

DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS E ENGENHARIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL
DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR

Caracterização das Estações da Rede
Automática de Monitoramento da
Qualidade do Ar na RMSP
Estação Guarulhos

ABRIL – 2002

1. Introdução

A CETESB mantém, desde a década de 70, redes de monitoramento da qualidade do ar que têm permitido a avaliação das concentrações dos principais poluentes do ar ambiente em diversos municípios no Estado de São Paulo.

A rede automática, composta por analisadores automáticos instalados em estações remotas e interligados a uma central de recepção e processamento de dados, vem sendo operada desde 1981 na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e Cubatão. Atualmente é composta por 29 estações fixas de amostragem e duas estações móveis. Pode-se destacar a renovação dessa rede automática ocorrida em 1996 e a instalação de estações no interior do Estado a partir de 2000.

A rede de estações automáticas da RMSP, projetada no final da década de 70 e implantada no início dos anos 80, atende a maior parte dos objetivos típicos de uma rede local automática de avaliação da qualidade do ar para efeito de gestão da poluição do ar como um todo, dentre os quais podemos citar:

- criar uma base científica para o desenvolvimento e priorização de ações de controle;
- avaliar se os níveis de poluição estão atendendo aos padrões legais;
- avaliar a eficácia de ações de controle;
- avaliar as tendências da qualidade do ar, permitindo inclusive identificar futuros problemas de poluição do ar;
- determinar o nível de exposição da população e fornecer subsídios para a avaliação dos efeitos da poluição sobre a saúde;
- informar a população dos níveis de poluição do ar;
- fornecer informações para o gerenciamento da qualidade do ar, em termos de planejamento de tráfego e uso do solo;
- identificar as principais fontes poluidoras;
- avaliar o impacto de determinadas fontes;
- identificar a influência sobre os ecossistemas em geral;
- criar subsídios para o desenvolvimento e validação de ferramentas de gestão atmosférica (modelos de qualidade do ar, sistemas de informações geográficas etc.).

Do ponto de vista dos níveis de concentração dos poluentes e para que a rede de monitoramento atenda aos objetivos em termos de gestão da poluição atmosférica, citados anteriormente, é importante que a rede de monitoramento forneça:

- os mais altos níveis de concentração de poluentes esperados para a área de abrangência da rede;
- as concentrações representativas das áreas de maior densidade populacional;
- o impacto da poluição no meio ambiente devido a determinadas fontes ou grupos de fontes;
- os níveis médios de concentração de poluentes na atmosfera para a região.

Esses níveis de concentração podem ser considerados então como necessidades de monitoramento. Uma rede de monitoramento é formada por diversas estações, e cada uma delas atende a um determinado objetivo prioritário de monitoramento. Embora uma estação possa atender a mais de um objetivo simultaneamente, isso nem sempre é possível. Assim, uma rede de estações bem dimensionada consiste de um grupo de estações onde diferentes estações respondem a diferentes necessidades de monitoramento.

O objetivo deste trabalho é basicamente o de classificar cada uma das estações da rede automática da CETESB, garantindo assim o atendimento aos objetivos da rede monitoramento da qualidade do ar. Este trabalho pretende também identificar as principais informações necessárias à adequada classificação das estações, e assim servir de base para criação de um mecanismo de atualização constante das informações.

A visão geral da rede de monitoramento servirá como instrumento também para:

- planejamento e otimização da rede em termos do número de estações e monitores utilizados. Em outras palavras, espera-se dispor de informações que permitam identificar quantas e quais estações devem monitorar determinado poluente, ou seja, orientar uma distribuição otimizada dos equipamentos existentes e a aquisição de novos equipamentos.
- auxílio no controle de qualidade e validação dos dados de qualidade do ar. O conhecimento prévio das condições das estações irá facilitar a identificação de erros e inconsistências nos dados gerados.
- melhoria na divulgação. A identificação das áreas de abrangência das estações permitirá a divulgação mais precisa das condições da qualidade do ar, tanto para a população em geral, quanto como suporte aos trabalhos a serem desenvolvidos e que utilizam os dados da rede.

Embora o trabalho seja de avaliação da rede de monitoramento da RMSP como um todo, este primeiro relatório apresenta, além de uma parte teórica, os aspectos relacionados somente à estação Guarulhos, que estão apresentados a partir do item 4. Posteriormente, as informações aqui apresentadas serão incorporadas a um documento final contendo a análise de todas as estações e da rede como um todo.

2. Classificação de Estações de Monitoramento – Aspectos Teóricos

Considera-se como classificação de uma dada estação de monitoramento o conjunto de informações da mesma que permite caracterizar a qualidade do ar que a estação está medindo, principalmente em termos:

- das fontes que estão influenciando;
- da população que está exposta àquelas concentrações;
- da área de abrangência da estação

Existem várias classificações utilizadas em diversas redes de monitoramento no mundo inteiro, mas todas elas fornecem informações similares. Utilizaremos neste trabalho uma classificação adaptada principalmente das classificações da USEPA⁽¹⁾ (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) e OMS⁽²⁾ (Organização Mundial da Saúde).

A classificação baseada em termos do uso do solo e população exposta está apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das estações em termos de uso do solo e população exposta

Característica da Estação	Descrição
Comercial	Mede a exposição da população em áreas urbanas centrais, áreas de comércio, com grande movimentação de pedestres e veículos;
Residencial	Mede a exposição da população em bairros residenciais e áreas suburbanas das cidades;
Industrial	Em áreas onde as fontes industriais têm grande influência nas concentrações observadas, tanto em longo prazo quanto para avaliação de picos de concentração;
Urbana/concentração de fundo (background)	Em áreas urbanas, localizada não próximo de fontes específicas, representa as concentrações de fundo da área urbana como um todo;
Próxima de vias de tráfego (veicular)	Localizada próxima de uma via de tráfego, mede a influência da emissão dos veículos que circulam na via (rua, estrada etc.);
Rural	Mede as concentrações em áreas rurais, deve estar situada o mais distante possível de fontes veiculares, industriais e urbanas.
Ambiente fechado ("indoor")	Mede as concentrações em ambientes domésticos e de trabalho (exceto ambientes ocupacionais).

É importante esclarecer que no caso da rede de monitoramento automático da CETESB, não há estações com objetivo de avaliar concentrações em áreas rurais e nem em ambientes fechados.

A área de abrangência da estação, ou escala espacial de representatividade da estação, caracteriza o entorno da estação onde os valores medidos podem ser considerados similares. A necessidade, em termos de escala de representatividade de uma estação, é baseada nos objetivos de monitoramento da

rede e de cada estação individualmente. As escalas de maior interesse para atendimento dos objetivos típicos de uma rede de monitoramento estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das estações em termos de representatividade das estações

Escala de Representatividade	Área de Abrangência
Microescala	Concentrações abrangendo áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;
Média escala	Concentrações para blocos de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes), com dimensões entre 100 e 500 metros;
Escala de bairro	Concentrações para áreas da cidade (bairros), com atividade uniforme, com dimensões de 500 a 4.000 metros;
Escala urbana	Concentrações de cidades ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 km;
Escala regional	Concentrações geralmente de uma área rural, de geografia razoavelmente uniforme e de dimensões de dezenas a centenas de quilômetros;
Escalas nacional e global	Concentrações de um país e do planeta como um todo, respectivamente.

Obviamente, as classificações apresentadas nas tabelas 1 e 2 são genéricas e consideram uma rede completa de monitoramento. Todavia, cada poluente medido apresenta características próprias em termos de distribuição espacial, fontes que o originam e padrões legais.

Tais características determinam as necessidades individuais em termos dos locais e escalas de representatividade mais adequados ao monitoramento. Assim, nem sempre um mesmo local é adequado para medir todos os tipos de poluentes. Por exemplo: estações próximas de vias de tráfego são importantes para monitoramento de poluentes emitidos pelos veículos, mas não são adequadas ao monitoramento do ozônio, uma vez que o ozônio é consumido quimicamente pelo NO emitido pelos veículos. De maneira geral, uma vez que poluentes secundários, como o O₃ e o NO₂ são formados na atmosfera, pode-se considerar que a variabilidade espacial desses poluentes tende a ser mais homogênea que a dos poluentes primários, como o CO e o SO₂.

3. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido procurando abordar e levantar o maior número possível de informações que permitam classificar as estações, bem como fornecer um histórico da qualidade do ar no período monitorado. Apresenta-se a seguir as informações e análises realizadas no trabalho.

3.1. Características da Estação

Estão apresentadas informações como endereço, coordenadas geográficas, altitude, parâmetros medidos, altura de captação da amostra etc. Também é apresentada uma descrição das principais características locais da estação, ou seja, fontes de emissão, anteparos e outras informações relevantes com relação ao entorno da estação e que possam estar interferindo nos dados medidos. Para esse levantamento, foram feitas vistorias em um raio de cerca de 200 metros no entorno de cada estação. Foram feitos também registros fotográficos de cada estação e das condições locais de maior interesse.

Ainda nesse item apresenta-se os registros de ocorrências relevantes ao monitoramento, tais como instalação e retirada de monitores e sensores meteorológicos, alterações em fontes próximas, como por exemplo, obras de infraestrutura, pavimentação de ruas etc.

3.2. Avaliação da Qualidade do Ar

A rede automática de avaliação da qualidade do ar da CETESB traz em seus registros as mudanças significativas que ocorreram ao longo dos anos nas regiões monitoradas. Na RMSP, tais mudanças incluem, principalmente, os efeitos do crescimento em grande parte desordenado da área urbana que trouxe variações nas emissões atmosféricas, devidas principalmente ao aumento do tráfego de veículos e à redução do número de indústrias nas áreas mais próximas das regiões centrais. Em Cubatão, as principais mudanças ocorreram nas emissões industriais, que foram reduzidas nesse período principalmente como consequência das medidas de controle.

Além de classificar as estações com base nas condições atuais, optou-se neste trabalho por também fazer um levantamento da evolução da qualidade do ar ao longo dos anos nas estações de monitoramento, possibilitando assim um estudo de tendência e estimativa, mesmo que qualitativa, do impacto na qualidade do ar das mudanças ocorridas nas fontes emissoras durante o período.

Os dados utilizados para avaliação da qualidade do ar são todos os poluentes medidos pela rede automática da CETESB, que são: MP_{10} , SO_2 , NO_x , O_3 , CO e HC (H_{CNM} e CH_4). Obviamente, não há dados de todos os parâmetros em todas as estações, bem como há parâmetros que não foram medidos em todo o período.

As análises realizadas para cada poluente não são necessariamente as mesmas devido às diferentes características dos poluentes em termos de tempo de

exposição referendado nos padrões legais e valores de referência. Porém, basicamente as análises da qualidade do ar consideraram:

- tendências de longo prazo, como por exemplo médias anuais;
- tendências em períodos de curto prazo, como médias de 24 horas ou 1 hora;
- análises por meses do ano, para identificação das variações sazonais;
- análises por hora do dia, para verificação do comportamento ao longo do dia;
- análises do comportamento médio dos episódios de ultrapassagens do PQAr.

3.3. Microinventário de Fontes

Para avaliar o impacto das fontes sobre a estação, foram definidas duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400 e 2000m de raio. No raio de 400 metros, por estar muito próximo da estação, procurou-se identificar todas as fontes que possam estar influenciando nas medições na estação. Entre 400 e 2000m foram levantadas as principais fontes. As fontes de emissão foram então localizadas em termos de quadrantes (NW, NE, SE e SW) e setores (1 a 8), conforme ilustrado na figura 1.

