

# A CIDADE DE CURITIBA/PR E A POLUIÇÃO DO AR IMPLICAÇÕES DE SEUS ATRIBUTOS URBANOS E GEO-ECOLÓGICOS NA DISPERSÃO DE POLUENTES EM PERÍODO DE INVERNO<sup>1</sup>

Inês Moresco Danni-Oliveira (\*)

## INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais que decorrem do intenso crescimento populacional das cidades em consórcio com os advindos dos aspectos sócio-econômicos, em muitas cidades e áreas metropolitanas brasileiras resultam, freqüentemente, em situações de colapso de seu meio, quer por episódios de transbordamento de seus rios ou de sua rede de esgotos pluviais, de desmoronamentos das vertentes de seus morros, quer por situações de alto comprometimento da qualidade do ar que seus moradores respiram.

O ar das áreas urbano-industriais é, nos dias atuais, um dos recursos ambientais em que as atividades antrópicas atuam mais direta e continuamente, tanto no âmbito de seus aspectos termodinâmicos quanto físico-químicos. No primeiro caso, as trocas de energia e umidade entre a superfície urbano-industrial e o ar que a recobre, geram campos térmico-higrométricos diferenciados pela intensidade de uso e ocupação do solo urbano e intensidade das atividades neles desenvolvidas<sup>2</sup>. De igual maneira, as estruturas e formas urbanas interagem do nível meso ao microclimático com os padrões locais de vento<sup>3</sup>, e em conseqüência com a dissipação intra-urbana de energia e dos contaminantes do ar.

O segundo caso diz respeito ao conceito de poluição do ar que envolve necessariamente a noção de contaminantes que ocorrem na atmosfera. Estes, atuam como modificadores das características físico-químicas do ar das cidades de acordo com os tipos de fontes, e na dependência das condições meteorológicas locais. O grau de alteração da atmosfera urbana decorrente da presença de contaminantes, indicará a intensidade de atuação de dois de seus principais agentes promotores: as atividades industriais e os veículos automotores (SEINFELD, 1975, p.1, CETESB,1996 ,p.10 ).

Serão assim considerados como contaminantes, tomando-se o ar como meio de propagação, tudo o que nele for adicionado como exótico ou excessivo aos seus valores naturais, e que venha a causar prejuízos à saúde de pessoas e animais, e danos às plantas e materiais

Na década de 70, quando a população urbana brasileira ultrapassou o índice de 56% de participação na população total ( SANTOS, 1994, p.135), a Região Metropolitana de Curitiba sobressaiu-se por apresentar a maior taxa de crescimento (5,78%) em relação às demais regiões metropolitanas do país.. Na década seguinte (1980-1991), embora este índice tenha caído para 3,64 %, ele expressa um acentuado incremento populacional, que lhe permitiu continuar "captaneando" o ranque de crescimento das Regiões Metropolitanas Brasileiras (FIRKOWSKI, 1997). Este acelerado crescimento manifesta-se em Curitiba pelo "salto" populacional que a cidade deu de 1970, quando sua população era de 609.026 habitantes, para 1.465.698 em 1996..

Na tentativa de ordenar tal crescimento urbano, no período de 1971-1983 foi implementado pelos governos municipais locais o Plano Urbanístico de Curitiba que, graças a um bem desenvolvido trabalho municipal de "marketing", hoje a caracteriza e a conduz, nacional e internacionalmente, a patamares de cidade de primeiro mundo (OLIVEIRA, 1995).

A cidade, porém, apesar e por conta de seu planejamento, não escapou das mazelas de tão vertiginoso incremento populacional, não fazendo juz à propalada imagem de cidade ecológica que suas últimas gestões municipais tentam passar, a despeito de ter alguns bem sucedidos programas ambientais, como o do lixo que não é lixo, e de possuir o maior índice nacional de área verde por habitante. A camada de ar que recobre a cidade em nível do que na Climatologia chama-se de "boundary layer" (OKE, 1978), não escapa à ação derivadora desse processo de crescimento que Curitiba vem apresentando, como atestam os resultados preliminares encontrados em algumas pesquisas (DANNI-OLIVEIRA, 1992 e 1997 ).

Além da natural expansão da ocupação do solo urbano para os limites territoriais do município, a partir da década de 80 o adensamento populacional tem se manifestado notadamente pela verticalização de suas

---

(\*) Laboratório de Climatologia Geográfica/UFPR –Curitiba/Brasil

<sup>1</sup> Este trabalho constitui-se em uma parte da tese de doutorado apresentada a FFLCH/USP – São Paulo, sob orientação do Prof. Dr. José Bueno Conti, e defendida em 02/02/2000.

<sup>2</sup> Muitos são os estudos que tratam dos campos termo-higrométricos nas cidades brasileiras, dos quais destaca-se aqui BRANDÃO, 1996; MENDONÇA,1994; e DANNI, 1987.

<sup>3</sup> A este respeito ver MONTEIRO, 1990, que analisou o vento intra-urbano do centro de Florianópolis, como um dos componentes do campo térmico da cidade.

construções ao longo das principais vias de circulação da cidade, denominadas de Eixos Estruturais, que assim podem estar atuando como verdadeiras barreiras à livre circulação do ar.

Manifestando-se no cotidiano dos habitantes da cidade por meio dos costumeiros engarrafamentos de tráfego, o expressivo aumento da frota de veículos, vem somar-se às evidências de crescimento da cidade, e constituir-se numa das principais fontes de poluentes do ar. A literatura internacional tem mostrado que à exceção das cidades que são predominantemente industriais, as demais têm nos veículos sua maior fonte poluidora do ar. MAGE e outros (1996, p.682) estudando 20 *megacidades* (população superior a 10 milhões de pessoas até o ano 2.000, na definição do autor), a maioria de países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, detectou que o tráfego de veículos é a maior fonte de poluição em 10 delas: Bangkok, Beijing, Cairo, Jakarta, Karachi, Los Angeles, Manila, México, São Paulo, e Seul.

Assim, levada pelas indagações de como estaria se processando a dispersão dos poluentes diante do quadro de intenso trânsito de veículos e uma estrutura urbana linear com elevado adensamento vertical, procedeu-se ao desenvolvimento desta pesquisa. A mesma busca a compreensão da espacialização dos contaminantes do ar na cidade na perspectiva de entender como as feições urbano-topográficas locais articulam-se com estes parâmetros, e como os mesmos são afetados pela dinâmica atmosférica regional.

