ar;
- extrair um modelo ou padrão de concentração-difusão de poluentes em área de forte ocupação industrial, com o fim de avaliar as conseqüências da locação das indústrias em situações análogas.

O objetivo específico é o de identificar e quantificar o impacto ambiental da poluição do ar em área caracterizada por destacada atividade industrial, usando-se os líquens como indicadores do grau de concentração de poluentes. Estes vegetais constituem bons medidores de um estado mais ou menos permanente e prolongado de exposição ao ar poluído, não evidenciando nada a respeito da variação horária, diária, mensal ou sazonal do fenômeno.

A TÉCNICA UTILIZADA:

O presente estudo sobre Cubatão baseia-se na técnica apresentada por Troppmair, (1977) e aplicada à cidade de Campinas, também no Estado de São Paulo. Nesse trabalho, o autor faz referência a inúmeros estudos estrangeiros, que atribuem o desaparecimento dos líquens nos centros urbanos e industriais à ação dos poluentes no ar, em decorrência das atividades antrópicas.

Troppmair estabelece cinco classes de poluição do ar, segundo o grau de cobertura de líquens sobre os troncos das árvores. No entanto, a presença do vegetal indicador, ainda que mínima – 0,5% de recobrimento – mostrou-se um dado relevante no caso de Cubatão: isto porque, nas áreas em que a ausência é total, frequentemente os índices de poluição ultrapassam de muito o limite de ataque apenas aos vegetais mais sensíveis, como os líquens, havendo intensa degradação da cobertura vegetal. Por isso, acrescentou-se à classificação do autor mais uma divisão, alterando-se também a nomenclatura. Obteve-se a seguinte escala:

- Classe V – grau de cobertura de 50 a 100% – zona não poluída ou normal;
- Classe IV – grau de cobertura de 25 a 50% – zona fracamente poluída ou contestada externa;
- Classe III – grau de cobertura de 12 a 25% – zona de poluição média ou contestada mediana;

- Classe II – grau de cobertura de 6 a 12% – zona de poluição média a alta ou contada interna;
- Classe I – grau de cobertura de 0,5 a 6% – zona de poluição forte ou desértica 1;
- Classe 0 – grau de cobertura inferior a 0,5% – zona de poluição muito forte ou desértica 2.

A técnica empregada no levantamento da cobertura de líquens consistiu basicamente em: medição da ocorrência desses vegetais sobre os troncos das árvores, com média de 50 a 60 observações por km² na zona citadina; cerca de 20 observações por km² nas áreas de ocupação industrial, e média de 10 a 15 observações por km² nas áreas florestadas, marginais aos terrenos urbanizados. Foram examinadas aproximadamente 2.600 árvores, em pouco mais de 1.700 pontos de observação distribuídos pelos 40 km² ocupados pelas instalações industriais, a cidade de Cubatão, os corredores rodoviários e estradas locais. Fizeram-se inferências a respeito do desenvolvimento de líquens no interior da floresta e no mangue, a partir de observações pontuais.

OS LÍQUENS, AS ÁRVORES E A APLICAÇÃO DA TÉCNICA.

Os líquens têm melhores condições de desenvolvimento sobre árvores de casca áspera e rugosa, pois que nas suas reentrâncias há maior retenção de água e de poeiras, das quais retiram substâncias nutritivas. Como na zona urbanizada a arborização apresenta diferentes espécies, foi necessário fazer uma correção das porcentagens de recobrimento encontradas, considerando-se a maior ou menor facilidade de fixação que cada espécie oferece aos vegetais indicadores. Tomando-se por base a casa da árvore do gênero "Tibouchina" (manacá) considerada como índice 100, obtiveram-se os seguintes valores para os demais gêneros e espécies arbóreas, de acordo com a Tabela 01:

TABELA 1 – Índice de Rugosidade dos Principais Gêneros e Espécies Arbóreas Observados em Cubatão

gênero e/ou espécie arbórea	índice
Espatódea ou bisnagueira ("Spathodea nilotica")	82
Guapuruvu ou fideira ("Schizolobium parahyba")	86
Embaúba ("Cecropia")	88
Mangue-amarelo ou siriúba ("Avicennia")	90
Chapéu-de-sol ou amndoeira-da-praia ("Terminalia catappa")	92
Manacá ("Tibouchina")	100
Figueira ("Ficus microcarpa")	102
Seringueira-da-Índia ("Ficus elastica")	104
Sibipiruna ("Caesalpinia peltophoroides")	110
Cássia-aleluia ("Cassia multijuga")	114
Bauínia ou unha-de-vaca ("Bauhinia variegata")	120
Jerivá ou coquinho ("Arecastrum romanzoffianum" ou "Syagrus")	148
Coqueiro-da-Bahia anão ("Cocos nucifera nana")	160
Jacarandá-mimoso ("Jacaranda mimosaeolia")	240
Tipuana ("Tipuana tipu")	300
Salgueiro-chorão ou vime ("Salix babylonica")	304

Para estabelecer o índice, aplicou-se a seguinte técnica: as amostras das cascas das árvores — lâminas de 40 cm² — tiveram os interstícios preenchidos com uma pasta de areia fina umedecida, até obter-se uma superfície lisa, recobrendo todas as saliências da casca; estando seca a areia em cada lâmina, esse material é recolhido em qualquer recipiente graduado em cc e medido. Considerou-se, arbitrariamente, a quantidade de areia necessária para uniformizar a superfície da casca do manacá, como sendo de índice 100; as cascas mais grossas, naturalmente, contiveram maior volume de areia a preencher os vazios; e as cascas mais finas que as do manacá, menor volume de material, correspondendo aos índices inferiores a 100.

Obteve-se a porcentagem de recobrimento dos líquens sobre as árvores da seguinte maneira: a observação recaiu sobre os vegetais indicadores do tipo crustáceo e foliáceo, que se esparramam pela superfície do tronco, a uma altura entre 1,5 e 2,0 metros do solo; nessa parcela do tronco estende-se uma tela de arame tipo "galinheiro", de meio metro de altura, contendo cem espaços com cerca de 2,5 cm de diâmetro cada um; faz-se, então, a contagem dos espaços preenchidos pelos líquens. A porcentagem de recobrimento expressa-se pela relação entre o número de espaços necessários para recobrir o tronco da árvore (entre 1,5 e 2,0 metros do solo) e o número de espaços preenchidos pelos líquens.