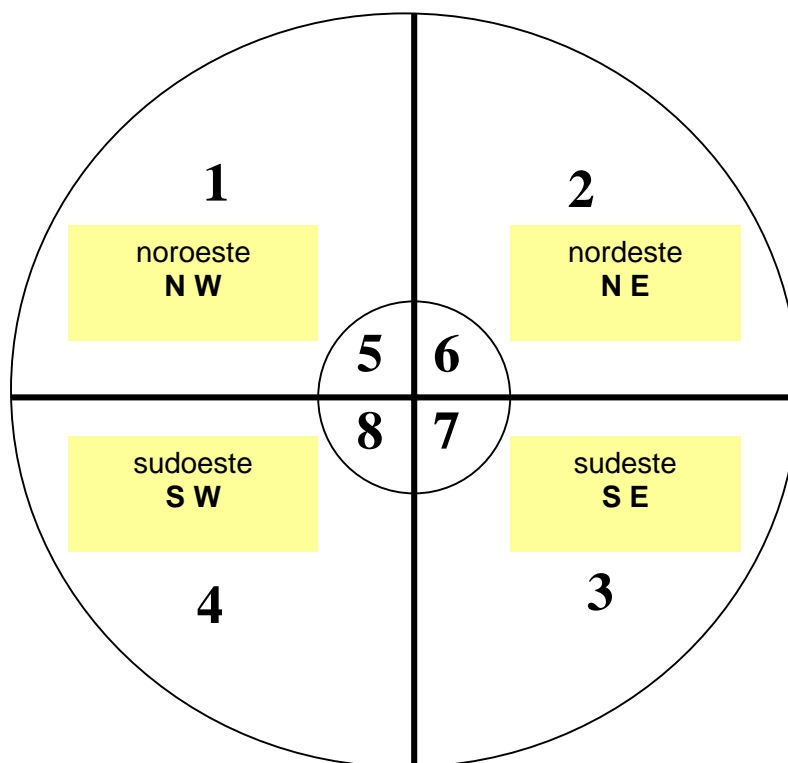


Figura 1 – Quadrantes considerados para localização das fontes e direção do vento

No caso das fontes industriais, foram utilizados os dados e estimativas de emissão mais atuais disponíveis, fornecidos pelas agências ambientais da CETESB. No caso de fontes móveis, as estimativas foram realizadas considerando-se as vias de tráfego como fontes linha. As estimativas de tráfego foram obtidas a partir de contagens de veículos das principais vias, realizadas pela própria equipe durante o trabalho ou fornecidas pelos órgãos de trânsito, e de fatores de emissão médios para os principais poluentes, estimados pela Cetesb.

A avaliação do impacto das fontes na estação de monitoramento, tanto fixas como veiculares, em termos de sua posição geográfica, foi feita dividindo-se a área de abrangência em oito setores, conforme apresentado na figura 1. Basicamente, somou-se as emissões para as fontes fixas e veiculares para cada um dos setores.

Para auxiliar na caracterização das fontes e comparação com os dados de particulado inalável do microinventário, apresentam-se ainda os estudos realizados pela CETESB utilizando a técnica de modelo receptor. Embora não haja estudo com modelo receptor para todas as regiões monitoradas e tais estudos tenham sido realizados em períodos distintos, os resultados apresentados ajudam a identificar as fontes de emissão que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar por partículas inaláveis.

3.4. Influência das Condições Meteorológicas

Para avaliação das condições meteorológicas, considerou-se as variáveis meteorológicas disponíveis na estação (ou estação mais representativa), tais como direção e velocidade do vento, umidade, temperatura e radiação. Os dados de umidade, temperatura e radiação foram utilizados principalmente para avaliação da influência das condições meteorológicas na formação dos poluentes secundários. No caso da dispersão atmosférica, ou seja, de transporte dos poluentes, considerou-se os dados horários de direção e velocidade do vento, subdivididos nos quadrantes preferenciais (conforme apresentados na figura 1) e calmaria.

Foram comparados então os ventos dos quadrantes com os dados de qualidade do ar observados no mesmo horário na estação, construindo-se rosas de poluição que indicam a frequência com que o vento soprou de cada quadrante e a respectiva concentração média associada, incluindo as diferenças obtidas entre os períodos diurno e noturno.

Por fim, comparou-se esses resultados com os dados de emissão inventariados de cada quadrante ou setor, procurando estabelecer uma relação de causa-efeito, ou seja, quais são efetivamente as fontes que mais contribuem para os valores de concentração observados na estação de monitoramento.

Para complementar as informações relativas às concentrações médias observadas para cada quadrante, fez-se ainda a análise das condições meteorológicas observadas em dois casos de ultrapassagem do limite legal de qualidade do ar.

4. Caracterização das Estações da Rede Automática

A atual rede mede os seguintes parâmetros: partículas inaláveis (MP_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais não metano e metano ($HCNM$ e CH_4), direção e velocidade do vento, umidade relativa, temperatura, pressão atmosférica e radiação solar (global e ultravioleta), conforme distribuição mostrada na tabela 3.

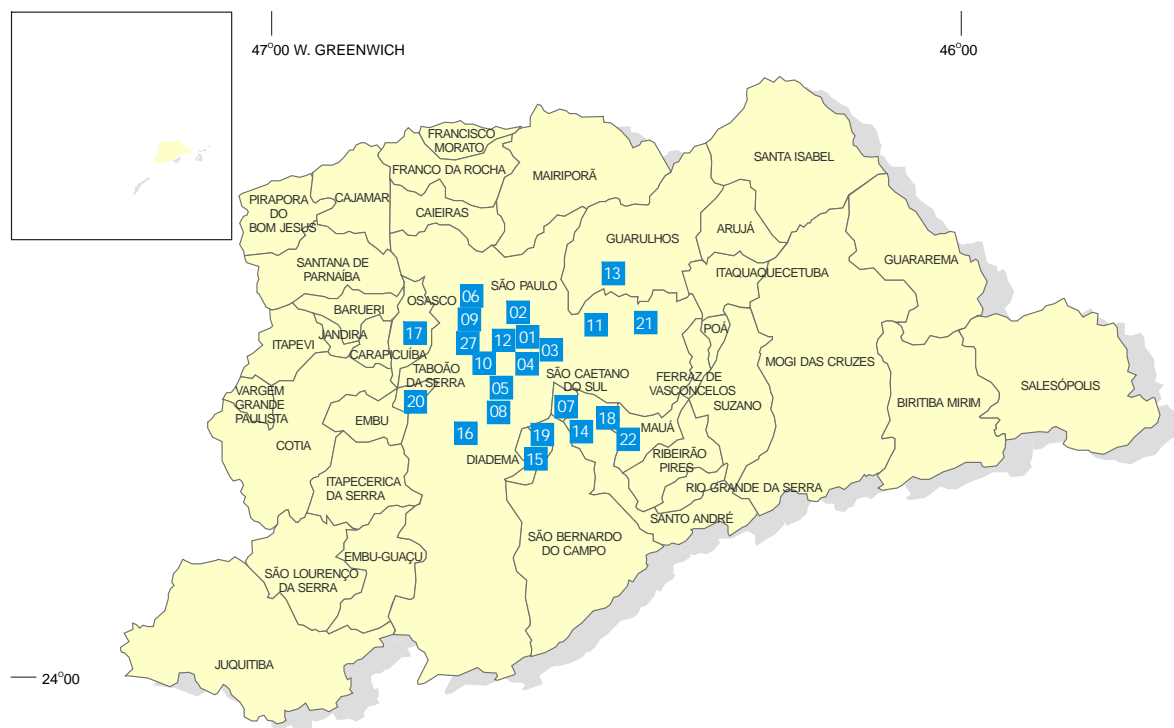


Figura 2 – Localização das estações da rede automática na RMSP

Tabela 3 – Configuração da rede automática – RMSP

ESTAÇÃO Nº	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	PARÂMETROS														
		PI	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	CO	CH ₄	HCNM	O ₃	UR	TEMP	VV	DV	P	RAD
01	Parque D. Pedro II	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
02	Santana	X								X			X	X		
03	Moóca	X								X			X	X		
04	Cambuci	X														
05	Ibirapuera	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
06	Nossa Senhora do Ó	X														
07	São Caetano do Sul	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
08	Congonhas	X	X	X	X	X	X									
09	Lapa	X		X	X	X	X						X	X		
10	Cerqueira César	X	X	X	X	X	X									
11	Penha	X														
12	Centro	X	X	X	X	X	X									
13	Guarulhos	X											X	X		
14	Santo André - Centro	X					X						X	X		
15	Diadema	X								X						
16	Santo Amaro	X					X						X	X		
17	Osasco	X	X	X	X	X	X			X			X	X		
18	Santo André - Capuava	X								X			X	X		
19	São Bernardo do Campo	X											X	X		
20	Taboão da Serra	X														
21	São Miguel Paulista	X								X	X	X	X	X		
22	Mauá	X		X	X	X				X						
27	Pinheiros	X	X	X	X	X	X			X						

PI Partículas Inaláveis
HCNM Hidrocarbonetos totais menos Metano
VV Velocidade do Vento
DV Direção do Vento
UR Umidade Relativa
P Pressão Atmosférica
RAD Radiação Total e Ultra-violeta

4.1. Estação Guarulhos

Apresenta-se a seguir os diversos aspectos relacionados à estação de Guarulhos em termos de monitores, localização, qualidade do ar medida, principais fontes de poluentes, aspectos meteorológicos etc., procurando então classificar a estação com base nos critérios já descritos no item 2.

4.1.1. Características da Estação

Dados da estação

Endereço: E.E. de 1º Grau Francisco Antunes Filho. Parque CECAP - Guarulhos. Rua Profª Maria Del Pilar Muñoz Bononato

Latitude sul: 23° 27' 30" ;UTM 347.250m

Longitude oeste: 46° 29' 30" ;UTM 7.404.440m

Altitude: 730 m

Altura de captação da amostra: 3,5 m

Altura do anemômetro: 10 m

Tabela 4: Parâmetros monitorados

Parâmetros medidos	Método	Equipamento	Início	Término
MP ₁₀	Radiação Beta	PW9790-Philips	01/05/80	14/06/99
MP ₁₀	Radiação Beta	FH62 I-N-Graseby-Andersen	06/08/99	
SO ₂	Coulometria	PW9755-Philips	01/05/80	30/09/95
VV e DV		Anemômetro	01/05/80	30/04/96
VV e DV	Tacômetro e goniômetro	Anemômetro Lasten k50256/00	01/05/96	

Condições Locais

A figura 3 apresenta um mapa identificando os principais fatores de influência no entorno da estação Guarulhos. Para facilitar a visualização das condições locais, foram tiradas fotografias do entorno da estação. A figura 4 traz uma foto da estação propriamente dita, a figura 5 é uma fotografia aérea da estação e as figuras 6 a 9 apresentam fotos com a visão do entorno nas direções norte, leste, sul e oeste, respectivamente, a partir da estação.

A estação Guarulhos está instalada nos fundos da escola Francisco Antunes Filho, junto ao muro da escola, lateral à Alameda das Acácias (figura 7), que é uma pequena rua sem saída. Tanto essa rua como a Rua Prof^a Maria Del Pilar Muñoz Bononato, frontal à escola, apresentam tráfego de veículos muito pequeno. A distância entre a estação e a Rua Prof^a Maria Del Pilar Muñoz Bononato é de aproximadamente 80 metros.

