

CETESB

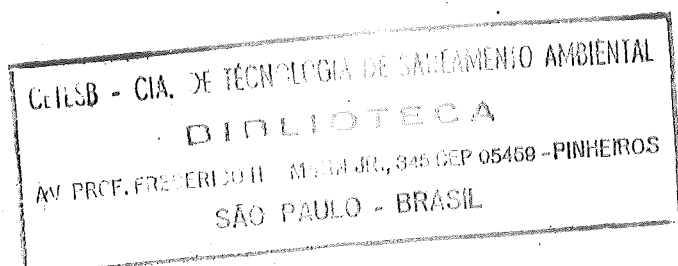
COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

DIRETORIA DE NORMAS E PADRÕES

DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL E PADRÕES

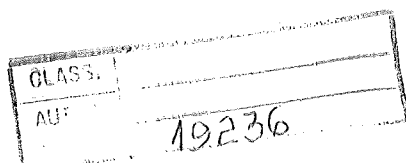
DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR

NPQI/NPQT



A APLICAÇÃO DE DOIS MODELOS MATE
MÁTICOS NO ESTUDO DA DISPERSÃO
ATMOSFÉRICA

SETEMBRO/89



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Orestes Quercia

Governador

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Jorge Wilhelm

Secretário

8401

C338a(RCET

019236



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DIRETORIA

Rogê Ferreira

Diretor-Presidente

Eduardo San Martin

Diretor de Controle da Poluição

Frederico Pegler Neto

Diretor Administrativo e Financeiro

Jayme Gimenez

Diretor de Treinamento e Transferência de Tecnologia

Laura Maria Regina Tetti

Diretora de Desenvolvimento de Programas e Mobilização

Nelson Vieira de Vasconcelos

Diretor de Normas e Padrões Ambientais

A Aplicação de Dois Modelos Matemáticos no Estudo da Dispersão Atmosférica

1. INTRODUÇÃO

Avaliações de qualidade do ar em dada região, a partir de dados observados limitam-se a demonstrar a adequação da mesma aos padrões ambientais aceitáveis à saúde humana nas proximidades do local de amostragem. A limitação espacial reside no fato de que as observações convencionais fornecem dados pontuais, sem que possamos inferir o valor da concentração fora da vizinhança destes. Também há limitações temporais que devem-se ao fato destas informações serem de caráter estritamente diagnóstico. Portanto o impacto de fontes ora inexistentes, não pode ser avaliado. As lacunas no conhecimento da qualidade do ar poderão ser, simultaneamente, preenchidas através do uso intensivo de modelos matemáticos de dispersão de poluentes atmosféricos e do Modelo Receptor para a identificação das combinações das fontes na qualidade do ar.

A agência Norte Americana de proteção ao meio ambiente, EPA (Environmental Protection Agency), desenvolveu e documentou uma série de modelos de dispersão denominada UNAMAP (User's Network for Applied Modelling of Air Pollution), com o objetivo de orientar a aplicação às condições mais apropriadas (EPA 1986). Entre estes, selecionamos dois, com objetivo de estudar concentrações de SO₂ à superfície devido às emissões da Usina Termoeletrica de Piratininga na Região de Santo Amaro, São Paulo, S.P..

Os modelos selecionados para o estudo são o Valley (Burt 1977) e o CDM (EPA 1986), onde a sigla, em português, significa: modelo climatológico de dispersão. Por pertencerem à série UNAMAP, estes modelos tem sido utilizados internacionalmente,

SECRETARIA DE AGRICULTURA E PECUÁRIA
BIBLIOTECA

sendo aceitos por órgãos governamentais de controle e de preservação ambiental, mediante aplicação criteriosa.

2. DESCRIÇÃO DOS MODELOS

Ambos são algoritmos cujos resultados apresentam valores de concentração à superfície devido a emissões por diversas fontes estacionárias dos tipos pontual (uma chaminé) ou área (diversas chaminés próximas) de poluentes inertes na atmosfera. Assume-se que a dispersão se dá segundo a equação Gauss, sendo que as constantes dispersivas são determinadas por parâmetros meteorológicos.

2.1. Dados de entrada.

Os dados de entrada nos dois modelos são referentes a especificação de fontes e meteorologia.

Na especificação das fontes é necessário fornecer para cada uma: localização em sistema de coordenadas cartesianas arbitrário (metros a partir da origem), tipo (pontual ou área), intensidade de emissão. Para fontes pontuais temos ainda: altura da fonte, temperatura e velocidade de saída do efluente, diâmetro interno da chaminé. Para fontes do tipo área precisamos determinar o valor da área de emissão e a intensidade.

Os dados meteorológicos necessários a execução do modelo são: frequência de ocorrência de cada classe de estabilidade atmosférica, de intensidade de vento e de setor de direção durante todo período do estudo. São necessários ainda, valores médios da temperatura do ar e altura da camada de mistura.

2.2. O Modelo CDM (Irwin et alii, 1985)

O modelo CDM tem sido utilizado no estudo das concentrações de SO_2 de longo período. Os estudos de Calder (1971) em S. Louis, EUA; Turner et alii (1972) em Nova Iorque, EUA; e de Prahm e Cristensen (1977) em Copenhage, Dinamarca, sugerem que o modelo adequa-se a estudos urbanos podendo incluir fontes rurais próximas (Irwin e Brown, 1985).

O CDM aplica-se a estudos onde o período em que se deseja conhecer as médias de concentração de poluentes é prolongado, podendo ser de um mes, uma estação do ano, o ano todo ou mais. Por esta razão trata-se de um modelo climatológico. A região em que se emprega o modelo deverá ser de topografia plana e de ocupação caracteristicamente urbana segundo a classificação da EPA (1986).

