

UTILIZAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS REAIS EM SIMULAÇÕES DO MODELO DE DISPERSÃO ISCST3 NA USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA – SP

Dirce Maria Pellegatti Franco
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB
Av. Professor Frederico Hermman Jr, 345, São Paulo – SP, 05489-900
e-mail: dircef@cetesb.br,

ABSTRACT

The Industrial Source Complex Short Term, version 3, (ISCST3) Gaussian model was used to estimate pollutant concentration of Nitrogen Oxide (NO_x), Sulfur Dioxide (SO₂) and Particulate Matter (PM) in the atmosphere. In this study it was utilized only emissions from Piratininga Thermoelectric Plant at São Paulo City in its maximum capacity operation to compare results from simulations with diary and annual standard air quality. It was also used real data emission from June to October of 1996 to compare with diary standard air quality. For all simulations it was used real 1996 hourly meteorological data from Congonhas Airport.

INTRODUÇÃO

A utilização de modelos de dispersão de poluentes para a avaliação do impacto na qualidade do ar de uma ou várias fontes de poluição tem aumentado muito nos últimos tempos, principalmente com a advento de computadores com grande capacidade de memória e alta velocidade nos cálculos. Medidas reais de concentração de poluentes na atmosfera são mais precisas, todavia, muitas vezes, o alto custo de uma estação de monitoramento torna inviável a obtenção destas medidas. Nesta situação ou ainda nos casos de estudo de avaliação da qualidade do ar, no caso da instalação de uma nova fonte, bem como de ampliação de um empreendimento, as simulações obtidas através de modelos de dispersão podem fornecer uma estimativa bastante aceitável da concentração de poluentes na região, para ser utilizada na emissão de licenças de instalação e funcionamento. Os resultados podem ainda ser utilizados para a indicação de localizações de estações de monitoramento.

O objetivo deste trabalho é estimar a qualidade do ar devido somente às emissões da Usina Termoelétrica Piratininga, pertencente a Eletropaulo, através de simulações obtidas utilizando-se o modelo ISCST3 (Industrial Source Complex Short-Term, versão 3). Utilizou-se a Usina Piratininga uma vez que, ao operar com sua capacidade máxima, esta contribui com cerca de 40% da emissão do poluente SO₂ e de 30% do NO_x do total de emissão das fontes de poluição do ar na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), devido aos processos industriais, conforme apresentado em CETESB (1998). Neste estudo, a qualidade do ar é estimada em relação aos poluentes Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Material Particulado (MP).

USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA

A Usina Termoelétrica Piratininga está situada no município de São Paulo, às margens do Canal Pinheiros, bairro de Santo Amaro, junto à Usina Elevatória Pedreira e à Barragem principal da Represa Billings (Barragem do Rio Grande).

A capacidade total de geração é de 470MW, sendo 100MW para cada uma das unidades n^os 1 e 2 e 135MW para cada uma das unidade n^os 3 e 4. Atualmente 2 unidades operam em carga mínima (20MW para as unidades n^os 1 e 2 e 30MW para as unidades n^os 3 e 4) parando nos finais de semana. Mensalmente são ensaiados e testados com carga máxima durante aproximadamente 10 horas. As outras 2 unidades operam apenas em regime de conservação ficando fora de operação, sob um programa de conservação de unidade parada, necessitando de no máximo 2 meses para serem normalizadas para entrar em operação. Estas unidades são revezadas periodicamente dependendo da programação da manutenção (Eletropaulo, 1988).

MODELO ISCST3

O modelo ISCST3, que é uma versão comercial para microcomputadores da Trinity Consultants Incorporated do programa desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), é um modelo refinado do tipo gaussiano onde são assumidas as seguintes simplificações:

- a dispersão da pluma segue uma distribuição gaussiana nas direções horizontal e vertical e não existe dispersão na direção do vento;
- há conservação da massa;
- a razão de emissão é considerada constante e contínua;
- as variáveis meteorológicas são consideradas constantes em todo o domínio.

As fontes podem ser consideradas do tipo ponto, linha, área ou volume, e as concentrações são calculadas em ponto de grade (receptores). Caso haja a necessidade do conhecimento da concentração de poluentes em algum local específico, o modelo permite o cálculo em receptores fora dos pontos de grade. No modelo ISCST3 pode-se utilizar grades cartesianas, polar ou ainda uma combinação entre as duas para o caso em que seja necessário um maior refinamento na análise.

O modelo leva em consideração se a área em estudo encontra-se em uma região rural ou urbana, bem como, se o terreno é complexo ou plano. Para um terreno complexo, a concentração do poluente é calculada na altura em que se encontra o receptor, não sendo levado em conta os efeitos de turbulências causadas pela topografia para o aumento ou diminuição desta. O modelo permite ainda a inclusão de efeitos de prédios e outras estruturas próximas às chaminés, porém, para este estudo não foram considerados estes efeitos.

