

# ESTUDO BIOGEOGRÁFICO DE LÍQUENS COMO VEGETAIS INDICADORES DE POLUIÇÃO AÉREA DA CIDADE DE CAMPINAS - SP.

HELMUT TROPFMAIR (\*)

## INTRODUÇÃO

Ecólogos e pesquisadores de diferentes campos da ciência, no mundo todo, têm chamado a atenção da população e dos governos para os aspectos negativos da quebra do equilíbrio do meio ecológico. O crescimento constante dos parques industriais tem sido acompanhado pelo fenômeno da poluição, a qual pode ser definida como sendo "o lançamento ou a presença nas águas, no ar, ou no solo, de matéria ou energia que podem danificar os usos previamente estabelecidos desses recursos naturais" (Instituto Roberto Simonsen, 1974,9).

Problemas vinculados ao detrimento do meio ambiente pela poluição são hoje especialmente acentuados em países ou regiões altamente industrializadas, pois, além dos fatores naturais como clima e topografia, contribuem para a deteriorização: o aumento da população em número e densidade, os vários usos e níveis da tecnologia, e o aumento de produção e consumo. Nas grandes cidades estes fatores se somam e se tornam elementos prejudiciais às populações urbanas, pois a poluição afeta direta e indiretamente os seres vivos, sendo responsável pelo desaparecimento de numerosas espécies vegetais e animais, além de propiciar o aparecimento de várias doenças pulmonares, cardíacas e outras no homem, chegando inclusive a causar numerosas mortes. Conforme noticiários dos jornais da cidade de São Paulo, em maio de 1976, morreram na cidade de São Paulo 76 pessoas em conseqüência da poluição do ar.

A metrópole ou grande cidade apresenta uma "substituição total da paisagem natural por numerosos edifícios, ruas, praças, edi-

\* Departamento de Geografia e Planejamento Regional (Biogeografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

fícios públicos, arranha céus e parques industriais, o que provoca a alteração total do clima em escala local, surgindo o clima urbano onde o balanço térmico e hídrico apresenta condições específicas, de acordo com a densidade populacional, a distribuição espacial dos edifícios, áreas verdes e complexos industriais". (Geiger, 1961, 512).

É pois de extrema importância, neste momento, em que numerosas indústrias deixam a Grande São Paulo para se fixarem no interior do Estado, o planejamento correto do uso do solo, baseado nas condições ecológicas reinantes e em outras condições artificiais criadas pelo homem, sempre, porém, dentro da capacidade e das limitações do espaço urbano. Somente assim será possível minimizar ou mesmo evitar as condições prejudiciais que a intensa urbanização e industrialização vinculados à poluição podem trazer à população urbana.

Para desenvolvermos esta pesquisa sobre os problemas advindos da ocupação inadequada do espaço urbano, escolhemos a cidade de Campinas pelos seguintes motivos:

1. Registraram-se altos índices de crescimento urbano;
2. Elevado crescimento industrial (50% em 5 anos);
3. Os problemas da poluição já atingem a população campineira (O Estado de S. Paulo, 3/8/76) motivo por que a extinta SUSAM-Superintendência de Saneamento Ambiental — aí instalou um laboratório subsidiário para análises da qualidade do ar.

Para detectar e analisar a poluição do ar existem hoje aparelhos altamente sofisticados, mas, por outro lado, é do conhecimento de botânicos, biogeógrafos e ecólogos, que os vegetais, principalmente os inferiores, são altamente sensíveis aos poluentes, podendo ser utilizados como vegetais indicadores da poluição em pesquisas, dispensando aparelhagem sofisticada e cara. Em 1966, Domroes, num estudo sobre a região industrial do Ruhr (Alemanha), demonstrou que há equivalência entre os dados obtidos sobre a ação da poluição do ar pela análise de líquens e musgos e os obtidos por uma aparelhagem altamente especializada. Estudos com líquens como plantas indicadoras já foram realizados desde o século passado, por vários pesquisadores e em várias cidades do mundo, conforme cita Domroes (1966,58):

Paris	Nylander	1866
Londres	Weddel	1873
Augsburgo	Britzelmayr	1875
Munique	Arnold	1891-1902
Hamburgo	Erichsen	1905
Landskrona	Kajanus	1911
Städte Norwegens	Lynge	1921
Kiel	Trümpener	1926

Oslo	Haugsjá	1930
Berlim	Schulz-Korth	1931
Helsinque	Vaarna	1934
Zurique	Vareschi	1936
Estocolmo	Hoeg	1936
Danzig	Mattick	1937
Debrecen	Felföldy	1942
Lound	Almborn	1943
Uppsala	Krusenstjerna	1945
Paris	Bouly de Lesdains	1948
Cracóvia	Zurzycki	1950
Viena	Sauberer	1951
Selby/Yorkshire	Jones	1952
Caracas	Vareschi	1953
Lublin e outros pequenos centros urbanos da Polónia e Silésia	Rydzak	1953 e 1959
Bonn	Steiner u. Schulze Horn	1955
Munique	Schmid	1957
Salzburgo, Innsbruck		
Bregenz, Dornbirn,		
Landeck	Beschel	1958
Hannover	Klement	1958
Hamburgo	Villwock	1959 e 1962
Ost-Berlin,		
Kühlungsborn	Natho	1964
Newcastle	Gilbert	1965

A análise dos trabalhos destes autores, ainda segundo Domroes, permite concluir que existem três pontos de vista no que se refere ao comportamento de líquens em regiões urbanas:

1. O material particulado e os gases tóxicos lançados na atmosfera são responsáveis pela morte e pelo desaparecimento de líquens nos centros urbanos, segundo Nylander 1866, Arnold 1900, Lindau 1923, Sernander 1926, Erichsen 1928, Haugsja 1930, Vaarna 1934, Felföldy 1942, Sauberer 1951, Vareschi 1953, Sloover 1964;

2. Outra corrente de botânicos responsabiliza os baixos teores de umidade nos centros urbanos pelo desaparecimento dos líquens, enfatizando principalmente dois elementos climáticos: as temperaturas elevadas e o baixo teor de umidade (Beschel 1952, Rydzak 1953, Steiner e Schulze-Horn 1955, Klement 1956 e Steiner 1957.);

3. Um terceiro grupo associa os dois pontos de vista, concluindo que o clima urbano é desfavorável devido à alteração dos elementos climáticos, térmicos e hídricos, associados aos poluentes sólidos e

gasosos. Esta corrente defendida por Villwock (1962) e Nãtho (1964) é a menos aceita, e também já foi demonstrado que o baixo teor de umidade pode ser responsável por uma seleção de espécies de líquens, mas nunca pelo seu desaparecimento.

Os estudos detalhados e aprofundados de Vareschi (1953), na cidade Caracas, e de Domroes (1966), na região do Ruhr, confirmam a primeira tese apontada, segundo a qual o material particulado e os gases tóxicos existentes na atmosfera são os responsáveis pelo desaparecimento de líquens e musgos, os quais podem servir de vegetais indicadores do grau de poluição.

Foram estes os motivos que nos levaram a aplicar esta técnica de pesquisa na cidade de Campinas, terminando por corroborar a teoria de Vareschi e Domroes.

### 1. Considerações gerais sobre a poluição do ar

A poluição do ar, que é a presença das matérias ou energia no ar as quais podem prejudicar o uso previamente estabelecido deste recurso natural, é um fato que se acentua. Dois motivos concorrem para isto:

1. O ar pode ser utilizado livremente por qualquer pessoa pois está disponível, sem exigir ônus;
2. Não existe um planejamento para o uso racional deste recurso natural, principalmente por parte das indústrias.

Com o aumento rápido dos problemas vinculados a poluentes, cientistas e pesquisadores passaram a estudar as causas da poluição e tipos de poluentes, do que resultou o seu agrupamento em classes conforme a gênese e tipo.

Os poluentes encontrados nas baixas camadas da atmosfera podem ser classificados: quanto ao estado podem ser classificados em sólidos, líquidos e gasosos: poeiras, névoas, fumos, fumaças, vapores e outros gases; quanto à origem temos os poluentes primários que se encontram na atmosfera na forma em que foram emitidos como resultado de algum processo de transformação, e poluentes secundários, resultantes da reação de dois ou mais poluentes primários, e finalmente quanto à composição química temos os poluentes orgânicos e inorgânicos.

Os poluentes ou emissões primárias são os que o povo chama de sujeira e poeira. Este material, formado por partículas finas com diâmetro inferior a 100 microns, compreende metais, silicatos, carbono, bactérias, fungos e resinas. Eles são responsáveis pela dispersão da luz, pela condensação e coalescência da umidade, pela toxicidade que afeta plantas e animais — inclusive o homem — e pela corrosividade e radioatividade.

Ainda dentro das emissões primárias temos as formadas por partículas grosseiras, que apresentam diâmetro superior a 100 microns,

as quais, apesar de apresentar problemas semelhantes às partículas finas, causam danos menos acentuados pois verifica-se uma deposição mais rápida das partículas grosseiras pela ação da gravidade e o organismo humano apresenta meios de defesa contra sua penetração no corpo, além de as reações químicas com outras substâncias serem menos numerosas e mais lentas. Estas partículas mais grosseiras, porém, são mais incômodas à população.

Os poluentes secundários, resultado da reação de dois ou mais poluentes primários, apresentam condições físicas e químicas que variam no tempo e no espaço de acordo com as condições locais, como aspectos meteorológicos (umidade relativa, velocidade do vento), condições topográficas, velocidade e mecanismo da reação química entre as substâncias que formam os poluentes. Como exemplos dessas reações temos as névoas ácidas e as reações fotoquímicas, que costumam ocorrer no *smog* (*smoke* + *fog*), de Londres e Los Angeles e na *fublina* (fumaça + neblina), em São Paulo.

### Fontes poluidoras

Os poluentes encontrados na atmosfera provêm de vários tipos de fontes. Assim temos as fontes *específicas*, que constituem um sistema complexo de natureza industrial fixa no espaço geográfico, o que facilita avaliar com que grau e com que tipos de poluentes a indústria contribui. Como exemplo citamos as indústrias químicas, metalúrgicas, siderúrgicas etc. Por outro lado temos as fontes *múltiplas*, que podem ser fixas ou móveis, ocorrendo este último caso quando a fonte se desloca no espaço geográfico, o que torna praticamente impossível avaliar o grau e os tipos de poluentes com que estas fontes contribuem no processo da poluição. Este tipo de fonte abrange os meios de transporte, a queima de lixo ao ar livre ou em incineradores, evaporação de produtos de petróleo, além de outras atividades que podem produzir uma gama variada de odores, como as torrefações de café, matadouros, depósito de lixo, canalização de esgotos etc.

Consultando diferentes resultados de pesquisa, podemos elaborar o seguinte quadro das porcentagens médias de diferentes fontes poluidoras do ar nas regiões temperadas:

TABELA 1

Indústria	Doméstica	Transportes	Autor	
40%	20/25%	30 a 35%	Meldau Ruhr	1953
50%	35%	15%	Stell	1962
50 a 63%	26/42%	8/11%	Seg. Hennebo	
35%	23%	42%	Deutscher Gemeindetag	1964

(Tabela 1, seg. Domroes, 1966, 24).

Examinando especificamente os diversos componentes químicos e o material particulado, cada fonte emissora contribui com as seguintes porcentagens:

TABELA 2

	1	2	3	4	5
Monóxido de carbono	76%	8%	1%	5%	10%
Mat. particulado	3%	51%	27%	5,5%	13,5%
Ox. Sulfúrico	3%	18%	77%	1%	1%
Ox. de nitrogênio	51%	1%	44%	2%	2%
Hidrocarbonatos	56%	16%	2%	6%	20%

1 = transporte; 2 = indústria; 3 = fontes estacionárias;  
4 = material em decomposição e demolição; 5 = outros.

No Brasil estas porcentagens devem apresentar algumas variações pelos seguintes motivos:

1. As fontes domésticas devem apresentar porcentagens mais baixas, por não existir o problema do aquecimento das moradias nos meses de inverno, com algumas exceções nos estados sulinos;
2. A distribuição espacial da indústria brasileira, que geralmente se encontra encravada no próprio espaço urbano, não existindo, com raras exceções, indústrias e complexos industriais em áreas rurais, afastadas das cidades;
3. Nas metrópoles brasileiras verifica-se a soma de duas fontes principais — indústria e transporte responsáveis pelas altas taxas de poluição.

#### *Fatores que favorecem ou dificultam a ocorrência da poluição aérea*

O ar atmosférico é um dos condutores de poluentes lançados ao ar pelas diferentes fontes. A distribuição espacial em maior ou menor área é problema que depende de fatores meteorológicos, orográficos e antrópicos. A conjugação destes fatores, atuando diferentemente no tempo e no espaço, provoca variações na concentração de poluentes.