Ao sítio de feições topográficas suaves da cidade, cujos maiores desníveis encontram-se em áreas limitadas de sua porção nordeste e giram em torno de 100 metros, impôs-se nos sentidos norte-sul, este-oeste, uma *topografia edificada* preferencialmente ao longo dos terrenos de cota média de 900 metros, ou cruzando os vales fluviais de 850 metros de altitude, que se intercalam com estes “espigões”. Esta verticalização, ao configurar-se como verdadeira cortina de concreto, tende a alterar a rugosidade da superfície local, ora canalizando os ventos, ora atuando como barreiras à livre circulação do ar. Assim, em ocasiões sinópticas de estagnação atmosférica, a qualidade do ar pode ficar comprometida, uma vez que a estrutura topográfica edificada tende a propiciar o confinamento dos poluentes lançados pelo intenso trânsito de veículos automotores que nela trafegam, onde os vales são constituídos pelas ruas, e a verticalidade das paredes dos prédios vêm formar vertentes abruptas, constituindo-se em verdadeiras falésias e canyons urbanos. Ressalta-se o fato da cidade localizar-se na borda ocidental da rota de deslocamento do sistema Anticiclônico Migratório Polar Atlântico, cuja massa de ar tende a dominar as situações de estabilidade atmosférica, notadamente no período de inverno, quando sua permanência e/ou frequência na região é maior.

Diante das características morfo-estruturais e de funcionalidade urbanas imputadas à cidade, e ainda na perspectiva da continuidade de seu crescimento em consonância com o de sua Região Metropolitana, vem ressaltar ainda mais a esta pesquisa a necessidade de avaliar-se a ação derivadora promovida por seus atributos urbanos sobre a qualidade do ar que seus cidadãos respiram.

Sob tais perspectivas, a mesma tem por objetivo geral analisar espacial e temporalmente o comportamento dos parâmetros físico-químicos selecionados no âmbito da camada de ar intra-urbano (“canopy layer”), diante da ação derivadora promovida pelos atributos da morfologia e de funcionalidade da cidade de Curitiba, com vistas a contribuir para com as questões de gerenciamento da qualidade de seu ar

## **METODOLOGIA**

Para alcançar o objetivo último de avaliar a qualidade do ar em Curitiba, adotou-se como referencial metodológico as propostas apresentadas por MONTEIRO em “Derivações Antropogênicas dos Geossistemas Terrestres no Brasil e Alterações Climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação” (1978), e “Teoria e Clima Urbano”(1976).

O modelo metodológico construído a partir das duas proposições resultou, primeiramente, em selecionar os parâmetros geoecológicos do lugar (variável natureza) e aqueles referentes ao fato urbano (variável sociedade) nele implantado. Apesar de tomados individualmente, a distinção entre “natureza e sociedade não sugere uma separação na análise mas, ao contrário, visa dar possibilidade de articulação e entrosamento entre ambas” (MONTEIRO, 1978:61), por ocasião do cruzamento de seus atributos.

A partir dos fundamentos do Sistema Clima Urbano propostos no já citado “Teoria e Clima Urbano” (1976), foi possível, num segundo momento, detalhar o modelo metodológico utilizado, selecionando e organizando os elementos (eles próprios variáveis do espaço – SANTOS, 1997, p.10) que se articulam com as variáveis em estudo. Estas fazem parte do subsistema físico-químico que compõem o sistema clima urbano, aqui entendido como resultante da interação entre o clima de Curitiba e sua urbanização (MONTEIRO, 1978, p.95). Assim, o canal de percepção utilizado corresponde à comparação das concentrações dos poluentes do ar como material particulado (MP), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>), a partir da amostragem de pontos discretos da área urbana de Curitiba, de modo a permitir uma avaliação relativa de sua qualidade do ar.

O subsistema físico químico resultante foi estruturado levando-se em conta a conexão existente entre seus elementos geocológicos como vento, umidade relativa, chuva, topografia e tipos de tempo; e com àqueles urbanos responsáveis pela presença de contaminantes no ar, decorrentes de emissões veicular e industrial, uso do solo e estrutura urbana da cidade (Figura3.2).

Os conceitos de núcleo e ambiente da Teoria Geral de Sistema (op. cit., 1976, p.96) são apontados por meio da análise da inserção de Curitiba em sua Região Metropolitana no que diz respeito às relações entre os atributos urbano-geocológicos de Curitiba (núcleo) com os de sua área regional / metropolitana (ambiente).

### Recursos técnicos e procedimentos

Realizou-se a amostragem do material particulado em suspensão no ar da cidade com o coletor passivo denominado Sigma-2 (S-2), idealizado pela “DWD - Deutscher Wetterdienst” (Instituto Alemão de Meteorologia), e produzido pela “Feinmechalk Instruments fur die Meteorologie und Physicicgie” - Freiburg, Alemanha.

O equipamento permite a deposição de partículas por sedimentação em lâmina adesiva, eliminando a deposição úmida, e por difusão turbulenta. Por ser relativamente lenta a deposição natural de partículas, o período necessário de exposição das placas corresponde a uma semana. O Sigma-2 consiste de um cilindro de alumínio anodizado de 25cm de altura e diâmetro de 10 cm, em cujo topo é acoplado uma proteção cilíndrica, com janelas retangulares dispostas em oposição às existentes na parte superior do cilindro, de forma a abrigar da água da chuva e do vento.

Em sua base é posicionada a placa transparente de PVC de 200  $\mu$ m de espessura e 69cm de lado, coberta com fina e homogênea camada de adesivo transparente (50 $\mu$ m de espessura), onde o material particulado é depositado<sup>4</sup> e fixado pelo adesivo (VDI 21, 1997 p.7).

O material particulado foi analisado no laboratório de Qualidade do Ar do Instituto de Biometeorologia Humana do “Deutscher Wetterdienst - DWD”, Freiburg, Alemanha, por meio de microscópio ótico<sup>5</sup> com campo iluminado para transiluminação qualitativa, com sistema de objetivas óticas de 10<sup>x</sup> e 20<sup>x</sup>. O mesmo é equipado com “scanner de estágio” motorizado por computador, e com equipamento de foco automático<sup>6</sup>, sendo as análises realizadas por um Sistema de Processamento de Imagens (SPI) do tipo Kontron / SEM-IPS para microscópio ótico quantitativo.

De cada placa de vinil com o material particulado coletado, foi retirado do centro uma área amostral de 18 mm<sup>2</sup> que, preparada em lâminas de vidro com óleo específico, foram examinados no SPI. O SPI analisa 16 imagens geradas a partir da varredura da amostra de acordo com rota “em dominó”. Cada imagem contém 512 pixels, e cada pixel contém 0,8 $\mu$ m.

O método permite identificar o número e o tamanho de partículas depositadas na placa coletora com diâmetros aerodinâmicos entre 3 e 48  $\mu$ m, de modo que os dados expressam a *razão de deposição por intervalo de tamanho das partículas*<sup>7</sup>, sendo nesta pesquisa simplificada a denominação para *razão de deposição*.

Três grupos de partículas podem ser identificadas por este método:

- partículas inorgânicas transparentes de origem natural, constituídas por minerais provenientes do solo, em sua maioria;
- partículas biogênicas transparentes de origem natural, como, por exemplo, pólen, esporos;
- partículas opacas de origem antropogênica, como, por exemplo, resíduos da abrasão de pneus e de combustão.