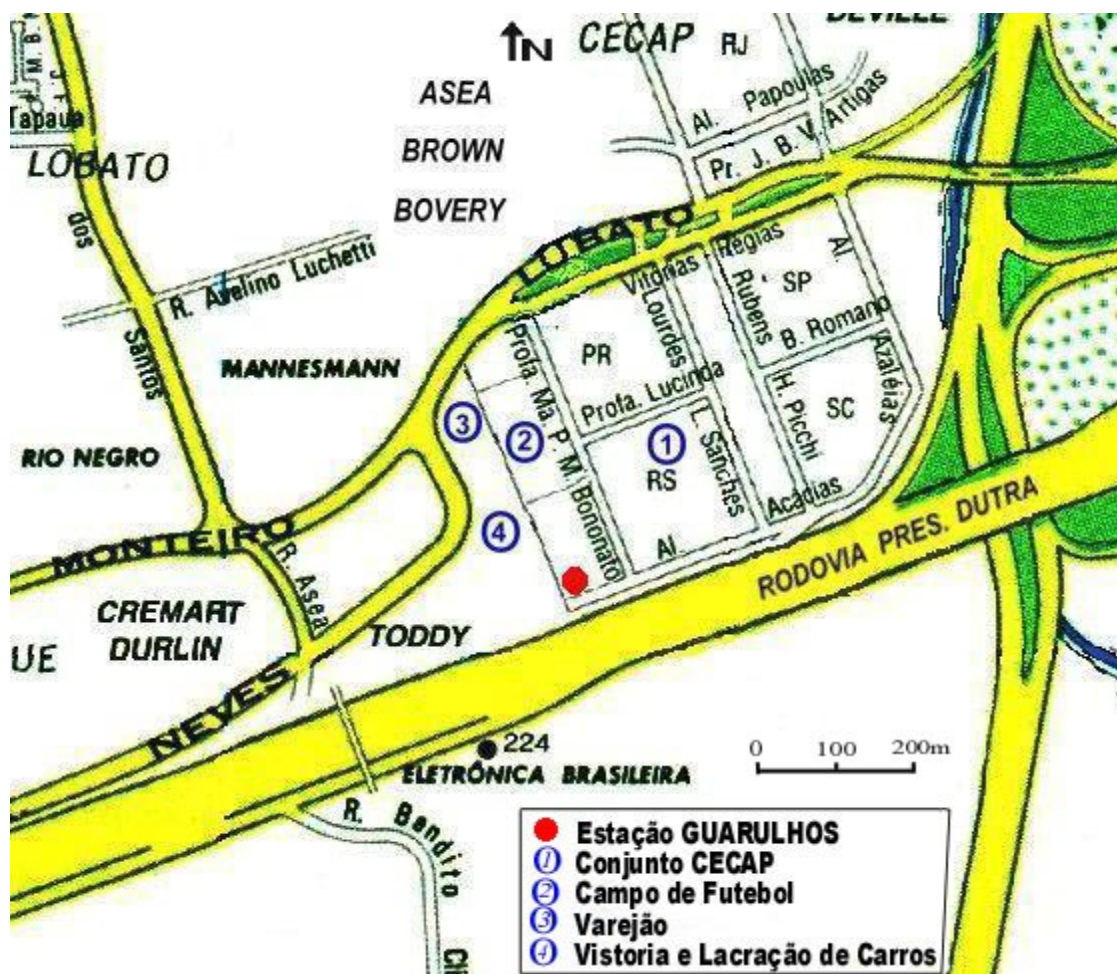


Figura 3 – Mapa de localização da estação Guarulhos

A estação está a aproximadamente 50 metros da Rodovia Presidente Dutra (altura do km 224), que se estende paralelamente à Alameda das Acácias, como pode ser observado na figura 8.

A região na parte em frente à escola, é ocupada por um conjunto de prédios residenciais padronizados (Conjunto CECAP ①). Esses prédios têm altura de cerca de 15 metros e o mais próximo está a cerca de 100 metros da estação, conforme pode ser observado nas figuras 5 e 7, ao fundo. Nas ruas internas aos blocos dos prédios próximos à estação existe somente trânsito local, de pouco movimento.

No lado oposto à Rodovia Presidente Dutra, quase paralelamente, passa a Av. Monteiro Lobato, a uma distância aproximada de 300 metros. Essa avenida apresenta tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados.

A parte dos fundos da estação é ocupada por um varejão ③, cujo estacionamento pode ser observado na figura 9 e uma unidade de vistoria e lacração de carros ④. Ao lado da unidade de vistoria, entre a escola e a Av. Monteiro Lobato, a cerca de 150 metros da estação, há um campo de futebol com piso de chão batido (figura 5). Embora um pouco distante, esse campo de terra pode representar uma fonte de ressuspensão de poeira perceptível à estação.

Entre a Av. Monteiro Lobato e a Rodovia Presidente Dutra, passa uma via em curva (Av. Pres. Tancredo Neves) a cerca de 150 metros a noroeste da estação, cujo tráfego de veículos não foi estimado.



Figura 4. Vista da estação Guarulhos



Figura 5. Vista aérea da estação Guarulhos



Figura 6. Vista do entorno da estação Guarulhos – Norte



Figura 7. Vista do entorno da estação Guarulhos – Leste



Figura 8. Vista do entorno da estação Guarulhos – Sul



Figura 9. Vista do entorno da estação Guarulhos – Oeste

Um aspecto que deve ser ainda considerado na estação Guarulhos como fonte indesejada de poluentes é a queima de lixo realizada na área interna da escola, que embora esporádica, pode causar um aumento das concentrações de material particulado quando realizada.

4.1.2. Avaliação da Qualidade do Ar

Visando avaliar o comportamento das concentrações de material particulado e dióxido de enxofre ao longo dos anos, foram considerados os dados obtidos na estação no período de 1983 a 2001. O monitoramento de SO_2 foi encerrado em setembro de 1995, e atualmente a estação Guarulhos mede somente MP_{10} .

Material Particulado (MP_{10})

A figura 10 apresenta a evolução das médias aritméticas anuais de MP_{10} nos últimos vinte anos na estação Guarulhos. Considerando-se o período como um todo, percebe-se que as concentrações anuais sempre estiveram acima do padrão de qualidade do ar (PQAr) anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), embora seja difícil diagnosticar uma tendência da poluição considerando todo esse período. Por outro lado, se considerarmos somente os últimos cinco ou seis anos, percebe-se uma tendência de queda, embora em 2001 as concentrações tenham subido um pouco.

Com relação ao padrão legal de curto prazo de MP_{10} ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - média de 24 horas), este foi ultrapassado em todos os anos, embora mais recentemente observe-se uma redução do número de dias de ultrapassagem do PQAr (figura 11). O maior número de ultrapassagens do PQAr de curto prazo ocorreu em 1994, quando houve 65 dias, sendo que em nove deles o nível de Atenção também foi ultrapassado.

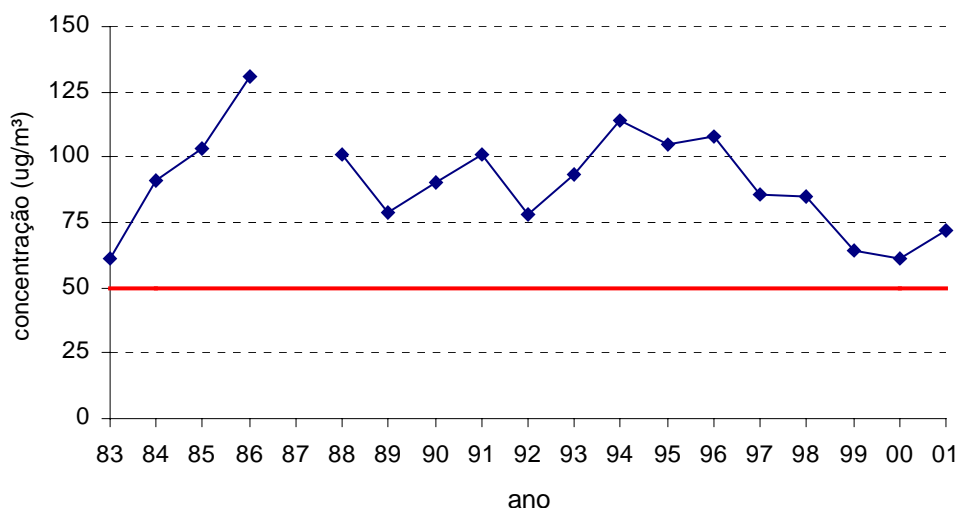


Figura 10. Médias aritméticas anuais de MP_{10} na estação Guarulhos

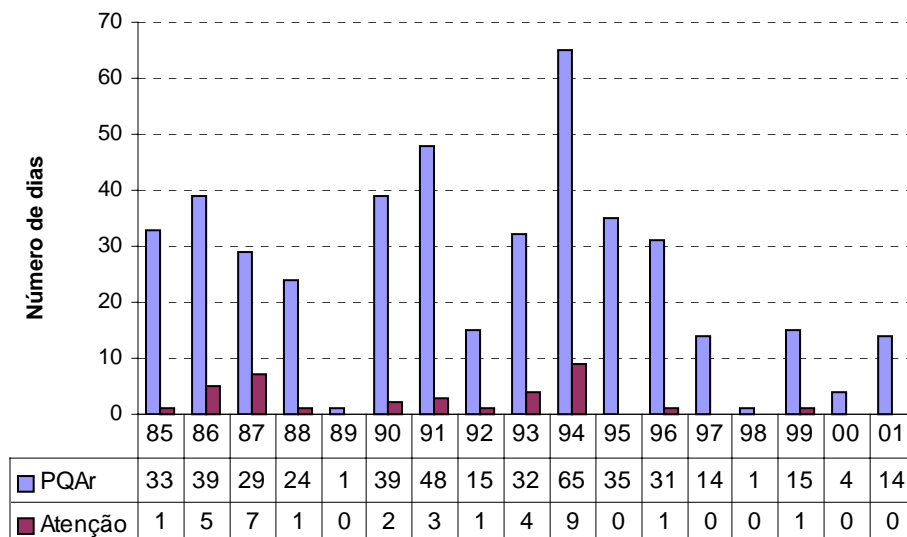


Figura 11. Dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção por MP₁₀ na estação Guarulhos

Nas análises seguintes não considerou-se os dados de 2001, já que não estavam disponíveis quando da sua elaboração. De qualquer forma, a ausência de dados de 2001 pouco compromete a interpretação dos gráficos a seguir, uma vez que sua interpretação tem principalmente a identificação de variações sazonais ou diurnas.

Em termos sazonais, sabe-se que no Estado de São Paulo os níveis mais elevados de concentração dos poluentes primários, ou seja, aqueles emitidos diretamente pelas fontes emissoras, são observados no período de inverno. Isso ocorre pela presença de condições meteorológicas mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes na atmosfera.

Com base nesse fenômeno, fez-se uma análise identificando os meses de ocorrência dos episódios de ultrapassagem do PQAr e do nível de Atenção no período de 1997 a 2000, apresentado na figura 12. Pode-se observar que nesse período não houve ultrapassagens do PQAr nos meses de verão, concentrando-se todos os episódios no período de abril a setembro. A maior frequência de ultrapassagens foi observada no mês de maio (10 episódios), embora todos eles tenham ocorrido no ano de 1997.

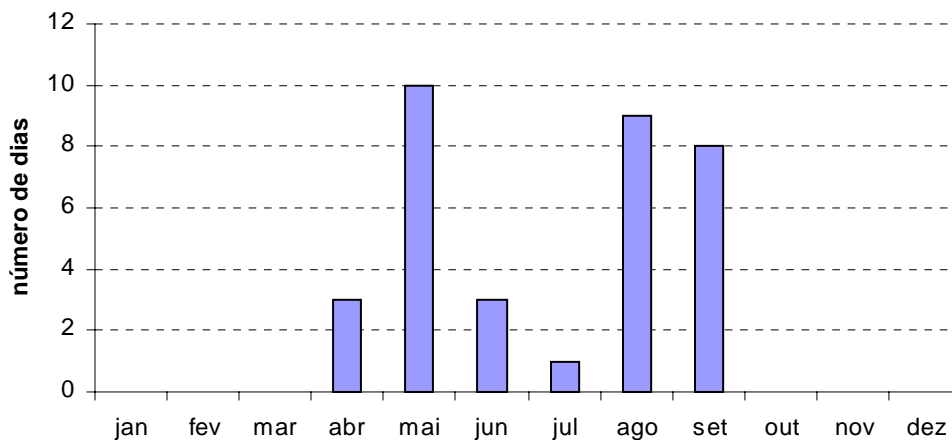


Figura 12. Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr de MP_{10} na estação Guarulhos no período de 1997 a 2000

Apesar de a estação dispor de dados de MP_{10} desde 1983, optou-se por utilizar os dados a partir de 1997 em função da renovação do sistema de aquisição e armazenamento de dados da rede automática ocorrida em 1996. Além disso, os dados a partir de 1997 são mais representativos das condições atuais da estação.

