

## DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES EM UM COMPLEXO INDUSTRIAL SIDERÚRGICO

### **Gilberto Caldeira Bandeira de Melo**

Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais -UFMG.

### **Grace Fátima Miranda Mitkiewicz (\*)**

Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - Usiminas. Engenheira Química (UFMG, 1982), Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG, 2002). Efetuou Cursos de Especialização em Poluição do Ar pela Japan International Cooperation Agency – JICA, Japão (1994) e em Gerenciamento de Resíduos Siderúrgicos pela Japan Iron and Steel Federation – JISF, Japão (1995). Analista de Meio Ambiente das Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais desde 1993.



Endereço comercial (\*): Gerência de Meio Ambiente e Urbanismo da Usiminas – BR 381 – km 210 – Ipatinga – Minas Gerais – CEP:35160-900 – Brasil – Telefone:+55(31)3829-4272 Fax:+55(31)3829-4296 – E-mail: [gfmiranda@usiminas.com.br](mailto:gfmiranda@usiminas.com.br)

### **RESUMO**

Este trabalho descreve uma metodologia de avaliação de dispersão de material particulado total na atmosfera para a região do Município de Ipatinga – Minas Gerais, na área de influência do complexo siderúrgico das Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A - Usiminas. Utilizou-se o modelo matemático para fontes múltiplas em terreno complexo para curto prazo, denominado ISCST3, que é o recomendado pela Agência Norte-americana de Proteção Ambiental - EPA. A metodologia empregada foi baseada principalmente na pequena disponibilidade dos dados meteorológicos nesta região. Os dados foram obtidos através de uma estação meteorológica automática portátil, sendo coletados registros horários de velocidade e direção dos ventos, temperatura e radiação solar, no período de 26/03 a 29/10/2001. A classe de estabilidade atmosférica, parâmetro fundamental de medida da capacidade dispersiva da atmosfera, foi estimada pelo método Turner que utiliza dados de radiação solar e velocidade dos ventos. Foi feito um comparativo entre este método e o do desvio padrão do ângulo azimutal dos ventos, resultando em somente 16% dos dados iguais. Optou-se, entretanto, em usar o método Turner, por se tratar de um método amplamente usado e também recomendado pela EPA. A altura da camada de mistura, parâmetro que fornece o espaço no qual ocorre o movimento vertical na atmosfera, foi determinada a partir do estabelecimento de uma correlação direta da variação temporal de temperatura com observações e medições da pluma. Foi delimitada a topografia do município de Ipatinga, abrangendo um raio de 11 km, contado a partir da planta industrial. Foram incluídas no modelo 53 fontes pontuais (chaminés) e 32 fontes área. Foram obtidas taxas de emissões médias para as chaminés a partir de medições realizadas duas vezes por ano, nos últimos 5 anos e para as fontes área, as taxas foram calculadas a partir de fatores de emissão fornecidos pela EPA. Para o estudo de caso, mudanças na classe de estabilidade e na altura da camada de mistura alteraram pouco os resultados. O modelo foi validado pela comparação dos resultados obtidos nas simulações com os valores medidos nas estações de monitoramento da qualidade do ar localizadas em torno da planta industrial da Usiminas, no município de Ipatinga. De acordo com o critério de validação empregado, os dados concordaram dentro de um fator de dois. A avaliação do impacto ambiental na região foi feita comparando-se os resultados simulados em pontos receptores selecionados com os padrões da legislação ambiental. Evidenciou-se que nos pontos receptores selecionados, localizados em torno da planta industrial, as concentrações de Material Particulado estiveram abaixo do padrão legal médio anual de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e do padrão máximo diário de  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que não pode ser ultrapassado mais que uma vez no ano.

**Palavras chaves:** Poluição do Ar; Material Particulado; Modelamento de Dispersão Atmosférica; Fontes Complexas Industriais; Indústria Siderúrgica.