Foram realizadas análises de partículas de nitrato e sulfato solúveis em água pelo método que se utiliza de ioncromatógrafo com o Fotômetro SQ 118 marca Merck, sendo identificados os ions nitrito – NO<sub>2</sub> e sulfito SO<sub>4</sub>. Os dados são apresentados em termos de razão deposição ácida em  $\mu$ g/m<sup>3</sup> devido à carência de dados seguros a respeito da velocidade de deposição das partículas de nitrato e sulfato.

O gás dióxido de nitrogênio -NO<sub>2</sub> foi coletado em um tubo de difusão molecular (em conformidade com o tubo de difusão de Palmes – PALMES et alli, 1976), fixado na extremidade superior interna do Sigma-2.

<sup>4</sup> Com relação as taxas de deposição ver SCHULTZ, 1993.

<sup>5</sup> Tipo Axioplan Universal Microscope, da Carl Zeiss Jena GmbH, Jena – Alemanha.

<sup>6</sup> Do tipo DIGITARE, manufaturado por IMATEC, Neufahrn – Alemanha.

<sup>7</sup> Na literatura de língua inglesa corresponde à *size fractionated number deposition rate*.

Os tubos de NO<sub>2</sub> foram preparados no laboratório de Qualidade do Ar da DWD. A captura do NO<sub>2</sub> que segue o padrão semanal de exposição do material particulado, deu-se por um filtro de papel teflon com 1 cm de diâmetro e porosidade 250 µm, embebido em solução contendo tri-ethanol-amina (T.E.A), e fixado na extremidade fechada do tubo. Após a exposição, os filtros foram analisados pelo mesmo laboratório por meio de ioncromatógrafo, utilizando-se de Fotômetro SQ 118 da Merck, sendo os resultados apresentados em µg/m<sup>3</sup>.

As três campanhas de monitoramento dos contaminantes do ar realizaram-se nos invernos de 1996 (de 5 de agosto a 2 de setembro), 1997 (de 4 de agosto a 8 de setembro) e de 1998 (de 17 de agosto a 21 de setembro). Na primeira campanha foi monitorado somente o material particulado; nas demais foram considerados os poluentes material particulado e NO<sub>2</sub>.

Os locais onde se instalou os Sigmas-2 corresponderam na campanha de Agosto de 1996 a 3 pontos localizados nos Bairros Juvevê, Água Verde e Bigorriho. Nas outras duas campanhas, os sítios de amostragem considerados corresponderam:

- aos bairros Juvevê e Água Verde na campanha de Agosto / Setembro de 1997;
- aos bairros Bigorriho e Água Verde no experimento de Agosto / Setembro de 1998.

Em todos eles os Sigmas-2 foram instalados nas avenidas que compõem os Eixos Estruturais, de modo que no bairro Água Verde o aparelho foi posicionado em avenida de trânsito rápido, e nos demais bairros nas avenidas das canaletas dos ônibus expressos.

## RESULTADOS

O Município de Curitiba com 419 km<sup>2</sup> de área apresenta uma malha urbana em forma de xadrez assentada sobre desníveis altimétricos em média de 50 a 100m e cujo traçado ora acompanha as cristas e vales do relevo, ora as transpõem transversalmente. A orientação preferencial de suas maiores avenidas, que compõem o sistema de Eixos Estruturais, dá-se no sentido NE-S e E-W. Enquanto a Estrutural NE-S aproveita em grande parte as cotas mais elevadas das colinas alongadas da Formação Guabirutuba, a estrutural E-W estende-se por sobre estas, os vales, e as colinas do complexo cristalino. Apesar da disposição do arruamento apresentar peculiaridades de orientação que se individualizam nos bairros, pode-se dizer que a orientação predominante do mesmo é NE-SW/NW-SE.

Do ponto de vista da ação dos ventos na dispersão dos poluentes, em termos de clima local, a malha urbana da cidade favorece, a grosso modo, a penetração dos ventos predominantes de inverno, já que estes provêm do quadrante norte, podendo muitas vezes os *canyons* que compõem as ruas, atuarem topoclimaticamente e/ou microclimaticamente como corredores de vento (DANNI-OLIVEIRA, 1996.). Considerando-se a orientação das ruas dos sítios de amostragem do Juvevê e Água Verde, ambas NNE/SSW, e Bigorriho (ENE/WSW), percebe-se que as três permitem ampla ventilação quando os ventos provêm destas direções. Deve-se considerar, entretanto, que nas demais situações de ventilação e mesmo de calmas, todo o contaminante lançado na camada de ar intra-urbana pelas atividades desenvolvidas nestes locais, notadamente pela emissão veicular de gases e ressuspensão veicular de material particulado, terá sua dispersão influenciada também pelas especificidades de verticalidade das quadras que compõem estes sítios.

Para atingir a compreensão de como esta interferência pode estar ocorrendo, é necessário enfatizar-se alguns dos aspectos urbanos das áreas de referência. Nesse sentido, parte-se do princípio que a principal fonte emissora de contaminantes do ar nestes locais é constituída pelos veículos, uma vez não serem elas áreas de concentração industrial. As referidas áreas de amostragem constituem-se na verdade em algumas das principais artérias de escoamento de veículos da cidade. Estes, tiveram seu número praticamente dobrado em dez anos, passando de 353.530 em 1987 para 619.237 em 1997 (DETRAN, 1997, p. 28).

Localizadas no Setor Estrutural onde o Plano Diretor da cidade permite a construção de torres residenciais, conduzindo assim ao adensamento demográfico, as quadras que o compõem são ocupadas com fins residenciais, comerciais e de prestação de serviços. Muitas delas apresentam densidades demográficas superiores a 150 hab/ha incrementando assim o já intenso fluxo de veículos que as ruas que configuram o Setor possuem, por serem importantes eixos de escoamento de tráfego.

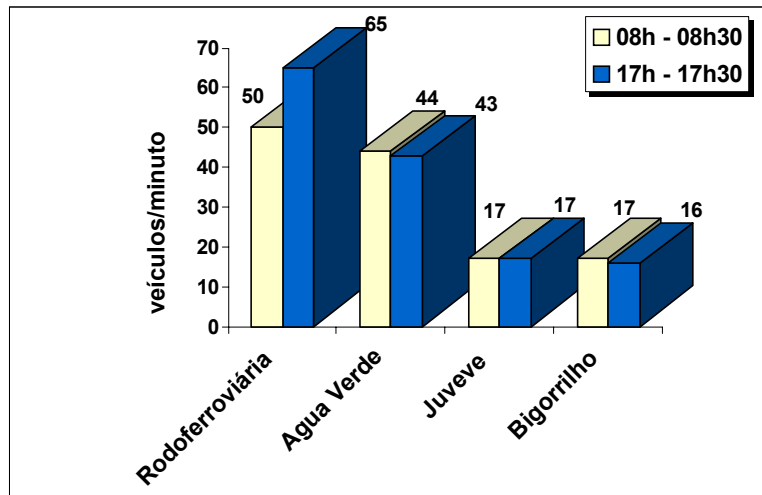
A amostragem do número de veículos que circulam pelas ruas dos sítios em foco apresentada na Figura 1, permite ter-se uma idéia da intensidade do tráfego nestas vias de circulação. Adotou-se o fluxo de veículos observados no sítio da Rodoferroviária como referencial de tráfego intenso, já que esta área se constitui em um dos pontos de mais elevado tráfego de veículos da cidade.