Passaremos a seguir à análise geral, sob forma de síntese, dos fatores que favorecem ou dificultam a ocorrência da poluição aérea.

#### *As massas de ar e os tipos de tempo*

As massas de ar, que afetam o Estado de São Paulo, provêm de diferentes origens, motivo por que apresentam características específicas e geram determinados tipos de tempo.

*As massas polares:* provêm da região Antártica e apresentam baixas temperaturas e baixo grau de umidade. Podendo seguir traje-

tória continental ou marítima para atingir o Estado de São Paulo, estas massas sofrem modificações no seu percurso, tropicalizando-se com maior ou menor rapidez, conforme a estação do ano, ou recebendo o reforço de nova massa fria da retaguarda.

O avanço destas massas geralmente é precedido por aquecimento pré-frontal, chuvas rápidas na passagem da frente, e tempo bom com o domínio da massa que se caracteriza pela estabilidade.

A atuação dessas massas, na latitude do Estado de São Paulo, ocorre principalmente nos meses de inverno. Brino (1974,108) reconhece seis tipos característicos de tempo vinculados aos meses de inverno:

1. À penetração rápida da Frente Polar Atlântica, seguida do domínio do ar polar que se transforma em Polar Velha, associa-se a seguinte seqüência de tempo:

- a) Nublado com ausência de precipitação ou precipitação leve (Frente Polar Atlântica);
- b) Seco e frio com nuvens esparsas (Polar Atlântica);
- c) Seco e ensolarado, alternando-se dias quentes e noites frias (Polar Velha).

2. Ao domínio persistente da massa Tropical Atlântica, os tipos de tempo são os mais secos conhecidos, sucedendo-se dias quentes e ensolarados e noites frescas.

3. À situação de domínio anticiclônico da massa Tropical Atlântica, Polar Atlântica e Polar Velha, correspondem tipos de tempo homogêneos: seco, céu azul e ensolarado e noites límpidas.

4. Na instalação da frente quente, penetração e domínio da massa Tropical Continental, ocorrem tipos de tempo nublado, quentes e abafados (domínio da Tropical Continental).

5. Na ocorrência de calhas na penetração da Frente Polar Atlântica, ocorre ambiente atmosférico chuvoso e parcialmente nublado, com chuvas em formas de pancadas, cedendo, em seguida, lugar a céu limpo.

6. À circulação perturbada, onde ocorre a instalação de frente quente, e, em seguida, a definição de frente fria, correspondem tipos dos mais chuvosos no inverno, quando o céu se apresenta totalmente encoberto.

Os primeiros três tipos de tempo são favoráveis à ocorrência de inversões térmicas, criando condições de concentração de poluentes. Nestes tipos de tempo ocorrem, em São Paulo e Campinas, os altos índices de concentrações de poluentes, quando são declarados os estados de alerta da "Operação Inverno" e quando ocorrem as doenças mais comuns (pulmonares e da vista) vinculadas à poluição. Os últimos três tipos de tempo, associados a vento e precipi-

tação, são favoráveis à dispersão de poluentes, notando-se o efeito de limpeza do ar. (Tabela 3).

As *massas Tropicais*, que podem ser marítimas, quando provenientes do anticiclone do Atlântico Sul, ou continentais, quando se trata de uma Massa Polar Velha ou tropicalizada (falsa tropical), apresentam temperaturas elevadas e alto teor de umidade, o que as tornam estáveis no inverno e instáveis no verão, quando, pelo aquecimento basal, podem provocar intensas chuvas convectivas.

TABELA 3. Porcentagens da frequência anual de tipos de tempo característicos nas estações de inverno e verão e as possibilidades de ocorrência de poluição aérea. (Dados fornecidos por Brino).

INVERNO	POLUIÇÃO AÉREA					
	TIPOS DE TEMPO FAVORÁVEIS			TIPOS DE TEMPO DESFAVORÁVEIS		
	1	2	3	4	5	6
ANO NORMAL	21 %	26 %	23 %	8 %	9 %	12 %
ANO SECO	17 %	40 %	28 %	5 %	10 %	—
ANO ÚMIDO	12 %	24 %	26 %	5 %	12 %	21 %
MÉDIA	70 %			30 %		

VERÃO	POLUIÇÃO AÉREA					
	TIPOS DE TEMPO					
	FAVORÁVEIS			DESFAVORÁVEIS		
	1	2	3	4	5	6
ANO NORMAL	17 %	24 %	24 %	12 %	17 %	6 %
ANO SECO	15 %	21 %	26 %	8 %	26 %	4 %
ANO ÚMIDO	28 %	24 %	21 %	14 %	11 %	2 %
MÉDIA	20 %	23 %	23 %	11 %	18 %	4 %
TOTAL	78 %			22 %		

A *massa Equatorial* apresenta temperatura e umidade mais elevada que as massas tropicais por se originar na linha de convergência dos alísios, próximo ao Equador, e, apesar de ter atuação apenas esporádica no noroeste do Estado de São Paulo, provoca fortes ondas de calor associadas a aguaceiros.

Estas duas massas, Tropicais e Equatorial, predominam nos meses de verão, estação para a qual Brino (1974,110) reconhece seis tipos de tempo característicos:

1. A instalação de frentes estacionárias por período de alguns dias, vinculadas a massas Tropicais, produz tipos de tempo os mais chuvosos de verão apresentando, enquanto persistir este domínio atmosférico, céu nublado e encoberto;

2. Ao domínio persistente de calhas, associam-se tipos de tempo chuvosos com características de chuvas rápidas intercalando-se períodos de céu limpo;

3. À seqüência de atuação de Frente Fria, Calhas e Frente Quente correspondem a sucessão de tipos de tempo chuvoso e encoberto (Frente Fria) e chuvoso intercalado com céu limpo (Calhas), e novamente chuvoso e encoberto (Frente Quente);

4. Na penetração da Frente Polar Atlântica e, em seguida, com domínio de ar polar estacionado sobre o Atlântico, associam-se tipos de tempo nublado (Frente Polar Atlântica), precedendo ambiente atmosférico úmido fresco e encoberto (ar polar);

5. Na sucessão de domínio da massa Tropical Continental, Polar Atlântica, Polar Velha e Tropical Atlântica, ocorrem tipos de tempo homogêneos: secos e estáveis com céu totalmente limpo, perdurando esta situação por diversos dias. Constituem-se nos tipos de tempo mais secos de verão;

6. Na penetração, com vigor, do ar e passagem a Polar Velha, verifica-se a ocorrência de tipos de tempo dos mais frios de verão (Polar Atlântica), seguido de dias quentes e noites frias (Polar Velha).

A estação de verão, devido as constantes precipitações, está praticamente livre da ocorrência de problemas vinculados à poluição; se, porém, estes aparecem, estão associados aos últimos dois tipos de tempo (Tabela 3).

#### O vento

A distribuição espacial do material poluente lançado pelas fontes emissoras depende, além da sua natureza, das trocas atmosféricas horizontais e verticais, ou seja, do vento. Neste elemento climático, se analisarmos o aspecto horizontal, devemos levar em consideração a direção, para a qual se desloca, pois nos fornecerá informações

sobre a área a ser afetada pelos poluentes. A velocidade de deslocamento, bem como a intensidade, nos fornece condições de prever até que distância os poluentes, conforme sua natureza, serão levados. A calmaria, expressa em porcentagem, nos indicará que os poluentes permanecerão próximos à fonte emissora. O parâmetro vento deve ser analisado em função da topografia, uma vez que esta introduz modificações na corrente. Elevações, como serras ou topos de chapadas, podem provocar turbulência, enquanto os vales, se paralelos ao vento, podem canalizá-lo, aumentando sua velocidade e intensidade. Quando na trajetória do vento (da massa de ar), existirem lagos ou baías, extensas áreas verdes, como parques e bosques, verifica-se o enriquecimento da umidade conduzindo ao aumento de peso e deposição de material particulado, despoluindo o ar. A presença do vapor d'água na atmosfera também pode provocar reações químicas, produzindo material poluente secundário.

Os movimentos verticais, associados ou não a turbilhonamentos, representam outra forma de dispersão de poluentes. Ambos os mo-

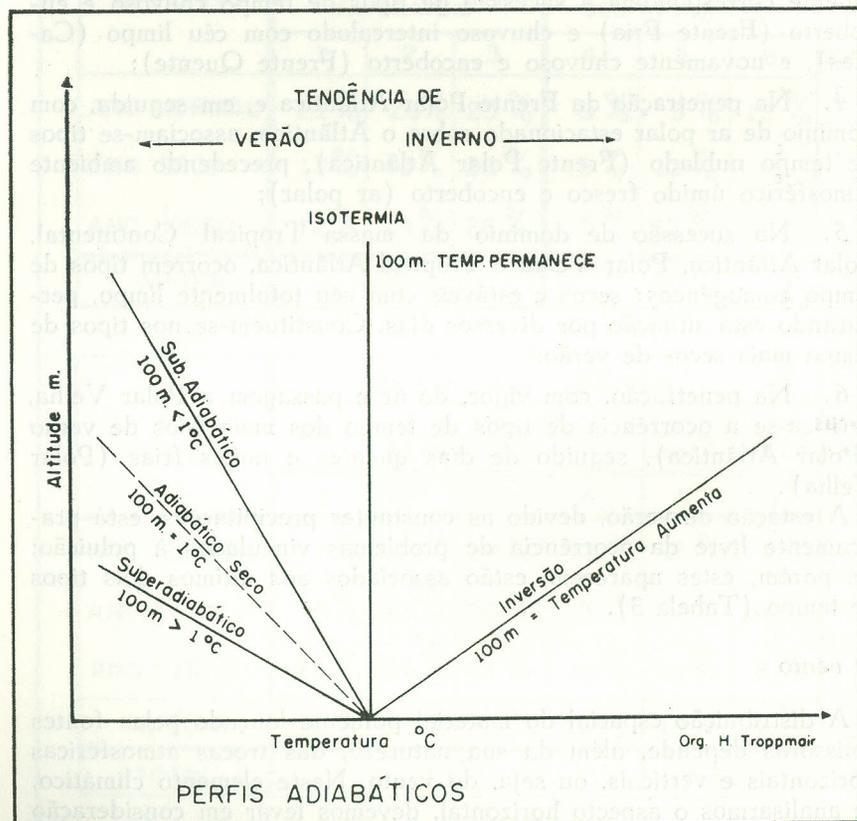


Figura 1

vimentos representam uma mistura e troca do ar mais puro das altas camadas atmosféricas com mais baixas. As trocas verticais, bem como a turbulência, são conseqüências de dois fenômenos:

1. turbulência mecânica, resultado de obstáculos da própria superfície terrestre (topografia, relevo) ou anteparos erguidos pelo homem como cercas vivas ou edifícios;

2. variação da temperatura com a altitude, ou seja, o problema adiabático, que pode apresentar quatro condições características (Fig. 1):

a) Perfil superadiabático — quando a diminuição da temperatura é superior a  $1^{\circ}\text{C}$  por 100 metros de elevação na atmosfera. Nestas condições há grande instabilidade e boa dispersão dos poluentes;

b) Perfil subadiabático — quando a diminuição da temperatura é inferior a  $1^{\circ}\text{C}$  por 100 metros de elevação na atmosfera. A instabilidade é moderada e verifica-se pequena ação dispersiva de poluentes;

c) Perfil isotérmico — não se verifica alteração da temperatura com elevação na atmosfera, ocasião em que há estabilidade e nenhuma ou muito pequena dispersão;

d) Inversão de temperatura — com a elevação na atmosfera verifica-se um aumento da temperatura, ou seja, há estabilidade e a dispersão dos poluentes é nula.

As inversões térmicas merecem algumas linhas especiais, uma vez que é durante sua ocorrência que se verificam os episódios mais acentuados da poluição — que são a causa dos “estados de alerta” ou mesmo de “emergência” declarados pela CETESB. A gênese das inversões térmicas está ligada a dois fenômenos: 1. resfriamento acentuado do solo e, conseqüentemente, das baixas camadas atmosféricas — resfriamento basal — e, 2. inversão de massas polares. As primeiras inversões têm duração efêmera, do por do sol até as primeiras horas da manhã, já as do segundo tipo podem ter duração de vários dias, principalmente quando se verifica o avanço de massas polares frias com centros acusando 1030 mb a 1035 mb, auxiliado por reforço de outras massas de retaguarda. Nestas ocasiões, devido à calmaria, não há trocas verticais no ar atmosférico, ocasião em que se verifica a alta concentração de poluentes que afetam sobremaneira os seres vivos.