Na sua formulação assume-se que a subida da pluma se dá segundo a equação de Briggs (1971, 1972). A turbulência no fluxo ao redor da chaminé é incluída através da equação de Briggs (1974). A dispersão horizontal é feita de forma homogênea em setores de $22,5^\circ$ ou 10° . A dispersão vertical segue a formulação de Gifford (1976). A altura da camada de mistura passa a ter efeito a partir de 0,8 do seu valor, onde se assume que a mistura é homogênea.. Assume-se também que a reflexão de poluentes na superfície é total.

2.2.1. Dados de Saída.

O modelo fornece concentração média durante o período de estudo de 1 ou 2 poluentes simultaneamente em cada coordenada selecionada no sistema definido. Rosa de concentração é opcional para cada receptor.

2.3. O modelo Valley (Burt 1977)

O modelo Valley foi desenvolvido visando simular a dispersão de SO_2 em regiões de terreno complexo, fornecendo o campo da concentração média em 24h. Outras opções também foram incluídas. Um exemplo da sua utilização está em Burt e Slater (1977). No Brasil, citamos a aplicação feita na CETESB de Oliveira et alii (1985) do modelo Valley à dispersão de SO_2 em Cubatão, S.P.

Na presente versão, o modelo Valley aplica-se a estudos onde o período em que se deseja conhecer o valor da concentração de poluentes pode ser curto, de 24 horas, ou longo, de meses até um ano ou mais. A região em que se emprega o modelo pode possuir topografia simples ou complexa, ocupação urbana ou rural. Na opção de ocupação urbana, somente topografia simples pode ser considerada.

Na sua formulação assume-se que a subida da pluma se dá segundo a equação de Briggs (1971, 1972). A dispersão horizontal é feita de forma homogênea em setores de $22,5^\circ$. A dispersão vertical segue a formulação de Pasquill (1961), adaptada por Gifford (1961).

2.3.1. Dados de Saída.

O modelo fornece concentração média durante o período de estudo de um poluente em cada coordenada dada. O sistema de coordenadas disponível no modelo é o plano polar. Os resultados são fornecidos em 112 pontos distribuídos entre 7 círculos cujos centros coincidem com a origem do sistema. O valor dos raios destes círculos é determinado pelo usuário. São fornecidos os campos de concentração devido a cada fonte individualmente e o campo resultante da integração das mesmas.

3. DESCRIÇÃO DO ESTUDO

3.1. Local do Estudo

A área de estudo é igual à 316km^2 ; possui terreno plano e está próxima aos reservatórios Billings e Guarapiranga. A ocupação do solo é caracteristicamente urbana e razoavelmente homogênea, reduzindo variações no valor da rugosidade superficial, prejudiciais aos resultados do modelo.

O estudo climatológico de Soares e Silva Dias (1986), mostrou que a forçante de mesoescala que atua na região, influenciando na direção e intensidade do vento e, conseqüentemente, na estabilidade na camada limite, está associada à brisa marítima de Sudoeste. Este efeito sobrepõe-se à condição sinótica geral, associada a um anticiclone à Leste da cidade, que é a de fluxo de Nordeste ou Noroeste. Sendo que o primeiro efeito impõe ventos de maior intensidade que o segundo.

3.2 Característica das Fontes

As fontes de poluentes deste estudo, localizam-se na Usina Termoeletrica de Piratininga, no bairro de Santo Amaro, São Paulo S.P..

As emissões deveram-se a quatro chaminés de 50m de altura e 4,4m de diâmetro interno. A temperatura do gás efluente foi de 190C. Os demais dados que foram utilizados, encontram-se na Tabela 1.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

TABELA 1 - Localização e Dados de Emissão das Fontes

Fonte n°	Distância da origem (m)		Emissão (g/s)	Velocidade de saída do efluente (m/s)
	Norte	Leste		
1	0	0	90	17
2	300	300	90	17
3	600	600	77	11
4	900	900	77	11

Foram necessários os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar (20°C); distribuição de frequência da direção e intensidade do vento e estabilidade atmosférica no período do estudo (19/4/86 à 21/6/86). Observações foram feitas a 400m da fonte durante todo período de estudo. A tabela formada pelos dados de distribuição de frequência é denominada STAR, e é empregada em diversos modelos da série UNAMAP. Estes dados foram fornecidos pelo I.A.G. da U.S.P. Os valores utilizados na matriz STAR encontram-se no Anexo 1.

Foram definidos 112 receptores no modelo CDM com as mesmas coordenadas daquelas do modelo Valley, transformando-se as coordenadas plano polares em seu equivalente cartesiano. A listagem das coordenadas destes pontos encontra-se no Anexo 2. Este procedimento permitiu a comparação exata entre os resultados.

RESULTADOS

Os resultados foram apresentados através da utilização de um pacote gráfico que interpola os dados (112 pontos distribuídos em 7 círculos concêntricos) em uma malha quadrada de 100 x 100 pontos e traça isolinhas. O centro do gráfico coincide com a origem do sistema, a fonte poluidora n°1 (Tab. 1), e está assinalado com 'X' nas figuras apresentadas. A escala

utilizada foi de 1:100.000. Concentrações de fundo foram desprezadas na análise.