Para corrigir a porcentagem medida diretamente no campo, que não leva em conta a maior ou menor rugosidade da casca da árvore, procedeu-se assim: a porcentagem corrigida (% y) será igual à porcentagem direta (% x) multiplicada por 100, dividindo-se o resultado pelo índice (I).

$$\%y = \frac{\%x \cdot 100}{I}$$

O resultado obtido será, finalmente, enquadrado dentro de uma das seis classes de zonas, conforme exemplificação da Tabela 2:

TABELA 2 — Amostra do registro de informações de observação pontual de líquens e sua classificação.

ponto	espécie	I	% (direita)	%y (corrigida)	Classe
1	chapéu-de-sol	92	0,50	0,5	I
2	chapéu-de-sol	92	0,50	0,5	I
3	chapéu-de-sol	92	6,66	7,2	II
4	chapéu-de-sol	92	6,12	6,7	II
5	cássia aleluia	114	1,50	1,3	I
6	chapéu-de-sol	92	4,00	4,3	I
7	chapéu-de-sol	92	2,40	2,6	I
8	sibipiruna	110	3,66	3,3	I

Terminando o levantamento de campo, tendo plotados todos os pontos de observação com as respectivas porcentagens corrigidas e anotadas as classes em carta topográfica na escala de 1:10.000, procedeu-se à delimitação das zonas; esta foi obtida a partir de isolinhas, unindo pontos de mesma classe. Posteriormente, elaborou-se o mapa de classes de zonas na escala de 1:50.000.

Como o Município de Cubatão possui extensas áreas de difícil penetração, utilizaram-se técnicas complementares para se verificar a degradação da cobertura vegetal. Nos terrenos ermos e de acesso difícil da floresta tropical de encosta e do mangue, procedeu-se a uma pesquisa pontual ocasionalmente complementada por fotointerpretação. Constatou-se que, quando as medições feitas nas árvores da orla da mata estão nos limites da classe I, cerca de 25 ou 30 metros para o interior da formação os líquens passam a apresentar seu desenvolvimento normal, correspondente à classe V; quando o recobrimento na periferia da formação é superior à classe II, são necessários apenas 15 ou 20 metros para sua "normalização". Desse modo, a partir de algumas observações pontuais no interior da floresta e por extrapolação dos resultados com base nas medidas tomadas na sua orla, geralmente ao longo das estradas, foi possível estabelecer conjecturalmente o provável limite das zonas. Nas áreas de mangue fizeram-se apenas algumas observações isoladas ao longo das vias de circulação.

Com o auxílio de fotografias aéreas e observações "in situ", foi possível delimitar uma extensa área florestal, diretamente atingida pela nuvem de poluentes das fábricas, parcialmente desfolhada. Nessa área ocorre um processo de deterioração das espécies fanerófitas, sendo que os exemplares de maior porte apresentam-se totalmente sem folhas e freqüentemente estão mortos; neste caso, embora exista um estrato arbustivo e arbóreo inferior bastante vicejante, os líquens estão ausentes, pois não se processa a filtragem do ar poluído.

ASPECTOS FÍSICOS DA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE CUBATÃO

O Município de Cubatão pertence ao domínio morfoclimático das regiões tropicais serranas de "mares de morros" extensivamente florestados (Ab' Sáber, 1970), nos limites com a Planície Litorânea. A parte serrana do município corresponde à encosta da Serra do Mar, voltada para o oceano, de relevo fortemente escarpado; blocos abatidos do complexo cristalino constituem morros isolados na planície litorânea; esta tem caráter de inundação, drenagem meândrica, é parcialmente invadida por braços de mar e sujeita ao fluxo das marés, recebendo, ainda, a rica drenagem da escarpa e da borda do planalto. O município situa-se precisamente no contato do Planalto Atlântico — Pré-cambriano e Cambriano — e da Planície Costeira — holocênica — na subzona da Serra do Mar (Almeida, 1964).

Da borda escarpada do planalto, com declividades superiores a 20% e ocasionalmente maior que 55%, localmente denominada Serra do Cubatão e Serra do Mogi (cerca de 700-800 metros de altitude), projetam-se dois blocos semi-destacados do conjunto principal pelos vales dos rios Cubatão e Mogi: Morro da Mãe Maria-Morro Mazagão a oeste (118 metros de altitude) e Serra do Morrão a leste (700 a 1000 metros de altitude), cuja disposição lembra "pinças de caranguejo" envolvendo os vales "gêmeos" dos dois rios, que formam um corredor de direção SW-NE, ao longo de uma linha de falha. A planície litorânea que se estende imediatamente ao pé da escarpa é uma estreita faixa (cerca de 8 ou 9 km de largura, em Cubatão) de sedimentação quaternária, fluvial e marinha. A rede municipal e a maior parte das indústrias ocupam os vales dos rios Cubatão e Mogi nos seus cursos inferiores e os terrenos da planície a salvo do fluxo das marés.

De acordo com a classificação ecológica regional do Estado de São Paulo (Tropmair, 1975), Cubatão pertence à segunda região ecológica: do Litoral Norte, na sua porção meridional permanentemente úmida, de clima Af, e onde a colmatagem das baixadas litorâneas favorece a ocorrência de formações vegetais de mangue e jundú; predominam, af, os solos do tipo podzol hidromórfico e os litossolos, na baixada e na encosta serrana, respectivamente.

Distinguem-se na área três sub-sistemas ou domínios de paisagem onde a litologia, as formas de relevo, a drenagem, os solos e a vegetação combinam-se de modo característico, correspondendo a diferentes formas de ocupação antrópica, e contribuindo diversamente para a poluição do ar. São eles: a) Vertente Atlântica da Serra do Mar, esporões avançados e morros isolados na baixada; b) Planície recoberta por material aluvial; c) Várzea inundável no preamar, recoberta pela vegetação de mangue.

Vertente Atlântica da Serra do Mar, esporões avançados e morros isolados na baixada.

A ocupação humana efetiva é restrita, nessa unidade, limitando-se a faixas estreitas ao longo das vias de circulação, oleodutos e tubulações de água; ocorrem, ainda, explorações em pedreiras nos morros da baixada, pequenas áreas de reflorestamento ou de plantação de bananas, acampamentos de funcionários e de operários.

No entanto, a cobertura florestal aparece fortemente degradada nos morros isolados da baixada e na porção central e nordeste do município, seja por desmatamento efetivo, seja por destruição indireta da mata tropical, danificada pelos poluentes atmosféricos ou pelas obras de engenharia, que desencadearam processos erosivos em geral, causando forte desequilíbrio geodinâmico nas vertentes. Esta unidade geográfica de ocupação urbana e industrial quase nula é, todavia, importante, no processo de difusão, dispersão e concentração de poluentes, retendo-os junto à escarpa serrana e no corredor formado pelo vale do Rio Mogi. Toda a circulação atmosférica local de superfície está relacionada à barreira orográfica representada pela borda do Planalto Atlântico.

6.2. Planície recoberta por material aluvial.

A quase totalidade dos 78.652 habitantes do Município de Cubatão ocupam terras da exígua planície aluvial situada entre o paredão escarpado da Serra do Mar e seus prolongamentos e o manguezal, ao longo dos aterros das Vias Anchieta e Padre Manoel da Nóbrega (Piaçagüera). Af encontra-se a sede municipal, que é mais uma cidade dormitório do que um verdadeiro centro urbano, dependente de Santos quanto à prestação de serviços em geral, exceto os essenciais. Existem, ainda, em plena área industrial, os núcleos residenciais operários e de reserva de mão-de-obra — Vila Parisi e Jardim São Marcos. As indústrias ocupam, a margem esquerda do baixo curso do Rio Cubatão e o vale junto ao curso final do Rio Mogi, até sua desembocadura no Largo do Caneú.