#### Precipitação e umidade

A precipitação e a umidade exercem ação limpadora sobre a atmosfera, principalmente sobre o material particulado que é arrastado para o solo. A aproximação da chuva faz ocorrer vários estágios ou

fases de comportamento da atmosfera. Um deles é a ocorrência de ventos de curta duração — inferior a meia hora — e com intensidade 5 e 6 na escala de Beaufort, ou seja, 8 a 14 metros/segundo = 30 a 50 km/h, que precedem a precipitação e contribuem de modo acentuado para elevar o número de partículas sólidas na atmosfera; com a chegada da chuva, nos primeiros momentos, sente-se o cheiro característico de "terra", conseqüência do choque das gotas de chuva com as partículas de argila e limo do solo. Este fenômeno é especialmente notável no fim da estação seca, quando se aproximam as primeiras chuvas e o solo está coberto por uma camada de "pó". Com a continuação da chuva, o material particulado encontrado na atmosfera é umedecido e arrastado para o solo, verificando-se a "ação limpadora" da atmosfera. É lógico que esta ação depende do tipo e tamanho das partículas e do tipo de chuva, que, de acordo com Barat e adaptado por Troppmair (1973,60), pode ser classificada em  *fina*, quando o diâmetro das gotas varia de 0,5 a 2mm, e em  *grossa*, quando o diâmetro se mantém entre 2,1 e 7 mm; se as partículas se mantêm constantes durante a ocorrência da chuva, falamos em  *constante*, caso contrário esta será classificada como  *inconstante*. Esta última classe é subdividida em  *inconstante progressiva* e  *regressiva*, caso haja aumento ou diminuição no diâmetro das partículas. O critério de progressividade e regressividade tanto pode ser aplicado para chuva fina, média ou grossa. Ainda deve ser levado em consideração a área coberta pelas gotículas por unidade de tempo: quando se verificar a superposição das gotas, umedecendo 1 m<sup>2</sup>/segundo, falamos em chuva  *fechada*, caso contrário em chuva  *aberta*. A estes critérios somam-se a intensidade das chuvas, que, dentro dos padrões tropicais, pode ser classificada como  *leve*, quando a precipitação (de forma regular) for inferior a 5 mm/hora,  *média* de 5 a 10 mm/hora, e  *pesada* quando for superior a 10 mm/hora.

Na ocorrência de chuvas médias e pesadas, fechadas, constantes ou inconstantes crescentes, a ação "limpadora" é acentuada.

Pelo motivo exposto, numa análise dos índices de poluição, merece importância especial o regime das chuvas, ou seja, a sua distribuição no decorrer do ano.

Aliás, a própria umidade do ar colabora para o umedecimento e aumento do peso das partículas e as faz depositar; por isso, na época da seca, com baixo teor de umidade, temos os bonitos pores-do-sol, uma vez que o material particulado existente no ar faz o sol parecer uma bola de fogo, enquanto nos meses de verão, com alta umidade e chuva, este fato não se verifica.

Entretanto, a precipitação e a umidade do ar são responsáveis pelo aparecimento de poluentes secundários, uma vez que se verificam reações químicas da água (H<sub>2</sub>O) e do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) resultando o ácido sulfúrico (HSO<sub>2</sub>), o qual, mesmo em

concentração fraca, produz efeitos corrosivos em metais, como em calhas, lataria de automóveis etc.

### O relevo

As formas e a disposição do relevo podem, de modo decisivo, contribuir para que haja elevação ou abaixamento na concentração de poluentes atmosféricos. É sabido que bacias e vales apresentam índices mais elevados de poluição do que topos de morros e de serras, fato este vinculado ao vento, pois as reentrâncias do relevo formam o que Geiger chama de "Lagoa de pó" (Domroes, 1964,34). Verifica-se também que as bacias são especialmente propícias à ocorrência de inversões térmicas. Quanto à disposição e direção de vales e desfiladeiros, sua influência na circulação atmosférica foi apontada ao analisarmos o vento.

### Densidade e tipos de edificações

Áreas densamente edificadas apresentam, de modo geral, índices de poluição mais elevados do que áreas onde a densidade das construções é pequena e dispersa. Este fato está ligado aos seguintes motivos: a) O maior adensamento urbano implica, além da existência de maior número de casas residenciais e comerciais, em maior número de fontes poluidoras, ligadas a pequenos, médios e grandes estabelecimentos industriais; b) O elevado número de construções e o asfaltamento das ruas são responsáveis pela criação de um clima urbano que se caracteriza por temperaturas mais elevadas e teor de umidade mais baixo do que os verificados na área rural, pois verifica-se um balanço térmico que se caracteriza pela absorção maior da energia solar durante o dia, e a reflexão maior (irradiação) durante as noites, criando sobre o espaço urbano um centro ciclônico, que origina as chamadas "campânulas de poluentes". Este fenômeno é diretamente proporcional ao espaço construído, à densidade das edificações e ao número e tipo de estabelecimentos industriais. A existência de um centro ou núcleo com predomínio de arranha-céus, que funciona como anteparo ao vento, dificulta a troca de ar entre as camadas atmosféricas e acentua o fenômeno da poluição.

### Espaços verdes: parques, bosques e jardins

Espaços verdes, conforme demonstraram pesquisas, exercem ação despoluidora sobre as baixas camadas da atmosfera através de processos químicos e físicos.

As reações químicas estão ligadas principalmente à absorção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e liberação de oxigênio (O<sub>2</sub>) pelas formações vegetais. Em termos quantitativos, ainda não está fixada

a intensidade com que se verifica esta troca, pois este processo depende de muitas variáveis como as espécies vegetais, a área ocupada pelo espaço verde, a influência das estações do ano, responsáveis pelos aspectos fenológicos da vegetação. Outro estudo em andamento é sobre a absorção dos gases de enxofre pelos vegetais (Domroes, 1964,36).

As influências físicas provocadas pelos espaços verdes são várias: umas estão ligadas à sua função de anteparo ao vento, provocando turbulência e mudança na sua direção; outra ao fato de a vegetação, pelo processo de evapotranspiração, umedecer o ar atmosférico próximo e, com isso, provocar a deposição das partículas sólidas. As áreas verdes, por apresentarem temperaturas mais baixas do que o ar circundante, alcançam o ponto de orvalho e se cobrem com sereno, no que o material particulado, trazido pelo vento, se deposita e gruda. Espécies latifoliadas decíduas são especialmente favoráveis à deposição do material particulado, pois ao perderem as folhas estas levam consigo as partículas sólidas. É este o motivo porque entre o espaço urbano e os distritos industriais devem existir cinturões verdes formados por espécies latifoliadas decíduas e não espécies aciculiformes.

Estudamos até aqui fatores que diminuem ou acentuam o fenômeno da poluição. Passemos agora às conseqüências do fenômeno sobre os seres vivos.

## II. Conseqüências da poluição sobre os seres vivos

Sabemos hoje que a poluição aérea, da mesma forma como a da água e a do solo, afeta todos os seres vivos. O homem é atingido de forma direta e indireta. Em áreas onde o ar se encontra poluído por material particulado ou por gases tóxicos, doenças pulmonares, cardíacas e da vista são comuns, e especialmente acentuados, quando ocorrem inversões térmicas, ou quando há liberação involuntária de gases tóxicos através de acidentes, em processos de industrialização. Em todos estes casos o homem é atingido de forma direta e as conseqüências sobre a saúde humana são das mais nefastas, chegando algumas vezes a levar à morte. Por outro lado, a poluição atinge o homem de forma indireta através da alteração do meio ambiente, ou de vegetais ou animais que servem à alimentação do homem e que sofreram a ação de agentes poluidores.

Os efeitos negativos são sentidos por todos os seres vivos; assim o material particulado, depositado sobre as folhas, dificulta o desenvolvimento normal das plantas pela redução das atividades fotossintéticas. Se o material depositado for solúvel, em contato com a umidade do ar e da chuva, podem ocorrer reações químicas, pro-

duzindo-se soluções ácidas que prejudicam os vegetais, afetando mesmo o sistema radicular se as soluções ácidas forem transportadas até o solo, e, percolando o mesmo, passam a integrar a solução nutritiva. Domroes (1964,44) cita experiências feitas para se descobrir as taxas limites de gases tóxicos suportáveis por animais e vegetais. Assim, o SO<sub>2</sub> pode ser suportado nas seguintes concentrações: 0,8 mg/m<sup>3</sup>, seg. Katz e Mc. Callum; 0,5 mg/m<sup>3</sup>, seg. a Organização Mundial de Saúde, e 0,35 mg/m<sup>3</sup>, seg. Wislicenus. As diferenças nestes índices devem-se a investigações feitas com diferentes espécies vegetais, quando, simultaneamente, foi demonstrado que as coníferas (aciculiformes) são muito mais sensíveis ao SO<sub>2</sub> do que espécies latifoliadas decíduas, que anualmente trocam as folhas.

## Os líquens e sua ecologia

Os líquens, organismos os mais estranhos, representam a simbiose de um musgo com um fungo, sendo este último de maior destaque. Esta classe de vegetais ocupa espaços que apresentam condições ecológicas as mais diversas. Assim, encontramos líquens em áreas frias como nos pólos e em áreas quentes e secas como nos desertos e ainda sobre os mais diversos substratos como rochas, madeira, e na própria água.

Tratando-se de espécies pouco exigentes, os líquens formam a vegetação pioneira na sucessão vegetal que se desenvolve sobre as rochas desnudas e cascas de árvores. Do ponto de vista fisionômico, estes vegetais apresentam variações que vão desde simples crostas até formas foliares. Segundo Mattick (1954), hoje se conhecem aproximadamente 18.000 a 20.000 espécies de líquens, e que podem ser agrupados, segundo Follmann (1960), nas seguintes classes e ordens:

TABELA 5. Classificação segundo Klement; modificado por Follmann e simplificado por Troppmair.

Classe	Ordem
Epipetetea (litolichenes) (Substr. rochoso) Hidrolichenes (aquáticos)	Rhizocarpetalia (substrato ácido) Xeroverrucarietalia (subs. alcalino) Hydroverrucarietalia
Epigaeetea Pedolichenes (subst. solo.)	
Epiphytetea Epilichenes (epifitas)	Epixyletalia (xilolichenes) Epibryetalia (briolichenes) Epiphyllletalia (epilichenes)

Enquanto o estudo sistemático dos vegetais é objetivo específico da botânica, ao geógrafo interessa a classificação fisionômica, ou

seja, a forma de crescimento. Deste ponto de vista os líquens, quanto ao talo, podem ser classificados em:

1. líquens crustáceos — são os em que o talus achatado fica concrescido em toda extensão com o substrato;

2. líquens de talus foliáceos que se caracterizam por apresentarem o talus achatado (foleado) e parcialmente concrescido com o substrato;

3. líquens de talus arbustivos formam arbustos em miniatura, sendo o talus erecto e ramificado preso ao substrato somente na parte inferior.

A existência e o desenvolvimento dos líquens dependem de fatores ecológicos: bióticos, edáficos e climáticos.

Entre os fatores *bióticos* devemos observar a influência direta ou indireta dos animais e do homem. Assim, os animais arranham ou comem as cascas de árvores destruindo os líquens, enquanto pássaros os utilizam na construção de ninhos, e lesmas e traças os destroem. O homem afeta diretamente os líquens quando realiza pulverizações e caiações e, de modo indireto, a urbanização com um clima local específico, o clima urbano, associado aos poluentes, é responsável pelo desaparecimento dos líquens.

Quanto aos fatores *edáficos* analisaremos aqui apenas os troncos de árvores como substrato, pois estas interessam à nossa pesquisa. Maiores detalhes a respeito de sua fixação sobre rochas podem ser encontrados em Follmann (1960) e outros autores. Os troncos de árvores revestem-se de uma camada epidérmica ou casca.

É nas cascas ásperas, que favorecem a fixação dos líquens enquanto as lisas a dificultam, que se verifica maior absorção da umidade e uma "canalização" da água da chuva. Ao mesmo tempo, nesse tipo de casca verifica-se maior acúmulo de pó nas reentrâncias, o que vem criar condições para a formação da solução nutritiva. Considerando que numa sucessão de líquens, para o desenvolvimento dos estágios pioneiro, ótimo, final e clímax, há necessidade de longo espaço de tempo, devemos observar, para o fim a que nos propusemos, espécies arbóreas com cascas perenes (tipo ipê) e não os que realizam trocas anuais ou bianuais, como o eucalipto.

A ocorrência e a localização de líquens depende também de fatores *climáticos*, principalmente microclimáticos ligados à luminosidade e à umidade. Os líquens são amantes da luz, desde que esta não incida de forma direta. Assim, encontramos estes vegetais mais numerosas vezes em bordas do que no interior da mata, onde há redução acentuada da luz (Troppmair, 1969). A umidade é de grande importância para os líquens que, através de processos fisiológicos, aproveitam não apenas a água da chuva, mas também o sereno e o vapor d'água (umidade atmosférica) que os circundam.

Por outro lado, estes vegetais suportam elevadas temperaturas bem como amplitudes térmicas acentuadas (Follmann, 1960,73).