### **1 INTRODUÇÃO**

A siderurgia, sendo uma indústria de base, é tida como uma grande causadora de impactos ambientais, especialmente no

que se refere à poluição do ar, devido à natureza dos seus processos de produção do aço. Na indústria siderúrgica integrada a coque, dentre os poluentes gerados, destaca-se o material particulado, proveniente principalmente das operações de estocagem, manuseio e transporte de matérias-primas, bem como da queima de combustíveis utilizados nas várias etapas do processo produtivo. A quantificação das substâncias poluentes presentes no ar pode ser efetuada através de medições nos chamados receptores (locais de interesse), quando se deseja avaliar a qualidade do ar ou na saída das chaminés para controle das emissões nas fontes. Na avaliação da qualidade do ar este monitoramento, muitas vezes, é limitado, por não cobrir toda a extensão da área e as variações temporais. Suprindo estas deficiências de medições, outra ferramenta que vem sendo amplamente utilizada na determinação das concentrações de poluente no ar é a modelagem matemática. O modelo de dispersão atmosférica possibilita estabelecer uma relação entre os níveis de emissão dos poluentes na fonte, com as concentrações dos mesmos no ar, bem como efetuar previsões de impactos ambientais e determinação de pontos críticos de poluição. Os modelos matemáticos gaussianos utilizam a curva de Gauss para descrever a variação das concentrações na pluma de dispersão em fontes contínuas. Estes modelos pressupõem a disponibilidade de dados meteorológicos horários. Propõe-se neste trabalho uma metodologia de avaliação da dispersão de poluentes na atmosfera, baseada, principalmente, na pequena disponibilidade dos dados meteorológicos na região. Portanto, esta metodologia poderá ser estendida a regiões com dificuldades semelhantes e possibilitará aos empreendedores e instituições ambientais, a tomada de uma série de ações, tais como: otimizar a rede de monitoramento da qualidade do ar na região; avaliar os impactos ao meio ambiente e efetuar previsões quanto aos impactos gerados com a entrada em operação de novos processos.

## **2 OBJETIVOS**

O Objetivo geral do trabalho é estabelecer uma metodologia para avaliação da dispersão de poluentes no ar em um complexo industrial siderúrgico, utilizando como ferramenta o modelo matemático Industrial Source Complex Short Term - ISCST3, recomendado pela U.S. Environmental Protection Agency - EPA. O uso do modelo ISCST3 requer o conhecimento de uma série de variáveis que interfere na dispersão dos poluentes atmosféricos e que merece ser estudada, levando à formulação dos seguintes objetivos específicos: caracterização das fontes de emissão de poluentes para a atmosfera, provenientes de uma planta industrial; definição dos parâmetros meteorológicos a serem medidos; definição de metodologias para determinação das classes de estabilidade atmosférica e da altura da camada de mistura; estudo da sensibilidade do modelo; validação do modelo; avaliação do impacto ambiental. Um estudo de caso foi realizado para a região de Ipatinga, verificando a influência das fontes de emissões das Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - Usiminas.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O grau de poluição de uma determinada região deve-se em grande parte as condições meteorológicas locais. Portanto, para a avaliação da dispersão de poluentes é imprescindível o conhecimento dos fenômenos que regem a atmosfera. Neste trabalho foi abordada a parte da atmosfera, situada na troposfera mais baixa, onde ocorre o transporte e a dispersão dos poluentes no ar, chamada camada limite planetária, que compreende, aproximadamente, os primeiros 1000 a 1500m acima do nível do solo. Nesta camada, são significantes os efeitos da superfície, sendo a velocidade e a direção dos ventos estabelecidas pelos gradientes de pressão horizontal, pelas forças de atrito e pela força de Coriolis (resultante da rotação da terra).

A estabilidade atmosférica é um parâmetro usado nos estudos de dispersão para definir o estado da atmosfera ou descrever a sua capacidade dispersiva. Deste modo, este parâmetro descreve as propriedades da atmosfera que governam as acelerações dos movimentos verticais de uma parcela de ar.