Existem, ainda, pequenas explorações de areia no médio vale do Rio Cubatão, plantações de banana pouco extensas e o depósito municipal de lixo, completando a ocupação deste sub-sistema.

É na planície aluvial que se encontram os principais focos de emissão de poluentes atmosféricos, particularmente na sua porção central e oriental; a circulação de ar, a nível local, dirige a nuvem de poluição para nordeste, contra a escarpa da Serra do Mar, sendo mínima a presença de poluentes do ar na parte sudoeste da planície.

6.3. Várzea inundável no preamar, recoberta pela vegetação de mangue.

Existe, atualmente apenas um núcleo expressivo de população na área Jardim Casqueiro — , além da faixa de aterro pelo prolongamento da Av. 9 de Abril, ao longo da Estrada de Ferro Santos Jundiaí. É provável que a expansão da área industrial e residencial se faça através desta unidade, no futuro. A zona de mangue não apresenta ocupação intensa ou contínua.

A poluição aérea é pouco intensa no sub-sistema em questão, graças à menor ocorrência de fontes emissoras — apenas os corredores rodoviários — e à circulação local do ar, favorável à dispersão dos poluentes e seu afastamento da área.

7. O CLIMA E A POLUIÇÃO DO AR EM CUBATÃO.

7.1. Clima regional e clima local.

De acordo com Monteiro (1973), a porção do litoral paulista ao sul de São Sebastião possui clima zonal dominado por massas tropicais e polares. Influem três tipos de correntes perturbadas: a) de leste a nordeste, associada à massa Tropical Atlântica, quente e úmida; b) de sul a sudoeste, relacionada à massa Polar Atlântica, fria e geralmente úmida; c) de oeste e noroeste, por influência das massas Equatorial Continental, quente e úmida e Tropical Continental, quente e geralmente seca. Monteiro (1976) avalia a participação das correntes extra-tropicais de sul ou polares, entre 50 e 25%, o mesmo ocorrendo com as correntes tropicais marítimas, no decorrer do ano, no Estado de São Paulo; as correntes de oeste e noroeste têm participação de 10 a 5%, mas são bastante significativas, apesar de esporádicas.

O clima local é quente e super-úmido, com invernos suaves e verões quentes. As principais características são apresentadas nas figuras 1 e 2, destacando-se a intensa pluviosidade, crescente para junto da escarpa da Serra do Mar, as temperaturas normalmente elevadas e a predominância de ventos dos quadrantes sul e leste; este último quase anulado junto à superfície do terreno, na planície.

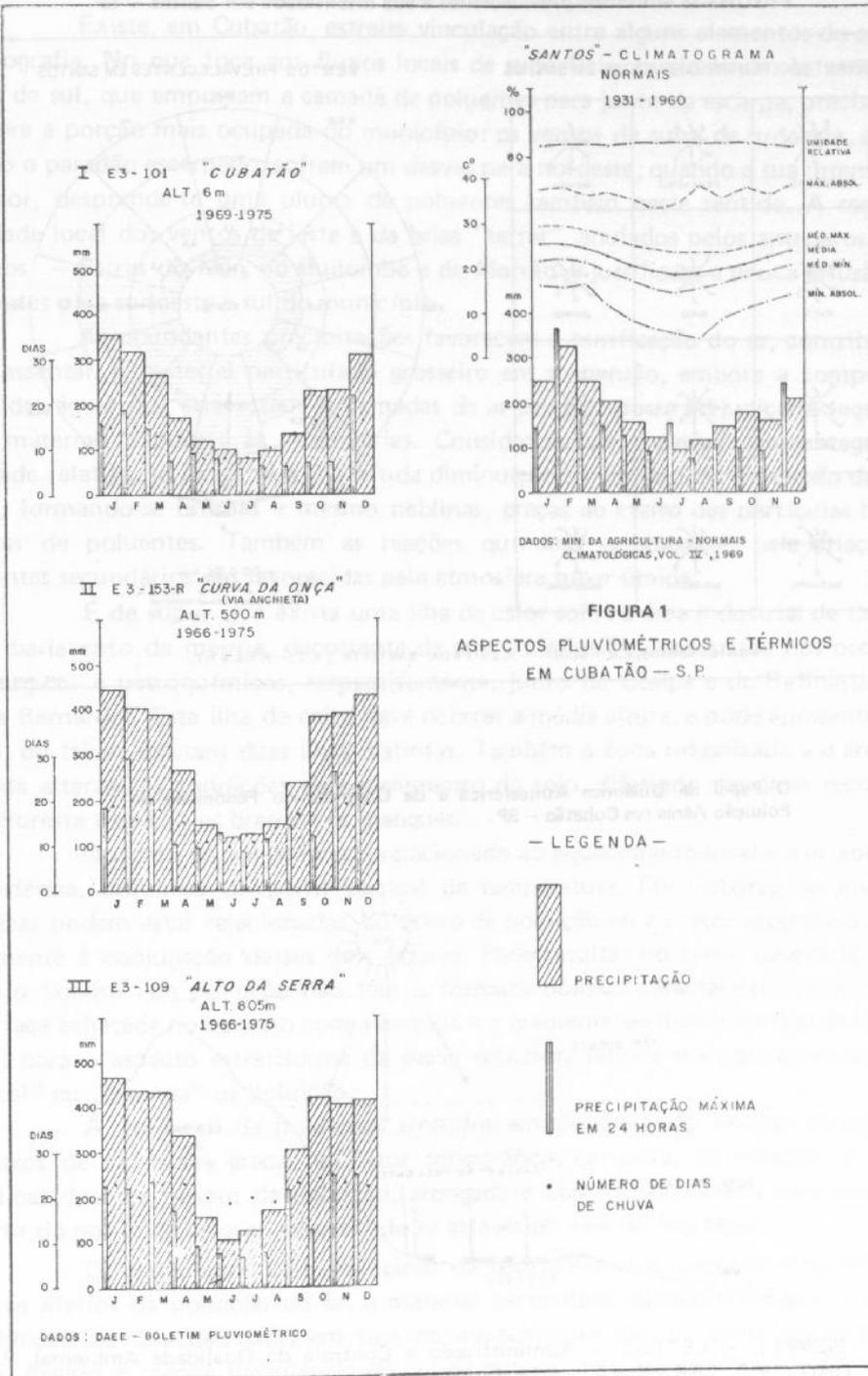
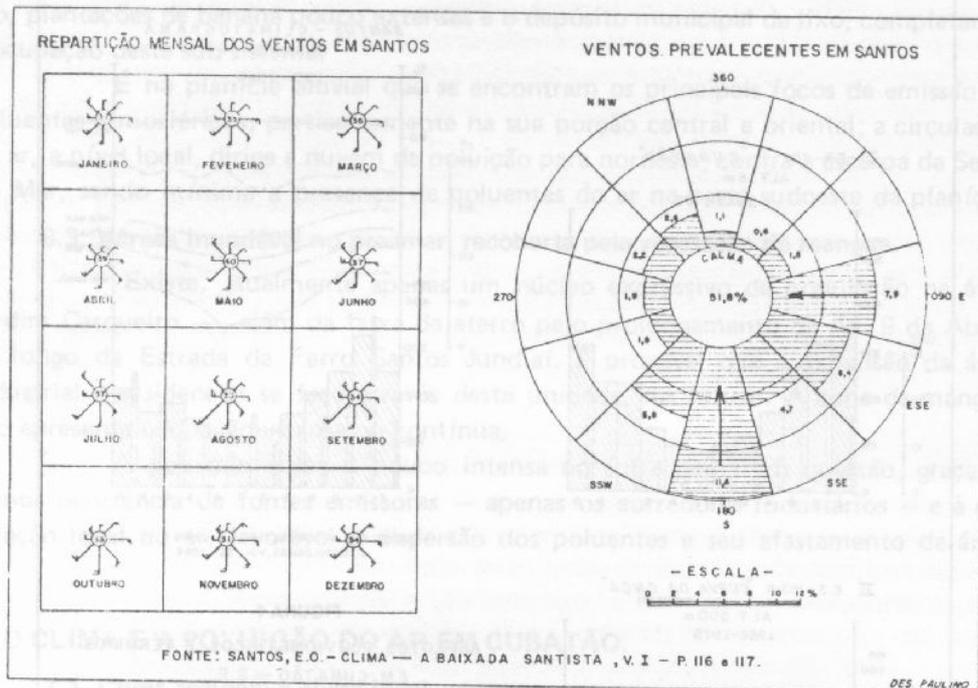
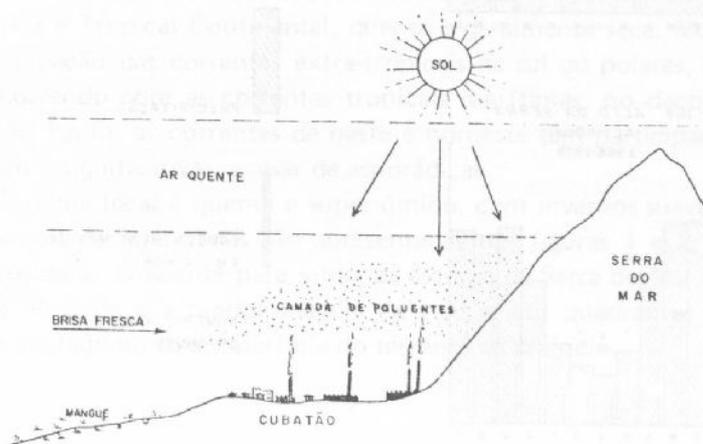