Quanto aos aspectos ligados à ecologia urbana, Domroes (1966,52) afirma: "O crescimento de líquens em centros urbanos é afetado de duas maneiras pela poluição atmosférica: de forma indireta, os processos de assimilação e de crescimento ficam reduzidos pela diminuição da luminosidade (por causa da existência de material particulado na atmosfera) e de forma direta pela deposição de pó, cinzas e material particulado na superfície de assimilação dos líquens, em especial nas espécies com forma de crescimento em crosta, quando inclusive o talus é afetado por processos químicos. Dentro das emissões, os poluentes gasosos devem ser encarados como os mais prejudiciais aos líquens, principalmente no que se refere ao dióxido de enxofre, conforme demonstram estudos e pesquisas experimentais".

#### *Ocorrência e frequência de líquens em áreas urbanas*

Em 1926, Sernander, baseado na quantidade e grau de cobertura, estabeleceu a terminologia para as diferentes áreas de ocorrência de líquens em regiões urbanas, terminologia que se mantém até hoje e que reconhece três zonas: normal, contestada e desértica. A *zona normal (Normalzone)* se confunde com o macroclima da região, excluindo-se, portanto, as aglomerações urbanas ou áreas, mesmo restritas, onde existam condições que impeçam o desenvolvimento normal dos líquens. A *zona contestada (Kampfzone)* representa uma faixa de transição na periferia das aglomerações urbanas, a franja de transição, onde as espécies de líquens mais sensíveis já desaparecem, face ao contato com o clima urbano. Sernander (1926) e Domroes (1964) subdividem esta zona em externa, portanto, em contato com a zona normal, mediana e interna, estando esta última em contato com a zona desértica. A *zona desértica (Flechtenwueste)* abrange as áreas urbanas centrais e industriais onde as condições ecológicas não permitem mais a ocorrência de líquens.

Baseado na classificação exposta e levando-se em consideração o grau de cobertura dos líquens em troncos, no lado da predominância da incidência dos ventos (*Wetterseite*), e após feita a correção conforme a asperidade do substrato, estabelecemos, a fim de poder realizar comparações com outras pesquisas, classes que se aproximam bastante das de Ochsner (1927) e Domroes (1966).

Classe V — grau de cobertura de 50% a 100% — zona normal

Classe IV — grau de cobertura de 25% a 50% — zona contestada externa

Classe III — grau de cobertura de 12% a 25% — zona contestada mediana

Classe II — grau de cobertura de 12% a 6% — zona contestada interna

Classe I — grau de cobertura inferior a 6% — deserto de líquens

Nos autores citados, a classe I abrange de 6,25% a 3,125% e a classe O de 3,125% a 0%. Como se trata de porcentagens com aproximação de milésimos, impossíveis de serem estimados e calculados no campo, e, apesar de fatores locais (disposição de determinadas ruas em relação ao vento ou à circulação urbana) poderem propiciar ocorrências esporádicas de líquens, a classe I (da nossa escala) — com porcentagens inferiores a 6%, foi por nós considerada como “deserto de líquens”. (Tabela 4).

TABELA 4. Classes do grau de cobertura de líquens segundo vários autores

%	Ochsner (1927)	Ochsner (1935)	Braun-Blanquet (1951)	Domroes (1966)	Troppmair (1976)
100					
90		V	V		
80	V			IV	V
70		IV	IV		
60					
50		III	III		
40	IV			III	IV
30		II	II		
20	III			II	III
10	II	I	I		II
0	I			I	I
0	0	0	0	0	0

### Técnicas empregadas no levantamento da cobertura de líquens

No levantamento de líquens e musgos (estes últimos apenas para confirmar quando surgiram dúvidas), na cidade de Campinas, foi examinada a ocorrência desses vegetais sobre troncos de árvores em vias públicas, praças e jardins públicos, não se levando em consideração árvores de quintais ou algumas encontradas isoladamente. O levantamento incluiu aproximadamente 10.000 árvores, nos quais foram examinadas as ocorrência e densidade dos líquens (e musgos) numa altura de 2 a 2,5m, no lado de maior incidência dos ventos, onde estes vegetais apresentam maior densidade. Foi escolhida esta altura, pois escapa a possíveis caiações, ao mesmo tempo que permite fácil observação. Como a arborização das vias é feita por diferentes espécies arbóreas, a rugosidade e aspereza das cascas variam, o que nos levou a fazer as correções das porcentagens da cobertura obtidas em campo, considerando-se a casca do Ipê Amarelo (*Tabebuia pulcherrima*) como índice um.

Apesar do levantamento ter sido feito no fim da estação chuvosa — fevereiro a maio de 1975 — portanto numa época do ano favorável aos líquens e musgos, notou-se grande pobreza destes vegetais, sendo os mais comuns os crustáceos e os foliares. Em trabalho de campo, as observações, baseadas nas classes estabelecidas, foram lançadas numa planta da cidade na escala de 1:10.000. A grande quantidade e a densidade dos dados obtidos, para o espaço urbano de Campinas, permitiram facilmente delimitar as diferentes zonas, passando-se a partir daquele momento, à interpretação do mapa elaborado, procurando-se explicar as causas da variação de ocorrência de líquens no espaço urbano de Campinas.

### Análise da vegetação urbana de Campinas

Campinas é, no interior paulista, uma das cidades mais arborizadas, pois, segundo levantamento feito<sup>1</sup> apresenta o índice de 6,4 m<sup>2</sup> área verde/habitante, enquanto na maioria das cidades paulistas este índice não alcança 5m<sup>2</sup> área verde/habitante. Como exemplos podemos citar Piracicaba (0,1 m<sup>2</sup>) e Rio Claro (2,8 m<sup>2</sup>) de área verde por habitante (Troppmair 1976,63). Em Campinas, as áreas verdes se distribuem sobre toda a cidade, mas o centro da cidade é a área mais carente enquanto em direção à periferia estas aumentam em número e área. Quanto à arborização das ruas, notamos que é feita de modo sistemático, e a situação atual é resultado do trabalho contínuo de vários governos municipais. Apesar da dificuldade e dos problemas que a arborização de vias públicas cria (Troppmair, 1976,63), a Prefeitura de Campinas reconheceu a necessidade desta

1. Maria Lúcia Hermann — Estagiária do Inst. Agrônomo de Campinas.

medida, não apenas em áreas restritas, como pequenos jardins, mas abrangendo de forma global todo o espaço urbanizado.

As espécies mais empregadas na arborização, em ordem alfabética, são:

Acácia Javanica	<i>Cassia javanica</i>
Alecrim	<i>Holocalix glaziovii</i>
Alfaneiro	<i>Ligustrum vulgare</i>
Boemia	<i>Boehmeria</i>
Crevilha	<i>Grevillea hiliiana</i>
Eletrim	(Solanácea)
Jatobá	<i>Hymenoea courbaril</i>
Jacarandá mimoso	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>
Ipê amarelo	<i>Tabebuia pulcherrima</i>
Magnólia	<i>Magnolia grandiflora</i>
Palmeira real	<i>Oreodoxa obracea</i>
Pê-de-mico	
Sombreiro ou sete andares	
Tipuana	<i>Tipuana tipu</i>
?	<i>Tripazo brasiliensis</i>

#### Zoneamento da ocorrência de líquens e da poluição aérea de Campinas

A análise da Fig. 2 permite facilmente reconhecer as três zonas que caracterizam a ocorrência de líquens: desértica, contestada (interna, mediana e externa) e a normal, que se apresentam de forma concêntrica.

O *deserto de líquens* corresponde à classe I onde o grau de cobertura dos líquens é inferior a 6% e onde a poluição aérea apresenta concentração máxima. Esta área de aproximadamente 2 km<sup>2</sup> coincide com o centro de Campinas, caracterizada pelo adensamento de prédios com 10 e mais andares, sendo cortada por avenidas de intensa circulação urbana.

A zona *contestada interna* corresponde à classe II, onde o grau de cobertura dos líquens varia de 6% a 12%, onde a poluição aérea é alta. De forma compacta, esta zona apresenta forma quadrangular com aproximadamente 20 km<sup>2</sup>, abrangendo os bairros: Vila Itapuna, Ponte Preta, proximidades de Vila Sant' Ana e Jôquei Clube. Notam-se alguns tentáculos que acompanham as grandes vias de circulação: Avenidas São Paulo, Heitor Penteado, das Amoreiras, Andrade Neves e Brasil.

Zona *contestada mediana* abrange a classe III, com grau de cobertura de líquens variando de 12 a 25%, a poluição aérea, comparada com as outras áreas, se apresenta média. Esta área de 15 km<sup>2</sup>, aproximadamente, forma uma coroa em torno da zona II,

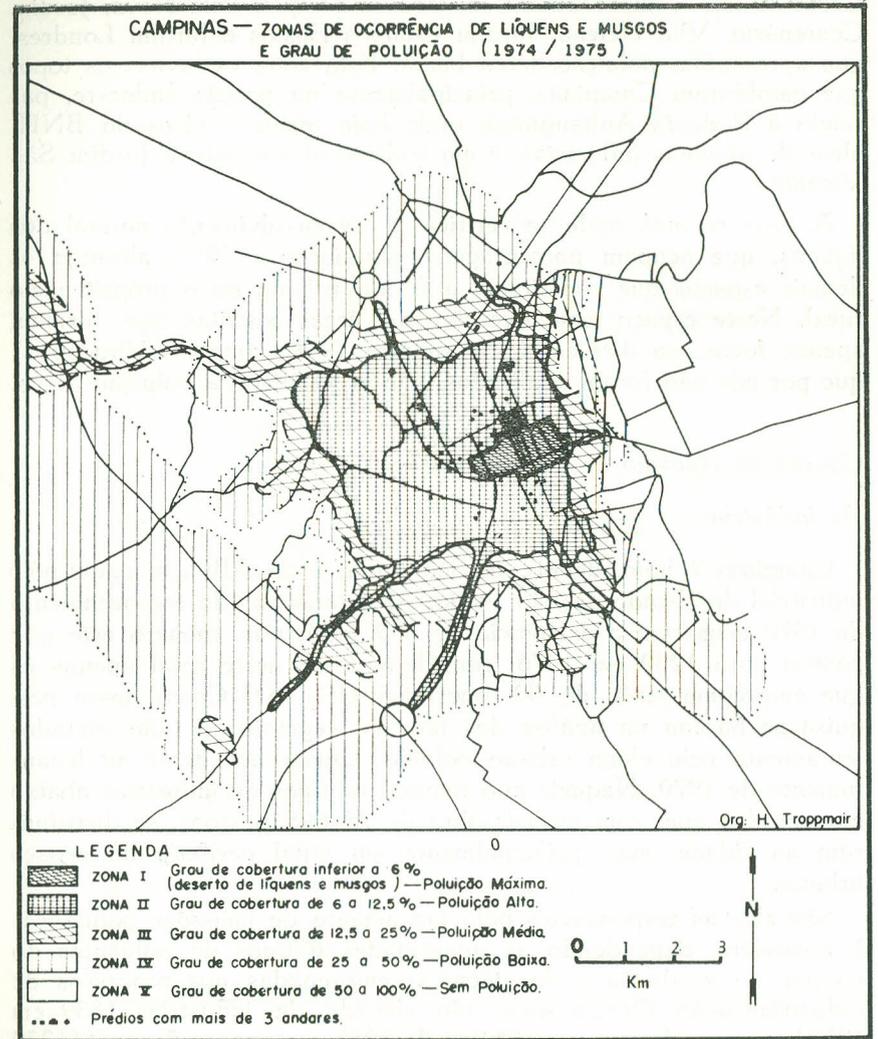


Figura 2

abrangendo os bairros: Bosque, Vila Abelino Rossa, Vila Andrade Neves, Jardim Bandeirantes, Jardim Bonfim, Vila Industrial e Jardim Leonor. Esta zona ocupa as encostas do anfiteatro que a topografia forma, e em cuja parte central situa-se o centro e a parte mais velha de Campinas. Nota-se na delimitação desta zona um alongamento em direção sul, abrangendo o Jardim Leonor.

A zona *contestada externa*, onde o grau de cobertura dos líquens varia de 25% a 50%, portanto classe IV, abrange aproximada-

mente 70 km<sup>2</sup>, compreendendo os bairros Bosque, Vila Nova, Jardim Centenário, Vila Helena, Jardim Campos Elísios e Jardim Londres, que apresentam poluição aérea baixa. Esta zona extravasa os topos que emolduram Campinas, principalmente na porção sudoeste, paralelo à Rodovia Anhangüera, onde hoje temos núcleos do BNH, além de algumas indústrias, e em sudeste alcançando o Jardim São Vicente.