Considerando-se que o período analisado é de somente quatro anos e para evitar que a análise do comportamento sazonal seja influenciada por períodos curtos altamente desfavoráveis à dispersão dos poluentes, como ocorrido em maio de 97, fez-se também uma análise das médias mensais nesses mesmos quatro anos, calculadas a partir das médias diárias de 0h a 24h, apresentada na figura 13. Nessa figura observa-se claramente que as concentrações de MP_{10} apresentaram uma significativa elevação das concentrações durante os meses de inverno na estação Guarulhos.

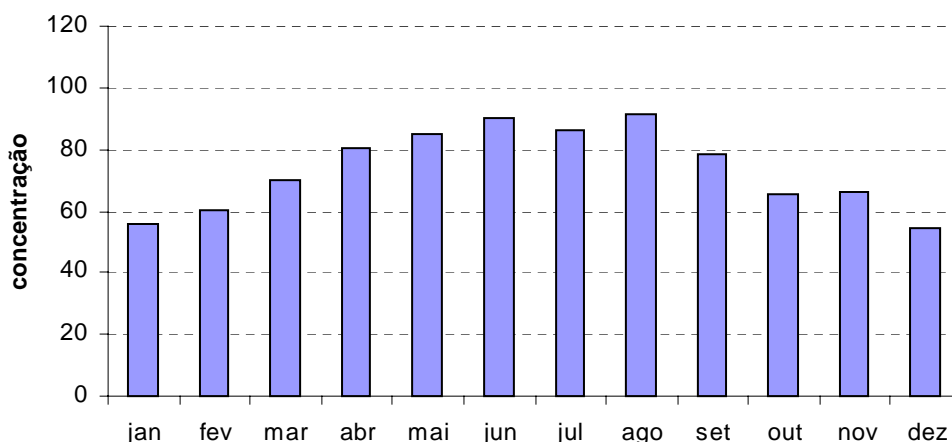


Figura 13. Médias mensais de concentração de MP_{10} na estação Guarulhos no período de 1997 a 2000

A figura 14 ilustra a distribuição das concentrações médias ao longo do dia para o período de 1997 a 2000, considerando o ano como um todo, para os períodos de maio a setembro (representativo das condições de inverno) e de outubro a abril (representando os demais períodos do ano). Pode-se observar que os perfis ao longo dos dois períodos do ano são semelhantes, embora notadamente no período de inverno as médias sejam mais altas.

Nessa figura observa-se ainda que existem dois picos diários de concentração, um próximo às 9h e outro às 19h. É interessante observar que esses picos coincidem com os picos de tráfego da cidade e são observados tanto no período de inverno quanto no de verão, embora mais baixos neste último devido às melhores condições meteorológicas de dispersão.

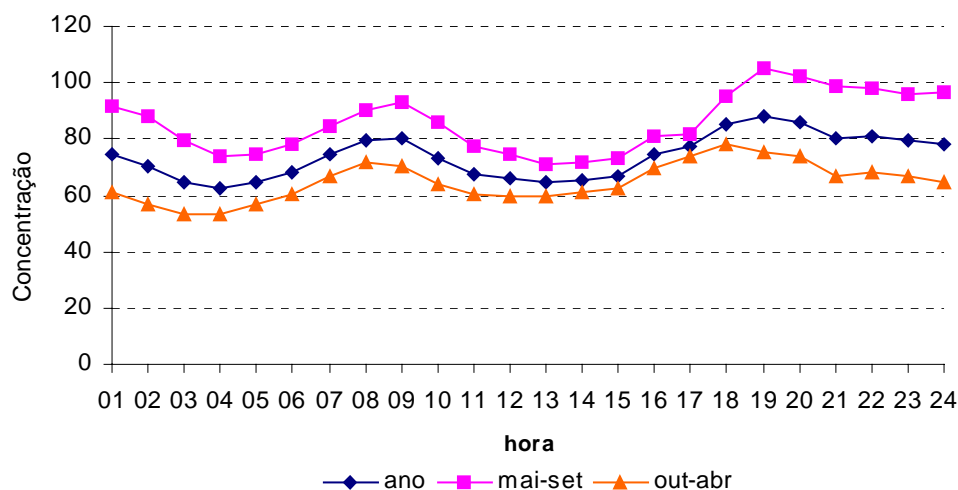


Figura 14. Médias horárias de concentração de MP_{10} por período do ano na estação Guarulhos no período de 1997 a 2000

Considerando-se somente os dias de ocorrência de ultrapassagem do PQAr ($150\mu g/m^3$ - média de 24 horas), ou seja, aqueles dias em que as concentrações estiveram mais elevadas, o perfil horário médio observado é ilustrado na figura 15. Nessa figura apresenta-se as médias para os 34 dias de ultrapassagem e os respectivos desvios padrão das médias, onde observa-se que, além dos picos observados nos horários de forte tráfego, nos dias de ocorrência de episódios as concentrações no período noturno são elevadas, provavelmente associadas a alta estabilidade atmosférica nesses dias.

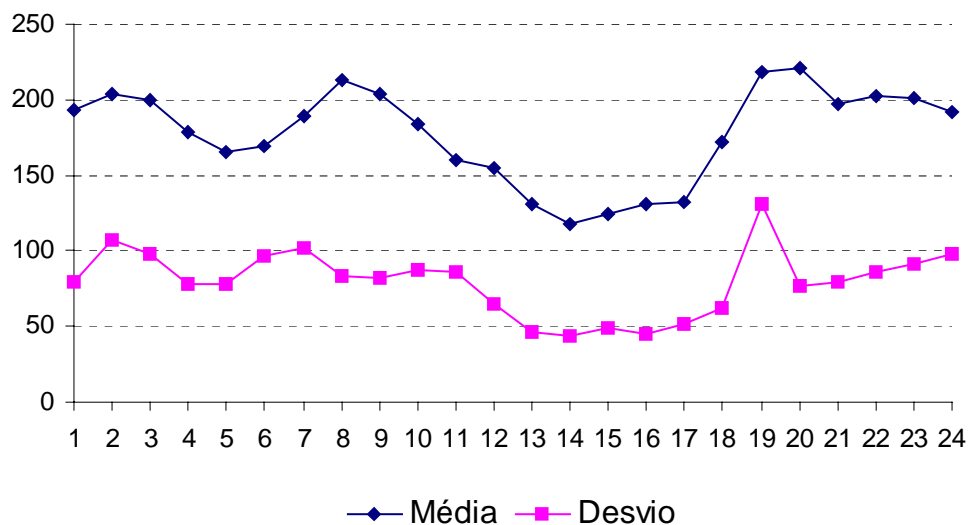


Figura 15. Médias horárias de concentração de MP_{10} nos 34 dias de ocorrência de episódios acima do PQAr ($150\mu g/m^3$ - 24horas) na estação Guarulhos no período de 1997 a 2000

Dióxido de Enxofre (SO_2)

No caso do SO_2 (figura 16), a análise de 12 anos de dados mostra que os níveis de concentração (médias aritméticas anuais) registrados estão bem abaixo do PQAr de $80\mu g/m^3$. A partir de 1995, deixou-se de fazer o monitoramento de SO_2 nesta estação. Não houve ultrapassagens do padrão de curto prazo de SO_2 no período monitorado.

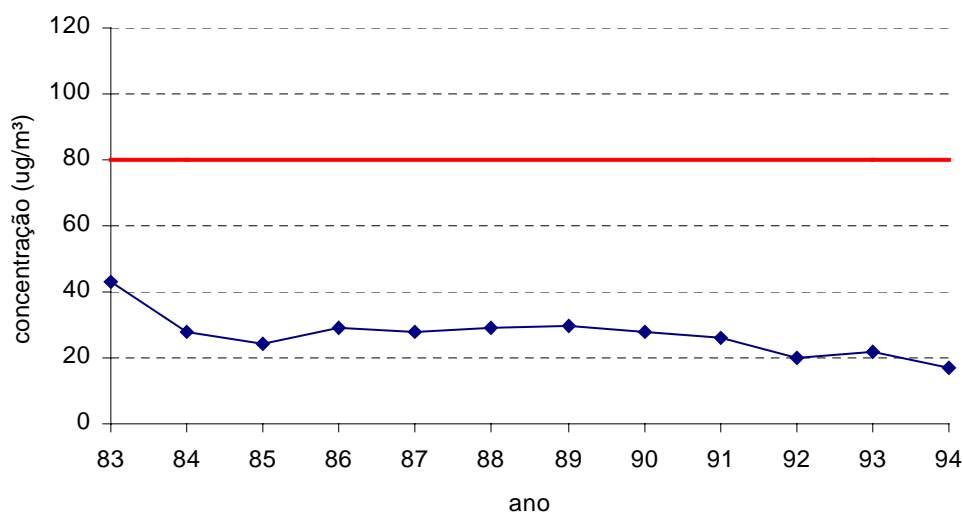


Figura 16. Médias aritméticas anuais de SO_2 na estação Guarulhos

4.1.3. Microinventário de Fontes

Para avaliar o impacto das fontes na estação foram levantadas as fontes fixas prioritárias definidas em duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400m e de 2000m de raio, em setores, conforme apresentado na figura 17.

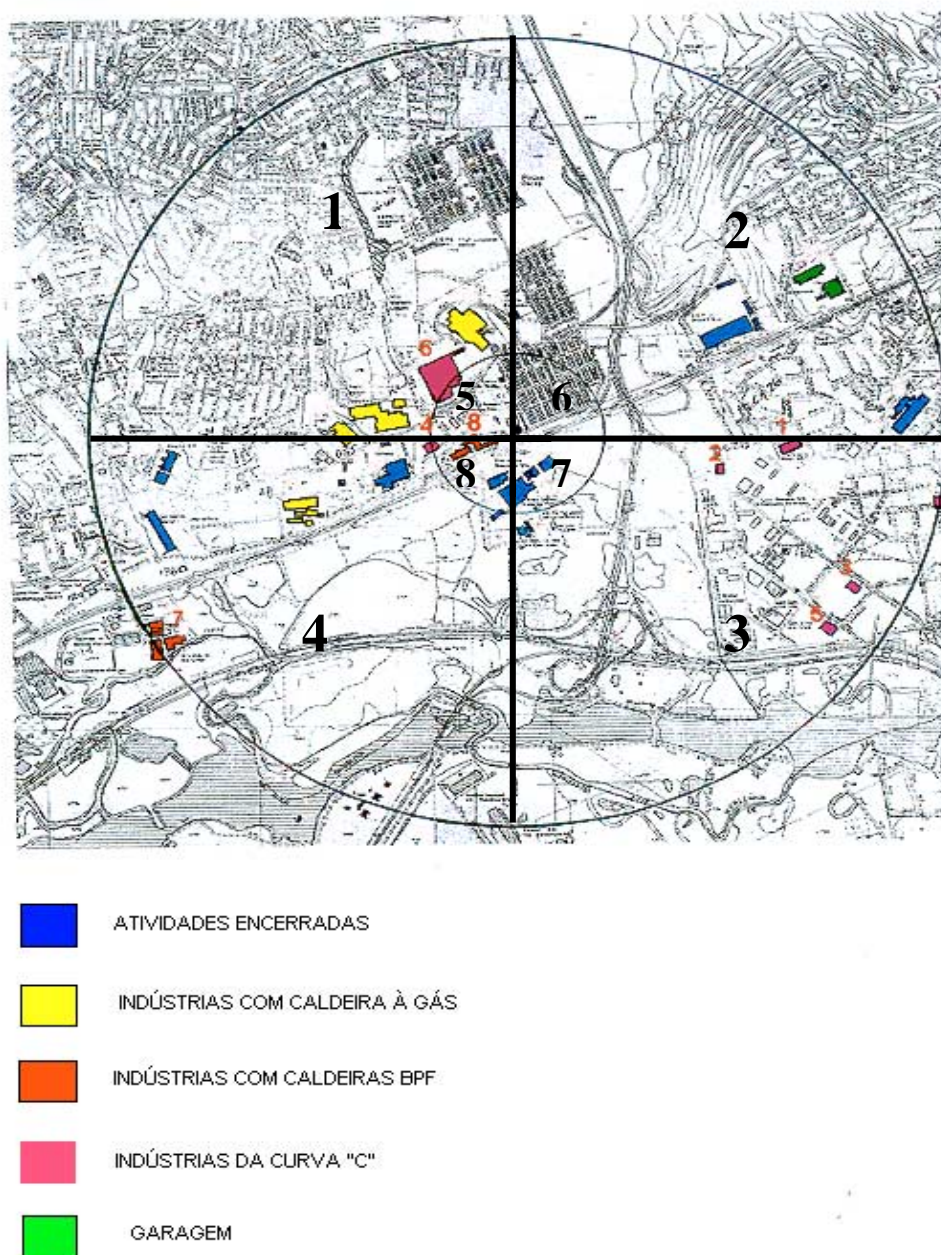


Figura 17 – Mapa ilustrando as principais fontes de emissão e quadrantes no entorno da estação Guarulhos