FIGURA 2 – Ventos prevalecentes e sua intensidade em Santos – SP



O Papel da Dinâmica Atmosférica e da Orografia no Fenômeno de Poluição Aérea em Cubatão – SP.



FONTE: SEWELL — CETESB — Administração e Controle da Qualidade Ambiental, P.177.
ORG.: M. E. FERREIRA — DES. PAULINO

7.2. A dinâmica atmosférica e o fenômeno de poluição do ar.

Existe, em Cubatão, estreita vinculação entre alguns elementos do clima e a topografia. No que toca aos fluxos locais de superfície, predominam os ventos ou brisas de sul, que empurram a camada de poluentes para junto da escarpa, precisamente sobre a porção mais ocupada do município: os ventos de sul e de sudoeste, encontrando o paredão escarpado, sofrem um desvio para nordeste; quando a sua intensidade é maior, desprende-se uma pluma de poluentes também neste sentido. A reduzida atividade local dos ventos de leste e da brisa "terral", anulados pelos anteparos topográficos — Serras do Mar, do Quilombo e do Morrão — justificam a pouca difusão dos poluentes para sudoeste e sul do município.

As abundantes precipitações favorecem a purificação do ar, contribuindo para assentar o material particulado grosseiro em suspensão, embora a composição ácida das águas que atravessam as camadas de ar poluído possa prejudicar a vegetação e os materiais expostos às intempéries. Considerando-se a elevada porcentagem de umidade relativa do ar na área, há nítida diminuição da visibilidade e redução da insolação, formando-se brumas e mesmo neblinas, graças ao efeito das partículas higroscópicas de poluentes. Também as reações químicas responsáveis pela criação de poluentes secundários são favorecidas pela atmosfera super-úmida.

É de supor que exista uma ilha de calor sobre a área industrial de Cubatão ou a barlavento da mesma, decorrente da energia calorífica produzida nos processos siderúrgicos e petroquímicos, respectivamente, junto da Cosipa e da Refinaria Presidente Bernardes. Esta ilha de calor deve ocorrer a média altura, e pode apresentar dois picos; ou talvez existam duas ilhas distintas. Também a zona urbanizada e a área desmatada alteram as condições de aquecimento do solo, diferindo das áreas recobertas pela floresta tropical, os brejos e os mangues.

O domo de poluição está relacionado ao aquecimento local e à estabilidade atmosférica, influenciando no perfil vertical de temperatura. Em Cubatão, as inversões térmicas podem estar relacionadas ao domo de poluição ou ao fator orográfico, e possivelmente à conjugação desses dois fatores. Pode resultar no efeito de estufa. Neste caso, o "domo" de poluição não tem o formato dômico característico, pois ocorre uma face achatada no contato com a escarpa e o gradiente vertical de temperatura contribui para o aspecto estratiforme da parte superior; termos mais adequados seriam "lençol" ou "camada" de poluição.

A "pluma" de poluentes emitidos em Cubatão não excede poucos quilômetros de extensão, graças ao fator topográfico; conserva, no entanto, as características de uma nuvem de poluição, alongada e com deslocamento para sotavento a partir do ponto de origem, estendendo-se através do vale do Rio Mogi.

Os fenômenos meteorológicos de resfriamento e calmaria noturnos agravam os efeitos da poluição do ar; o material particulado suspenso o domo (também em função da ilha de calor) em face do aquecimento diurno, pode precipitar-se à noite, devido à menor turbulência do ar, ou quando este atinge o ponto de orvalho.

Os operários da Ultrafertil queixam-se da chuva de ácido que cai à noite, proveniente dos gases de amônia emitidos pela fábrica, e que permanecem, sob estados secundários, suspensos no ar durante o dia.