Seinfeld (1978) explica a estabilidade através do comportamento de uma parcela de ar que não está sujeita a outros movimentos e que não se mistura com o ambiente (comportamento adiabático). Se a parcela de ar deslocada não está submetida a nenhuma força como resultado de sua nova vizinhança, a atmosfera é considerada neutra. Se a parcela de ar deslocada, está sujeita a forças que a façam ascender ainda mais, a atmosfera é considerada instável. Por outro lado, se o deslocamento da parcela de ar ocorre de forma a restaurar a sua posição original, a atmosfera é dita estável.

O critério de estabilidade para determinar a resultante das forças que atuam em uma massa de ar resulta da comparação entre o gradiente adiabático da parcela e o perfil real de temperatura existente na atmosfera.

Os modelos gaussianos empregam classes de estabilidade para qualificar a capacidade de dispersão da atmosfera, ou seja, para estimar os parâmetros de dispersão nas direções transversal e vertical, em relação à direção de propagação da pluma (que é a direção dos ventos) e conseqüentemente, para efetuar as previsões das concentrações.

Diversos estudos foram realizados buscando avaliar a intensidade da turbulência atmosférica. Dentre estes cita-se Pasquill (1961), que através da execução de vários experimentos, distinguiu 6 classes de estabilidade: A - altamente instável, B - instável, C - ligeiramente instável, D - neutra, E - ligeiramente estável e F - estável. O critério para a classificação de Pasquill considerou a relação da velocidade de ventos com a insolação durante o dia e índices de nebulosidade durante a noite.

Turner (1970) desenvolveu critérios para determinar a estabilidade de Pasquill usando as taxas de radiação solar, cobertura de nuvem e velocidade de ventos, originando as consagradas classes de estabilidade Pasquill - Gifford, que são recomendadas para uso nos modelos de dispersão gaussiana.

Outros métodos usados para caracterizar a turbulência atmosférica são citados por Beychock (1994): desvio padrão das flutuações angulares dos ventos, comprimento de Monin-Obuckov, gradiente de temperatura e número de Richardson. Estes métodos foram testados e comparados entre si e com as classes de estabilidade de Pasquill, por Mohan y Siddiqui (1998).

A altura da camada de mistura é um parâmetro importante para determinar as condições atmosféricas para a dispersão de poluentes de uma região em um determinado instante, uma vez que indica o espaço da atmosfera no qual é possível ocorrer a dispersão vertical dos poluentes.

Ulke y Mazzeo (1998) citam vários métodos disponíveis para determinação da altura de mistura e apresentam suas vantagens e limitações. Os métodos mais usados consistem na determinação dos perfis de temperatura na atmosfera. Estas medições podem ser efetuadas através do envio de balões meteorológicos equipados com radiosondas, que registram e enviam dados de temperatura em função da altitude.

A altura da camada de mistura pode também ser determinada através do uso de relações teóricas, através de parâmetros escalares da camada limite atmosférica, discutidas no relatório "Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications - EPA (2000)".

O equacionamento da difusão atmosférica pode ser obtido, além da aplicação da conservação de massa (equação da continuidade), pela teoria estatística de difusão turbulenta, que também parte de princípios básicos que governam a dinâmica da atmosfera.

A partir da descrição Lagrangeana do escoamento e da abordagem estatística, obtém-se a equação para determinação da concentração de uma fonte pontual contínua. A dedução das equações é apresentada em Seinfeld (1978).