DADOS METEOROLÓGICOS

Como entrada do modelo são necessários os seguintes dados meteorológicos horários:

- velocidade e direção do vento em superfície;
- temperatura do ar em superfície;
- classe de estabilidade;
- altura da camada de mistura.

Na ausência de dados horários de classe de estabilidade e altura de camada de mistura foi utilizado o pre-processador matemático PCRAMMET, desenvolvido pela USEPA, para o cálculo destes parâmetros.

A altura da camada de mistura hora a hora é calculada pelo pre-processador PCRAMMET utilizando-se as alturas de mistura máxima e mínima como dados de entrada. As alturas de mistura máxima e mínima são calculadas através do perfil vertical de temperatura obtido na radiossonda das 12:00 TMG, como em Holzworth (1967).

A estabilidade atmosférica não é medida diretamente, mas pode ser calculada através do método proposto por Pasquill (1961), onde são fornecidas classes de estabilidade em relação à velocidade do vento, radiação solar e cobertura de nuvens.

No pre-processador PCRAMMET, as classes de estabilidade de Pasquill são calculadas hora a hora através dos dados observados de velocidade do vento, cobertura de nuvens opacas, teto (altura da base da mais baixa camada de nuvens abaixo de 3000m que cubra mais da metade do céu) e ângulo do sol, obtido através do método proposto por Turner (1961).

DADOS DE ENTRADA DO MODELO PARA ESTE ESTUDO

Os fatores de emissão, em $\text{Kg}/10^3$ (Kg de poluente por mil litros de óleo), considerados para cada poluente foram dados pelas seguintes equações (EPA, 1995):

$$\text{MP} = 1,12(\text{S}) + 0,37;$$

$$\text{SO}_2 = 19(\text{S});$$

$$\text{NO}_x = 8,0,$$

onde S é o teor de enxofre, em porcentagem, do óleo combustível.

Foram utilizados dados meteorológicos horários do ano de 1996, medidos no aeroporto de Congonhas pela Força Aérea Brasileira (FAB), e fornecidos pela Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária (INFRAERO). Estes dados são:

- dados de velocidade e direção do vento à 10 m de altitude;
- temperatura do ar à superfície;
- total de cobertura de nuvens;
- cobertura de nuvens opaca;
- teto.

Além dos dados horários, foram utilizados ainda dados diários de:

- altura da camada de mistura mínima;
- altura de camada de mistura máxima,

que foram obtidas através das radiossondas das 12:00 TMG, do aeroporto de Congonhas, fornecidas pela FAB.

A elevação do terreno foi obtida através de cartas topográficas da EMPLASA na escala 1:10.000. Para este estudo foi considerada grade do tipo cartesiana com espaçamento de 500m.

Convém ressaltar que as alturas de mistura diárias (máxima e mínima) foram calculadas graficamente através do diagrama SkewT-LogP. A elevação do terreno para cada ponto de grade também foi encontrada graficamente uma vez que não possuíamos cartas digitalizadas.

Para este estudo considerou-se duas situações de operação:

- a usina operando com 2 caldeiras durante 24 horas na sua capacidade máxima com $S=0,87\%$;
- a usina operando com 2 caldeiras durante 24 horas com emissão obtida através de dados reais de consumo de óleo combustível e teor de enxofre. Nesta situação a simulação foi feita apenas para os meses de junho a outubro de 1996.

Os dados de entrada das caldeiras para o caso de máxima capacidade de emissão, utilizados neste trabalho, encontram-se na Tabela 1.

TABELA 2 - Dados das Caldeiras para Máxima Capacidade de Emissão.

Parâmetros	Caldeira 1	Caldeira 3
Altura	50 m	50 m
Diâmetro	4,37 m	4,37 m
Velocidade de Saída do Gás	13,89 m/s	15,9 m/s
Temperatura de Saída do Gás	463 K	438 K
Emissão de SO ₂	130,02 g/s	157,28 g/s
Emissão de MP	10,58 g/s	12,79 g/s
Emissão de NO _x	62,92 g/s	76,11 g/s

Na situação com dados reais de consumo de óleo combustível foram consideradas duas caldeiras com a mesma emissão. A Tabela 2 mostra os dados reais de emissão para cada uma das caldeiras, bem como, o teor de enxofre do óleo para os meses de junho a outubro de 1996. As emissões foram calculadas através de dados de consumo e teor de enxofre real de óleo fornecidos pela Eletropaulo à CETESB.

TABELA 2 - Dados de Teor de Enxofre e Emissão Reais.