Os três sítios em foco não apresentam diferenças marcantes de fluxo entre os dois horários tomados como de maior movimento (*rush*), diferentemente do que ocorre no sítio da Rodoferroviária, em que ao entardecer o fluxo de veículos é maior.

Os valores da Água Verde retratam o movimento de veículos nas *chamadas vias rápidas*, enquanto que os do Juvevê e Bigorriho reproduzem o movimento das denominadas *vias dos expressos*; ambas representadas no modelo esquemático da Figura 2. Nas primeiras, a velocidade permitida é de 60km/h, sendo constituídas por três pistas de sentido único, enquanto que nas segundas a velocidade permitida é de 40km/h, sendo formadas por uma canaleta central onde transitam, com exclusividade, os ônibus expressos, ladeada por pistas de sentido único. Assim, as vias rápidas privilegiam o transporte individual, enquanto que as expressas o transporte coletivo, o que explica a discrepância entre os valores registrados na Água Verde e nos outros dois sítios de amostragem.

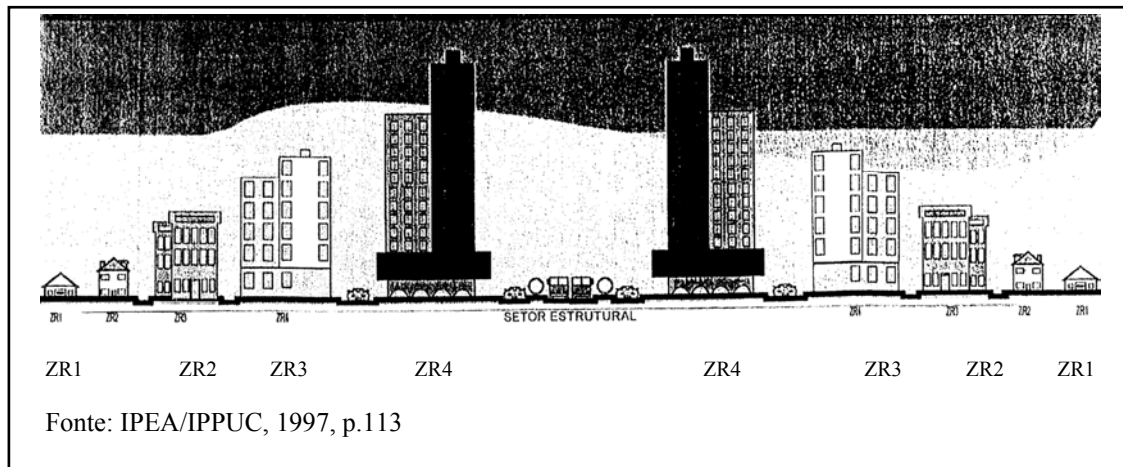
Enquanto o fluxo de veículos na Água Verde (44 e 43 veículos/minuto) aproxima-se daquele registrado em área central representado pela Rodoferroviária (50 e 65 veículos/minuto), os do Juvevê e Bigorriho restringem-se a cerca de 17 e 16 veículos/minuto.

Figura 1 – Amostragem de fluxo de veículos



Fonte dos dados: URBS, s.d., n.p.

Figura 2 – Morfologia do modelo dos Eixos Estruturais



Fonte: IPEA/IPPUC, 1997, p.113

A frota operante de ônibus no Eixo chamado Norte-Sul é de 32 ônibus no setor norte (extensão de 12,6 km), e 63 no setor sul (13,60km de extensão), que percorrem respectivamente um total de 275 e 546 viagens em dias úteis. No eixo Leste-Oeste a frota operante corresponde a 40 veículos no setor Leste (12,18km de extensão) e 15 no setor Oeste ( extensão de 8,27km), que totalizam, respectivamente, 466 e 261 viagens em cada dia útil (URBS, s.d, p.O, dados de 1997). O número de viagens retrata não só o fluxo de pessoas para os setores mais populosos da cidade, como também a expansão populacional e/ou fluxo de veículos ente os municípios contíguos, como Araucária, São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Pinhais, Piraquara, por exemplo, que se dá por meio da integração do transporte coletivo da Região Metropolitana de Curitiba (RMC)

Dessa forma, comparativamente, há nas vias rápidas (sítio da Água Verde) um volume maior de veículos individuais do que nas vias expressas (sítios do Juvevê e do Bigorriho), onde ocorre um maior número de veículos coletivos, que utilizam o diesel como combustível. Em conseqüência, as emissões veiculares de poluentes nas primeiras são principalmente fruto da queima de gasolina e álcool, enquanto que nas segundas da queima de diesel.

Os aspectos acima levantados vêm ao encontro do fato do sítio da Água Verde ter se configurado como o mais poluído entre os estudados para a maioria das espécies analisadas, como pode ser visualizado na Figura 3. As diferenças entre a Água Verde e Juvevê são mais notórias nas espécies de deposição ácida, particularmente na forma de  $SO_4$ , formação do dióxido de nitrogênio e material particulado total.

Os elevados contrastes dessas espécies parecem estar associados a ocorrência de ventos do quadrante oeste. Das cinco semanas da campanha de 97, somente na primeira não houve a ocorrência predominante de ventos deste quadrante, constituindo-se na semana de menor incidência de calmas, justamente quando as diferenças dos citados poluentes foram as mais reduzidas. Entre os dois sítios, o da Água Verde apresenta menor taxa de utilização (veja Figura 4), estando um dos eixos de suas ruas orientadas a  $292^\circ$ , portanto mais a oeste, enquanto no do Juvevê a orientação se dá a  $310^\circ$ .

Vários são os atributos urbanos que concorrem para explicar as diferenças de qualidade do ar entre os dois sítios:

- o maior fluxo de veículos na rua onde foram efetuadas as medições no sítio da Água Verde, conforme salientado anteriormente;
- o ponto de medição encontrar-se na *zona de cavidade* (conforme OKE, 1978, p.), em relação ao domínio dos ventos do quadrante oeste, e a sotavento da via Expressa (República Argentina), o que estaria possibilitando acúmulo de contaminantes;
- o fato do sítio da Água Verde encontrar-se mais próximo da CIC (bairro industrial) do que o do Juvevê, o que explica os grandes contrastes das deposições ácidas;
- no sítio do Juvevê, apesar das quadras circundantes apresentarem maior taxa de utilização e o ponto estar próximo a um posto de gasolina, o local de medição encontrava-se a barlavento dos ventos mais freqüentes, e a taxa de utilização da quadra era a mais baixa, não havendo a presença de edifícios, favorecendo a dispersão dos poluentes.