Fontes Fixas

As fontes prioritárias no perímetro de avaliação da estação não apresentam, de maneira geral, alto potencial de emissão, conforme informações prestadas pela Agência Ambiental de Guarulhos. A tabela 5 apresenta os valores de emissão para as fontes fixas levantadas, bem como identifica, através da numeração das fontes, sua localização geográfica em relação à estação Guarulhos, que pode ser observada na figura 17.

Tabela 5: Estimativas de emissão de fontes estacionárias no entorno da estação Guarulhos.

	Empresa	Fonte	Emissão (ton/ano)				
			MP	SO ₂	NOx	CO	HC
1	Harlo	Forno Cubilot/ venturi	0,7	0,6			
2	Bonolo (Tinturaria)	Caldeira óleo (BPF)/ lenha	16,5	2,8	11	31	36
3	Mangels	Caldeira/ filtros manga	2,3	32			
4	Durlin Tintas	Caldeira óleo (diesel)	3	3			
5	Fundalumínio	Fornos basculantes (BTE)	0,11	3,6			
6	Metalúrgica de tubos de Precisão	Caldeira	1,6	14			
7	Maggion	Caldeira BPF	2	2,8			
8	Quacker	Caldeira BPF	1,2	1,6			
TOTAL			27,4	60,4	11	31	36

As fontes fixas mais próximas, dentro de um raio de 400m, localizam-se a noroeste e ao norte da estação. A fonte mais importante, em termos de potencial de emissão de material particulado, é a Bonolo, que se situa a sudeste da estação. A Bonolo se destaca em relação às outras empresas, também pelo elevado potencial de emissão de NOx, CO e HC. As empresas Mangels (a sudeste da estação) e Metalúrgica de Tubos de Precisão (a noroeste da estação) apresentam os maiores potenciais de emissão de SO₂, poluente não monitorado nesta estação.

Um importante aspecto a considerar diz respeito à altura em que são lançados os poluentes. No caso das fontes estacionárias, as chaminés têm alturas que variam entre 8 e 11m, com exceção da Harlo, cuja chaminé tem 20m de altura.

Fontes Móveis

A Rodovia Presidente Dutra passa a cerca de 50m da estação, à altura do quilômetro 224, estendendo-se de sudoeste a nordeste da estação. Quase paralelamente à Dutra, ao norte, passa a avenida Monteiro Lobato, importante via de tráfego a cerca de 300 m da estação. A cerca de 1km, estendendo-se de sudoeste a sudeste, passa a Rodovia Ayrton Senna, sendo que no quadrante sudoeste passa apenas o trecho Rio-São Paulo da rodovia e a sudeste passam as duas pistas.

Considerando a importância destas fontes lineares sobre toda a região considerada neste estudo, foram feitas as seguintes estimativas de emissão:

- As emissões na Rodovia Presidente Dutra e na Rodovia Ayrton Senna foram estimadas a partir dos dados de contagem de veículos realizada nos dias 13/11/2000 e 12/11/2001, respectivamente, no período das 11h30 às 12h (tabela 6). Considerou-se que o tráfego se mantém constante durante todo o dia, durante todos os dias do ano. Na Ayrton Senna, foram consideradas as duas pistas no quadrante sudeste e no quadrante sudoeste considerou-se somente o sentido Rio-São Paulo, já que o sentido contrário está fora do perímetro de avaliação.
- O cálculo das emissões na Av. Monteiro Lobato foi realizado a partir dos dados de contagem de veículos (tabela 6). A contagem foi realizada durante 30 minutos, entre as 11h15 e 11h45 do dia 13/11/2000. Uma vez que as contagens de veículos foram realizadas em horário de tráfego intenso, para modelo de cálculo optou-se por considerar que este período de tráfego intenso é maior e constante ao longo do dia e nulo no período noturno e nos finais de semana, embora efetivamente isso não ocorra. Assim, para estimativa do volume anual, considerou-se que, hipoteticamente, o volume de tráfego se mantém constante em dois terços do dia (16 horas/dia), durante 5 dias por semana (264 dias/ano), e que nos demais períodos não há circulação de veículos leves ou pesados.

Tabela 6: Contagem de veículos nas rodovias Presidente Dutra e Ayrton Senna e na av. Monteiro Lobato

Fonte		Volume de tráfego (30 min)	Volume anual estimado
Dutra	Veículos Leves	2352	41.207.040
	Veículos Pesados	1499	26.262.480
Ayrton Sena	Veículos Leves	1354	35.583.120
	Veículos Pesados	484	12.719.520
Monteiro Lobato	Veículos Leves	621	5.246.208
	Veículos Pesados	191	1.613.568

Para a estimativa de emissão das fontes móveis, foram considerados os fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 1999 (tabela 7).

Tabela 7: Fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 1999.

Tipo de veículo	Fatores de emissão (g/km)				
	MP	SO ₂	NOx	CO	HC
Gasool	0,08	0,2	0,8	13,8	1,4
Diesel	0,81	1,13	13	17,8	2,9

A partir dos fatores de emissão e do volume de tráfego estimado nas principais vias no entorno da estação, calculou-se a emissão de poluentes em ton/ano, levando-se em conta a extensão destas fontes lineares (tabela 8).

Tabela 8: Emissões de fontes móveis.

Local	Fonte	Emissão (ton/ano)				
		MP	SO ₂	NOx	CO	HC
Dutra*	gasool	13	33	132	2275	231
	diesel	85	119	1366	1870	305
	Total	98	152	1498	4145	535
Ayrton Sena**	gasool	8,9	21	84	1456	148
	diesel	31	43	491	672	110
	Total	40	64	575	2128	258
Monteiro Lobato***	gasool	0,17	0,42	1,68	29	2,94
	diesel	0,52	0,73	8,39	11,5	1,87
	Total	0,69	1,1	10,1	40,5	4,8

* Fonte linear de 4 km de extensão

** Fonte linear de 3 km de extensão (1 pista) + fonte linear com 1,45 km de extensão (2ª pista)

*** Fonte linear de 400 m de extensão

Outras Fontes

- Ressuspensão de poeira de rua:

Entre a escola em cujo pátio se situa a estação e a avenida Monteiro Lobato (a cerca de 150m da estação) há um campo de futebol com piso de chão batido a uma distância em torno de 100m a NW da estação (ver figura 5). Além disso, na parte dos fundos da estação, também a NW, há um terreno baldio, que aliado à movimentação de veículos nas proximidades da estação, pode contribuir com parte do material particulado inalável medido.

Essa hipótese é reforçada pelos resultados obtidos preliminarmente em um estudo empregando a técnica de modelo receptor, realizado nesse local. O estudo teve por objetivo identificar as fontes de emissão de material particulado inalável que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar por esse poluente na região de Guarulhos. Para tanto, foram coletadas nesse local amostras das frações fina (até $2,5\ \mu\text{m}$) e grossa (de $2,5\ \mu\text{m}$ a $10\ \mu\text{m}$) do material particulado inalável no período de junho de 1996 a agosto de 1997. Além de identificar as fontes, o estudo procurou quantificar a participação das várias categorias de fontes.

O impacto das fontes foi estimado a partir do modelo de balanço químico de massas. Esse modelo consiste de um conjunto de equações lineares que expressam as concentrações ambientais das espécies químicas como a soma dos produtos de contribuição das fontes e composição das fontes. As contribuições das fontes não são conhecidas e são estimadas ajustando-se os perfis das fontes selecionadas aos perfis das amostras ambientais por análise de regressão de mínimos quadrados.

Como resultado preliminar, obteve-se que a estimativa de contribuição da fonte de ressuspensão de poeira corresponde a cerca de 40% do material particulado inalável coletado no local no período em que se realizou o estudo.

- Combustão de biomassa:

A queima de matéria orgânica nas proximidades da estação (queima de grama, gravetos, folhas, lixo etc.) também pode responder por parte da poeira inalável detectada. A estimativa de contribuição desta fonte é de 6%, conforme resultado preliminar do estudo empregando modelo receptor, citado anteriormente, realizado nesse local no período de junho de 1996 a agosto de 1997.

A tabela 9 relaciona as emissões das fontes estacionárias e móveis dentro de cada setor (figura 17).

Tabela 9: Estimativas de emissão de material particulado de fontes estacionárias e móveis no entorno da estação Guarulhos.

Quadrante	Setor	Fonte	Emissão (ton/ano)
0-90 (nordeste)	2	Dutra (1600m)	39
	6	Dutra (200m)	5
90-180 (sudeste)	3	Harlo(1) +Bonolo(2)+Mangels(3)+Fundalumínio(5) + A. Senna [2x1450m] = 0,7+16,5+2,3+0,11+25,2	44,8
	7	Dutra [200m]	5
180-270 (sudoeste)	4	Dutra [1600m]+ Maggion (7) + A. Senna [1550m]=39+2+13	54
	8	Dutra [400 m] +Quacker (8) + Durlin Tintas (4)=10+1,2+3	14
270-360 (noroeste)	1	Metalúrgica de Tubos de Precisão(6)	1,6
	5	Monteiro Lobato [400m]	0,7

Observação: os números entre parênteses correspondem às fontes industriais, tal como apresentadas na tabela 5. Os números entre colchetes correspondem à extensão das vias de tráfego no setor considerado.

4.1.4. Influência das Condições Meteorológicas

A análise do impacto das condições meteorológicas na qualidade do ar medida na estação Guarulhos ficou restrita à análise das condições de transporte pelo vento. Essa restrição foi feita porque a estação dispõe somente de dados de vento e porque a poluição medida é somente de MP_{10} , que é influenciado principalmente pelas condições de transporte.

A rosa de ventos dos anos 1997 a 2000 (figura 18a) mostra o quadrante SE como o de ventos predominantes, ou seja, de maior frequência; existe ainda uma forte contribuição de ventos mais intensos de NW. É importante ressaltar que no período estudado a porcentagem de calmaria ou ventos variáveis (normalmente ventos fracos) para a estação Guarulhos foi de 47%, valor considerado bastante alto. A rosa de poluição para os mesmos 4 anos (figura 18b) mostra que as maiores contribuições de poluentes, no caso MP_{10} são do quadrante SE e uma contribuição significativa da direção NW, de acordo com a rosa de ventos.