MÊS	S (%)	SO ₂ (g/s)	MP (g/s)	NO _x (g/s)
JUNHO	0,77	62,95	5,79	34,42
JULHO	0,77	86,09	7,92	47,07
AGOSTO	0,77	102,09	9,39	55,82
SETEMBRO	0,685	93,88	8,94	57,70
OUTUBRO	0,68	77,77	7,42	48,15

RESULTADOS

Neste estudo foram feitas simulações para obter concentrações médias de 24 horas para os poluentes MP e SO₂ e médias de 1 hora para o NO_x através dos dados de entrada das Tabelas 2 e 3. A qualidade do ar foi ainda estimada em relação ao padrão anual destes poluentes utilizando-se dados de máxima emissão (Tabela 2). Foi

considerada uma área de 12km por 12km, tendo como centro a usina termoeletrica. Apesar de a usina encontrar-se no município de São Paulo a área em estudo atinge ainda os municípios de São Bernardo do Campo e Diadema.

O modelo apresenta, como saída, para cada um dos receptores, que no caso deste estudo são os pontos de grade, a concentração máxima para cada uma das médias de 24 horas, 1 hora ou anual, dependendo do poluente e do objetivo do estudo. Para uma melhor visualização são apresentados gráficos de isolinhas de concentração obtidas através de interpolações dos resultados obtidos nos pontos de grade.

Usina Operando com Capacidade Máxima de Consumo de Óleo Combustível

Nesta parte do trabalho considerou-se a usina operando em sua capacidade máxima, 24 horas por dia, durante o ano inteiro. Os valores estimados pelo modelo correspondem a um incremento de poluentes na atmosfera originados pela Usina Piratininga, uma vez que, foram consideradas somente as emissões fornecidas por esta usina.

Simulação para Estimar Concentrações Médias de 24h e 1h

A Figura 1 mostra o resultado da simulação para a média de 24 horas de MP onde pode-se observar que a isolinha de concentração máxima é de $18\mu\text{g}/\text{m}^3$, bem abaixo dos padrões primário e secundário de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ do poluente Partículas Inaláveis (PI) (CETESB, 1998). A análise neste estudo é feita em relação aos padrões de PI, mais restritivos que de MP, uma vez que, para este tipo de combustão, praticamente todo o MP emitido possui diâmetro menor que 10μ . Na Figura 2, que mostra o resultado da simulação para a média de 24 horas de SO_2 , a isolinha de concentração máxima é de $220\mu\text{g}/\text{m}^3$, neste caso o padrão primário de $365\mu\text{g}/\text{m}^3$ não é ultrapassado mas sim o secundário de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os valores estimados para este poluente podem ser considerados altos uma vez que para este estudo não estão sendo consideradas emissões por outras fontes.

A pior situação, no entanto, pode ser observada na Figura 3, para o NO_x , onde apresenta isolinha de até $550\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média de 1 hora, quando, os padrões de 1 hora para o poluente Dióxido de Nitrogênio (NO_2) é de $320\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o primário e $190\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o secundário. Apesar de o padrão de qualidade do ar ser para o poluente NO_2 e não para o NO_x e de aproximadamente 90% do NO_x emitido pela caldeira ser NO, considera-se que praticamente todo esse NO se transformará em NO_2 , sendo alta desta forma a concentração deste poluente. Pode-se observar, no município de Diadema próximo à coordenada (5000,1500), a existência da isolinha de $350\mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponde a valor superior ao padrão diário de $320\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo ultrapassado desta forma o padrão de qualidade primário neste município. Em São Bernardo do Campo observa-se a ultrapassagem do padrão de qualidade secundário uma vez que apresenta isolinhas de concentração entre 200 e $250\mu\text{g}/\text{m}^3$.

É importante acrescentar que o NO_x participa do ciclo fotoquímico para a formação do Ozônio (O_3), sendo um de seus precursores mais importantes. Assim, o controle da emissão desses poluentes é importante também para o controle do O_3 na troposfera.