A isolinha de concentração máxima obtida pelo modelo Valley ocorre ao Sul da fonte (Fig. 1). A direção observada do vento foi predominantemente de Norte, e, na categoria de ventos com intensidade até 1m/s o fluxo foi predominantemente do setor compreendido pelas direções Nor-Nordeste e Nor-Noroeste (a concentração é inversamente proporcional a intensidade do vento). Justificando portanto, a razão da localização do máximo ao Sul da fonte. A região de máximo tem a forma de 'Y' com sua base apontando para o Noroeste. As regiões principais de mínimo, portanto, estão à Nordeste e Oeste. Nota-se também uma pequena região de mínimo no extremo Sul-Sudeste. A isolinha de valor máximo é de 5,2; a de mínimo de 2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A isolinha de concentração máxima obtida pelo CDM (Fig. 2), a forma da região de máximo, a localização das duas regiões de mínimo principal, e até a pequena região de mínimo a Sul-Sudoeste estão de acordo com os resultados do Valley. Nesta comparação verificamos que os modelos são qualitativamente equivalentes. No entanto, quantitativamente, os resultados dos modelos diferem, por exemplo; a isolinha máxima foi 23% menor e de 4,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a mínima foi 10% menor e de 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Em geral, resultados do Valley estiveram acima do CDM. Entretanto, houve regiões em que valores do CDM excederam os do Valley, notadamente, na área de valores intermediários, longe do ponto de máximo principal (Fig. 3). Nesta figura mostramos a diferença entre os valores obtidos pelo Valley e CDM em cada receptor. A diferença máxima ocorre a Sul da origem, coincidindo com a região de máximo de concentração observada nos modelos. A região de diferenças mínimas situa-se a Nor-Nordeste, onde os modelos registram seus valores