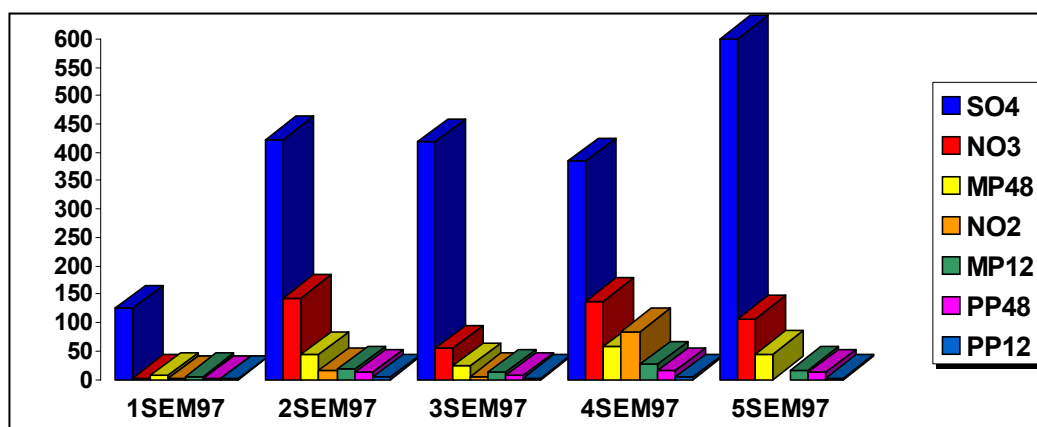
Os contrastes entre os sítios Água Verde/Bigorriho observados durante a campanha de 1998, foram significativamente inferiores aos registrados com o Juvevê na campanha de 97. Entretanto, confirma-se a relação entre o transporte/dispersão das espécies ácidas, notadamente na forma do ion sulfato, com os ventos mais freqüentes do quadrante oeste.

Os atributos urbanos do sítio do Bigorriho lhe conferem a classificação relativa de maior taxa de utilização e de verticalidade das quadras, conforme o detalhamento mostrado na Figura 4.c. Suas ruas secundárias orientam-se a  $330^\circ$  (NNW), enquanto a via do expresso (Rua. Padre Anchieta) a  $60^\circ$  (sentido ENE/WSW).

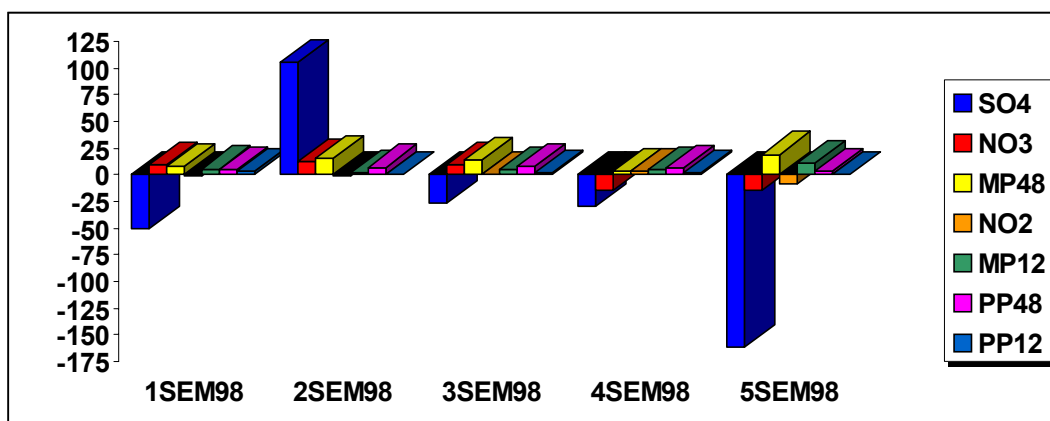
Observando-se as direções dominantes dos ventos no ano de 1998, sintetizadas nos quadros-resumos apresentados no final de cada campanha, é notório o fato da única semana em que predominaram os ventos do quadrante oeste (SW, E, W), todos os valores das espécies estudadas terem se apresentado mais elevados na Água Verde do que no Bigorriho. Estes ventos são concordantes com a Rua Padre Anchieta (Figura 3.c), que assim estaria favorecendo o escoamento dos mesmos devido ao efeito de *canyon* promovido pelos edifícios, contribuindo assim para com a dispersão dos poluentes.

Figura 3 – Diferenças de qualidade do ar

a) Água Verde – Juvevê (campanha de 1997)



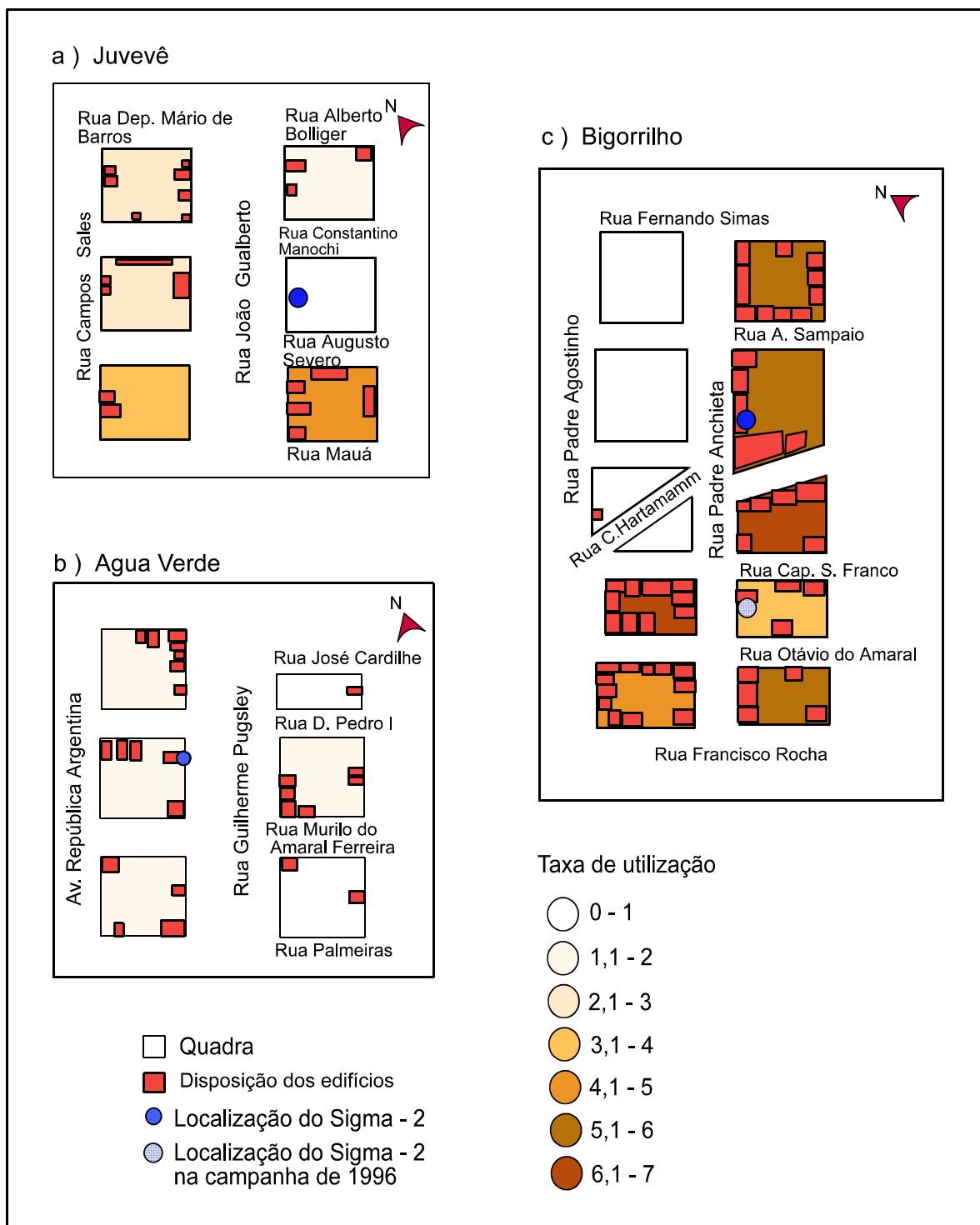
b) Água Verde – Bigorriho (campanha de 1998)