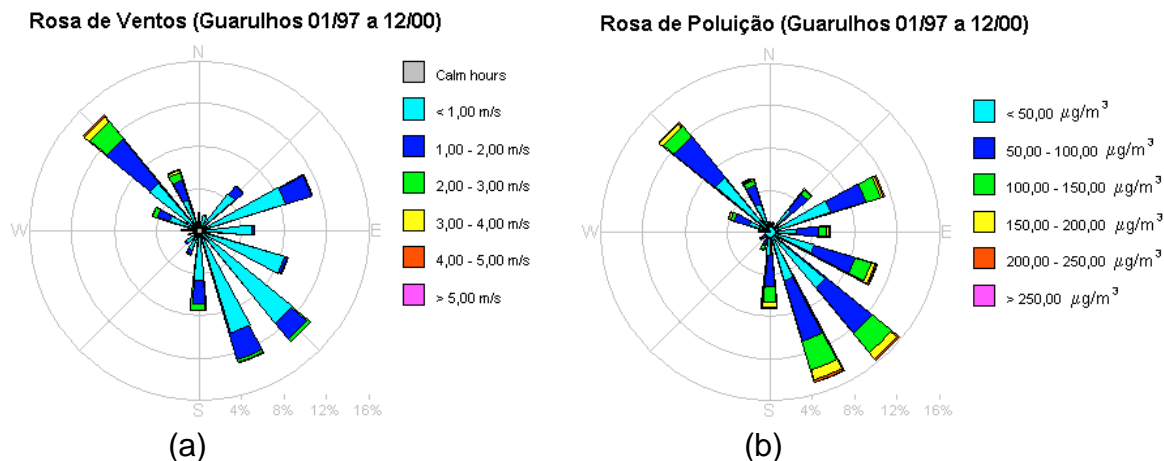
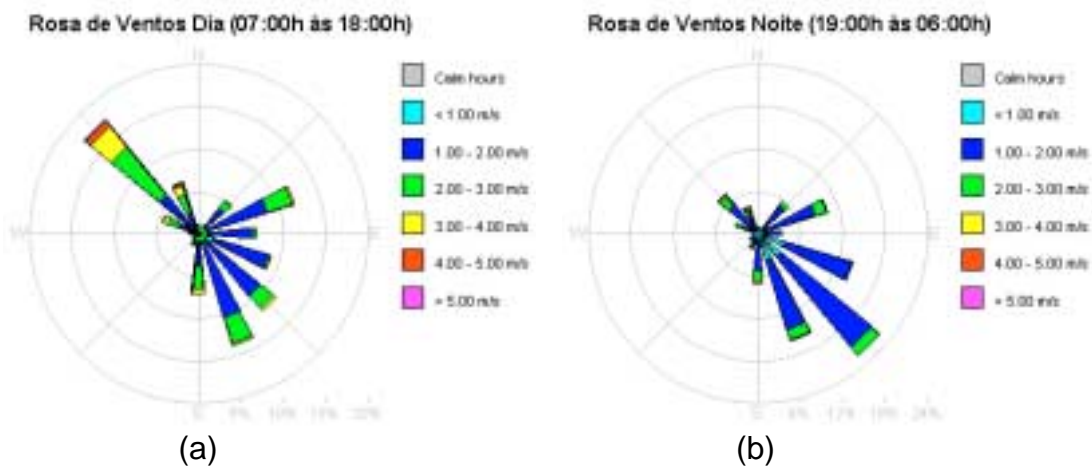


Figura 18 – Rosas de ventos (a) e de poluição (MP_{10}) (b) da estação Guarulhos para os anos 1997 a 2000.

Nas rosas de ventos para os períodos diurno (figura 19a) e noturno (figura 19b) observa-se que o vento de NW ocorre preferencialmente durante o dia, período esse em que geralmente a atmosfera está mais instável, sendo mínimas durante a noite. Nota-se ainda que durante o dia os ventos de NW possuem velocidades mais altas, isso ocorre porque os ventos de rajada diurnos são, na maioria das vezes, dessa direção.

Durante a noite, quando a atmosfera está mais estável e a altura de mistura mais baixa, os ventos de NW enfraquecem e provocam muitas horas de calmaria. Nessa condição, a atuação dos ventos é predominantemente de SE, com uma contribuição secundária de ventos de NE. A porcentagem de calmaria e de ventos variáveis observada foi de 30% durante o dia e subiu para 63% durante a noite. As rosas de poluição para o dia e para a noite (figuras 19c e 19d, respectivamente) seguem o padrão de rosas de ventos.



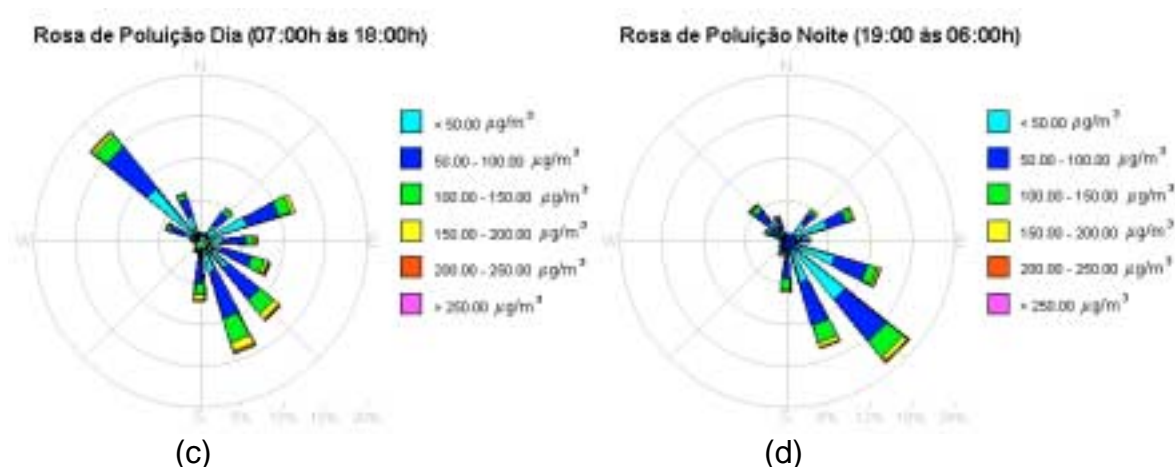


Figura 19 – Rosas de ventos diurna (a), noturna (b) e rosas de poluição diurna (c) e noturna (d) da estação Guarulhos para os anos 1997 a 2000.

Quando são feitas as rosas de ventos e de poluição para as concentrações maiores que $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figuras 20a e 20b, respectivamente), observa-se que a maior parte da poluição é oriunda do quadrante SE, quadrante este em que os ventos sopram da Rod. Pres. Dutra para o monitor. Pode-se observar, no entanto, que ocorrem alguns episódios com vento de NW com velocidade acima de $2\text{m}/\text{s}$. As concentrações médias horárias de MP_{10} maior que $150\mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, que contribuem positivamente para ultrapassagem do PQAr de 24 horas, ocorreram em 65% dos casos em situação de calmaria ou vento variável, podendo indicar que essas altas concentrações são de origem local.

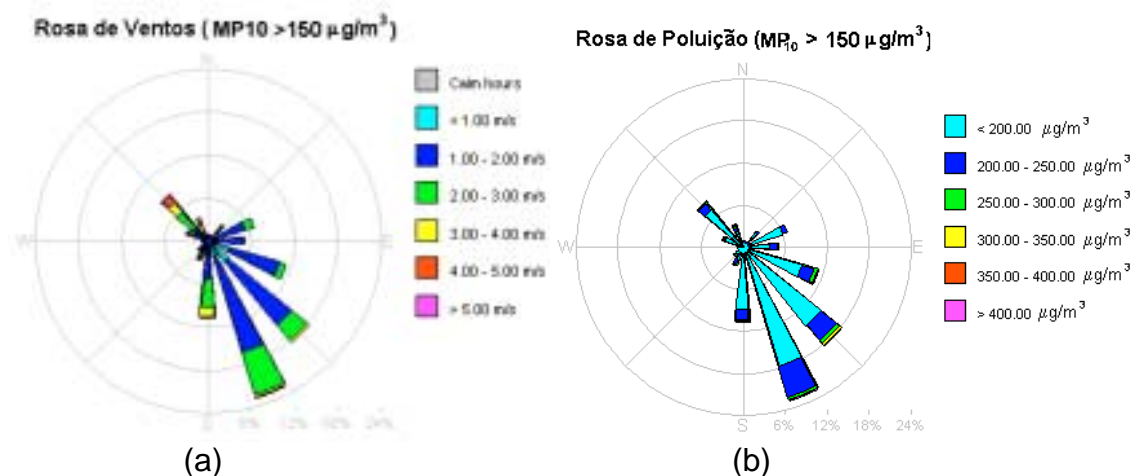


Figura 20 – Rosas de ventos (a) e de poluição (b) da Estação Guarulhos ($\text{MP}_{10} > 150\mu\text{g}/\text{m}^3$) para os anos 1997 a 2000.

Para melhor entender os resultados obtidos pelas rosas de vento e poluição, e as diferenças que ocorrem entre as concentrações diurnas e noturnas, elaborou-se a

tabela 10, que mostra as concentrações médias de material particulado inalável para diferentes direções e velocidades de vento, em 24 horas, períodos diurno e noturno, bem como a frequência de ocorrência dos eventos em horas.

Tabela 10: Concentrações médias de MP₁₀ em diferentes condições de vento, no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2000.

Vento		MP ₁₀ (µg/m ³)			Nº de ocorrências(horas)		
Velocidade	Direção	24h	7-18h	19-6h	24h	7-18h	19-6h
Calmaria (<0,5m/s)	-	84	85	84	11950	3476	8474
≥0,5 e <1m/s	todas	70	73	67	2832	1412	1420
≥1 e <2 m/s	NE	60	53	62	2308	1565	743
	SE	72	78	63	5166	2986	2180
	SW	69	68	70	603	361	242
	NW	54	53	55	1617	1139	478
≥2 e <3m/s	NE	55	55	56	578	460	118
	SE	83	86	73	982	767	215
	SW	74	79	64	209	137	72
	NW	58	58	55	1261	1085	176
≥3 e <4m/s	NE	50	52	24	54	50	4
	SE	75	78	58	143	123	20
	SW	96	95	98	52	30	22
	NW	66	65	80	496	458	38
≥4 e <5m/s	NE	49	49	0	3	3	0
	SE	94	101	65	16	13	3
	SW	123	140	65	9	7	2
	NW	87	86	94	123	113	10
>5m/s	NE	-	-	-	0	0	0
	SE	-	-	-	0	0	0
	SW	-	-	-	0	0	0
	NW	109	116	72	31	27	4

A figura 21, elaborada a partir dos dados da tabela 10, mostra o comportamento da concentração média de material particulado inalável medida na estação, entre janeiro de 1997 e dezembro de 2001, em função da direção do vento, para diferentes faixas de velocidade.

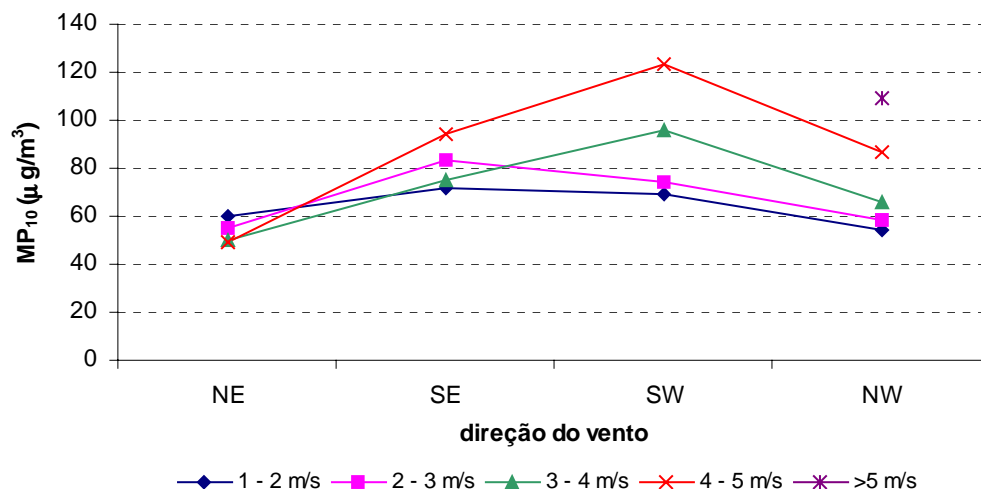


Figura 21 - Concentração média de material particulado inalável, no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2001, em função da direção do vento.