A equação para determinação da concentração de uma fonte pontual contínua, denominada equação básica da pluma gaussiana, é dada pela expressão:

$$C = \frac{Q}{U_s \sigma_y \sigma_z 2\pi} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad \text{equação (1)}$$

onde,

$C$  = concentração das emissões para um receptor localizado a  $x$  metros na direção de propagação dos ventos,  $y$  metros transversal à linha central da pluma e  $z$  metros acima do solo ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

$Q$  = taxa de emissão de poluente ( $\text{g}/\text{s}$ )

$U_s$  = velocidade média dos ventos para a altura de descarga ( $\text{m}/\text{s}$ )

$y$  = distância do receptor à linha central da pluma na direção transversal ( $\text{m}$ )

$Z$  = distância do receptor à linha central da pluma na direção vertical ( $\text{m}$ )

$\sigma_y$  e  $\sigma_z$  = coeficientes de difusão nas direções transversal ( $y$ ) e vertical ( $z$ ) ( $\text{m}$ )

$H$  = altura da linha central da pluma acima do solo ( $\text{m}$ )

O uso desta equação é válido para as seguintes premissas:

- a difusão transversal ( $y$ ) e vertical ( $z$ ) ocorrem de acordo com a distribuição gaussiana ou normal (FIG. 1);
- a difusão horizontal na direção de propagação ( $x$ ) é desprezível comparada ao transporte;
- a taxa de emissão é contínua e constante;
- a velocidade horizontal dos ventos e a média da direção dos ventos são constantes;
- não há deposição, transformação química ou absorção de emissões e qualquer emissão difundindo até o solo é

refletida de volta para a pluma (todas as emissões são conservadas na pluma);

- não há barreira na difusão vertical superior e na difusão horizontal;
  - $\sigma_z$  e  $\sigma_y$  são constantes para uma determinada distância e a suposição de ocorrência de uma expansão da pluma cônica, requer, implicitamente, a consideração de turbulência homogênea nas dimensões x,y e z da pluma.

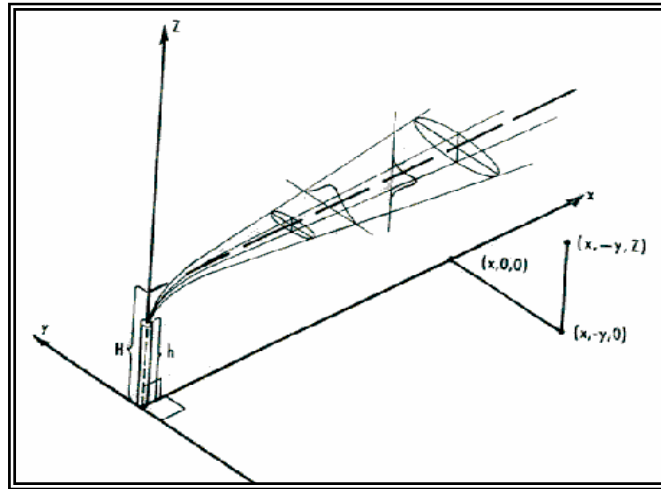


FIGURA 1: Metodologia de avaliação da dispersão de poluentes no ar

#### 4 METODOLOGIA APLICADA – ETAPAS DESENVOLVIDAS

A metodologia usada neste trabalho pode ser sintetizada no fluxograma apresentado na FIG.2.