A zona *normal*, onde se verifica o desenvolvimento normal dos líquens, que ocupam porcentagens superiores a 50%, abrange os demais espaços que constituem a franja urbana ou o próprio meio rural. Neste espaço, com exceção de áreas restritas que formam apenas focos, na direção sul e sudeste (via Campinas-Viracopos) que por nós não foram analisados, não se verificou a poluição aérea.

### Causas da poluição de Campinas

#### As indústrias

Campinas é hoje, depois de São Paulo e do ABC, o maior pólo industrial do Estado de São Paulo. As estatísticas do recenseamento de 1970 acusaram a existência de 839 indústrias, número este que passou para 1230 em 1976, considerando-se neste total apenas as que empregam mais de 50 operários (Fig. 3). Como nossa pesquisa se baseou na análise dos líquens, vegetais que são afetados lentamente pelo clima urbano poluído, vamos nos deter no levantamento de 1970. Naquele ano tivemos os tipos de indústrias abaixo enumerados que, com mão-de-obra de 25.698 pessoas, se distribuíram na cidade, mas, principalmente, na atual periferia do espaço urbano.

São elas as responsáveis pelo lançamento de emissões poluidoras à atmosfera, dependendo as quantidades e tipos de poluentes do volume de produção e das técnicas empregadas nos processos de industrialização. Ora, a soma tão elevada de indústrias (839 em 1970) e que sofreu um acréscimo de 50% em apenas 5 anos (1230 em 1976) contribuiu de forma acentuada para que ocorram fenômenos de poluição aérea em Campinas.

#### A circulação rodoviária

A cidade de Campinas conta hoje (1976) com uma população de 460.000 habitantes, contra 350.000 habitantes em 1970, 183.000 em 1950 e 130.000 em 1940. A planta da cidade (Fig. 3) mostra que existem dois tipos de traçados: o tabuleiro de xadrez, na porção mais antiga da cidade (centro e proximidades) e jardim inglês mais

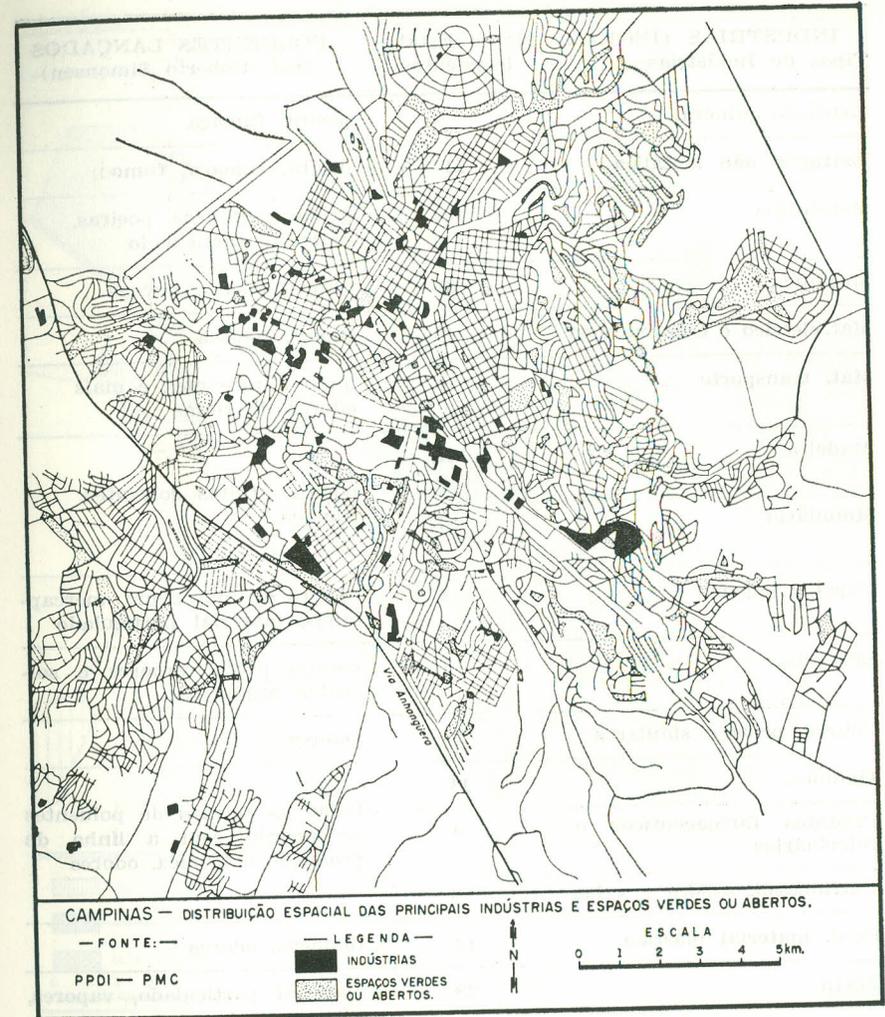


Figura 3

em direção à periferia, onde o relevo de algumas áreas se apresenta mais movimentado. A expansão contínua do espaço urbano, feita sem planejamento, deu origem a diversos bairros, cujas ruas não seguem direções e alinhamentos pré-estabelecidos. Mesmo assim, pode-se reconhecer o predomínio das ruas com direção NO-SE e NE-SO, e certa radialidade, não a partir de um ponto fixo, como uma praça, mas sim a partir do centro em geral. A rede viária caracteriza-se, principalmente na parte central da cidade, por ruas es-

INDÚSTRIAS (IBGE) Tipos de Indústrias	Nº de Estabelecimentos	POLUENTES LANÇADOS (Inst. Roberto Simonsen)
Extração mineral	7	poeira, fumaça
Extração não metálica	110	poeira, fumaça, fumo
Metalurgia	102	óxidos metálicos, poeiras, material particulado
Mecânica	63	fumos, poeira, névoas
Mat. elétrico e Comunicação	40	fumos, névoas
Mat. transporte	15	igual à mecânica e mais odores de tintas
Madeira	32	
Mobiliário	82	poeiras, tintas solventes, fumaça
Papel e papelão	8	sulfeto de hidrogênio, mercaptanas, material particulado
Borracha	7	carvão preto, vapores e solventes orgânicos.
Couros, peles e similares	3	Odores
Química	14	
Produtos farmacêuticos e veterinários	5	todas as formas de poluentes de acordo com a linha de produção e técnica, odores
Perfumaria, sabões e velas	9	
Prod. material plástico	12	fumaças, odores
Têxtil	29	material particulado, vapores, névoas
Vestuário, calçado, artefatos de tecidos	57	material particulado, odores
Produtos alimentares	160	
Bebidas	14	poeiras, odores
Fumo	1	material particulado, odores
Editorial e gráfico	40	odores e material particulado
Diversos	29	
Total	839	

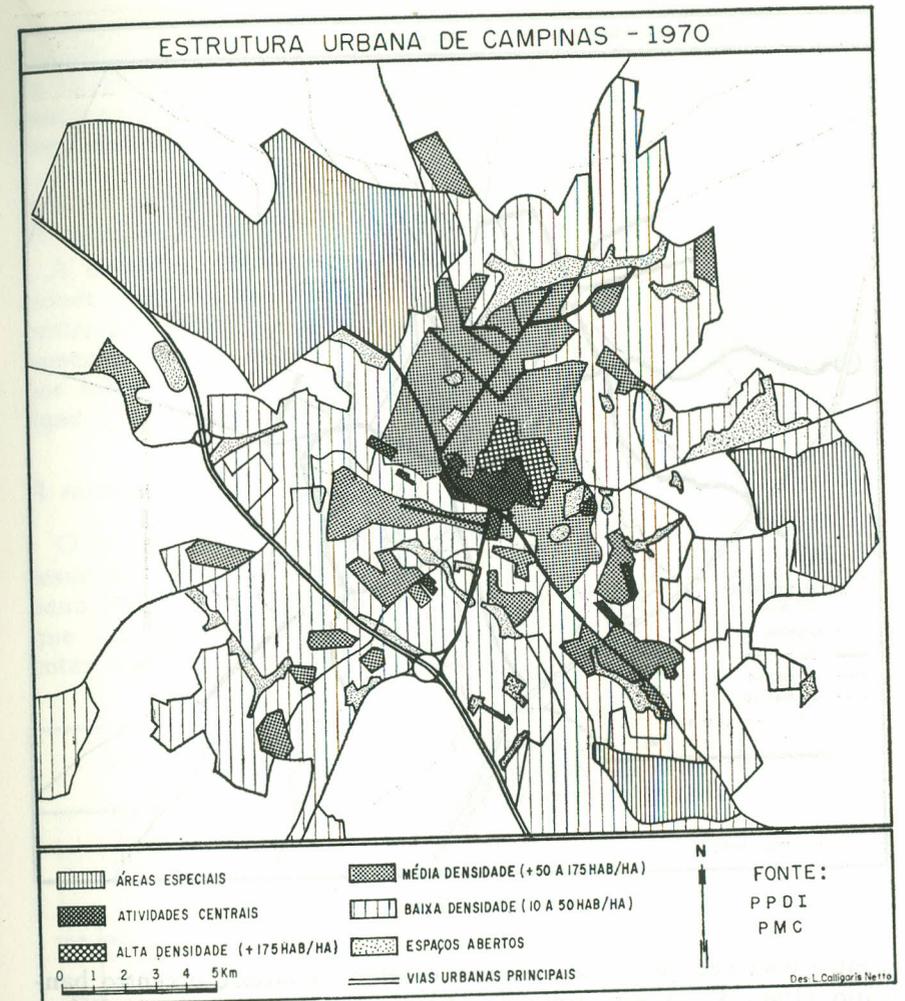


Figura 4

treitas com largura inferior a 10 metros (13 de Maio, Bernardino de Campos, Alvarenga Machado e muitas outras), porém já há uma rede viária básica que sofre constante ampliação, visando dar condições de maior e mais rápido fluxo aos veículos. Assim, surgiram avenidas com 14 m, 24 m e 30 m de largura, muitas delas com pista dupla. Dr. Moraes Sales, Avenida Princesa Doeste podem ser citadas como exemplos (Fig. 3 e 5).

Nesta rede circula uma frota de 64.000 (1975) autoveículos, associados a outros que vêm de fora, e, que na maioria se dirigem ao

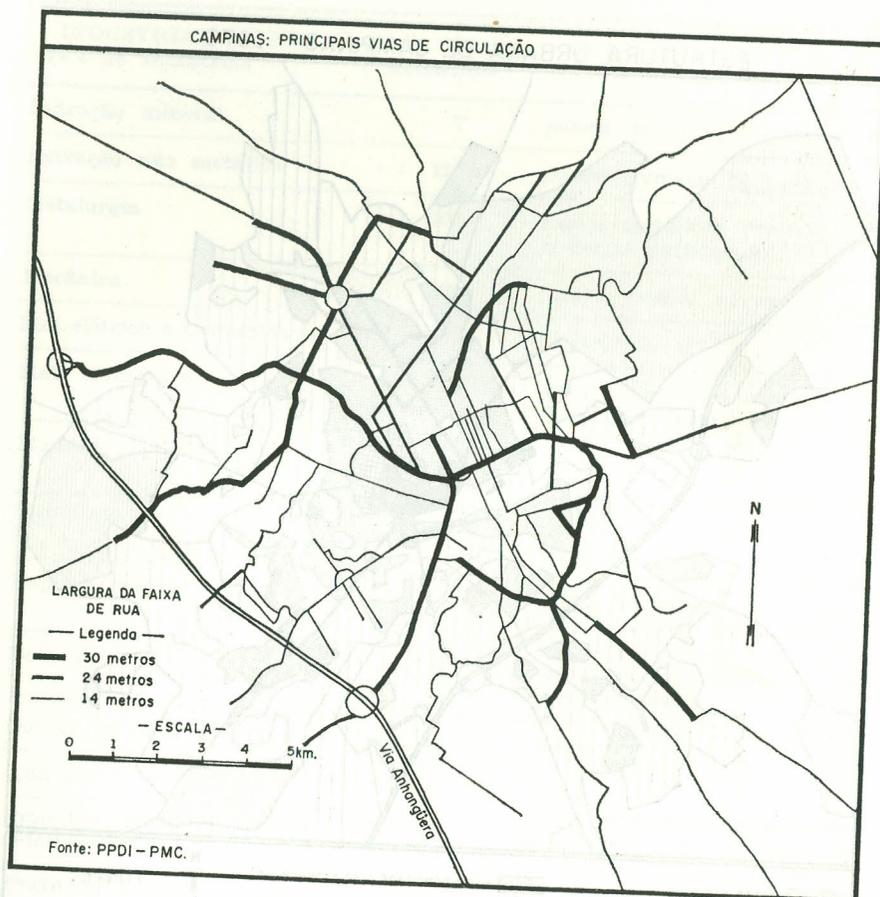


Figura 5

centro uma vez que aí se encontra o setor terciário e o centro bancário (Fig. 3). A esta frota de veículos somam-se ainda 41 linhas de ônibus urbanos, dos quais mais de 50% têm seu ponto inicial no centro da cidade (9 linhas = 23% na Avenida Francisco Glicério, 3 = 7% na Praça Rui Barbosa, 5 = 10% na Benjamim Constant, 4 = 9% na Dr. Campos Sales), enquanto muitas outras linhas cortam o centro. Existem ainda 19 companhias municipais que antes se dirigiam para o centro ou próximo à estação ferroviária e que hoje têm seu ponto final na estação rodoviária. A circulação deste elevado número de veículos mantém um fluxo semanal constante, notando-se apenas ligeiro aumento (3%) às sextas feiras e uma diminuição de 5% aos sábados e de 25% aos domingos. Quanto ao fluxo diário este registra índices menores das 2 às 6 horas da manhã, alcançando um pico às 8 horas (60%), coincidindo com o iní-

cio das atividades do setor terciário, para decrescer até 12/13 horas quando é alcançado novo pico (65%), decrescendo novamente até as 15/16 horas quando surge nova elevação (45%) para culminar com o pico máximo entre 17/18 horas, quando são alcançados 100%, decrescendo a partir deste momento até a madrugada. Aos sábados e domingos as curvas se mantêm paralelas aos dias úteis, porém, com porcentagens menores e leve deslocamento dos picos em relação às horas de ocorrência. (Fig. 6).