Embora o estudo de Líquens não permita identificar variações diárias ou sazonais dos índices de poluição do ar, é importante ressaltar as relações entre a qualidade do ar e os tipos de tempo:

- sob o domínio da massa Tropical ou Polar Tropicalizada, apresentando tempo bom, estável e com leves brisas, ocorrem os maiores picos de poluição; o primeiro caso é típico do verão, e convém lembrar que nesses dias de intenso calor formam-se densas nuvens do tipo cúmulo-nimbus a baixa altura sobre a planície, aprisionando o ar poluído; no fim da tarde desaba um aguaceiro acompanhado de fortes trovoadas, limpando parcialmente a atmosfera;
- quando a região está sob o domínio da massa Polar Atlântica, que provoca garoas, com nuvens baixas e densas — nimbo-estratos ou estratos — também pode haver acúmulo de poluição à pouca altura; se houver uma camada superior de ar mais quente, aumenta a concentração de poluentes, pois a inversão impede a dispersão dos mesmos;
- à passagem das frentes, provocando instabilidade e turbulência, correspondem os mais baixos índices diários de poluição. A entrada da Frente Polar é mais eficaz na limpeza do ar local, mas provoca o máximo alongamento da “pluma” em direção ao vale do Rio Mogi e ao núcleo de Paranapiacaba, já no Alto da Serra. A perturbação provocada pelas frentes estacionárias e pelas massas Tropical e Equatorial Continental também facilitam a dispersão de poluentes. Com a entrada das duas últimas, porém, pode ocorrer inversão térmica, quando o ar quente proveniente do alto da Serra do Mar superpõe-se ao ar mais fresco que acaso domine Cubatão; também as correntes de noroeste podem conduzir a poluição a Santos e São Vicente, aglomerados urbanos situados ao sul do município em estudo.

Não sendo os tipos de tempo especialmente desfavoráveis à dispersão de poluentes, desde que a área está sob a linha de encontro de massas tropicais e polares e, por isso, com uma dinâmica atmosférica bastante variável, o problema justifica-se mais diretamente pelas relações entre certos elementos do clima — particularmente os ventos — e a compartimentação topográfica. A posição do município, encravado no interior do “golfo” de Santos, com uma estreita faixa de terreno ocupável junto à base da Serra do Mar e protegido dos ventos pelas “pinças de caranguejo” dos esporões e pelos morros isolados na baixada, é significativa: o núcleo emissor de poluentes, representado pela exígua planície ocupada por estabelecimentos industriais altamente poluidores, está desfavoravelmente situado no que se relaciona à dispersão do material poluente; a área atingida pelo ar poluído é restrita, decorrendo, daí, índices de poluição muito altos dada à elevada concentração e pequena expansão regional.

8. AS INDÚSTRIAS DE CUBATÃO E A EMISSÃO DE POLUENTES.

A atividade industrial é altamente significativa em Cubatão, sendo o segundo maior centro fabril do Estado de São Paulo, após a região metropolitana da capital. Predominam na área em estudo os grandes estabelecimentos de indústrias de base, destacando-se os ramos químico e petroquímico, de fabricação de fertilizantes e siderúrgico.

Em um estudo elaborado pela CETESB (1980), que trata de estimativas da emissão de poluentes atmosféricos em Cubatão, constatou-se que esse complexo industrial emite para a atmosfera cerca de 30.000 toneladas de poluentes por mês, distribuídos conforme apresentado na Tabela 3.

TABELA 3 – Distribuição percentual de poluentes do ar em Cubatão

classes de poluentes	quantidade t/mês	%
gases inorgânicos	15 240	50,8
material particulado	11 100	37,0
gases e vapores orgânicos	3 540	11,8
névoas e gases ácidos	120	0,4
Total	30 000	100,0

A caracterização qualitativa e quantitativa dos poluentes liberados na atmosfera baseou-se em dados obtidos em levantamentos realizados nas seguintes indústrias: Alba Adria S/A Indústrias Reunidas, Carbocloro S/A Indústrias Químicas, Cimento Santa Rita S/A, Companhia Brasileira de Estireno, Companhia Santista de Papel, Concretex S/A, Constran S/A Construção e Comércio, Copebrás S/A, CO-SIPA, Costa Moniz Com. e Ind. S/A, Engeclor Indústria Química S/A, Fertilizantes União S/A, Gespa-Gesso Paulista S/A, LAP S/A Indústria de Fertilizantes, Indústria Luchsinger Madorin S/A, Liquid Química S/A, Manah S/A, Petrobrás S/A (RPBC), Petrocoque S/A Ind. e Com., Rhodia Indústrias Químicas e Têxteis S/A, Ultrafertil S/A Ind. e Com. de Fertilizantes (Jardim São Marcos), Ultrafertil S/A Ind. e Com. de Fertilizantes (FAFER) e Union Carbide do Brasil Ltda.

Ainda de acordo com o estudo citado, as atividades industriais que mais contribuem para a geração de poluentes estão enumeradas na Tabela 4

TABELA 4 – Emissão de poluentes em Cubatão - distribuição percentual por atividade industrial.

atividade industrial	número de indústrias	emissão de poluentes em %			
		gases inorgânicos	material partic.	gases org.	névoas ácidas
Química					
– Fertilizantes	7	50,8	81,3	31,3	93,9
– Petróleo e derivados	5	17,6	1,4	52,3	0,0
– outras	5	0,8	0,2	0,8	4,0
Metalúrgica	1	29,3	16,6	15,6	2,1
Papel e papelão	1	0,6	0,0	0,0	0,0
Minerais não metálicos	3	0,9	0,5	0,0	0,0
Borracha	1	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	23	100,0	100,0	100,0	100,0

Os gases inorgânicos e o material particulado respondem por 87,8% da poluição atmosférica, sendo que as indústrias que mais contribuem para o problema são as de fertilizantes – também responsáveis pela maior parte das emissões de névoas ácidas – e a metalúrgica. Gases e vapores orgânicos são gerados sobretudo nos processos petroquímicos.

Ainda segundo o estudo da CETESB, estabeleceu-se uma hierarquização das setenta e seis substâncias poluentes geradas por ocasião dos processamentos industriais em Cubatão, conforme o seu índice de periculosidade, com base na agressividade do elemento poluidor ao meio, tendo por sujeito a vida vegetal, animal e humana. São apresentados, a seguir, os mais importantes, por ordem decrescente de periculosidade, na área de Cubatão: Bióxido de enxofre, trióxido de enxofre, fluoretos, gás sulfídrico, amônia, formaldeído, ácido sulfúrico, cloro, monóxido de carbono, cicloparafinas, benzeno, ácido clorídrico, carvão (material particulado), metanol, óxido de cálcio (material particulado), percloroetileno, dióxido de nitrogênio, dodecano, C8 cicloparafinas, coque (mat. part.), grafite (material particulado), buteno e octano e isômeros.

No entanto, considerando-se especificamente a área de Vila Parisi, são mais importantes as emissões de fluoretos, gás sulfídrico, monóxido de carbono, trióxido de enxofre, grafite, óxido de cálcio, buteno, dióxido de enxofre, C7 cicloparafinas e dióxido de nitrogênio. Considerados os núcleos populacionais de Vila Parisi e do centro urbano de Cubatão, são mais perigosas as emissões de monóxido de carbono, trióxido de enxofre, fluoretos, gás sulfídrico, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, amônia, carvão, cloro, coque, grafite, óxido de cálcio, formaldeído e buteno.

Verifica-se, a princípio, um território equivalente a 56% da área do município — na sua parte central e nordeste — onde a poluição é forte ou muito forte; para sudoeste e sul aparecem áreas de poluição fraca ou nula, embora atravessadas por corredores rodoviários onde a emissão de poluentes é significativa. De fato, os elevados índices de poluição do ar estão relacionados sobretudo às fontes fixas industriais localizadas ao longo do curso final do Rio Cubatão e do baixo vale do Rio Mogi; os ventos locais de superfície tendem a um trajeto dominante para norte e nordeste, conduzindo os poluentes neste sentido.