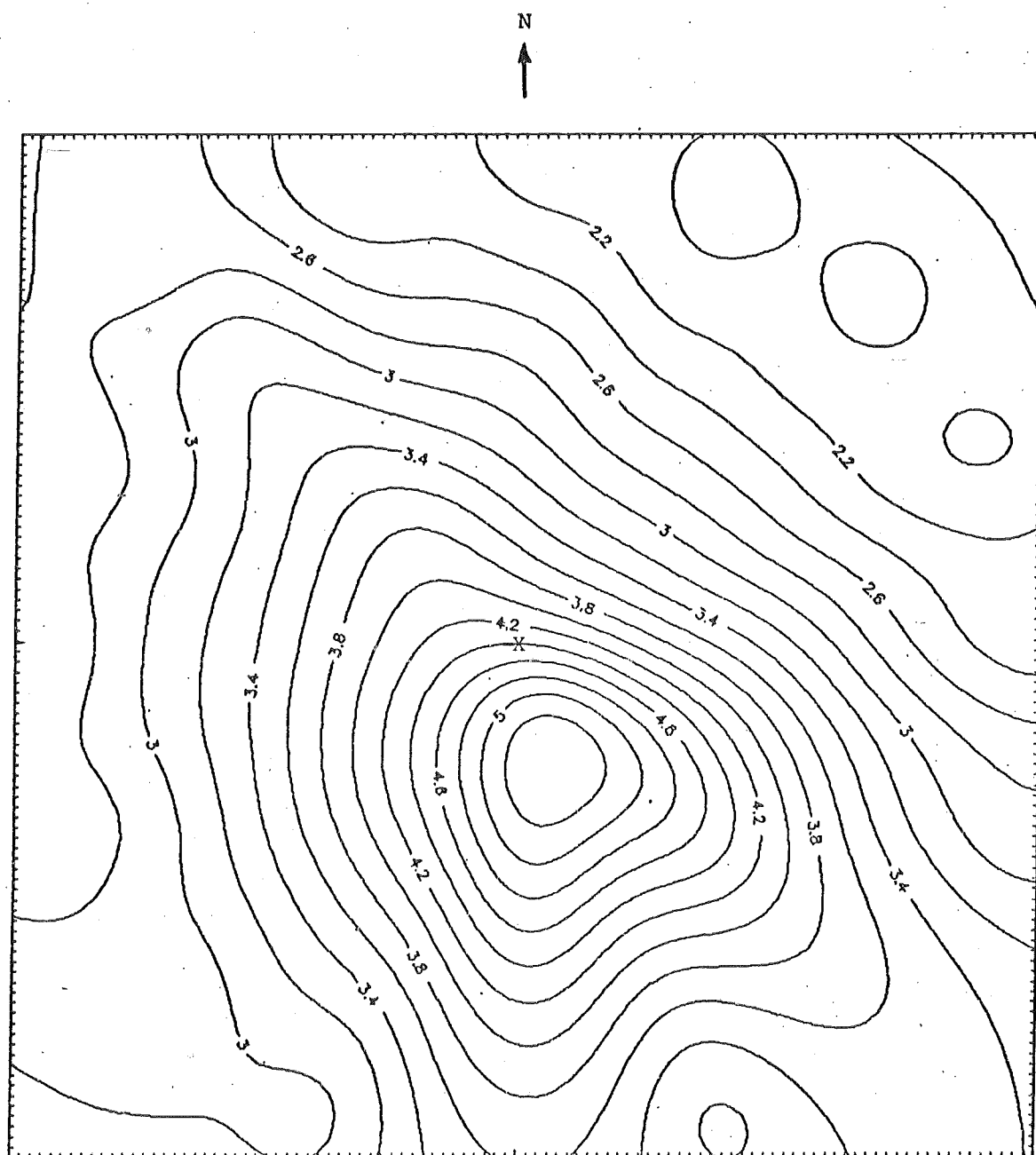


FIG. 01

Valley ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESCALA: 1:100.000

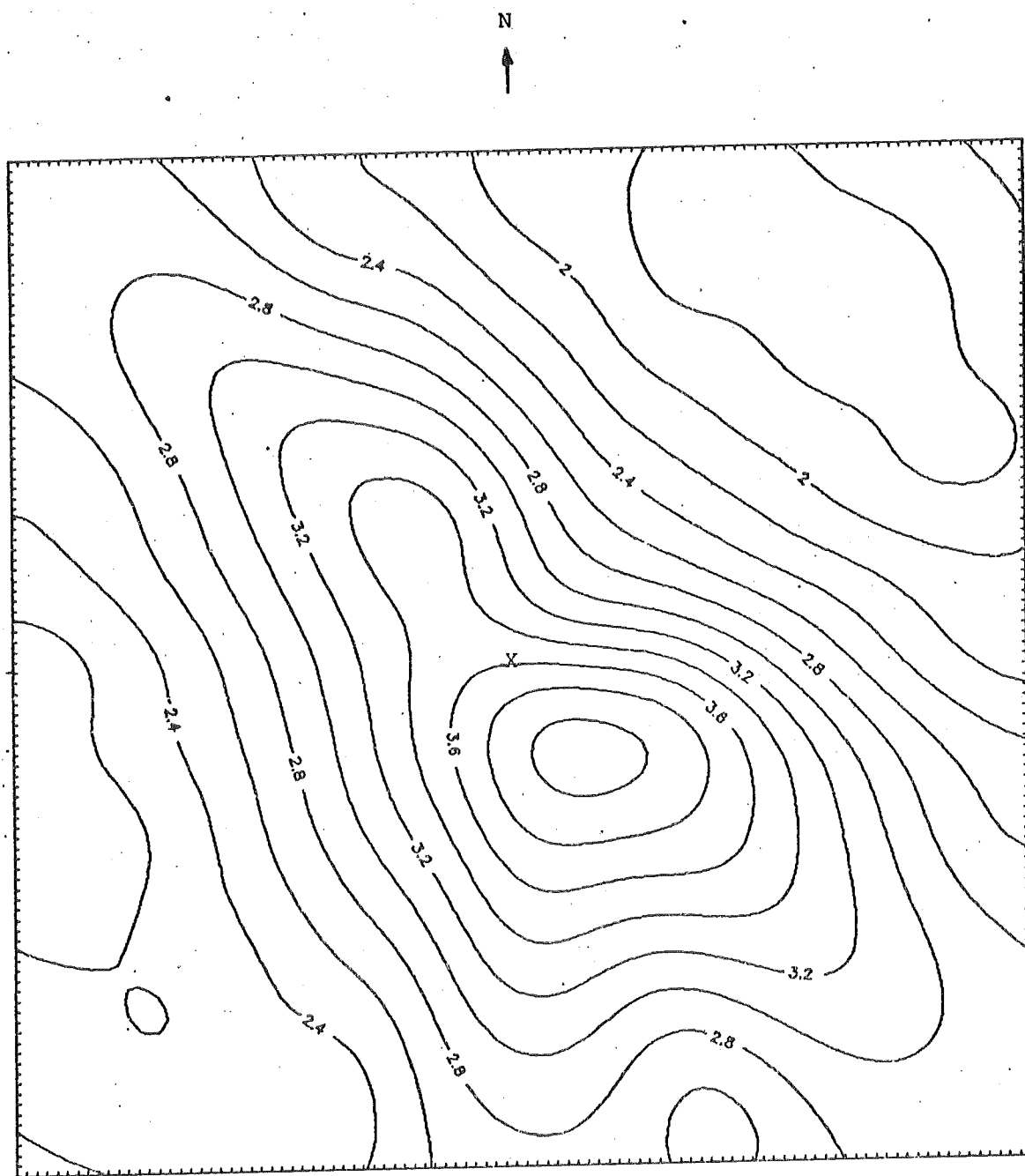


FIG. 02

CDM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESCALA: 1:100.000

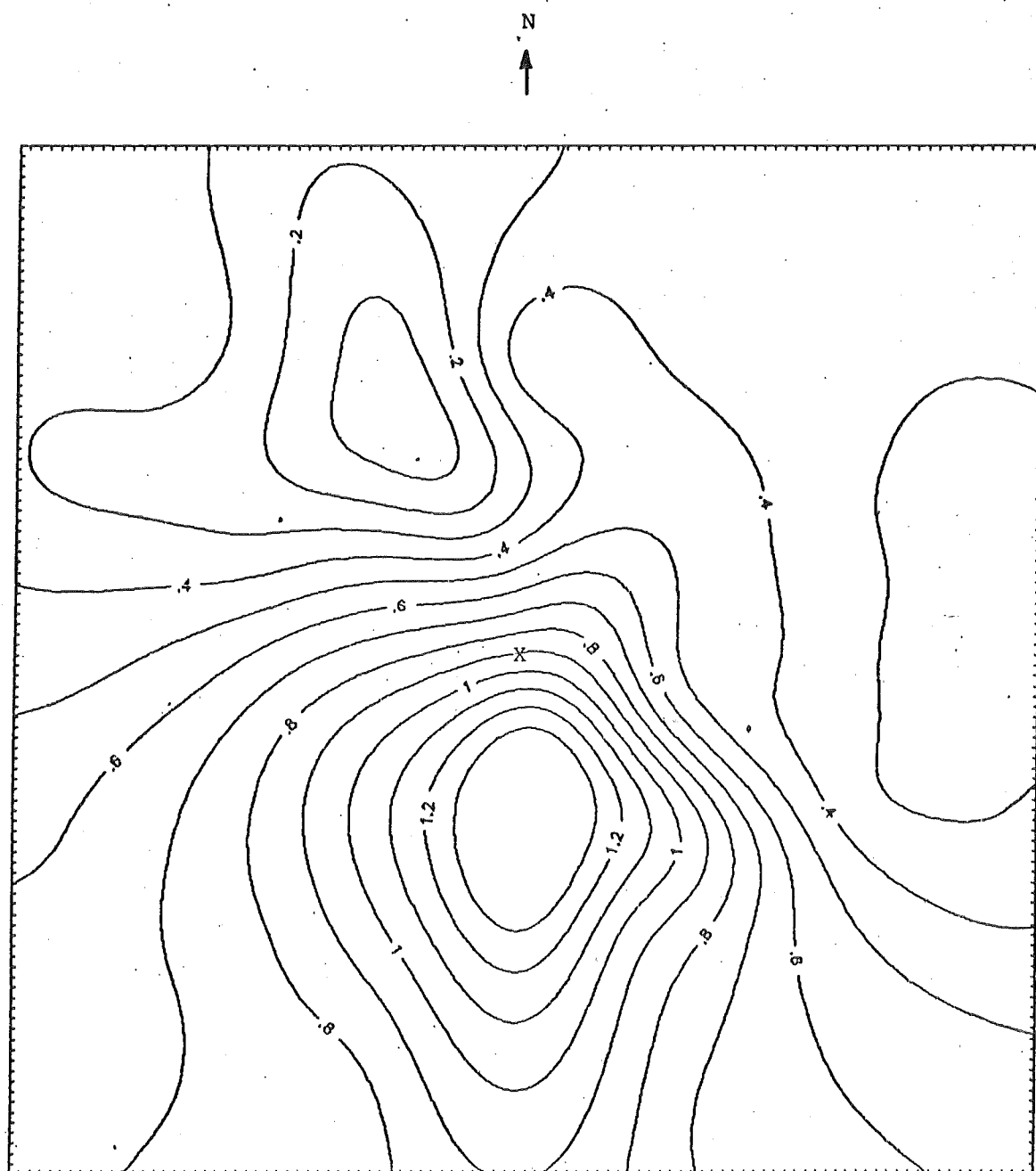


FIG. 03

V-CDM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESCALA: 1:100.000

intermediários. No local da região de mínimo dos modelos, a Oeste, notamos uma região de transição no gráfico das diferenças. Noutra região de mínimo dos modelos, a Nordeste, as diferenças foram positivas e pequenas. A isolinha de diferenças máximas foi de 1.4 e a de mínimas de $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Notamos que o modelo CDM homogeneiza mais o campo que o Valley, consequentemente, gradientes no modelo Valley são mais intensos, de um modo geral.

Observações de concentração foram feitas durante o estudo pela estação móvel de amostragem da CETESB, com receptor à 400m à Noroeste da fonte. O valor médio observado da concentração de SO_2 no período foi de $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com uma incerteza devido ao instrumento medidor de $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, $(4.0 \pm 1.3) \mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor previsto pelo modelo Valley está entre 4.2 e 4.4 o do CDM, entre 3.4 e $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Devido a incerteza do instrumento, concluímos que ambos modelos avaliaram a concentração observada corretamente. Notamos que a ordem de grandeza dos valores em questão é pequena, se comparada com o padrão ambiental para SO_2 é de $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Há necessidade de se conhecer qual a importância destes dados relativamente aos resultados obtidos. Para isto, plotou-se o gráfico percentual das diferenças relativas ao Valley, em cada receptor (dividiu-se a diferença entre os resultados do Valley e CDM multiplicado por cem, pelo resultado do Valley) Fig. 4. A isolinha de diferenças relativas máximas foi de 22% e ocorreu à Sul e a Sudoeste, coincidindo e estendendo-se a Oeste da região de máximo dos modelos. Esta região compreendeu cerca de 20% da área em estudo. Há duas regiões de mínimo. Uma com valores maiores a Leste, a outra com mínimo principal e negativo de -10% a Noroeste. Esta região de mínimo principal coincide com a de valores intermediários. Observamos intenso gradiente de diferenças no sentido Norte-Sul; de -10% à 22%, ou 32% em 7.000m,