Os maiores contrastes negativos dos dois sítios ocorreram por ocasião do domínio dos ventos NE e E, situações em que na Água Verde o Sigam-2 mantinha-se em posição de barlavento, enquanto no Bigorriho ocupava a zona de cavidade dos ventos de E. Chama-se a atenção ainda para os contrastes entre os dois sítios não terem sido tão magníficos como no caso anterior, por esta campanha ter se caracterizado como a de melhores condições para a dispersão dos poluentes, em decorrência dos ventos e chuvas que ocorreram.



Figura 4 – Taxa de utilização do terreno dos pontos amostrais



Organizado por Inês Moresco Danni-Oliveira

### A individualização dos sítios de amostragem

Os dados monitorados nas sete campanhas que envolveram o sítio do Juvevê, apresentados na Tabela 1, evidenciaram que nas ocasiões em que a porcentagem de calmarias foi maior (semanas 4/97, 1/96 e 2/97), houve maior concentração da maioria das espécies de contaminantes estudados. Os atributos urbanos e geocológicos que controlam a deposição ácida na forma de íons sulfatos parecem não ser os mesmos que controlam os íons nitratos e os demais poluentes. Enquanto o valor mais elevado de  $SO_4$  ( $287 \mu g/m^3 d$ ) ocorreu na primeira semana de 1996, os demais poluentes registraram os valores máximos na última semana da campanha de 1998, apesar da grande incidência de chuvas nesta semana.

É possível que os ventos predominantes de NE na primeira semana estivessem incorporando àquele sítio, favorecido pela orientação NE de sua rua principal (Rua João Gualberto) componentes de enxofre provenientes dos municípios vizinhos (Colombo, Almirante Tamandaré) onde é grande o consumo de energéticos térmicos por parte da indústria de extração mineral que neles se desenvolvem.

Tabela 1 – Dados das variáveis monitoradas no sítio de amostragem do Juvevê

Campanha	MP <sub>12</sub>	MP <sub>48</sub>	PP <sub>12</sub>	PP <sub>48</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub>	Calma <sub>2</sub>	Vento <sup>3</sup>	Chuva <sub>4</sub>
1º Sem. <sup>1</sup> .96	26,74	46,29	3,73	7,55	287	84	-	74	NE	0
2º Sem.96	14,88	29,98	2,58	5,16	210	51	-	52	N/NE/N W	0
1º Sem.97	10,1	20,1	2,61	4,26	192	26	28,9	45	NE/E/S	4,5
2º Sem.97	26,5	50,7	2,5	5,47	243	126	50	71	NW/N/W	0
3º Sem.97	17,8	34,6	2,19	4,9	152	65	38,9	67	W/NE/N w	92
4º Sem.97	30,0	53,6	4,1	8,96	143	102	51,3	87	W/N/E	0
5º Sem.97	32,7	59,8	5,27	11,77	237	130	-	64	SW/W/E	3

<sup>1</sup>Sem. = semana

<sup>2</sup> Em porcentagem

<sup>3</sup> Ventos predominantes na semana

<sup>4</sup> Em mm

<sup>5</sup> Em  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{d}$

<sup>6</sup> Em  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$

A quinta semana da campanha de 98 registrou os índices máximos das espécies de material particulado, ocasião em que os ventos predominantes da semana foram os mais velozes e predominantemente de SW, W e em terceiro lugar de E, diferenciando-se das demais em que os ventos mais freqüentes procediam sempre do quadrante norte.

A Rua João Gualberto apresenta orientação NE/SW, e suas transversais NW/SE. Assim, é de se supor que devido a esta orientação e por ser uma via que partindo do Centro da cidade, faz a conexão entre este e os bairros, os elevados índices registrados na última semana de amostragem do sítio do Juvevê tenham tido a contribuição de contaminantes procedentes do Centro. Neste setor do Eixo NE-S a verticalidade não é muito densa, notadamente nas quadras próximas a do ponto de localização do Sigma-2. Em razão dessas características, é possível que o efeito de *canyon* com o vento de SW não tenha sido eficiente na dispersão dos contaminantes.

Os 92mm de chuvas que ocorreram na terceira semana de 97 não promoveram a situação de melhor qualidade do ar observada no sítio do Juvevê, sugerindo o controle provável de inversões térmicas. O período em que ar se mostrou de melhor qualidade ocorreu na primeira semana da mesma campanha, quando houve somente 4,5mm de chuva e os ventos dominantes foram de NE, E e S, com velocidades médias reduzidas (2,7m/s).

A análise da Tabela 2 que apresenta os valores das espécies de contaminantes monitoradas no sítio do Bigorriho nas campanhas de 96 e 98, permite identificar que o fator preponderante na remoção/dispersão de MP<sub>12</sub> e MP<sub>48</sub> foi a incidência de chuva, bem como a concentração dessas espécies em sua ausência. As mais elevadas concentrações de MP<sub>12</sub> e MP<sub>48</sub> ocorreram nas semanas 1 e 2/96 em que não houve pluviosidade e cujos ventos dominantes foram N, NE e W. As mais baixas concentrações (MP<sub>12</sub> = 11,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{d}$  e MP<sub>48</sub> = 26,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{d}$ ) ocorreram na última semana de 98, quando houve o maior índice pluviométrico (122mm) e os ventos apresentaram-se de NE/E.