Quanto às classes de zonas de ocorrência de líquens, constatou-se o seguinte: dos 105 km² classificados (correspondendo a 80% do município), 73,5 km² ou 70% desse território apresentam poluição forte ou muito forte; 11,6 km² ou 11%, têm índices intermediários; e 20 km² ou 19% estão livres de qualquer contaminação aérea. Os 26 km² não classificados com exatidão devem, porém, estar compreendidos entre os níveis médios de poluição. A Tabela 5 resume os resultados:

TABELA 5 — Distribuição percentual do território do Município de Cubatão, segundo as classes de ocorrência de líquens.

Classes	área km ²	% da área mun.	% da área pesq.
Classe 0 — poluição muito forte	67,0	51,1	63,8
Classe I — poluição forte	6,5	5,0	6,2
Classe II — poluição média a alta	2,0	1,5	1,9
Classe III — poluição média	2,0	1,6	2,0
Classe IV — poluição fraca	7,5	5,7	7,1
Classe V — poluição inexistente	20,0	15,3	19,0
Sub-total	105,0	80,2	100,0
Área não pesquisada	26,0	19,8	—
TOTAL	131,0	100,0	

9.1. O deserto de líquens.

9.1.1. As zonas de Classe 0

Cerca de 51% do território municipal apresentam um grau máximo de poluição, de acordo com as classes adotadas. Correspondem à maior parte da planície aluvial ocupada pelas fábricas, as vias de circulação regional e grande parte das encostas das serras do Mogi, de Cubatão e do Morrão, a norte e nordeste do município. Existe, pois, uma correspondência entre os altos índices de poluição e o local de emissão na baixada, estando incluídos nesta área os núcleos residenciais de Vila Parisi e Jardim São Marcos, a quase totalidade dos terrenos das indústrias e as rodovias Piaça-

güera, Pe. Manoel da Nóbrega e Anchieta; o corredor formado pelo vale do Rio Mogi, ladeado pelas encostas das serras do Morrão e do Mogi, porém, é um receptáculo de massa de poluentes, pois encontra-se a sotavento do núcleo industrial.

As emissões dos veículos respondem por uma faixa de poluição muito intensa mas de extensão bastante reduzida, equivalente a cerca de vinte ou trinta metros que ladeiam as vias de circulação. Este aspecto evidencia-se ao longo das rodovias, destacando-se a estreita faixa de Classe 0 nas vias Anchieta e Pe. Manoel da Nóbrega.

Na baixada, o movimento ascensional na atmosfera, bastante pronunciado junto à escarpa da Serra do Mar e que força a elevação das correntes, e ainda o provável efeito da ilha de calor, contribuem para a existência de um nítido movimento vertical que tomam as plumas das chaminés no seu percurso inicial. Mas o progressivo resfriamento do ar ascendente e a conseqüente diminuição da velocidade, ou então o fenômeno de inversão térmica, tendem a manter a densa nuvem de poluentes a 200 ou 300 metros de altitude; parte dos contaminadores pode precipitar-se sobre a planície, enquanto outra porção é carregada pelos ventos de sul e as correntes locais de sudoeste e encaminhada ao funil representado pelo vale do Rio Mogi, onde a dispersão é muito pequena, formando rodamosinhos nas reentrâncias da escarpa.

Na escalada das vertentes do vale do Rio Mogi, a pluma de poluentes de Cubatão perde a sua velocidade, atingindo com pouca intensidade o núcleo de Parapiacaba, fronteiro ao estrangulamento do funil, junto às nascentes do curso d'água e já no planalto. A mata tropical ainda quase intata nessa região, deve contribuir para a purificação do ar, retendo as impurezas não gasosas.

A porção da planície incluída na zona de Classe 0 apresenta qualidade do ar absolutamente indesejável, sobretudo, quanto à habitação permanente do elemento humano. Os núcleos residenciais de Vila Parisi e Jardim São Marcos, a sotavento da usina siderúrgica e no raio de influência das fábricas de fertilizantes, recebem densas nuvens de ar poluído. Nas duas vertentes escarpadas que balizam o curso do Rio Mogi, a formação vegetal mostra sinais de degradação muito intensa; mais do que a ausência de líquens, a degenerescência da cobertura florestal serviu de indicativo para a classificação da área como zona de Classe 0.

O morro isolado fronteiro à Alba Adria e Union Carbide é responsável por um estrangulamento pronunciado das correntes de ar de sul e de sudeste; no corredor formado entre as vertentes do morro orientadas para oeste e noroeste e a Serra do Cubatão, a atmosfera pode ser quase irrespirável. Este morro e a porção do talude junto à Union Carbide, desprovidos já anteriormente da vegetação arbórea, apresentaram-se recobertos por uma espécie de filicínea, ao que parece, resistentes à poluição do ar.

9.1.2. As Zonas de Classe I.

A maior parte da cidade de Cubatão está enquadrada na Classe I. As atividades de cunho citadino, afora as industriais, são insignificantes, sendo o tráfego de veículos pouco intenso, exceto nas avenidas que são prolongamentos das rodovias.

A cidade não está em posição inadequada dentro do município, no que toca à qualidade do ar, a não ser pela proximidade da Via Anchieta. Recebe as correntes de ar puro provenientes do sul e também as brisas marítimas, através dos terrenos de mangue.

As áreas de Classe I, apesar de ainda considerados como fortemente poluídas segundo padrões internacionais de qualidade do ar apresentam, no entanto, características muito mais amenas do que os locais de Classe 0: os exemplares arbóreos e os vegetais em geral podem ser muito vicejantes, embora ocasionalmente recobertos por uma fina camada de poeiras; os odores são pouco perceptíveis, normalmente, e sensações como ardência das mucosas da vista, asfixia, tonturas e irritações cutâneas só ocorrem esporadicamente, por agravamento das condições de poluição; persistem, no entanto, os danos causados aos materiais, tais como oxidação e corrosão das estruturas metálicas e descoramento de pinturas externas.

9.2. As Zonas Intermediárias quanto ao Grau de Poluição do Ar.

As zonas II, III, e IV aparecem geralmente na periferia das áreas de forte poluição, sucedendo-se no sentido do ar mais puro. Compreendem pouco mais de 11 km²; no entanto, os 26 km² do Município de Cubatão que não foram percorridos e nem classificados, podem estar contidos dentro destas posições intermediárias.

A zona de Classe II está associada às áreas de forte poluição, mas onde os aspectos favoráveis quanto à circulação atmosférica, topografia e cobertura vegetal densa contribuem para diluir ou absorver o ar impuro. Aí, os odores e as poeiras de origem industrial estão ausentes.

A zona de Classe III tem maior extensão contínua ao longo do médio vale do Rio Cubatão, junto às estradas locais de tráfego esporádico, incluindo os terrenos de disposição final do lixo municipal.