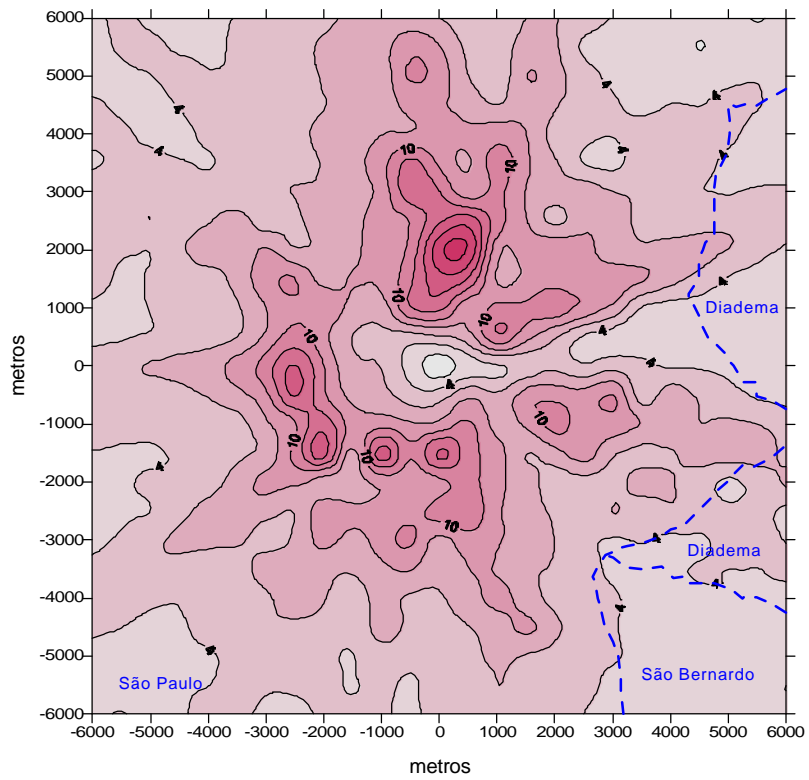


FIGURA 1 - Isolinhas de concentração média de 24 horas de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão máxima.

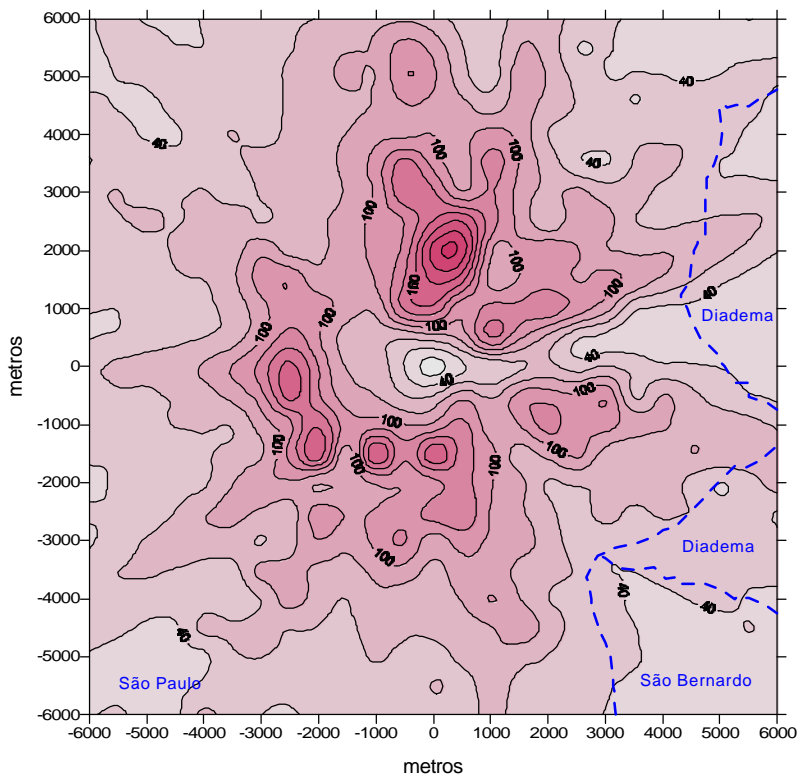


FIGURA 2 - Isolinhas de concentração média de 24 horas de SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão máxima.

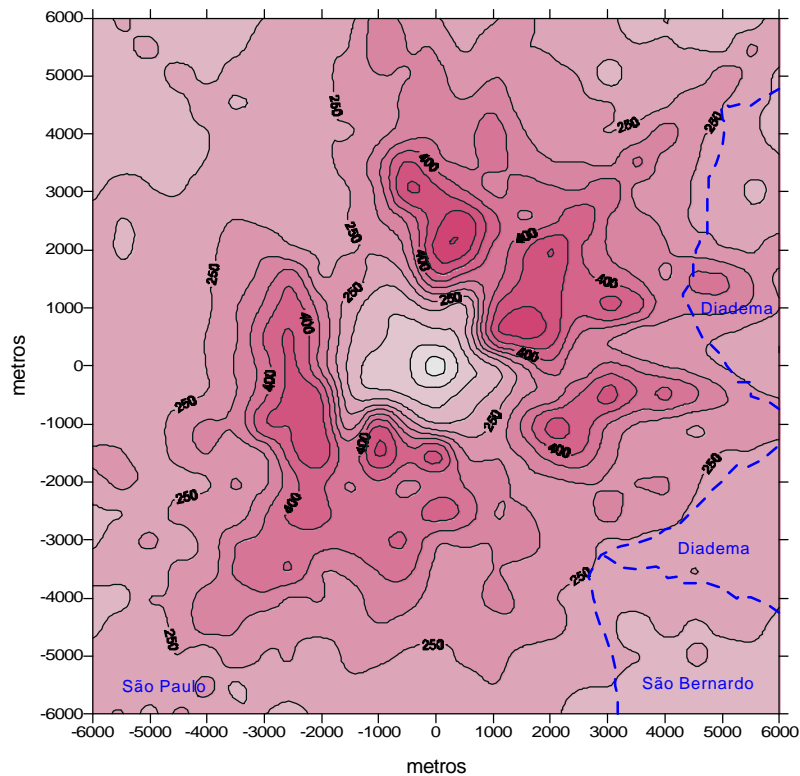


FIGURA 3 - Isolinhas de concentração média de 1 hora de NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão máxima.