A circulação ininterrupta desta frota de veículos pelo centro da cidade, uma vez que não existe perimetral completa, provoca a concentração elevada de monóxido de carbono, fato agravado nos cruzamentos das grandes avenidas, onde os semáforos, permanecendo por longo tempo fechados, retêm os veículos que, com os motores ligados, acentuam a poluição aérea.

#### A topografia

O núcleo inicial de Campinas aninhou-se num grande anfiteatro, resultado da ação erosiva de riachos que cortam o atual espaço urbano. Hoje, o espaço edificado já ultrapassou este anfiteatro, em que a parte mais baixa da cidade — centro e adjacências, acusa cotas altimétricas de 600 a 650 metros, enquanto os topos Castelo,

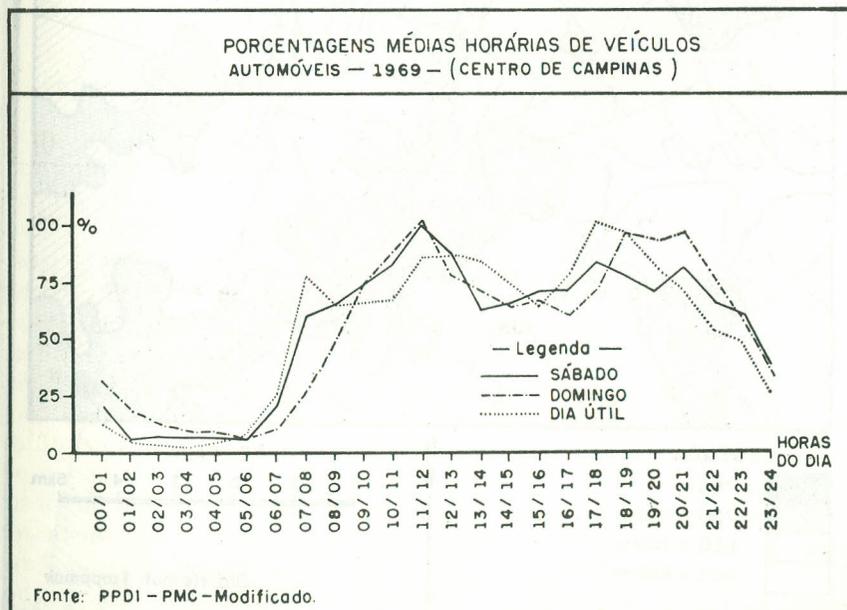


Figura 6

Vila Industrial, Jardins Proença, Paineiras, Flamboyam, acusam cotas de 700 e 750 metros (Fig. 7).

Os perfis AB, AC e AD, traçados através do espaço urbano-Castelo — Jardim Flamboyam; Castelo-Jardim das Paineiras e Castelo-Jardim Proença, acusam desníveis de 120 m, 100 m e 50 metros, respectivamente. Numa escala mais ampla temos os perfis E-F = Jardim Boa Esperança — Vila Industrial, abrangendo extensão de 7800 m e um desnível de 115 metros, enquanto o perfil G-H =

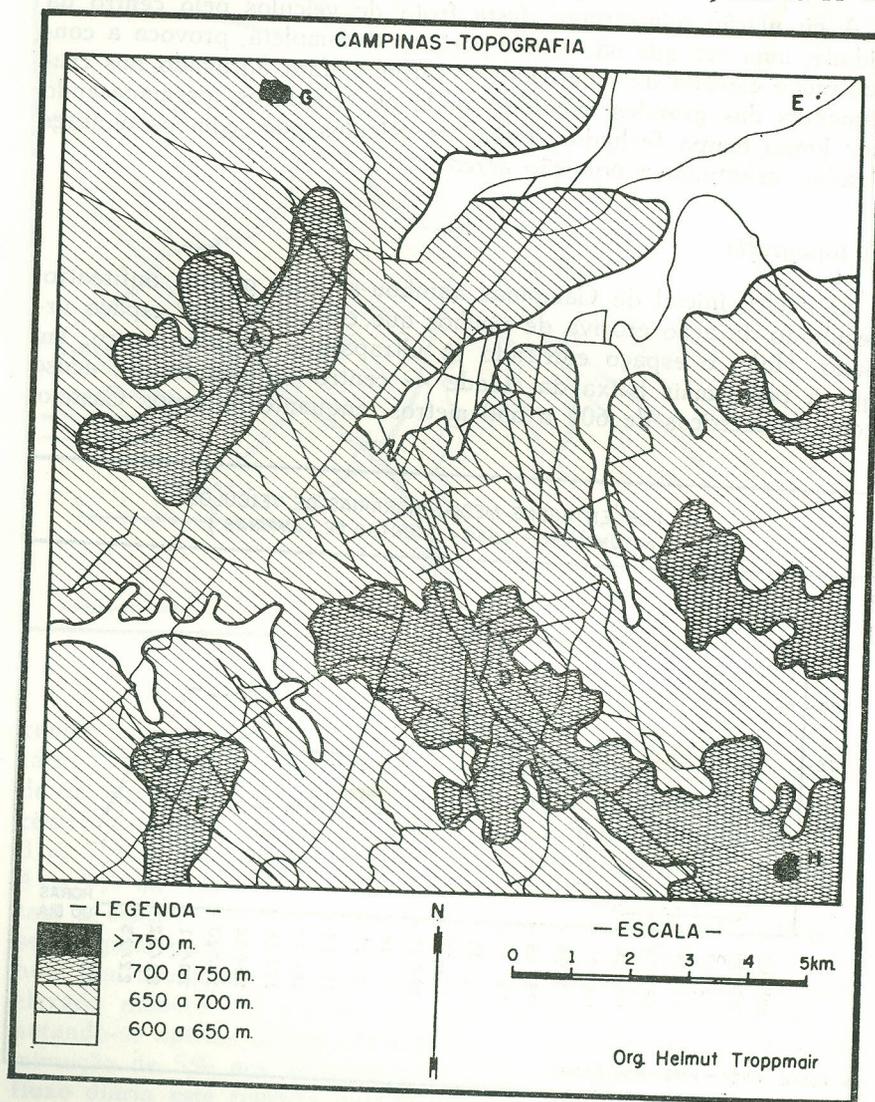


Figura 7

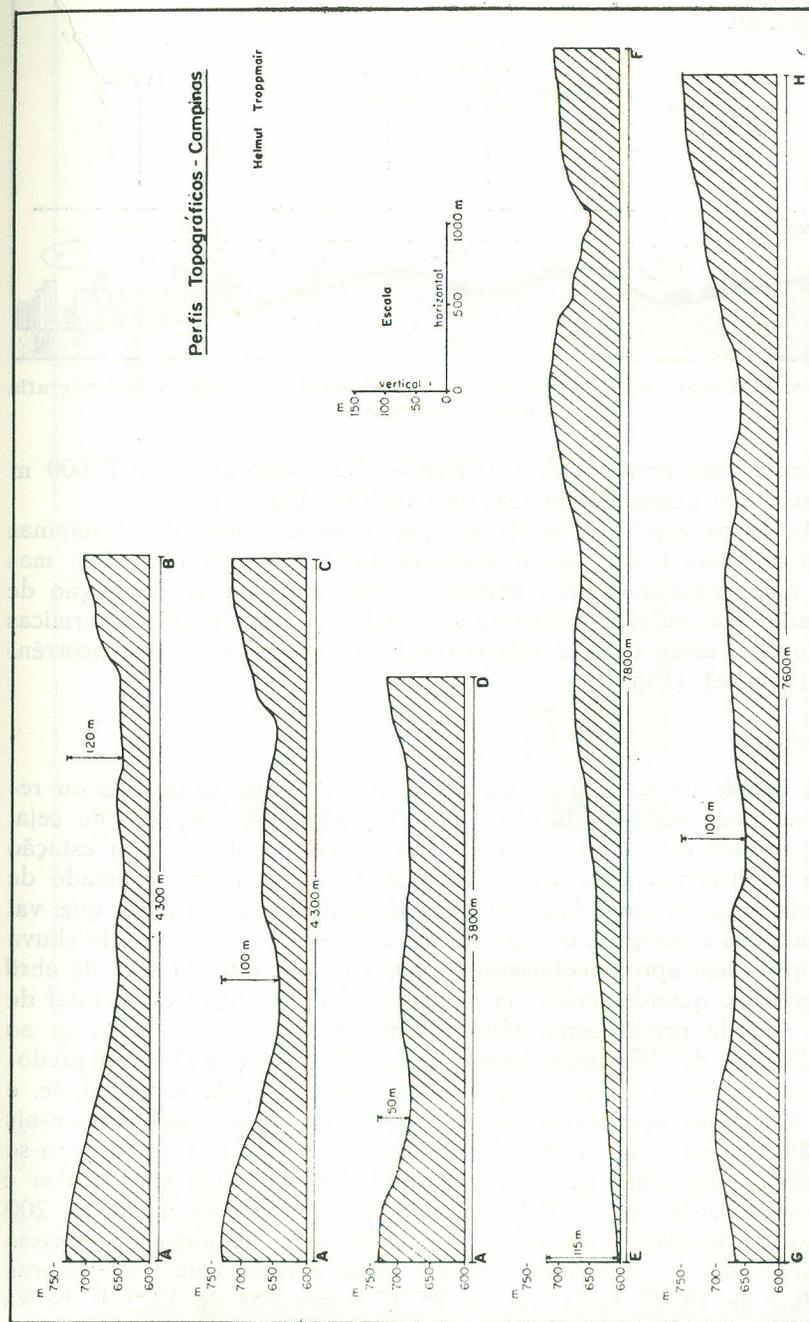


Figura 8

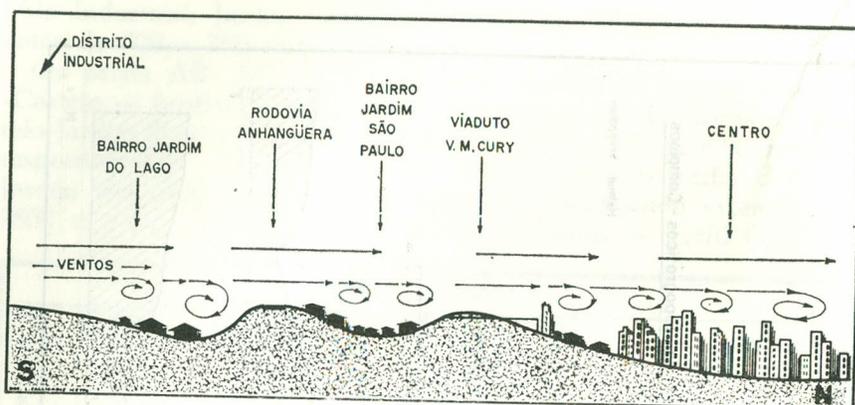


Figura 9. Perturbação da circulação atmosférica S-N causada pela topografia local de Campinas.

Jardim Nossa Senhora Auxiliadora — Vila Geórgia, com 7.600 m de extensão acusa 100 metros de desnível (Fig. 8).

Os dados expostos mostram que grande parte de Campinas situa-se numa bacia, que é atingida dificilmente pelos ventos, mas o é pelo turbilhonamento destes, o que provoca a deposição de material particulado. Esclarece-se, ainda, que as inversões térmicas encontram neste tipo de relevo condições favoráveis à sua ocorrência (gênese) (Fig. 9).