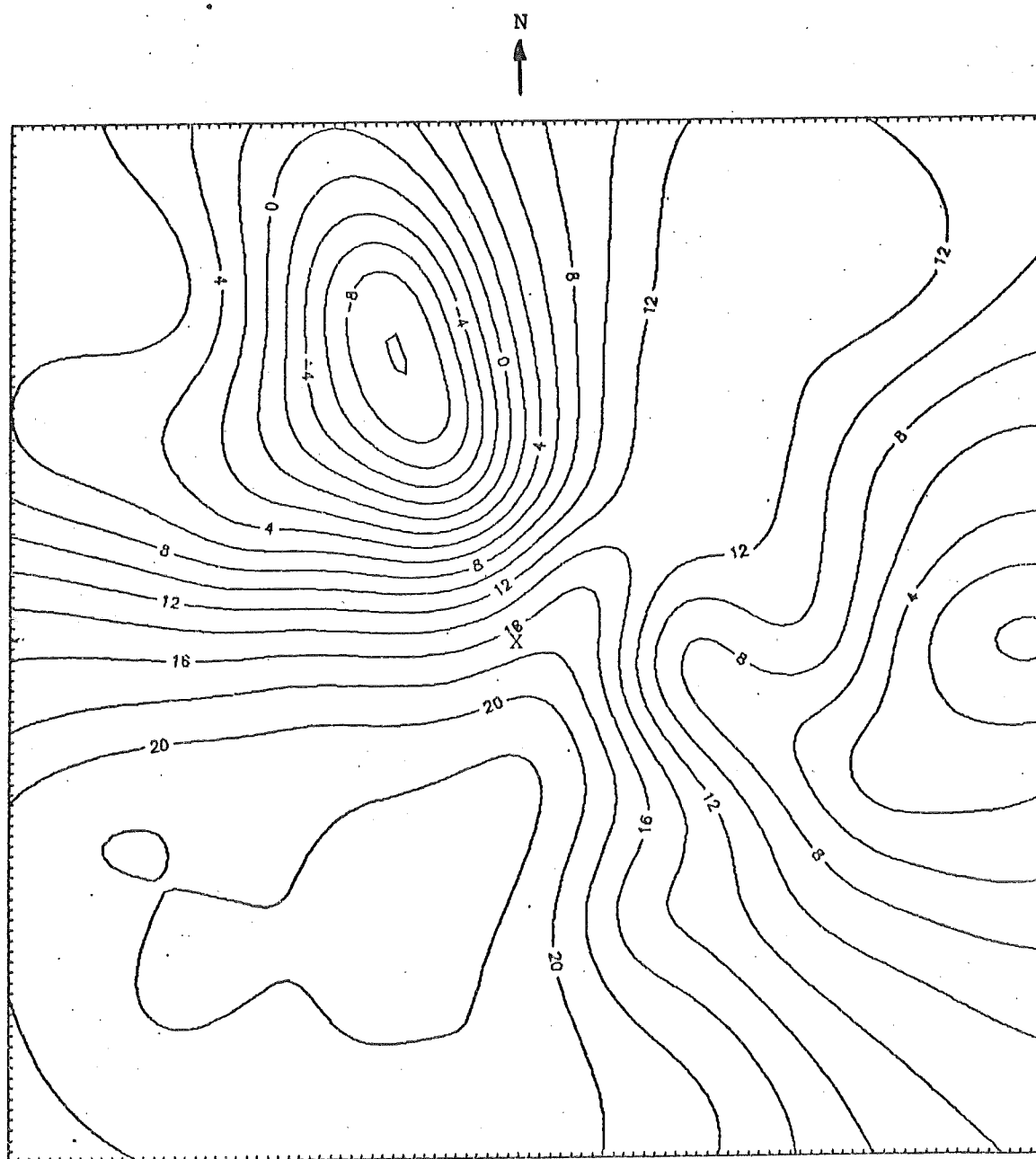


FIG. 04

$(V-CDM)/V$ (%)

ESCALA: 1:100.000

ilustrando o quanto resultados de modelos matemáticos podem ser distintos entre si, mesmo quando testados em condições idênticas.

Mostramos na Fig. 5. o gráfico das diferenças relativas percentuais em 3-D. Nesta figura vemos os mesmos dados da Fig. 4. plotados em 3-D, com rotação de 225° e elevação de 30° acima do plano $z = 0$. Os valores mínimos, e negativos estão à esquerda. Os valores mais elevados encontram-se à direita no plano posterior, com valores elevados (mas menores) no plano anterior. Notamos pequeno incremento no valor das diferenças na extrema esquerda da figura. Este aumento está associado às regiões de mínimo em ambos modelos (Figs. 1 e 2). O grande cavado encontrado entre as duas regiões de diferenças elevadas à direita da figura está associado às regiões de valores intermediários nos modelos.

CONCLUSÃO

Mostramos a capacidade dos modelos Valley e CDM em estimar valores médios de concentração de SO_2 em longo período. Ao comparar resultados dos dois modelos, verificamos que o Valley apresenta gradientes mais intensos e valores mais elevados que o CDM, em geral. Observações feitas durante o estudo mostraram que ambos modelos avaliaram a concentração corretamente. Resaltamos a necessidade de aplicar-se modelos de dispersão criteriosamente, escolhendo para cada caso, o modelo apropriado. Observamos que o número de modelos da série UNAMAP, versão 4, é 23, o que demonstra seu potencial em avaliar situações diversas de emissão e dispersão, como também o quanto os resultados dos modelos podem ser distintos entre si.