Simulação para Estimar a Concentração Média Anual

As estimativas de concentração destes mesmos poluentes, em relação aos padrões anuais, são mostradas nas Figuras 4 a 6, que são resultados da simulação utilizando-se dados de máxima emissão nas caldeiras. Nota-se que as isolinhas de concentração de MP e NO_x (Figuras 4 e 5, respectivamente) apresentam valores bem abaixo dos padrões primários e secundários para estes poluentes ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto para o primário quanto para o secundário de NO_2 e $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ para os de PI). Vale salientar, novamente, que como comparação, são utilizados os padrões de PI para o MP.

No caso de SO_2 observa-se isolinha de $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 6), valor bem próximo do padrão anual secundário que é de $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ para este poluente. A representação em forma de isolinhas não mostra, muitas vezes, a máxima concentração, no entanto, os dados de saída do modelo apresentaram valores de até $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ mostrando, desta forma, que o padrão anual secundário de SO_2 é ultrapassado na simulação para o ano de 1996.

As isolinhas de valores mais altos, em todas as figuras de concentração média anual, são observadas a norte da localização da usina, com uma leve tendência para noroeste. A rosa de ventos do aeroporto de Congonhas, para o ano de 1996, mostra as direções sul e sul-sudeste como direções predominantes de vento (Figura 7), podendo desta forma ser entendida a ocorrência de concentrações mais altas dos poluentes a norte ou norte-noroeste da localização do empreendimento.

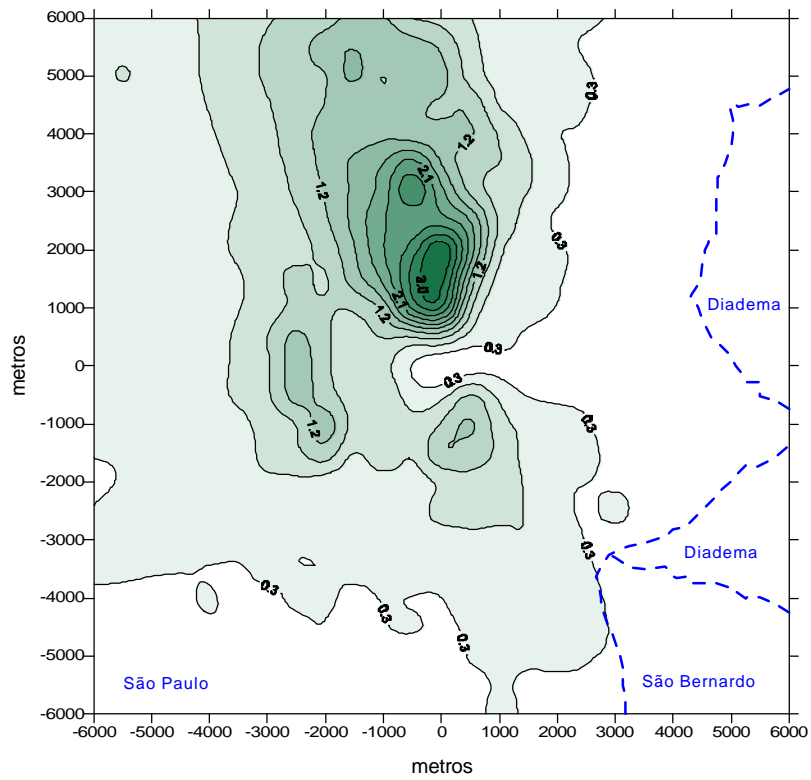


FIGURA 4 - Isolinhas de concentração média anual de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão máxima.