A zona de Classe IV abrange a maior parte do Jardim Casqueiro e largos trechos de mangue nas porções sul e centro-sul do município, além de parte do médio vale do Rio Cubatão. Nestas áreas, a única evidência de poluição do ar é a variação no desenvolvimento dos líquens, pois não existem odores, acúmulo de poeira de origem industrial ou de veículos, degenerescência de espécies vegetais e nem oxidação dos materiais, a não ser aquela devida normalmente às intempéries.

9.3. A Zona de Ocorrência Normal de Líquens.

A zona de Classe V, onde a poluição é inexistente, corresponde às extensas áreas de mata ainda não degradada, nas vertentes da Serra do Cubatão e do Morro Mazagão, à floresta que recobre as vertentes leste, sudeste e sul dos morros isolados da baixada e aos amplos trechos de mangue e brejo ao sul do município.

Estas áreas, situadas a oeste, sudoeste e sul de Cubatão estão quase todas a barlavento da zona industrial, recebem boa ventilação; apresentam cobertura vegetal constituída de matas, manguezais, eucaliptais ou plantações de banana e têm ocupação humana efetiva muito rarefeita ou nula.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A partir do presente estudo sobre a poluição do ar em Cubatão e da análise do Mapa 3, relativo às zonas de ocorrência de Líquens, pode-se observar o seguinte:

- A predominância de poluição do ar de origem industrial, destacando-se como fontes as indústrias de refinação de petróleo, petroquímica em geral e de fabricação de fertilizantes e siderúrgica. As atividades citadinas não contribuem de maneira notável para intensificar a poluição do ar, bem como o tráfego nos corredores rodoviários, que aparecem apenas como focos locais de degradação ambiental;
- A importância do relevo, responsável pela concentração de impurezas atmosféricas junto à escarpa da Serra do Mar e no corredor formado pela borda escarpada do planalto e a Serra do Morrão, tendo por eixo o curso do Rio Mogi;
- A importância da circulação de ar local, fator que agrava os problemas de poluição a sotavento da zona industrial; também a existência de calmarias em mais de 50% do tempo, dificulta a dissipação dos poluentes;
- A ocorrência de níveis muito elevados e críticos de poluição aérea cobrindo cerca de 56% do território, a par de mais ou menos 40% do município com índices de poluição fraca ou nula, geralmente em terrenos ainda florestados e sem ocupação humana efetiva;
- A importância da cobertura vegetal nas funções de retenção e absorção de impurezas do ar, desde que os índices de poluição não sejam muito elevados; neste último caso, a vegetação sofre danos, degradando-se e perdendo a capacidade de absorver o material particulado;
- A pouca extensão do fenômeno de poluição do ar dentro da baixada e na superfície do planalto, que só ocasionalmente são atingidos pelos poluentes; com efeito, a má qualidade do ar quase não extravasa os limites do Município de Cubatão — exceto na região do Alto da Serra e Paranapiacapa, e esporadicamente no Largo do Caneú, Santos e São Vicente. Trata-se de um problema grave de poluição do ar, embora de ocorrência bastante restrita em área.

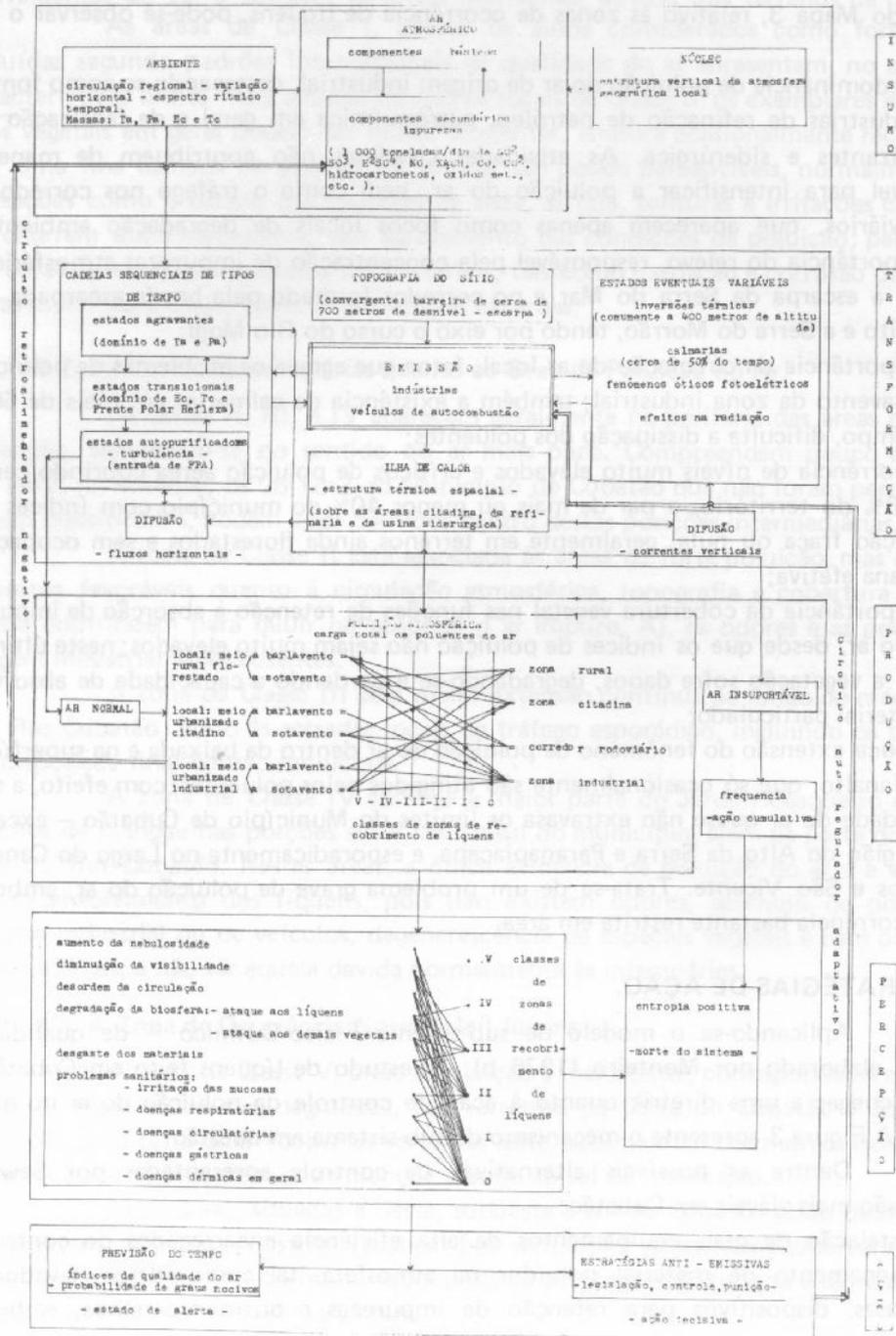
11. ESTRATÉGIAS DE AÇÃO.