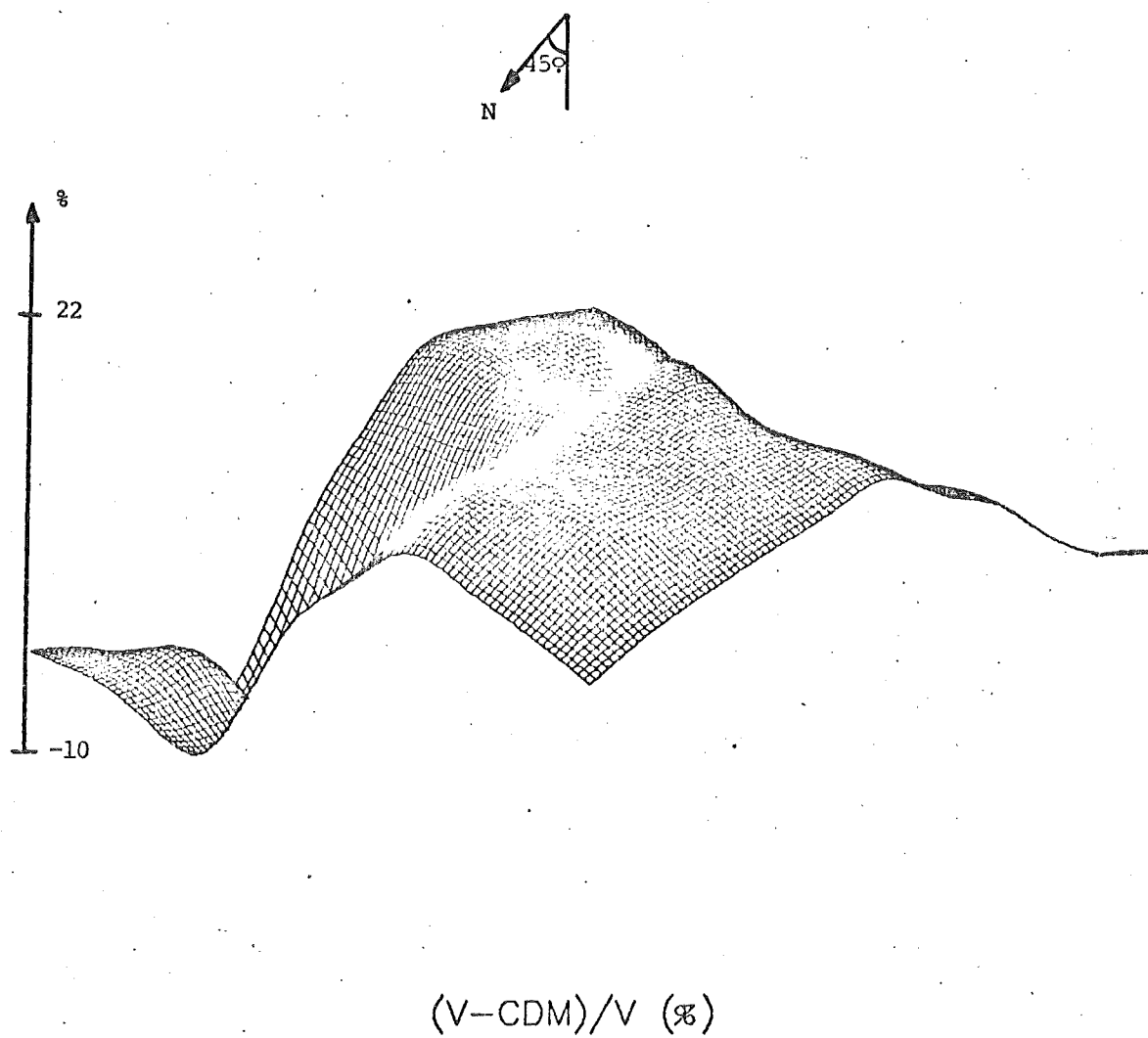


FIG. 05

ESCALA: 1:100.000

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Alberto Setzer do I.N.P.E., suas valiosas sugestões e por ter cedido o código em FORTRAN do modelo CDM. Agradecemos também a assistência do Departamento de Informática da CETESB no uso do computador, IBM 4341, utilizado neste trabalho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Briggs, G.A., 1971: Some recent analysis of plume rise observations. Proc. of the Second International Clean Air Congress; edited by H.M. Englund and W.T. Berry. Academic Press, N.Y.

Briggs, G.A., 1972: Discussion on chimney plumes in neutral and stable surroundings. Atmos. Envir. 6, 507-510.

Briggs, G.A., 1974: Diffusion estimation for small emissions. USAEC Report ATDL-106. U.S. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, TN.

Burt E.W., e H.H. Slater 1977, 'Evaluation of the Valley Model', Joint AMS/APCA Conference on Applications of Air Pollution Meteorology, November 29 - December 2, 1977. Salt Lake City.

Burt E.W. 1977, 'Valley Model User's Guide', EPA-450/2-77-081, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

Calder K.L. 1971, 'A Climatological Model for Multiple Source Urban Air Pollution', Chap. I, Proceedings of the 2nd Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modelling. NATO/CCMS Report No.5. INTIS PS-240 5651.

Environmental Protection Agency, 1986. 'Guideline on Air Quality Models (Revised)', EPA-450/2-78-027R. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

Gifford, F.A., 1961: Uses of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. Nuclear Safety, 2:4, 47-51.

Gifford, F.A., 1976: Turbulent diffusion typing schemes. A review. Nuclear Safety, 17:68-86.

Irwin, J.S., T. Chico, and J. Catalano, 1985. CDM 2.0 -- Climatological Dispersion Model -- User's guide. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

Irwin J.S., e T.M. Brown 1985, 'A Sensitivity Analysis of the Treatment of Area Sources by the Climatological Dispersion Model', J. of Air Poll. Control Assoc. 35: 359-364.

Oliveira S., A.C. Bruni, M.A.L.A. Sagula, C.M.D. Ferrari 1985, 'Resultados Preliminares do Modelo Matemático de Dispersão VALLEY', Relatório Interno CETESB - O.S. 52.03.09.

Pasquill, F., 1961: The estimation of dispersion of windbourne material. Meteorol. Mag., 90, 1063, 33-49.

Prahm L.P., e M. Cristensen 1977, 'Validation of a Multiple Source Gaussian Air Quality Model', Atmos. Environ. 11: 791.

Soares J.R., e M.A.F. Silva Dias 1986, 'Possibilidade de Ocorrência de Alguns Eventos Meteorológicos Extremos na Cidade de São Paulo', Revista Brasileira de Meteorologia Vol. 1 p 67-75.

Turner D.B., A.D. Zimmerman and A.D. Busse 1971, 'An Evaluation of Some Climatological Dispersion Models', Chap. VIII, Proceedings of the 2nd Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modelling. NATO/CCMS Report No. 5. INTIS PS-240 5651.

A N E X O I

TABELA STAR UTILIZADA NOS MODELOS VALLEY E CDM

MODELO VALLEY-ADAPTA

STABILITY	SPD(MPS) WIND DIR	1.000	2.500	4.000	5.500	7.500	10.500
A	N	0.0270	0.0060	0.0	0.0	0.0	0.0
A	NNE	0.0090	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
A	NE	0.0080	0.0040	0.0	0.0	0.0	0.0
A	ENE	0.0090	0.0030	0.0	0.0	0.0	0.0
A	E	0.0080	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
A	ESE	0.0080	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
A	SE	0.0090	0.0030	0.0	0.0	0.0	0.0
A	SSE	0.0080	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
A	S	0.0030	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
A	SSW	0.0030	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A	SW	0.0060	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
A	WSW	0.0030	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A	W	0.0030	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
A	WNW	0.0080	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
A	NW	0.0140	0.0050	0.0	0.0	0.0	0.0
A	NNW	0.0060	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
B	N	0.0330	0.0090	0.0040	0.0	0.0	0.0
B	NNE	0.0120	0.0030	0.0030	0.0	0.0	0.0
B	NE	0.0130	0.0100	0.0040	0.0	0.0	0.0
B	ENE	0.0060	0.0080	0.0030	0.0	0.0	0.0
B	E	0.0080	0.0050	0.0020	0.0	0.0	0.0
B	ESE	0.0030	0.0070	0.0050	0.0	0.0	0.0
B	SE	0.0050	0.0110	0.0200	0.0	0.0	0.0
B	SSE	0.0020	0.0020	0.0070	0.0	0.0	0.0
B	S	0.0050	0.0020	0.0040	0.0	0.0	0.0
B	SSW	0.0040	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
B	SW	0.0070	0.0010	0.0010	0.0	0.0	0.0
B	WSW	0.0040	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
B	W	0.0080	0.0070	0.0030	0.0	0.0	0.0
B	WNW	0.0110	0.0060	0.0130	0.0	0.0	0.0
B	NW	0.0280	0.0160	0.0240	0.0	0.0	0.0
B	NNW	0.0090	0.0040	0.0060	0.0	0.0	0.0
C	N	0.0	0.0020	0.0010	0.0	0.0	0.0
C	NNE	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
C	NE	0.0	0.0050	0.0020	0.0	0.0	0.0
C	ENE	0.0	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0
C	E	0.0	0.0010	0.0020	0.0	0.0	0.0
C	ESE	0.0	0.0060	0.0110	0.0	0.0	0.0
C	SE	0.0	0.0120	0.0260	0.0110	0.0	0.0
C	SSE	0.0	0.0	0.0080	0.0	0.0	0.0
C	S	0.0	0.0020	0.0050	0.0	0.0	0.0
C	SSW	0.0	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0
C	SW	0.0	0.0	0.0	0.0010	0.0	0.0
C	WSW	0.0	0.0030	0.0	0.0	0.0	0.0
C	W	0.0	0.0020	0.0020	0.0010	0.0	0.0
C	WNW	0.0	0.0030	0.0080	0.0030	0.0	0.0
C	NW	0.0	0.0060	0.0080	0.0160	0.0	0.0
C	NNW	0.0	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0