#### O clima

A cidade de Campinas, do ponto de vista macroclimático ou regional, pode ser classificado como *Aw*, segundo *Koepfen*, ou seja, temperatura média do mês mais frio superior a 18.°C com estação seca no inverno. Este tipo climático é simplesmente chamado de "clima tropical com duas estações definidas": a chuvosa, que vai de outubro a março, e que conta com uma média de 80 dias de chuva em que caem aproximadamente 1.000 mm, e a estação seca de abril a setembro quando temos em média 30 dias de chuva e um total de 300 mm de precipitação. Esta alternância de estações deve-se ao predomínio de diferentes massas de ar. Na estação chuvosa predominam as massas tropicais que se caracterizam pela instabilidade, e em Campinas apresentam altas temperaturas com médias mensais de 23.°C (máximas de 30.°C e mínimas de 19.°C), apresentando-se os dias geralmente encobertos e nublados. Os dias ensolarados e claros são inferiores a 7 dias por mês, havendo uma média de 200 horas de insolação mensal. No período seco dominam as massas polares que se apresentam estáveis, secas e frias, com temperaturas médias de 19.°C (máximas de 25.°C e mínimas de 12.°C). Nesta estação do ano, 15 a 20 dias por mês se apresentam ensolarados e

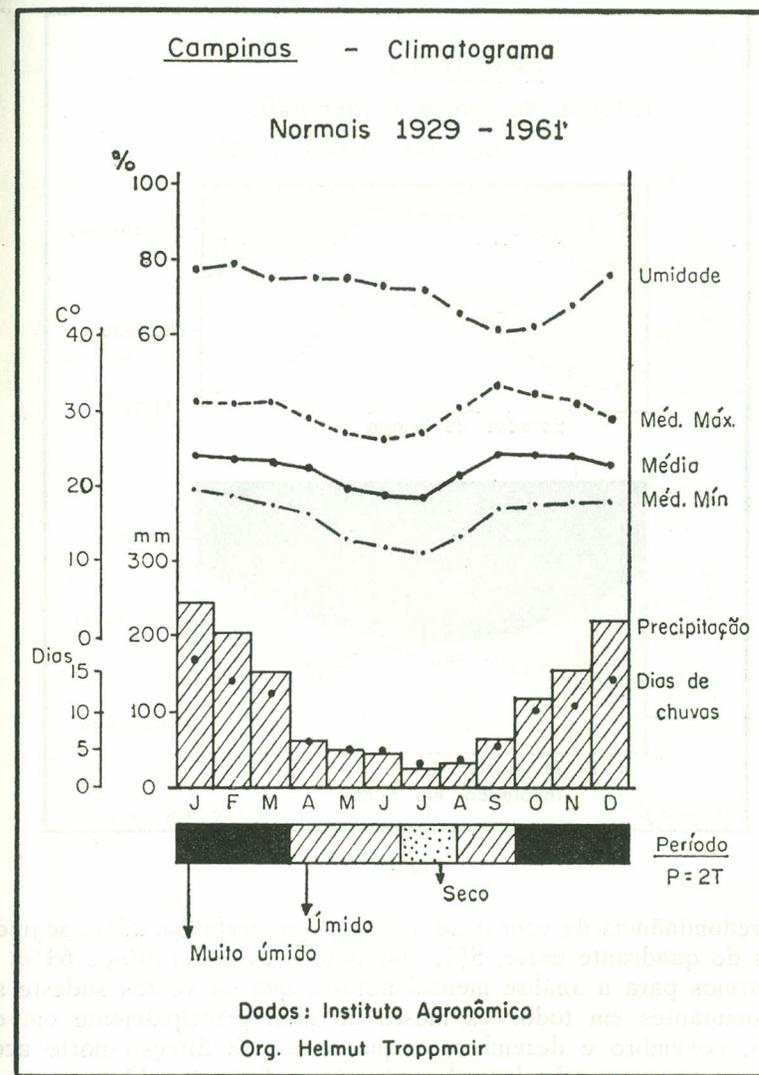


Figura 10

claros, permitindo uma insolação média de 300 horas. Estes dados lançados num climograma, construído segundo Walter — Gausson (P=2T), indicam que há um período superúmido (de outubro a março), dois períodos úmidos (abril maio junho, a 2.ª quinzena de agosto e setembro) e um período seco (julho e a 1.ª quinzena de agosto) (Fig. 10 e 11).

Dentro dos elementos climáticos que merecem destaque para este trabalho está o vento. A Fig. 12 mostra que na distribuição anual

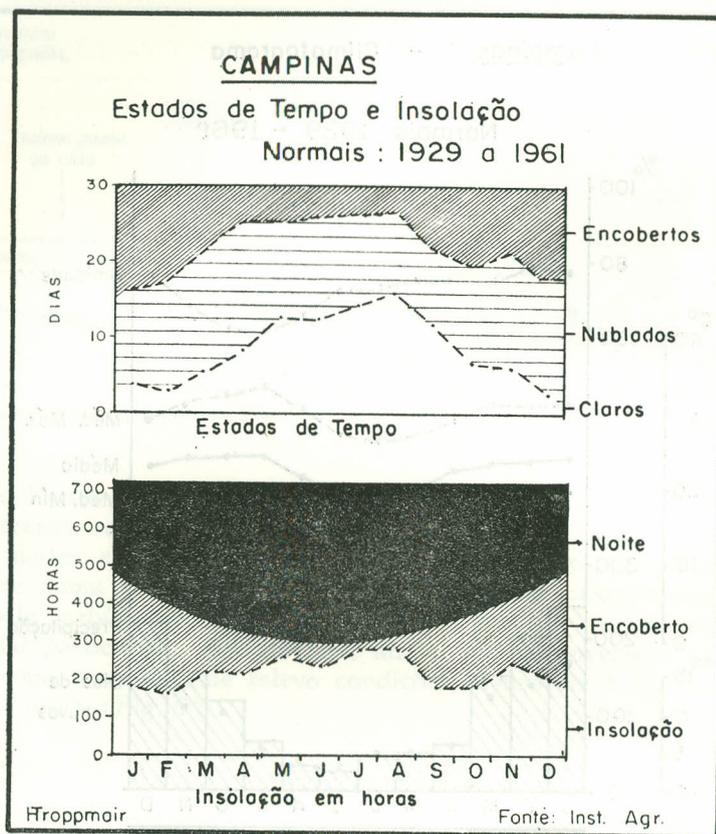


Figura 11

há predominância de ventos de sudeste, que perfazem 22%, seguidos pelos do quadrante norte, 5%, enquanto a calmaria atinge 64%. Se passarmos para a análise mensal nota-se que os ventos sudeste são predominantes em todos os meses do ano, principalmente em outubro, novembro e dezembro, enquanto os de direção norte acentuam-se nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Quanto ao aspecto intensidade, o gráfico revela o destaque da intensidade 3 na escala de Beaufort, que corresponde à velocidade 4 a 5 metros por segundo, sendo que este índice perfaz mais de 50% dos ventos.

Examinando o quadro climático do ponto de vista da poluição, temos dois aspectos: na estação chuvosa, a precipitação abundante associada aos ventos de sudeste são fatores favoráveis à dispersão dos poluentes, já na estação seca — inverno — com baixas temperaturas e freqüentes inversões térmicas, ventos de sudeste que levam os poluentes em forma de leque sobre a cidade, mas princi-

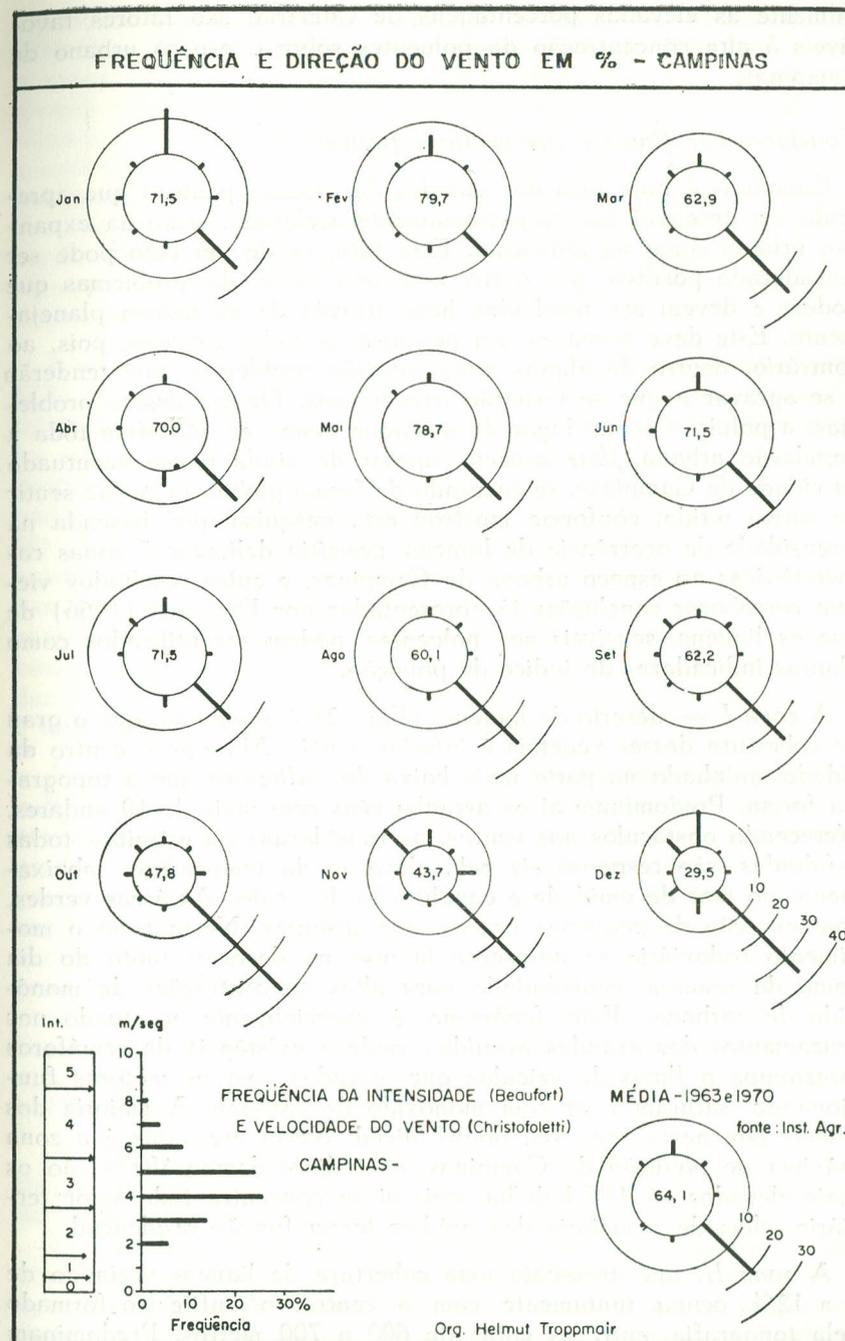


Figura 12

palmente as elevadas porcentagens de calmaria, são fatores favoráveis à alta concentração de poluentes sobre o espaço urbano de Campinas.

#### *Considerações finais e perspectivas futuras*

Campinas é hoje uma das cidades do interior paulista que apresenta um desenvolvimento extremamente acelerado, tanto na expansão urbana como na industrial. Este fato, se de um lado pode ser considerado positivo, por outro cria uma série de problemas que podem e devem ser resolvidos hoje através de cuidadoso planejamento. Este deve basear-se em pesquisas e dados precisos, pois, ao contrário, dentro de alguns anos surgirão problemas que tenderão a se agravar e que se tornarão irreversíveis. Dentro desses problemas, a poluição ocupa lugar de destaque, uma vez que afeta toda a população urbana. Este aspecto, apesar de ainda pouco acentuado na cidade de Campinas, se encarado de forma global, já se faz sentir de forma nítida, conforme mostrou esta pesquisa que, baseada na intensidade de ocorrência de líquens, permitiu delimitar 5 zonas características no espaço urbano de Campinas, e cujos resultados vieram corroborar conclusões já apresentadas por Domroes (1966) de que os líquens, sensíveis aos poluentes, podem ser utilizados como plantas indicadoras do índice de poluição.

A *zona I* — deserto de líquens, (Fig. 2) é aquela em que o grau de cobertura desses vegetais é inferior a 6%. Abrange o centro da cidade, aninhado na parte mais baixa do anfiteatro que a topografia forma. Predominam aí os arranha céus com mais de 10 andares, oferecendo obstáculos aos ventos, as ruas largas ou estreitas, todas asfaltadas, são responsáveis pela elevação da temperatura, abaixamento do teor de umidade e canalização do vento. As áreas verdes, com exceção de pequenas praças, são ausentes. Nesta zona o movimento rodoviário se apresenta intenso no decorrer tanto do dia como da semana, contribuindo para altas concentrações de monóxido de carbono. Este fenômeno é especialmente acentuado nos cruzamentos das grandes avenidas, onde a existência de semáforos interrompe o fluxo de veículos que, parados com os motores funcionando, saturam o ar com monóxido de carbono. A maioria dos ônibus tem nesta zona seu ponto inicial. Nesta área, que é a zona máxima de poluição de Campinas, os índices demográficos são os mais elevados — 175 hab./ha, pois aí se concentra todo setor terciário, além de a maioria dos prédios terem função residencial.