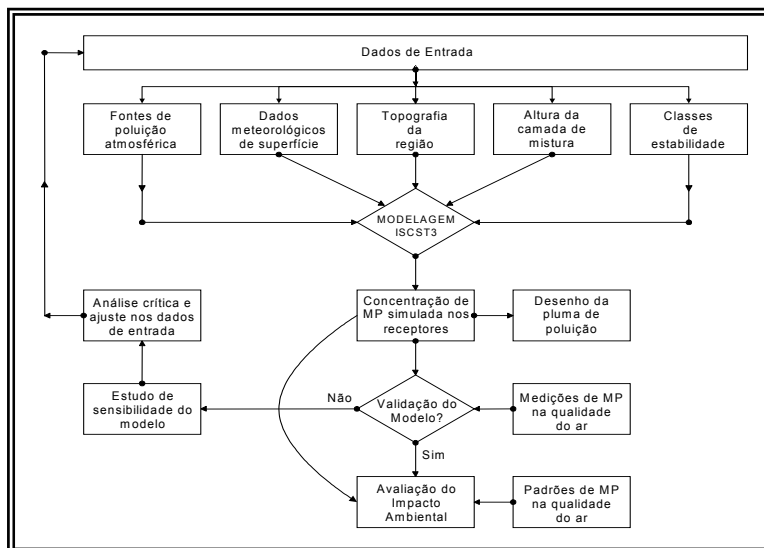


FIGURA 2: Metodologia de avaliação da dispersão de poluentes no ar

##### 4.1 Caracterização das fontes de emissões de poluentes na atmosfera

As fontes de emissão de MP foram identificadas e caracterizadas, totalizando 53 chaminés e 32 fontes área (emissões fugitivas provenientes do descarregamento e pátios de matérias-primas). As taxas de emissões para as fontes-ponto (chaminés) compreenderam valores médios do período de 1995 a 2001, monitorados semestralmente pela Empresa. Para as fontes-área foram estimadas por meio dos fatores de emissão propostos pela EPA.

#### 4.2 Caracterização da topografia da região de Ipatinga

O levantamento topográfico foi feito através de uma malha que cobre toda a região de Ipatinga com linhas distanciadas entre si de 250m nas direções norte-sul e leste-oeste. O Modelo ISCST3 calcula a concentração de poluentes em coordenadas previamente especificadas.

#### 4.3 Levantamento dos dados meteorológicos da região

Os dados meteorológicos da região foram levantados a partir de uma estação meteorológica portátil automática instalada a uma altitude de 302m do nível do mar, sendo que a planta industrial está situada em uma área plana de aproximadamente 245m de altitude, distante da estação em 1,5km. Foram efetuadas medições contínuas com registros de dados horários dos parâmetros direção e velocidade dos ventos, radiação solar e temperatura ambiente, no período de 26 de março a 29 de outubro de 2001.

#### 4.4 Estimativa das classes de estabilidade atmosférica

Na estimativa das classes de estabilidade foi feito um estudo comparativo de duas metodologias. O primeiro método, denominado Turner (SRDT) correlaciona as medições da radiação solar total durante o dia e a diferença de temperatura vertical ( $\Delta T$ ) a noite. O método do desvio padrão ( $\sigma_A$ ) usa o desvio padrão da flutuação da direção dos ventos em combinação com a velocidade média escalar. Estes métodos foram empregados em função da disponibilidade dos dados meteorológicos na região.

#### 4.5 Determinação da altura da camada de mistura

Determinou-se a altura da camada de mistura correlacionando-a com a variação temporal da temperatura do ar ambiente próxima à superfície. Sabe-se que, a altura da camada de mistura aumenta com o aumento da temperatura da superfície e diminui com o seu resfriamento. Foram tomadas duas alturas de mistura associadas a duas temperaturas e, por interpolação linear, foram determinadas as alturas de mistura intermediárias históricas. A primeira foi obtida por estimativa visual, a partir da observação de um episódio acidental de emissão de grande quantidade de material particulado em uma chaminé da sinterização. A temperatura neste dia era de 16°C e pôde-se observar que a fumaça lançada não ultrapassava uma linha imaginária que deveria ser correspondente a altura da camada de mistura. Por meio de computação gráfica chegou-se que esta altura era de 250 m. A segunda estimativa da altura de mistura, buscando valores máximos, foi tomada de referência bibliográfica (Ulke y Mazzeo, 1998). Determinou-se, então, que para uma temperatura superficial de 30°C a altura de mistura seria de 1500 m. Assumindo-se uma correlação linear entre a temperatura e a altura da camada de mistura, o valor desta última foi estimado por interpolação entre aqueles dois valores.