A N E X O I

fls 02

STABILITY	SPD (MPS) WIND DIR	1.000	2.500	4.000	5.500	7.500	10.500
D	N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	NNE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	NE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	ENE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	E	0.0	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0
D	ESE	0.0	0.0	0.0060	0.0	0.0	0.0
D	SE	0.0	0.0	0.0060	0.0110	0.0	0.0
D	SSE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	S	0.0	0.0	0.0020	0.0	0.0	0.0
D	SSW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	SW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	WSW	0.0	0.0	0.0	0.0020	0.0	0.0
D	W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	WNW	0.0	0.0	0.0	0.0030	0.0	0.0
D	NW	0.0	0.0	0.0	0.0040	0.0	0.0
D	NNW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E	N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E	NNE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E	NE	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
E	ENE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E	E	0.0	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
E	ESE	0.0	0.0070	0.0100	0.0	0.0	0.0
E	SE	0.0	0.0050	0.0100	0.0	0.0	0.0
E	SSE	0.0	0.0	0.0070	0.0	0.0	0.0
E	S	0.0	0.0030	0.0040	0.0	0.0	0.0
E	SSW	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
E	SW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E	WSW	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
E	W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E	WNW	0.0	0.0010	0.0020	0.0	0.0	0.0
E	NW	0.0	0.0010	0.0030	0.0	0.0	0.0
E	NNW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	N	0.0220	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
F	NNE	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	NE	0.0080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	ENE	0.0070	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	E	0.0200	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
F	ESE	0.0350	0.0160	0.0	0.0	0.0	0.0
F	SE	0.0130	0.0140	0.0	0.0	0.0	0.0
F	SSE	0.0030	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
F	S	0.0150	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0
F	SSW	0.0200	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0
F	SW	0.0060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	WSW	0.0050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	W	0.0050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	WNW	0.0070	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
F	NW	0.0240	0.0080	0.0	0.0	0.0	0.0
F	NNW	0.0070	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0

Anexo 2. Coordenadas dos 112 receptores.

Valores em kilometros a partir da fonte no. 1., sendo X positivo para Leste e Y positivo para Norte.

X	Y	X	Y	X	Y
-8.89	0	-1.46	-3.52	1.95	-4.69
-8.21	-3.4	-1.46	3.52	1.95	4.69
-8.21	3.4	-1.27	0	2.35	-0.97
-7.62	0	-1.17	-0.49	2.35	0.97
-7.04	-2.92	-1.17	0.49	2.43	-5.87
-7.04	2.92	-0.97	-2.35	2.43	5.87
-6.28	-6.28	-0.97	2.35	2.54	0
-6.28	6.28	-0.9	-0.9	2.69	-2.69
-6.35	0	-0.9	0.9	2.69	2.69
-5.87	-2.92	-0.49	-1.17	2.92	-7.04
-5.87	2.92	-0.49	1.17	2.92	7.04
-5.39	-5.39	0	-8.89	3.4	-8.21
-5.39	5.39	0	-7.62	3.4	8.21
-5.08	0	0	-6.35	3.52	-1.46
-4.49	-5.39	0	-5.08	3.52	1.46
-4.49	5.39	0	-3.81	3.59	-3.59
-4.69	-1.95	0	-2.54	3.59	3.59
-4.69	1.95	0	-1.27	3.81	0
-3.81	0	0	1.27	4.49	-4.49
-3.59	-3.59	0	2.54	4.49	4.49
-3.59	3.59	0	3.81	4.69	-1.95
-3.52	-1.46	0	5.08	4.69	1.95
-3.52	1.46	0	6.35	5.08	0
-3.4	-8.21	0	7.62	5.39	-5.39
-3.4	8.21	0	8.89	5.39	5.39
-2.92	-7.04	0.49	-1.17	5.87	-2.92
-2.92	7.04	0.49	1.17	5.87	2.92
-2.69	-2.69	0.9	-0.9	6.28	-6.28
-2.69	2.69	0.9	0.9	6.28	6.28
-2.54	0	0.97	-2.35	6.35	0
-2.43	-5.87	0.97	2.35	7.04	-2.92
-2.43	5.87	1.17	-0.49	7.04	2.92
-2.35	-0.97	1.17	0.49	7.62	0
-2.35	0.97	1.27	0	8.21	-3.4
-1.95	-4.69	1.46	-3.52	8.21	3.4
-1.95	4.69	1.46	3.52	8.89	0
-1.8	-1.8	1.8	-1.8		
-1.8	1.8	1.8	1.8		