A *zona II*, que apresenta uma cobertura de líquens variando de 6 a 12%, ocupa, juntamente com o centro, o anfiteatro formado pela topografia, entre as cotas de 600 a 700 metros. Predominam nesta área os prédios térreos e os sobrados, apesar de que nas pro-

ximidades do centro (*zona I*) alguns arranha céus podem ser encontrados. As ruas asfaltadas são estreitas, com exceção de algumas grandes avenidas que formam a rede viária básica e apresentam grande movimento de carros, repetindo-se portanto os mesmos fenômenos que contribuem para a ocorrência da poluição no centro, apesar de menos acentuado. Alguns espaços verdes ou áreas abertas são encontradas. Esta zona, como também o centro, está abrigada de ventos e é sujeita às inversões térmicas, no inverno. Desta forma, verificam-se altos índices de poluição acentuados pela existência de algumas fábricas, afetando toda população que aí apresenta densidades de 50 a 175 hab./ha.

A *zona III*, com grau de cobertura de líquens variando entre 12% e 25%, apresenta poluição média. Esta zona envolve a anterior em forma de coroa de 500 metros, a leste, até 2.500 metros, ao sul. Preenchendo o restante do anfiteatro formado pela topografia, esta área extravasa e alcança os topos planos, após ter galgado as vertentes de declividade suave, como ocorre na porção sul. Há predominância de casas térreas, ruas asfaltadas, notando-se a existência de pequenas áreas verdes e 12 indústrias de porte médio para grande. A circulação rodoviária é pequena, excessão nas vias de acesso. A circulação atmosférica, excluindo-se a parte localizada na bacia, já se apresenta mais livre, de modo que a população, com densidades média (de 50 a 175 hab./ha) e baixa (10 a 50 hab./ha.) é afetada por uma poluição aérea média.

A *zona IV*, com grau de cobertura de líquens variando entre 25% a 50%, abrange 70 km<sup>2</sup> do espaço urbano de Campinas. São bairros novos localizados nos topos de 700 a 750 metros, com casas térreas, grande número de ruas asfaltadas, cortadas por algumas vias de grande circulação. Os espaços verdes são restritos em área e número, enquanto 14 indústrias de porte médio para grande aí podem ser encontrados. A penetração de vento, uma vez que a *zona IV* ocupa principalmente os topos, exerce ação limpadora. A via Anhangüera representa um obstáculo à dispersão de poluentes de modo que os bairros além — rodovia (BNH) com densidade demográfica de 10 a 50 hab./ha, ou menos, são afetados apenas de forma fraca pela poluição aérea.

A *zona V* abrange o espaço não construído ou com densidade demográfica inferior a 10 hab./ha. Nestas áreas o desenvolvimento de líquens é normal, não se sentindo a influência poluidora.

Analisando o fenômeno da poluição como um todo verificamos ainda que no fim da estação seca, quando as temperaturas já se apresentam mais elevadas do que no inverno, forma-se sobre a cidade um centro de baixa pressão, originando uma campânula de material poluente, o chamado *urban dust dome*, e que em Campinas,

na porção central do espaço urbano, atinge a altura de 400 a 500 metros por 20 a 25 km de diâmetro, facilmente visível a longa distância.

Numa perspectiva futura verifica-se que a cidade de Campinas terá uma série de problemas vinculados à poluição, apesar das providências já tomadas. Campinas criou seu Distrito Industrial localizado ao sul, na rodovia que liga a cidade ao aeroporto de Viracopos, área esta dotada de infra-estrutura básica. Este fato, além de sobregar a Prefeitura de dar incentivos, pode levá-la a exigir das indústrias a instalarem providências que beneficiarão toda a população; entretanto, sua localização não é a mais adequada em função dos fatores ecológicos reinantes. Vejamos: os ventos dominantes na região provêm do quadrante sudeste, e por esta razão levam os poluentes em direção noroeste, e não de forma linear, mas sim em forma de leque, de modo que a cidade de Campinas será afetada por estes poluentes, principalmente o centro, que está numa bacia, e os bairros a sudeste da cidade, de desenvolvimento mais acelerado, e que estão diretamente na linha dos ventos.

O aeroporto de Viracopos, também ao sul de Campinas, contribui para poluir o ar pois, no levantar de vôos é que se verifica a combustão mais intensa pelos motores das aeronaves, o que produz grande quantidade de gases tóxicos e material particulado.

A noroeste de Campinas temos a Refinaria de Paulínia que, por causa da chama permanente de combustão, contribui com fumaça, material particulado e gases, para a poluição do ar. Este material, conforme as condições meteorológicas reinantes, pode formar uma cortina de fumaça com mais de 50 km de extensão. Nota-se, portanto, que Campinas tem no eixo dos ventos predominantes dois pólos poluentes: ao sul o Distrito Industrial e o Aeroporto de Viracopos e a noroeste Paulínia. Desta forma, novas indústrias que se forem instalando deveriam ser encaminhadas para áreas localizadas em direções de onde não sopra o vento, enquanto as indústrias já existentes devem ser fiscalizadas para que mantenham o lançamento de material poluidor à atmosfera sob controle.

Quanto à circulação rodoviária, em Campinas, como em outra cidade qualquer, tende a aumentar, e com isso as concentrações de monóxido de carbono e material particulado. As vias expressas, construídas nos últimos anos, amenizam o problema por uma década, porém não o resolvem a longo prazo. Desta forma, novas perimetrais e espaços para a implantação do metrô a superfície (menos oneroso) devem ser planejados hoje, pois o centro se apresenta já quase saturado; outra medida a ser tomada é a de distribuir os pontos iniciais dos transportes coletivos por todo o centro e não concentrá-los em apenas dois ou três pontos, e, ainda, afastar os carros particulares do centro da cidade, que deverá ser alcançado por meio de transporte coletivo.

Se tomadas estas medidas, Campinas amenizará os problemas ligados à poluição aérea, que hoje, apesar de já existente, ainda não representa um problema irreversível e insolúvel.

#### BIBLIOGRAFIA

- Brino, W. (1973). *Contribuição à definição climática da Bacia do Corumbatai e adjacências (SP), dando ênfase à caracterização dos tipos de tempo*. Tese Doutorado, mimeografada, FFCL de Rio Claro, Rio Claro.
- Domroes, M. (1966). *Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Baume*. Ed. Dummler, Bonn.
- Follmann, G. (1960). *Flechtenleben*. Ed. Oldenbourg-Orionbucher, Munique.
- Geiger, R. (1961). *Das Klima der bodennahen Luftschicht*, Braunschweig.
- Instituto Roberto Simonsen (1974). *I Curso de Poluição do Ar*, mimeografado, São Paulo.
- Mattik, F. (1954). *Lichenes*. In: "Engler Syllabus der Pflanzenfamilien", vol. I, Berlin.
- Ochsner, F. (1927). *Studien über die Epiphyten-Vegetation der Schweiz*. Dissert, Sta. Gallen.
- Sernander, R. (1926). *Stockholms Natur*. Uppsala e Estocolmo.
- Troppmair, H. (1969). *Considerações sobre as condições naturais e alguns aspectos da Geografia Agrária no Município de Descalvado*. Tese de Doutorado, mimeografado, FFCL Rio Claro, Rio Claro; (1973). *Estudo zoogeográfico e ecológico das formigas do gênero Atta (Hymenoptera) com ênfase sobre a Atta laevigata (Smith, 1858) no Estado de São Paulo*. Tese de Livre-Docência, mimeografada, FFCL Rio Claro, Rio Claro; (1976). "Estudo biogeográfico das áreas verdes de duas cidades médias do interior paulista: Piracicaba e Rio Claro". *Geografia*, vol. I, n° 1, São Paulo.
- Vareschi, V. (1953). "La influencia de los bosques y parques sobre el aire de la Ciudad de Caracas". *Acta Científica Venezolana*, Vol. IV, n° 3, Caracas.

#### Outros documentos:

- Carta topográfica 1:10.000 — Prefeitura Municipal de Campinas.  
Guia Banyan — Campinas 1974.  
Planta da cidade de Campinas — Ed. Banyan. 1:10.000 — 1974.  
Recenseamentos 1.970 IBGE.  
Jornal *O Estado de S. Paulo*, 3/8/76.

#### RESUMO

No presente estudo o autor mostra que os líquens são vegetais sensíveis aos poluentes aéreos, podendo ser utilizados como indicadores do grau de poluição. Três aspectos são focalizados neste trabalho: a) Considerações gerais sobre a poluição do ar (tipos de fontes poluidoras, o tempo, a topografia, densidade e tipos de edificações e os espaços verdes); b) Os líquens e sua ecologia (fatores bióticos, edáficos e climáticos e a ocorrência de líquens em espaços urbanos); c) Zonas de poluição aérea em Campinas e

suas causas (intensidade da poluição, caracterização das zonas). O trabalho conclui com uma série de sugestões que devem ser tomadas para minimizar o problema.

#### ABSTRACT

*Biogeographic study on lichens as plant indicators of air pollution of the city of Campinas, SP, Brazil.*

In this paper the author shows that lichens are plants which are sensitive to air pollutants and therefore can be used as indicators of the pollution degree. Three aspects are considered: a) general considerations on air pollution (Types of polluting sources, the weather, topography, density and types of buildings, green areas); b) Lichens and their ecology (biotic, edaphic and climatic factors, the occurrence of lichens in urban areas); c) Air-pollution zones in Campinas and their causes (intensity of pollution, characterization of zones). The author finally offers suggestions as to what should be done to minimize the problem.

#### ZUSAMMENFASSUNG

*Biogeographische Studie des Flechtenbewuchs als Biologische Indikatoren des Luftverunreinigungsgrades im Stadtraum Campinas, SP, Brasilien.*

Der Verfasser zeigt das Flechten luftverunreinigungs empfindliche Pflanzen sind und daher als Zeiger des Luftverschmutzungsgrades verwendet werden können. Drei Aspekte werden in dieser Arbeit behandelt: a) Allgemeine Grundzüge der Luftverunreinigung (Ursachen, Wetter, Relief, Bebauungsdichte und Grünanlagen); b) Die Flechten und ihre Ökologie (Biotische, Edaphische und Klimatische Faktoren, Flechtenvorkommnis im Stadtraum); c) Luftverunreinigungsgebiete im Stadtraum Campinas und Begründung derselben. (Luftverunreinigungszonierung und ihre Charakterisierung). Zuletzt schlägt der Verfasser eine Folge von Massnahmen vor die zur Minderung des Problems durchgefuehrt werden koennen.

## A PROPÓSITO DE UMA MEDIDA DA CENTRALIDADE URBANA NO ESTADO DA BAHIA (\*)

SYLVIO CARLOS BANDEIRA DE MELLO E SILVA (\*\*)

A medida da centralidade urbana é aspecto de elevada importância em estudos de organização espacial. O geógrafo alemão Walter Christaller (1933) foi o pioneiro na análise da centralidade, tendo formulado uma teoria sobre o papel das localidades centrais, isto é, das cidades consideradas centro de região, no sistema econômico-espacial, e uma metodologia para a determinação da centralidade destas localidades.

### O CONCEITO DE CENTRALIDADE URBANA

Segundo Christaller, no processo de distribuição espacial de bens e serviços, dois conceitos seriam fundamentais. Primeiramente, devemos destacar o conceito de limiar (*threshold value*) que seria o nível mínimo da demanda capaz de assegurar a produção de um bem ou serviço. O segundo conceito é o do alcance de um bem ou serviço (*the range of a good*) pelo qual entende-se a maior distância que a população dispersa se dispõe a percorrer, objetivando adquirir um bem ou utilizar um serviço. Seria, em outras palavras, a demanda vista espacialmente.

A esta altura, é preciso considerar que os valores referentes aos limiares e aos alcances para os diversos bens e serviços variam bastante, segundo os próprios tipos de bens e serviços. Alguns possuem baixos limiares, correspondendo aos de categoria inferior, e um conseqüente alcance limitado. Outros necessitam de um mais alto nível de demanda para serem oferecidos, correspondendo a um alcance mais extenso. Assim, por exemplo, um Ambulatório Médico tem um baixo limiar e um correspondente baixo alcance, enquanto que

\* Trabalho apresentado ao 2º Encontro Nacional de Geógrafos, Belo Horizonte, MG, de 8 a 12/7/76.

\*\* Professor-Titular do Instituto de Geociências da UFBA.