#### 4.6 Estudo de sensibilidade do modelo

Foi verificada a influência dos parâmetros chave do modelo nos resultados das concentrações de material particulado no ar. Este estudo foi realizado considerando duas situações. A primeira consistiu em se avaliar a influência da direção dos ventos e das classes de estabilidade em uma condição hipotética para uma única fonte. Para se verificar a influência das classes de estabilidade foram avaliadas a variação da concentração de MP no eixo central da pluma (direção de propagação dos ventos) e no eixo y (transversal ao eixo x) a várias distâncias da fonte. A segunda consistiu em avaliar a influência da direção dos ventos, das classes de estabilidade e da altura da camada de mistura para o estudo de caso.

#### 4.7 Validação do modelo

Para validação do modelo foram levantados dados de monitoramento da qualidade do ar realizado pela Empresa em 7 receptores situados em áreas circunvizinhas à planta industrial da Usiminas (FIG.3). Estes resultados foram comparados aos obtidos por simulação, para o mesmo período. No total foram levantados 28 dados para cada receptor.

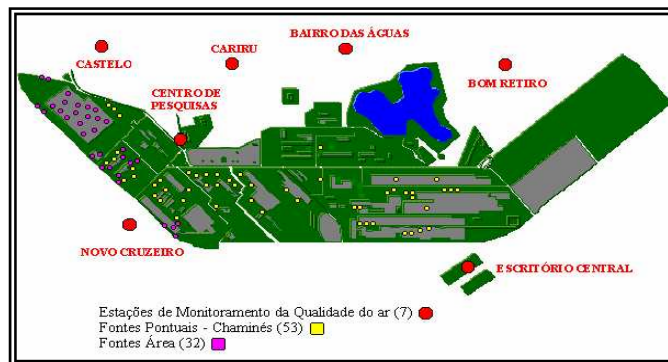


FIGURA 3: Estações de monitoramento da qualidade do ar

## 5 RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1 Comparativo entre as metodologias para estimativa das classes de estabilidade

Para a execução do estudo comparativo das metodologias de estimativa das classes de estabilidade foram levantados 244 dados (TAB. 1). Para exemplificar, na segunda linha desta tabela, verifica-se que foram observadas 134 vezes a classe B pelo método Turner. Dessas, apenas 13.4% foram também classificadas como classe B pelo método do desvio padrão. As demais foram classificadas como classe A (82.8%), C(3.0%) ou D (0.8%). Considerando todas as classes, apenas 16.2 % dos resultados foram iguais. Esta baixa correlação pode ser atribuída, em parte, ao fato do método do desvio padrão ser fortemente influenciado pela topografia local e pelas condições climáticas.

TABELA 1: Resultados comparativos das classes de Pasquill-Gifford, pelos métodos Turner (SRDT) e do desvio padrão dos ventos ( $\sigma_A$ )

Observações nas classes Turner (n°)	$\sigma_A$	A $\sigma_A$	B $\sigma_A$	C $\sigma_A$	D $\sigma_A$
	Turner				
25	A <sub>T</sub>	100.0	-	-	-
134	B <sub>T</sub>	82.8	13.4	3.0	0.8
45	C <sub>T</sub>	53.3	35.5	11.1	-
40	D <sub>T</sub>	47.5	35.0	17.5	-

### 5.2 Validação do modelo

Antes de se iniciar uma comparação entre valores observados nos receptores e os previstos pelo modelo foi preciso fazer uma correção ou ajuste nesse último. A correção consistiu em adicionar ao valor previsto pelo modelo uma quantidade correspondente as emissões de fontes que não foram incluídas no modelo e que contribuíram de modo contínuo para o ponto receptor. Considerando-se apenas as fontes do modelo, pôde-se observar, com frequência, regiões com previsões de concentração igual a zero, enquanto que, na realidade, se medir estes locais, sempre seria encontrado algum valor diferente de zero. A correção nas previsões dos modelos de dispersão atmosférica com a adição de uma concentração de “background” é aconselhada pela EPA e consta como prática na Lei Americana “Code Federal Regulation – CFR (Title 40): Protection of Environment – Subchapter C, part 51, Appendix W – Guideline on Air Quality Models”.