Apresenta-se a seguir, a partir da análise da tabela 10 e das figuras 18 a 21, alguns aspectos das concentrações de MP₁₀ sob determinadas condições de direção e velocidade do vento. Para facilitar a visualização e interpretação dos resultados, comparativamente às emissões estimadas, reproduz-se na tabela 11 as emissões estimadas das fontes para cada um dos quadrantes no raio de 2Km a partir da estação.

Tabela 11: Estimativas de emissão de material particulado de fontes estacionárias e móveis no entorno (2Km) da estação Guarulhos.

Quadrante	Emissão (ton/ano)
NE	44,0
SE	37,0
SW	68,0
NW	2,3

Calmaria

Sob condições de vento calmo (< 0,5 m/s), é de se esperar que as concentrações observadas na estação reflitam as emissões muito próximas à mesma, bem como concentrações associadas a condições desfavoráveis à dispersão atmosférica.

As concentrações de MP₁₀ observadas na estação em condições de calmaria apresentaram uma média de 84 µg/m³. Esse valor é relativamente alto se compararmos com os valores observados em condições de vento. Embora a maior parte dos horários de calmaria ocorram no período noturno (cerca de 70%), a média de concentração observada no período diurno (85 µg/m³) é praticamente a

mesma do período noturno ($84 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Existe, portanto, uma indicação forte de que os altos valores observados em condição de calmaria se devem, em parte, à presença de fontes próximas à estação, principalmente no período diurno, e em parte à estabilidade atmosférica no período noturno, talvez compensada pela redução da emissão nesse período. Cabe lembrar que a análise da rosa de ventos para MP_{10} maior que $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mostrou que 65% dos casos ocorreram sob condições de vento calmo e/ou de direção variável (ventos muito fracos).

Ventos de 0,5 a 1 m/s

Em condições de vento muito fraco (entre 0,5 e 1 m/s) desconsiderou-se a direção do vento, dado que nessas circunstâncias o vento é em geral muito variável em sua direção. A concentração média observada nessa condição é de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferior portanto à concentração obtida em condição de calmaria ($84 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o que pode ser atribuído ao efeito de dispersão dos poluentes.

Comparando-se os períodos diurno e noturno, observa-se que a frequência de ocorrência em ambos os períodos é equivalente, embora a média para o período diurno seja mais elevada ($73 \mu\text{g}/\text{m}^3$), provavelmente porque há maior emissão de fontes próximas nesse período, como a Rod. Presidente Dutra, enquanto que as condições de dispersão atmosférica, determinantes no período noturno, são mais favoráveis que em condições de calmaria.

Ventos de 1 a 2 m/s

Para efeito de dispersão dos poluentes, o vento entre 1 e 2 m/s pode ser considerado fraco, e as concentrações observadas na estação ainda devem sofrer forte influência das fontes de emissão mais próximas, ou seja, deve concordar em grande parte com as estimativas de emissão obtidas no raio de 2 km (tabela 11).

Nessa condição de vento, as maiores médias de concentração foram observadas quando o vento sopra de SE ($72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e SW ($69 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sendo SE o quadrante de maior frequência.

Comparando com os totais de emissão estimados, observa-se que apesar do vento do quadrante SE ser o que apresenta, nessa faixa de velocidade do vento, maior concentração média de MP_{10} na estação, não é neste quadrante que estão as maiores estimativas de emissão. É provável que isso ocorra em virtude de ser neste quadrante que a Rod. Pres. Dutra está mais próxima da estação (cerca de 50m). Obviamente, a consideração simplificada utilizando a soma das estimativas de emissão das fontes por quadrante no raio de 2Km, desconsiderando fatores como a distância entre a fonte e a estação, a altura de lançamento dos poluentes etc., podem levar a resultados incoerentes e exigem portanto ponderações como as feitas nesse caso. Sem dúvida, a utilização de outras metodologias que considerem um número maior de fatores envolvidos e permitam um refinamento maior das variáveis, como os modelos de dispersão de poluentes, tende a produzir resultados mais consistentes.

Para os demais quadrantes, observa-se uma certa concordância entre as estimativas de emissão e as concentrações medidas na estação, sendo o vento do

quadrante NW o que apresentou a menor concentração média na estação, bem como é o quadrante que apresenta a menor estimativa de emissão de MP.

Considerando as médias dos períodos diurno e noturno, observou-se ser com vento de SE a maior diferença entre as médias dos dois períodos ($78\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período diurno e $63\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período noturno). Embora não tenham sido realizadas contagens de veículos no período noturno, é provável que tal fenômeno esteja associado à redução da emissão das fontes próximas no período noturno, principalmente da Rod. Presidente Dutra.

Outro fato que pode ser destacado é que as médias entre quatro quadrantes no período noturno são mais próximas, uma vez que, se considerarmos que há uma redução na emissão nesse período, devem estar associadas predominantemente à condição de estabilidade atmosférica.

Ventos de 2 a 3 m/s

A tabela 10 mostra que também nessa faixa de velocidade do vento, as concentrações mais elevadas, em média, foram observadas com vento de SE. Exceto para vento de NE, direção que apresenta menor média, as médias de concentração de 24h observadas aumentaram com o aumento da velocidade do vento. Se considerarmos as médias do período diurno, todos os quadrantes apresentaram aumento das concentrações médias comparativamente com ventos de 1 a 2m/s. Pode-se observar também, na tabela 10, que as concentrações são mais altas no período diurno, exceto para vento de NE, provavelmente devido à redução das emissões próximas da estação no período noturno, conforme já mencionado.

Ventos acima de 3 m/s

No caso de ventos mais fortes, é de se esperar que as emissões mais distantes passem a ter um papel mais importante. Nessa condição de vento, observou-se uma significativa redução na frequência de ocorrência de episódios, principalmente acima de 4 m/s. A maior média de concentração foi observada com vento de SW ($96\mu\text{g}/\text{m}^3$ na faixa de 3 a 4 m/s e $123\mu\text{g}/\text{m}^3$ na faixa de 4 a 5 m/s).

Considerando que esses ventos mais fortes podem transportar a poluição de áreas mais distantes para a estação, é possível que esse fato decorra do transporte da poluição gerada na área metropolitana, já que se encontra em sua maior parte a SW da estação. Também nesse caso, os maiores valores de concentração são observados no período diurno, concordando com período de maior emissão.

Outro aspecto importante a ser considerado com ventos acima de 3 m/s é a grande frequência de ventos de NW, cujas concentrações de MP_{10} associadas aumentam com o aumento da velocidade do vento. É possível que tais concentrações estejam associadas à ressuspensão de material particulado de fonte próxima à estação, lembrando que na análise do modelo receptor a porcentagem de contribuição obtida para poeira de rua é em torno de 40% e que nas proximidades da estação, a NW, há um campo de futebol com piso de chão

batido, fato que é corroborado pela pequena diferença entre as concentrações nos períodos diurno e noturno.

As análises, considerando as concentrações médias em função da direção e velocidade do vento, são úteis para avaliar a contribuição de fontes contínuas, principalmente para efeitos de comparação com os valores de concentração de longo prazo. Todavia, as ocorrências de ultrapassagens do PQAr de curto prazo (24 horas) podem ocorrer sob condições de vento diferentes das que contribuem para maiores concentrações médias para períodos longos. Isso pode ocorrer tanto por emissões esporádicas ou acidentais como por situações meteorológicas muito desfavoráveis.

Objetivando ilustrar condições de ocorrência do PQAr de curto prazo, selecionou-se os dias em que as concentrações médias de 24 horas foram mais altas em 2001, comparando com as condições de vento e as concentrações em outras estações da RMSP.

As concentrações médias de 24 horas (médias da 01:00 às 24:00h) mais elevadas em 2001 ocorreram nos dias 04, 03 e 05/07, respectivamente. A tabela 12 ilustra as condições de vento e concentrações horárias para esses dias, onde observa-se que as condições meteorológicas são predominantemente de vento calmo. As concentrações mais elevadas nesses dias ocorreram principalmente no período da manhã entre 08:00h e 12:00h, embora concentrações altas também tenham sido observadas no período noturno.

Tabela 12: Dados de concentração de MP₁₀ e vento registrados na estação Guarulhos nos dias 03, 04 e 05/07/2001

Dia	03/07/2001			04/07/2001			05/07/2001		
Hora	Conc. µg/m ³	Veloc. m/s	Direção graus	Conc. µg/m ³	Veloc. m/s	Direção graus	Conc. µg/m ³	Veloc. m/s	Direção graus
01:00	264	Calm	-	167	Calm	-	225	Calm	-
02:00	176	Calm	-	142	Calm	-	166	Calm	-
03:00	144	Calm	-	130	Calm	-	133	Calm	-
04:00	138	Calm	-	133	Calm	-	150	Calm	-
05:00	160	Calm	-	123	Calm	-	228	Calm	-
06:00	124	Calm	-	130	Calm	-	309	Calm	-
07:00	111	Calm	-	160	Calm	-	193	Calm	-
08:00	184	Calm	-	344	Calm	-	208	Calm	-
09:00	260	Calm	-	327	Calm	-	186	Calm	-
10:00	174	0,7	65	224	Calm	-	534	Calm	-
11:00	107	0,9	58	386	Calm	-	412	Calm	-
12:00	123	0,7	98	301	0,6	117	323	Calm	-
13:00	163	0,6	74	248	0,6	130	183	Calm	-
14:00	119	0,6	95	200	0,7	121	142	0,8	219
15:00	161	0,6	149	200	0,7	90	197	0,8	227
16:00	225	Calm	-	245	0,6	119	210	Calm	-
17:00	210	Calm	-	320	Calm	-	171	1,2	167
18:00	193	Calm	-	335	Calm	-	168	0,9	155
19:00	196	Calm	-	189	Calm	-	226	1,1	163
20:00	195	Calm	-	212	Calm	-	135	1,1	172
21:00	208	Calm	-	243	Calm	-	91	1,3	176
22:00	214	Calm	-	245	Calm	-	122	0,9	158
23:00	225	Calm	-	264	Calm	-	69	0,8	159
24:00	180	Calm	-	231	Calm	-	100	0,7	147

A comparação com os valores de concentração em outras estações da RMSP (figura 22) mostra que os picos de concentração em Guarulhos não são simultaneamente observados em outras estações.