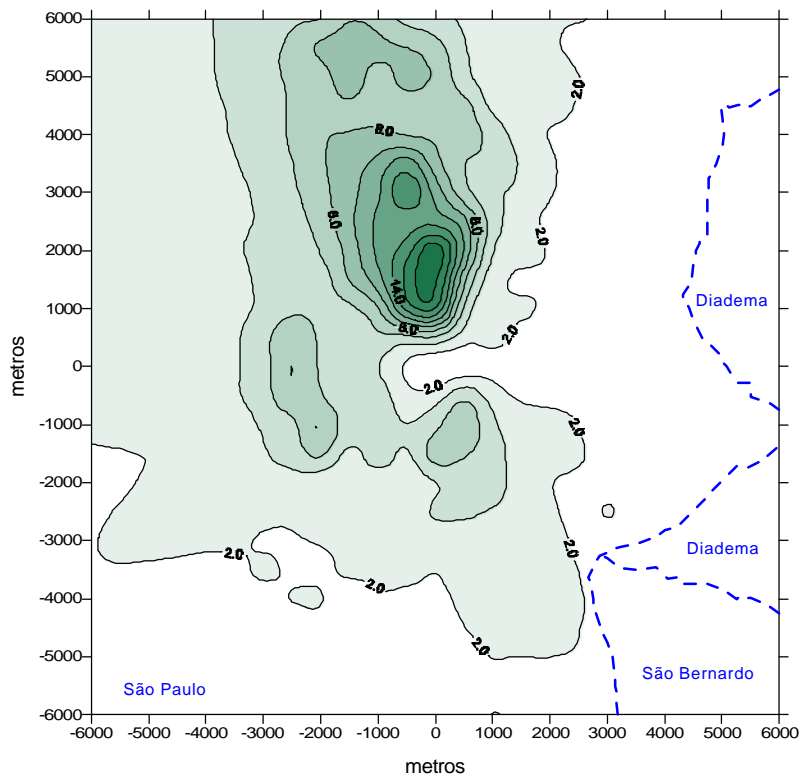


FIGURA 5 - Isolinhas de concentração média anual de NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão máxima.

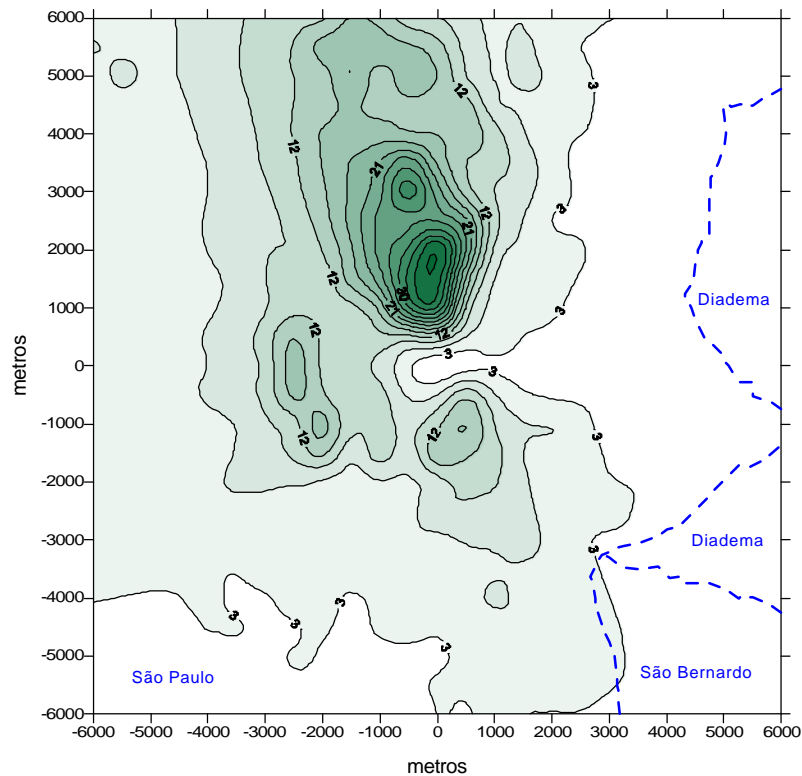


FIGURA 6 - Isolinhas de concentração média anual de SO₂ (µg/m³) para dados de emissão máxima.

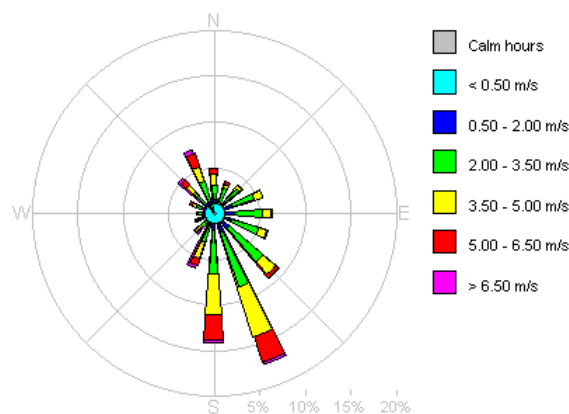


FIGURA 7 - Rosa de ventos do aeroporto de Congonhas em 1996.