Os valores de concentração tomados como “background”, para os pontos de monitoramento em Ipatinga, obedeceram a alguns critérios. Foram considerados os menores valores (ou a média dos menores valores) quando o vento se encontrava numa direção tal que as fontes da Usiminas estavam a sotavento do ponto considerado e não havia chovido no dia ou no dia anterior (TAB. 2). Desta maneira acredita-se que o valor da concentração de background represente as emissões fugitivas, antropogênicas ou não, de fontes não pertencentes à Usiminas, que atingem os pontos receptores.

TABELA 2: Valores de concentração de “background”

Receptores	CA	BA	BR	EC	NC	CP	CS
Background ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	27.0	33.0	29.0	26.0	68.0	*	30.0

NOTA - (\*) Não recebeu nenhum valor.

Não foi dado nenhum valor de “background” ao ponto CP (Centro de Pesquisa), por este se encontrar dentro da área industrial e, portanto, o material particulado coletado representa somente fontes incluídas no modelo. Além disto, foi notado que os ventos locais muitas vezes são bem diferentes dos ventos medidos em outras regiões, provavelmente devido aos fortes efeitos térmicos causado, principalmente, pelas coquearias.

Beychok (1994), em seu artigo sobre propagação de erro na modelagem da dispersão do ar, cita vários trabalhos na literatura que discutem as falhas da modelagem e afirma que existe um consenso entre eles de que os modelos de dispersão podem efetuar previsões de concentração de plumas dentro de um fator de 2 a 3 vezes as concentrações reais. Isto para condições especialmente controladas. A literatura especializada recomenda que, para uma comparação adequada entre os valores previstos ( $C_p$ ) pelo modelo e os observados ( $C_o$ ), devem ser usados os seguintes parâmetros

estatísticos: “fractional bias” - FB; média geométrica - MG; erro quadrático médio normalizado - NMSE; variância geométrica média - VG; coeficiente de correlação - R e a fração das previsões dentro de um fator de dois das observações - FAC2 (FIG.4).

$$\begin{aligned}
 FB &= \frac{(\bar{C}_0 - \bar{C}_p)}{0,5 \cdot (\bar{C}_0 + \bar{C}_p)} & MG &= \exp(\ln \bar{C}_0 - \ln \bar{C}_p) & NMSE &= \frac{(\bar{C}_0 - \bar{C}_p)^2}{\bar{C}_0 \cdot \bar{C}_p} \\
 VG &= \exp\left[\frac{(\ln \bar{C}_0 - \ln \bar{C}_p)^2}{\sigma_{C_p} \cdot \sigma_{C_0}}\right] & R &= \frac{(\bar{C}_0 - \bar{C}_0) \cdot (\bar{C}_p - \bar{C}_p)}{\sigma_{C_p} \cdot \sigma_{C_0}} \\
 FAC2 &= \text{fração dentro} \cdot 0,5 \leq \frac{C_p}{C_0} \leq 2,0
 \end{aligned}$$

FIGURA 4: Parâmetros estatísticos de validação modelo

Na hipótese da concentração prevista ser o dobro ou a metade da concentração observada, que é uma razão de consenso citada por Chang *et al.* (1999), Irwin (2000) e Beychok (1994), os parâmetros estatísticos resultariam em  $FB = \pm 2/3$ ;  $MG = 0,5$  ou  $2,0$ ;  $NMSE = 0,5$  e  $VG = 1,6$ . Os resultados da análise estatística empregada para validação do modelo estão resumidos na TAB. 3. Os parâmetros que se encontram fora da faixa esperada de erro do modelo (maiores que um fator de dois), estão destacados em negrito e circundados. Observa-se que a maior parte das diferenças significantes ocorreram no receptor CP, e nos demais receptores, as diferenças foram significantes apenas em relação ao parâmetro R.