Aplicando-se o modelo de sub-sistema Físico-Químico — de qualidade do ar — elaborado por Monteiro (1976 b), ao estudo de Líquens feito em Cubatão, pode-se chegar a uma diretriz quanto à ação de controle da poluição do ar no município. A Figura 3 apresenta o mecanismo do sub-sistema em questão.

Dentre as possíveis alternativas de controle apresentadas por Sewell (1978), são mais viáveis em Cubatão:

- A instalação de mais equipamentos de alta eficiência encarregados do controle do lançamento de material poluidor na atmosfera, tal como filtros, lavadores de gases, dispositivos para retenção de impurezas e outros aparelhos, embora

Figura 3
 Aplicação do modelo de sub-sistema físico-químico de KUKKILINEN ao estudo de líquens feito em Curitiba



modelo base: MONTENIRO (1974 a) org.: N.O. Ferreira

- essa medida implique em maiores custos de produção para as empresas;
- O encerramento da causa e a interceptação das emissões em galpões, aplicável em alguns casos, tal como nas indústrias de fertilizantes;
- A interceptação dos lançamentos por meio de barreiras do tipo "cortina de vegetação", nos casos de poluição não muito intensa;
- O controle das emissões poluidoras por meio de aplicação da lei e punição ao infrator; ação a ser exercida pelo poder público, e que é de fato indispensável para a resolução do problema.

12. PERSPECTIVAS:

Com base neste trabalho, podem-se avaliar certas circunstâncias e prever possíveis ocorrências futuras desfavoráveis. A seguir, são apresentados comentários e sugestões relativos à ocupação racional do território:

- Desaconselha-se a transferência ou desativação do complexo industrial de Cubatão, em vista de sua importância econômica e social como gerador de divisas e empregos. A localização do polo petroquímico e siderúrgico, em Cubatão, obedeceu a razões definidas, de ordem regional, e não encontraria locais mais adequados para a sua instalação no litoral paulista — considerando-se os aspectos de ordem física, humana e econômica envolvidos conjuntamente na época. Eventualmente, é viável apenas a transferência para o interior do Estado, das indústrias de fertilizantes que não mais utilizam a rocha fosfática importada, anteriormente desembarcada no Porto de Santos; também o mercado consumidor de tais produtos não se encontra no eixo São Paulo — Santos;
- Os núcleos de Vila Parisi e Jardim São Marcos situam-se em plena zona industrial, tanto no que se refere ao zoneamento municipal (Lei 902 de 04 de janeiro de 1972), quanto à Lei 6803 de 02 de julho de 1980. São, portanto, desconformes; aconselha-se a relocação de tais núcleos fora da zona industrial, pois ainda que ocorra uma significativa redução dos índices de poluição nessa área, nunca a qualidade do ar será satisfatória para permitir a existência de habitações residenciais permanentes no local;
- A expansão da zona urbana da cidade de Cubatão deve fazer-se em direção ao mangue, conservando certo afastamento das fábricas e da Via Anchieta;
- Com relação à idéia de se construir um núcleo habitacional no mangue, recomenda-se a porção centro-sul e sul do município, onde os índices de poluição do ar são nulos ou quase, entre as rodovias Anchieta e Imigrantes, em terrenos de brejo; o isolamento das vias de circulação poderia ser feito por meio de cortina de vegetação;
- A estreita planície ao longo do médio curso do Rio Cubatão também pode ser utilizada para ampliação da área urbana, mas nunca para ocupação industrial, dadas as condições desfavoráveis à dispersão dos poluentes;

- O Jardim Casqueiro, núcleo residencial e comercial bem localizado sob o ponto de vista da qualidade do ar pode, também, estender sua área residencial: no entanto, é preciso atentar para os problemas da Fertiplan e Fertibase, duas indústrias de fertilizantes de Santos, situadas no lado oposto do Largo da Pompeba;
- Não se recomenda a ampliação da área urbana pelos terrenos de mangue entre a Via Anchieta e a Cosipa, pois os ventos de noroeste, os catabáticos e a brisa "terral" noturna, podem levar ocasionalmente as plumas de poluição industrial para essa área;
- Considerando-se a instalação de novas indústrias do município e a ampliação das fábricas já existentes, sugere-se a ocupação dos terrenos ao longo da Estrada de Ferro Santos Jundiá, no prolongamento sul da Av. 9 de Abril e secundariamente a faixa ao longo da Via Anchieta, também na porção sul do Município. Indústrias potencialmente poluidoras não devem mais instalar-se em Cubatão, bem como novas unidades geradoras de poluição, pois, de acordo com a Lei 6803 de 02 de julho de 1980, — de zoneamento, — a zona industrial desse município classifica-se como "saturada".
- As encostas dos morros e a borda escarpada da Serra do Mar não devem ser, de maneira alguma, ocupadas, seja para habitação, lazer ou cultivo e pastagem, em vista da extrema sensibilidade e fragilidade do meio geodinâmico. A progressiva eliminação dos indivíduos arbóreos no Vale do Rio Mogi pode acelerar os processos erosivos, intensificar os fenômenos de escorregamentos e demais movimentos de massa e o assoreamento dos rios e acúmulo de material detrítico na planície, trazendo, em futuro próximo, sérios prejuízos às indústrias situadas no sopé das escarpas.

As possíveis soluções apontadas acima, poderão nortear a reorganização do espaço no Município de Cubatão, área onde o desenvolvimento industrial e a expansão urbana não se fizeram acompanhar de uma adequada planificação do uso do solo; o que certamente contribui para a deterioração do ambiente e a má qualidade de vida que aí existe.

BIBLIOGRAFIA:

Obras citadas no texto:

- AB'SÁBER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia** 20. São Paulo, IG — USP. 26. p. 1970.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Os Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. "In": **Geologia do Estado de São Paulo. Bol. Inst. Geogr. Geol.** 41. São Paulo. p. 169-263. 1964.

CETESB. **Avaliação da poluição industrial em Cubatão – Estimativas de Emissão – Relatório interno.** 1980.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo.** Estudo geográfico sob a forma de Atlas. Rio Claro, Dep. Geog. Fac. Fil. Cienc. Letr. de Rio Claro. 1973.

----- **Teoria e clima urbano.** São Paulo. I. Geog. – USP, sér. Teses e Monografias 25. 181 p. 1976 a.

----- **O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas.** São Paulo I. Geog – USP, sér. Teses e Monografias 28. 54 p. 1976 b.

SEWELL, G. H. **Administração e controle da qualidade ambiental.** São Paulo, Ed. Pedagógica e Universitária – Ed. USP – CETESB. 101 p. 1978.

SOTCHAVA, V. V. **O estudo de Geossistemas. Métodos em Questão 16,** São Paulo, I, Geog. – USP. 52 p. 1977.

TROPPEMAIR, H. **Regiões ecológicas do Estado de São Paulo. Biogeografia 10,** São Paulo, I. G. – USP. 24 p. 1975.

----- **Estudo biogeográfico de Líquens como vegetais indicadores de poluição aérea da cidade de Campinas – SP. Geografia v. 2 (4).** Rio Claro – São Paulo, AGETEO. p. 1-38. 1977.