A importância das chuvas na remoção de MP é reforçada ao se considerar que a rua Padre Anchieta (onde se localizava o Sigma-2) possui orientação ENE/WSW, o que favorece a advecção dos ventos de E e W e, secundariamente, os de NE e SW. Como já foi mencionado, os índices mais reduzidos de MP ocorreram no período de maior pluviosidade (5ª semana de 98), justamente com ventos de E e NE que, potencialmente, poderiam estar trazendo poluentes procedentes do Centro da cidade.

Os elevados valores registrados na 2ª semana de 98 sugerem que a alta taxa de verticalidade neste setor e de sua elevada densidade demográfica (superior a 200 hab/ha), tenham agido como fatores concentradores dos contaminantes, sob efeito da zona de cavidade promovido pelas edificações com relação ao vento predominante de SW.

Tabela 2 – Dados das variáveis monitoradas no sítio de amostragem do Bigorriho

Campanha	MP <sub>12</sub>	MP <sub>48</sub>	PP <sub>12</sub>	PP <sub>48</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>=5</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-5</sup>	NO <sub>2</sub>	Calma <sub>2</sub>	Vento <sup>3</sup>	Chuva <sub>4</sub>
3º Sem. <sup>1</sup> .96	28,44	56,96	2,86	6,95	358	173	-	54	N/NE/W	0
4º Sem.96	20,39	42,99	2,64	7,22	409	106	-	38	NE/N/W	0
1º Sem.98	15,88	34,87	4,96	13,49	364	62	39,2	58	NE/E/N	67,7

2º Sem.98	19,6	43,82	3,07	10,75	375	143	37,8	41	SW/E/W	4,1
3º Sem.98	15,38	33,64	3,37	11,44	395	99	38,6	39	NE/E/W	30,5
4º Sem.98	12,27	31,07	3,41	9,13	261	115	38,4	48	W/NE/E	35,1
5º Sem.98	11,5	26,8	3,54	9,38	480	76	43,8	36	NE/E	122

<sup>1</sup>Sem. = semana

<sup>2</sup> Em porcentagem

<sup>3</sup> Ventos predominantes na semana

<sup>4</sup> Em mm

<sup>5</sup> Em  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{d}$

<sup>6</sup> Em  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$

Enquanto a pluviosidade exerceu forte controle nas concentrações de material particulado, o mesmo não se deu com as partículas pretas, que neste sítio parecem estar sujeitas a ação de algum outro fator não considerado nesta pesquisa. Seus mais elevados valores ocorreram na semana em que houve forte pluviosidade (67,7mm) e ventos preferenciais de NE, E e N (1º/semana/98), enquanto seus valores mais reduzidos ocorreram nas duas semanas de 96, quando não houve registro de chuvas (Tabela 5.21), e os ventos (N, NE e W) foram praticamente os mesmos da ocasião anterior.

A análise da ação dos atributos urbanos do Bigorrião em associação aos aspectos de vento e pluviosidade sobre a deposição de partículas ácidas, sugere que a ação transportadora de compostos de enxofre por parte dos ventos de E / NE que predominaram na última semana de 98 foi mais eficiente que a ação removedora das intensas chuvas que ocorreram nesta semana. Já o ion nitrato apresentou seu mais elevado índice neste sítio por ocasião de total ausência de chuva e ventos preferenciais de N e NE (1º/sem/96), enquanto as fortes chuvas da quinta semana de 98 foram eficazes na remoção desta espécie.

A formação de  $\text{NO}_2$  mostrou-se independente das chuvas, porém parece estar associada aos ventos de NE e E, sugerindo a contribuição dos mesmos nos mecanismos de formação deste gás, por meio da ação transportadora favorecida pela Rua Padre Anchieta, de precursores possivelmente originados no Centro.

No sítio da Água Verde (Tabela 3), as situações de maior incidência de calmas corresponderam àquelas em que as espécies  $\text{MP}_{12}$  e  $\text{MP}_{48}$  registraram os valores mais elevados (semanas 2, 4, e 5/97).

Com a via rápida orientando-se NNE/SSW, as quadras que a formam apresentam os mais baixos índices de verticalidade das áreas amostradas (Figura 4.b), porém com os mais elevados fluxos de veículos. Em decorrência de tais atributos urbanos, e em situações em que não houve pluviosidade, os ventos de W e SW parecem ter contribuído com os processos veiculares locais da emissão e ressuspensão das espécies de MP, que alcançaram seus mais elevados valores nas semanas de 2, 4 e 5/97. Já os ventos de NE mostraram-se mais efetivos na dispersão dessas espécies pelos mesmos motivos alentados na comparação entre os sítios anteriormente realizada.

As espécies  $\text{PP}_{12}$  e  $\text{PP}_{48}$ , seguiram, aproximadamente, o padrão de comportamento das MP, à exceção do valor máximo de  $\text{PP}_{12}$  que ocorreu na primeira semana de 98 quando o vento predominante era NE e a pluviosidade registrou índice de cerca de 68mm.

Os menores índices de dióxido de nitrogênio parecem ser também favorecidos pelos ventos de NE e E que, devido à disposição do sítio da Água Verde e às suas características de verticalidade, conduziram a dispersão deste gás, que apresentou seus valores mais reduzidos nas semanas de 1/97, 1, 3 e 5/98.

Reforçando a análise comparativa realizada no início, das quatro semanas em que os índices de deposição ácida na forma de  $\text{SO}_4$  mostraram-se os mais elevados (semanas 2, 3, 4 e 5/97), somente em uma os ventos não procediam de W / SW; sendo esta a segunda semana de 97, em que o vento predominante foi de NW.

Entretanto, foi com o vento de NW que as deposições na forma de nitratos alcançaram os maiores registros na semana 2/97, porém os valores mais elevados seguintes deram-se sob ação dos ventos de W / SW (semanas 4 e 5/97), validando assim o possível aporte de contaminantes provenientes da CIC.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de Eixos Estruturais constitui-se em uma das diretrizes que balizaram o Plano Diretor implementado em Curitiba. Caracterizado por conduzir o crescimento da cidade e permitir o adensamento vertical ao longo de suas quadras, cujas principais vias concentram grande volume de tráfego, os citados Eixos foram o foco de análise desta pesquisa, por entender-se que a emissão veicular constitui-se em uma das principais fontes de poluição do ar urbano, cuja dispersão está vinculada aos aspectos morfo-estruturais que o ambiente apresenta. Os resultados encontrados por esta pesquisa evidenciaram que os mesmos assumem papéis distintos em relação à dispersão dos contaminantes neles encontrados, tais como:

- Sítio da Água Verde: área geradora de contaminantes, devido ao fluxo de veículos, orientação da rua, e ação da topografia edificada sobre o vento;
- Sítio do Juvevê: área receptora de contaminantes, devido a orientação da rua; ação de *canyon* da topografia edificada; e aporte de contaminantes pelo vento;
- Sítio do Bigorriho: concentradora para MP, devido a ação inibidora da topografia edificada sobre a dispersão; área receptora para NO<sub>2</sub>, devido ao porte de contaminantes pelo vento, e ação de *canyon* da topografia edificada

**Tabela 3 – Dados das variáveis monitoradas no sítio de amostragem da Água Verde**

Campanha	MP <sub>12</sub> <sup>1</sup>	MP <sub>48</sub> <sup>1</sup>	PP <sub>12</sub> <sup>1</sup>	PP <sub>48</sub> <sup>1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=5</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-5</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Calma <sup>2</sup>	Vento <sup>3</sup>	Chuva <sup>4</sup>
3º Sem. <sup>1</sup> .96	39,49	77,88	4,64	10,31	493	206	-	54	N	0
4º Sem.96	24,50	53,58	2,42	6,05	429	110	-	38	N/NE/N W	0
1º Sem.97	15,5	27,1	2,85	5,22	317	28	30,3	45	NE/E/S	4,5
2º Sem.97	44,1	93,9	6,4	17,76	666	269	64,3	71	NW/N/W	0
3º Sem.97	29,1	57,7	4,37	11,14	571	120	43,6	67	W/NE/N w	92
4º Sem.97	55,7	111	7,62	23,41	527	240	123,4	87	W/N/E	0
5º Sem.97	48,6	103,9	7,11	23,51	837	237	60,2	64	SW/W/E	3
1º Sem.98	21,58	42,44	8,19	18,32	313	71	38,8	58	NE/E/N	67,7
2º Sem.98	21,73	59,12	3,82	18,01	480	156	38,8	41	SW/E/W	4,1
3º Sem.98	19,98	47,64	5,14	19,08	369	108	39,6	39	NE/E/W	30,5
4º Sem.98	17,04	34,57	5,5	15,03	232	100	42,3	48	W/NE/E	35,1
5º Sem.98	22,73	46,04	3,62	13,12	319	61	35,6	36	NE/E	122

<sup>1</sup>Sem. = semana

<sup>2</sup> Em porcentagem

<sup>3</sup> Ventos predominantes na semana

<sup>4</sup> Em mm

<sup>1</sup> Em  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{d}$

<sup>5</sup> Em  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$

Os resultados alcançados nesta pesquisa apontam para alguns aspectos importantes a serem abordados em continuidade às investigações ligadas à qualidade do ar de Curitiba. Entre eles destacam-se:

- a atuação temporal dos ventos na dispersão, concentração e transporte dos poluentes, em associação às características morfo-estruturais da cidade;
- o provável aporte de contaminantes entre Curitiba e seus municípios vizinhos, especialmente aqueles com acentuada atividade industrial;
- a ação da pluviosidade e da umidade relativa sobre a remoção dos contaminantes;
- a contribuição dos veículos leves e pesados na emissão de contaminantes;
- o perfil térmico da camada de cobertura urbana;
- a ação da vegetação sobre o comportamento dos particulados;
- os mecanismos locais de transporte que interferem na formação dos NO<sub>x</sub>;
- a ação dos contaminantes na saúde dos curitibanos;
- comparação com outras áreas metropolitanas

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, Ana Maria M. P. *O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro*. São, Paulo, Universidade de São Paulo; FFLCH, tese de doutoramento, 1996, inédita, 362 p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 1995*. São Paulo, 1996. 78p.

- DANNI, Inês Moresco. *Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em janeiro de 1982. Contribuição ao estudo do clima urbano*. São Paulo, Universidade de São Paulo; FFLCH, dissertação de mestrado, 1987, 131 p.
- DANNI-OLIVEIRA, Inês M. Considerações sobre a tendência das temperaturas de inverno e verão na cidade de Curitiba-PR. In: *Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica . Resumos...* Rio Claro. UNESP, 01 a 04 de dezembro de 1992, p. 42
- DANNI-OLIVEIRA, Inês M. e MALHADAS, Ziole. Proar – Resultados preliminares da concentração de ozônio de superfície- Curitiba/PR. In: *Anais do 6º Encuentro de Geógrafo de América Latina*. Buenos Aires-Argentina, Facultad de filosofía y Letras – Universidad de Buenos Aires, 17-21/3/97, cd-rom, 8 p.
- FIRKOWSKI, Olga L.C de F. - Dinâmica populacional na Região Metropolitana de Curitiba. In: *O ambiente urbano latino-americano na virada do milênio*. Buenos Aires, Associação de Universidades do Grupo Montevidéo-UNESCO; Editora de La Univers. Nac. de La Plata, 1997, p.32-34.
- MAGE, David, et alli. Urban air pollution in megacities of the world. In: *Atmospheric Environment*, Great Britain, Pergamon Press, 1996, Vol.30, nº 5, p. 681-6.
- MENDONÇA, Francisco A .*O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno. Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR*. . São, Paulo, Universidade de São Paulo; FFLCH, tese de doutoramento, 1994, inédita, 300 p.
- MONTEIRO, Carlos Augusto F. *Teoria e clima urbano*. São Paulo. Série Teses e Monografias; IGEOG-USP, 1976, nº 25, 181p.
- MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: *Anais do Simpósio sobre Comunidades Vegetais como Unidades Biológica, Faunística e Econômica*. São Paulo, Secretaria de Cultura, Ciência e Tecnologia – ACIESP. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1978, nº 15, p. 43-75.
- MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. Adentrar à cidade para tomar-lhe a temperatura. In: *Geosul*, Florianópolis, Revista do Depto de Geociências – CCH/UFSC, 1990, nº 9, ano V, p 61-79.
- OKE, T.R.. Air pollution in the boundary layer. In: *Boundary layer climates*. London, Mathuen & Co, 1978, Chap. 9, 371 p.
- OLIVIERA, Dennison. *A política do Planejamento Urbano: o Caso de Curitiba*. Tese de Doutorado em Ciências Sociais - UNICAMP, Campinas/SP, 1995, s/ numeração de p., inédita
- SANTOS, Milton. *Técnica, espaço, tempo. Globalização e meio técnico-científico informacional*. São Paulo, HUCITEC, 1994, 190 p.
- SCHULTZ, Eckart. Size-fractionated measurement of coarse black carbon particles in deposition samples. In: *Atmospheric Environment*, 1993, vol 27<sup>A</sup>, nº 8, 1241-9 p.
- SEINFELD, John H. *Air pollution. Physical and chemical fundamentals* New York, McGraw Hill Book Co., 1975, 515p.
- URBS- URBANIZAÇÃO DE CURITIBA SA. *Evolução do transporte coletivo de Curitiba*. Curitiba, s.d., não pag.