Usina Operando com Dados Reais de Consumo de Óleo Combustível

Os resultados da simulação obtidas através dos dados reais de emissão como entrada do modelo são apresentados nas Figuras 8 a 10. Nesta parte do estudo as simulações foram feitas apenas para os meses de junho a outubro, meses em que, geralmente, as condições meteorológicas para dispersão de poluente são mais desfavoráveis que em outros. A Figura 8 mostra as isolinhas de concentração de média de 24 horas de MP onde o valor de iosolinha máxima de concentração de 10µg/m³, é bem abaixo dos padrões primário e secundário de qualidade do ar.

As isolinhas de concentração média de 24 horas de SO₂, apresentadas na Figura 9, mostram a ultrapassagem do padrão secundário para este poluente, como o ocorrido na simulação com máxima emissão, apresentada na Figura 2. A isolinha de concentração máxima observada, na Figura 9, é de 110µg/m³. Na Figura 10 observa-se a isolinha de concentração máxima de 400µg/m³, ocorrendo portanto, a ultrapassagem do padrão primário na concentração média de 1 hora de NO_x, como observado na Figura 3.

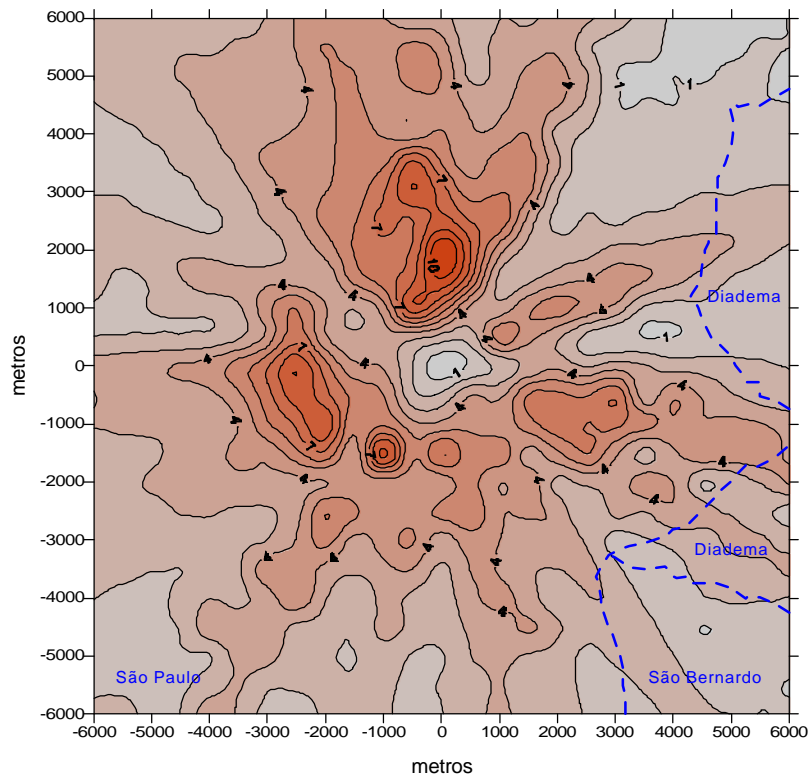


FIGURA 8 - Isolinhas de concentração média de 24 horas de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão real.

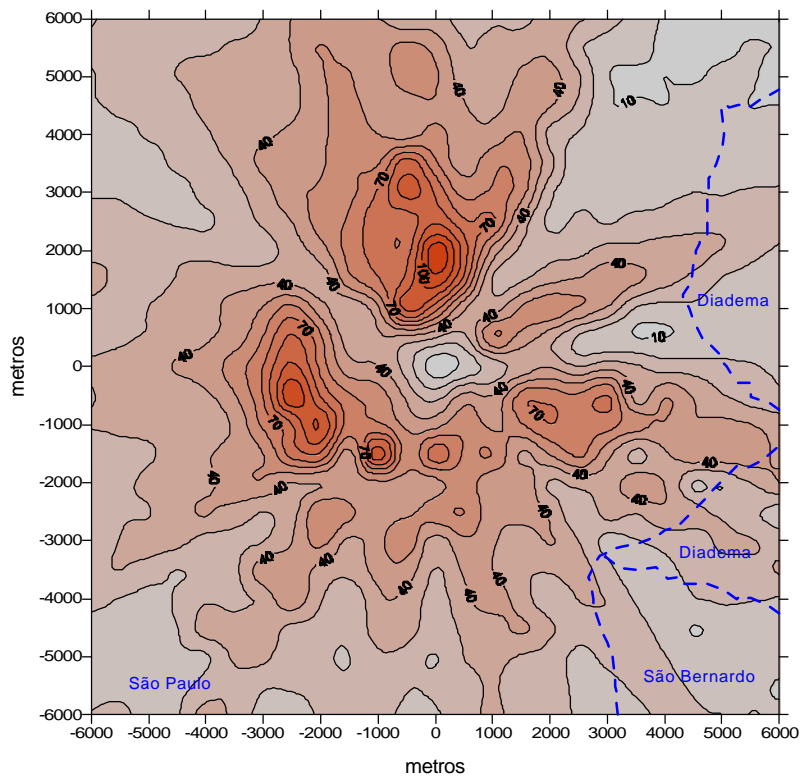


FIGURA 9 - Isolinhas de concentração média de 24 horas de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão real.