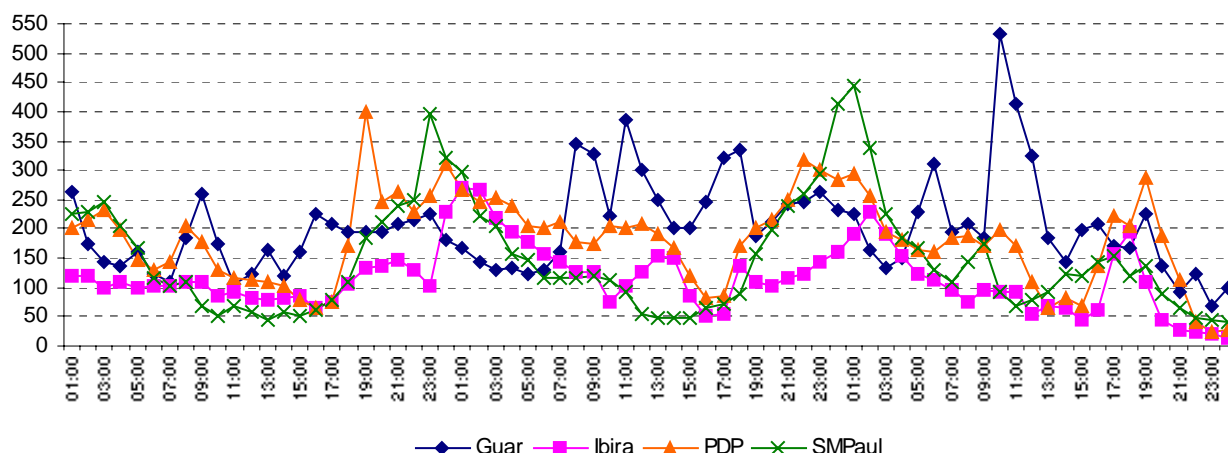


Figura 22 – Médias horárias de MP_{10} nas estações Guarulhos, Ibirapuera, P.D. Pedro II e São Miguel Paulista para os dias 03, 04 e 05/07/2001.

Condições bastante semelhantes às dos dias 03, 04 e 05/07/2001 foram observadas no dia 11/07/2001, quarta maior média de 24 horas observada em 2001 (tabela 13 e figura 23).

Tabela 13: Dados de concentração de MP_{10} e vento registrados na estação Guarulhos no dia 11/07/2001

Dia	11/07/2001		
	Conc. $\mu g/m^3$	Veloc. m/s	Direção graus
01:00	195	Calm	-
02:00	170	Calm	-
03:00	166	Calm	-
04:00	187	Calm	-
05:00	424	Calm	-
06:00	370	Calm	-
07:00	263	Calm	-
08:00	277	Calm	-
09:00	354	Calm	-
10:00	292	Calm	-
11:00	50	Calm	-
12:00	67	1,0	329
13:00	126	1,2	332
14:00	165	1,5	327
15:00	99	1,4	322
16:00	143	1,2	325
17:00	92	0,9	327
18:00	97	0,8	326
19:00	89	0,7	324
20:00	94	Calm	-
21:00	93	Calm	-
22:00	68	0,7	329
23:00	95	1,2	182
24:00	128	1,3	190

A análise dos dias com concentrações mais elevadas em 2001 mostraram que as altas concentrações ocorrem sob condições de calmaria. Todavia, as concentrações mais altas ocorreram no período da manhã, a partir da 08:00h e não no período de maior estagnação atmosférica, o que indica estarem associadas principalmente à emissões locais, já que o mesmo não ocorre nas demais estações analisadas. Além disso, na madrugada as concentrações em Guarulhos estiveram mais baixas em média que nas outras estações, o que pode indicar que na estação Guarulhos há melhores condições de dispersão atmosférica.

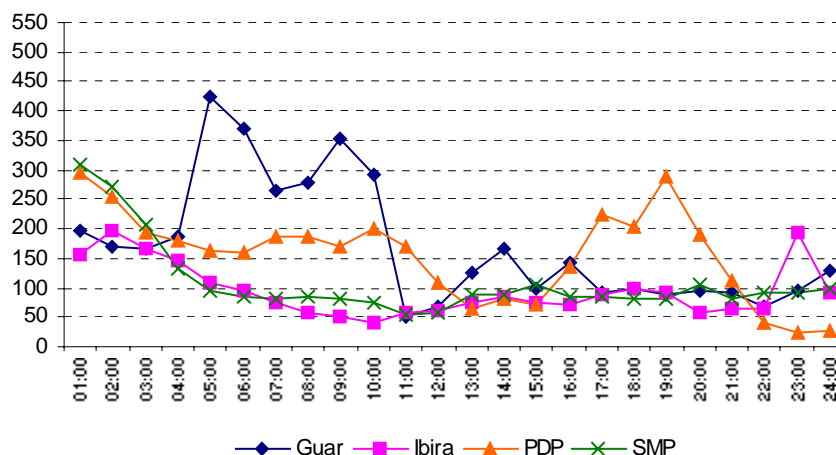


Figura 23 – Médias horárias de MP₁₀ nas estações Guarulhos, Ibirapuera, P.D. Pedro II e São Miguel Paulista para o dia 11/07/2001.

4.1.5. Discussão dos Resultados e Conclusões

Os resultados mostram uma predominância de ocorrência de concentrações de MP₁₀ mais altas em média na estação Guarulhos sob condições de calmaria ou de ventos muito fracos, de direção variável (cerca de 65% das médias horárias acima de 150µg/m³). O mesmo foi observado quando analisou-se os episódios mais agudos de 2001, onde as concentrações mais altas ocorreram no período da manhã, entre 08:00 e 12:00h, indicando uma contribuição não somente de condições desfavoráveis à dispersão dos poluentes, mas também que há emissões próximas da estação que se acentuam nesses horários, notadamente da Rodovia Presidente Dutra.

Na condição de ventos até 3m/s, os resultados indicam que as emissões próximas explicam, pelo menos em parte, as concentrações observadas. A maior frequência do vento, bem como as maiores médias de concentração foram observadas com ventos de SE, onde destaca-se a proximidade com a Rodovia Pres. Dutra, distante cerca de 50m a SE da estação.

Com ventos acima de 3m/s, há um aumento das concentrações com vento das direções SW e NW. O aumento das concentrações com o aumento da velocidade

do vento de SW parece estar associado com a emissão na área urbana, predominantemente a SW da estação, enquanto que o aumento com vento de NW parece estar associado com a ressuspensão de material particulado.

Outra consideração importante é que as médias de concentração observadas no período diurno são geralmente mais altas que as observadas no período noturno, o que indica ser esta uma estação predominantemente influenciada por fontes próximas, uma vez que as condições durante o dia são mais favoráveis à dispersão dos poluentes, embora possam existir episódios de alta concentração sob condições de estabilidade atmosférica no período noturno.

Obviamente, as análises aqui apresentadas nos dão um indicativo das condições do material particulado medido na estação e estão sujeitas a outros fatores não considerados ou de difícil mensuração, tais como: imprecisões nas estimativas de emissão, ausência de informações a respeito de fontes de poeira fugitiva, falta de estimativa de ressuspensão de poeira de rua, combustão de biomassa, outros efeitos meteorológicos na dispersão dos poluentes, etc.

Escala de Representatividade

Em razão da existência de uma fonte muito próxima à estação, a via Dutra, a cerca de 50 metros, que pelas estimativas de emissão é a principal fonte de material particulado em um raio de 2km, pode-se considerar que as concentrações representam as emissões em microescala (0 - 100m). Essa hipótese é reforçada na análise comparativa entre as concentrações de MP_{10} medidos na estação e os dados de vento, tanto em termos médios quanto no caso de episódios.

Uso do Solo

Em termos de uso do solo, as concentrações observadas nessa estação representam na sua maior parte emissões de origem veicular, sendo a estação classificada prioritariamente como veicular. Em menor grau, também mede emissões de origem industrial.

População Exposta

Embora a estação seja representativa de uma microescala, devido à proximidade da Via Dutra, as concentrações medidas permitem estimar os níveis máximos de exposição a que está sujeita a população que reside nos bairros próximos à rodovia, em especial no Conjunto Habitacional Parque CECAP, onde está localizada a estação.

Poluentes monitorados

A estação está localizada em uma área que abrange fontes significativas de emissão de poluentes atmosféricos na região. O microinventário das fontes realizado num raio de 2km no entorno da estação, revela que a região sofre o impacto de vários poluentes, tais como MP, SO_2 , NO_x , CO e HC. Dentre estes, NO_x , CO e HC representam principalmente as emissões das fontes veiculares.

Ainda de acordo com os dados do inventário, cerca de 20% do SO₂ e 20% do MP nesta região são emitidos pelas fontes industriais.

Considerando que as fontes veiculares são prioritárias e que a estação é representativa de uma microescala, pode-se considerar que esta é uma estação apropriada para medir poluentes de origem veicular, tais como CO, HC e NOx nesta escala. Embora tais poluentes não sejam monitorados, o MP medido na estação serve como indicador da poluição veicular, já que as fontes veiculares representam cerca de 80% da emissão de MP.

No caso da poluição industrial, são significativas as emissões de SO₂ e MP. Com relação ao SO₂, os dados de qualidade do ar mostraram uma tendência de redução das concentrações médias anuais, no período de 1983 a 1994. Além disso, os valores mantiveram-se sempre abaixo do padrão anual e de 24 horas. Uma vez que não foram identificadas novas fontes significativas de SO₂ a partir de 1994, é esperado que os níveis estejam atualmente abaixo dos padrões legais.

Tendo em vista essas considerações, pode-se considerar que apesar de ser o único poluente atualmente monitorado, o MP₁₀ é adequado ao propósito de avaliar as concentrações emitidas pelas principais fontes existentes na área de abrangência desta estação, a saber, emissões veiculares, emissões industriais e ressuspensão de poeira de solo. O monitoramento de outros poluentes, principalmente de origem veicular, nesta escala de representatividade, apesar de viável deve considerar as necessidades da rede de monitoramento como um todo, já que existem na rede outras estações com características semelhantes. Por fim, cabe destacar que a proximidade de vias de tráfego intenso tornam a estação Guarulhos inadequada para medir poluentes secundários, como o O₃.

Considerações Finais

Os resultados obtidos da análise dos níveis de MP₁₀ medidos na estação, bem como das condições locais, vento predominante, seus efeitos nas concentrações etc., ou seja, a metodologia proposta e aplicada neste trabalho, forneceram importantes informações sobre quais as principais fontes de poluição responsáveis pelas concentrações observadas, permitindo assim uma melhor classificação da estação Guarulhos.

Considera-se fundamental o aprimoramento do inventário de fontes, principalmente para NOx, CO e hidrocarbonetos emitidos por fontes fixas.

Embora não comprometa o monitoramento como um todo, a queima de lixo no entorno da estação, conforme registrado neste trabalho, é indesejável e deve contribuir significativamente para aumento das concentrações de material particulado registrado na estação nos horários em que ela ocorre. Deve ser feito, portanto, um esforço máximo para redução ou extinção dessa atividade.

Finalmente, deve-se destacar que a aplicação de outras técnicas de análise, sejam elas estatísticas ou de modelagem de dispersão, aliadas ao aprimoramento

do conhecimento dos processos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera, permitirão possivelmente melhorar os resultados já obtidos.

5. Bibliografia

- 1- United States Environmental Protection Agency (US-EPA): An Empirical Approach for Relating Annual TSP Concentrations to Particulate Microinventory Emissions Data and Monitor Siting Characteristics, (EPA-450/4-79-012) 1979
- 2- World Health Organization (WHO) - Guidelines for Air Quality - Geneva - 1999
- 3- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) - Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2000 - São Paulo - 2001
- 4- United States Environmental Protection Agency (US-EPA): Code of Federal Regulation, 40 – Pt.58 – Ambient Air Quality Surveillance. Ed. 1996
- 5- Guimarães, F. A., Esteves, S. S. et al.: Rede Automática de Amostragem de Poluentes Atmosféricos – Plano Preliminar; VIII Cong. Bras. de Eng. Sanitária; Rio de Janeiro, 1975

Grupo de Trabalho

Américo Tomio Meenochite - EQQT
Carlos Eduardo Negrão – EQQT
Carlos Ibsen Vianna Lacava – EQQI
Dirce Maria Pellegatti Franco – EQQM
Maria Cristina Neuscheffer de Oliveira – EQQA
Maria Lúcia Gonçalves Guardani – EQQT
Orlando Ferreira Filho – EQQI

Áreas Colaboradoras

CTc – Coordenadoria Técnica
CTt-G – Agência Ambiental de Guarulhos