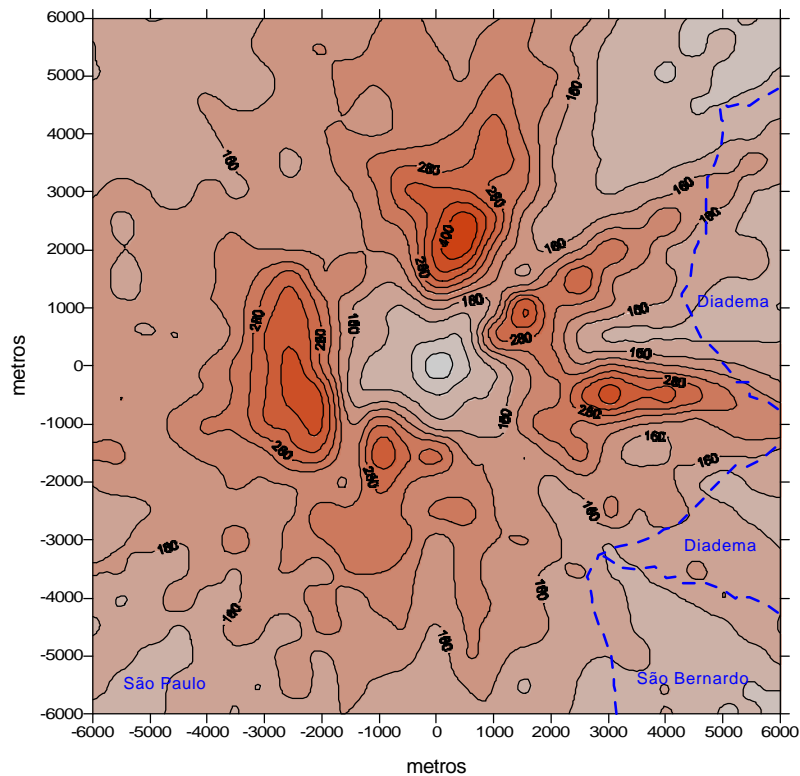


FIGURA 10 - Isolinhas de concentração média de 1 hora de NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para dados de emissão real.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através das simulações mostram que, as concentrações estimadas de MP, devidas somente às emissões da Usina Piratininga, se mantiveram em patamares inferiores aos padrões secundários (diário e anual), mesmo considerando a usina em operação com sua capacidade máxima. No caso do NO_x , as concentrações estimadas excederam o padrão diário de 1h ($320\mu\text{g}/\text{m}^3$), mesmo considerando a usina em operação com sua capacidade limitada (dados reais de emissão). Na simulação para o poluente SO_2 as concentrações obtidas excederam o padrão secundário diário ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$) tanto para a usina operando na sua capacidade máxima quanto para operando com dados reais de emissão e, excederam ainda, o padrão primário anual ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Como a Cetesb não dispõe de dados de qualidade do ar na área de abrangência das simulações sugere-se que seja efetuado o monitoramento da qualidade do ar na área de estudo, de preferência nos locais correspondentes às isolinhas de máxima concentração e, que sejam efetuadas ainda, simulações utilizando-se dados meteorológicos e de emissão correspondentes ao período monitorado, como forma de avaliar os resultados obtidos através do modelo em relação aos dados reais de concentração. Conhecendo-se as limitações do modelo é possível avaliar a necessidade de ajustes tornando-o uma ferramenta importante nos estudos do impacto de fontes já existentes, bem como, nos de fontes que venham a ser instaladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETESB; Relatório Anual de Qualidade do Ar de 1997. São Paulo. 1998. 98p.
- Eletropaulo; Usina Termoeletrica Piratininga. São Paulo. 1988. 52p. relatório.
- EPA; External Combustion Sources. In: _____. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. 5.ed. North Carolina, 1995. Chap.1, p. 1.0-1-1.3-34. V.1: Stationary Point and Area Sources.
- Holzworth, G. C.; Mixing Depths, Wind Speeds and Air Pollution Potencial for Selected Locations in the United States. Journal of Applied Meteorology. 1967. 6, 1039-1044.
- Pasquill, F.; The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. Meteorology Magazine. 1961. 90 (1063), 33-49.
- Turner, D. B.; Relationship Between 24-Hour Mean Air Quality Measurements and Meteorological Factors in Nashville, Tennessee. Journal of Air Pollution Control Association. 1961. 11, 483-489.