TABELA 3: Resultados de validação do modelo

Parâmetros	CA	BA	BR	EC	NC	CS	CP
MG	1.02	1.03	1.28	1.13	1.21	1.12	1.11
VG	1.05	1.06	1.24	1.19	1.20	1.10	<b>2.08</b>
FB	0.00	-0.04	-0.29	-0.15	-0.18	-0.15	-0.35
NMSE	0.05	0.08	0.27	0.32	0.18	0.14	0.59
FAC2	1.00	1.00	0.86	0.96	0.89	1.00	<b>0.57</b>
R	0.52	0.60	<b>0.21</b>	<b>0.05</b>	0.31	0.66	<b>0.29</b>

### 5.3 Avaliação do impacto ambiental

A avaliação do impacto causado pelo material particulado na região de Ipatinga foi feita através da comparação dos resultados obtidos em simulação com os padrões da legislação ambiental para qualidade do ar (TAB.4). Os valores limites pela legislação ambiental são de  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  para a concentração média anual e de  $240\mu\text{g}/\text{m}^3$  para a segunda máxima diária.

TABELA 4: Resultados de material particulado obtidos na simulação.

Receptores	Resultados obtidos na simulação		
	Concentração média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentração diária ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )- 1ª máxima	Concentração diária ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )- 2ª máxima
CA	26,21	84,49	62,92
BA	43,93	89,14	88,82
BR	67,02	179,80	165,58
EC	19,00	100,75	100,60
NC	13,38	98,17	91,65
CS	41,06	125,10	119,09
CP	103,94	251,51	235,12

Foram determinadas as concentrações médias e as máximas diárias (24 h) do período, para os 7 receptores. As plumas delimitadas por isopletas de concentração foram plotadas sobre o mapa do município para as três situações (médias do período, 1ª máximas diárias e 2ª máximas diárias). A pluma de concentração média de MP é apresentada na FIG.5.

## 6 CONCLUSÕES

Foi estabelecida uma metodologia de avaliação da dispersão de Material Particulado a partir de um estudo de caso para a região de Ipatinga, considerando as fontes de emissões estacionárias da Usiminas.

Verificou-se através do estudo de sensibilidade que os principais parâmetros que influenciaram nos resultados das

concentrações de material particulado foram as taxas de emissões e a direção dos ventos. Observou-se também que as classes de estabilidade exercem grande influência quando as concentrações são obtidas no eixo central da pluma.

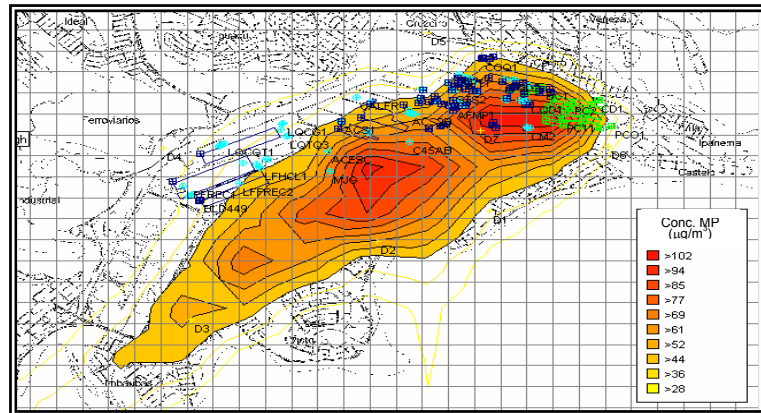


FIGURA 5: Pluma de concentração média de material particulado no período de 26/03 a 29/10/01.

Os resultados obtidos pelas duas metodologias Turner e  $\sigma_A$ , apresentaram baixa reprodutibilidade, o que também já havia sido comprovado por outros autores, por se tratar, principalmente, de testes efetuados em áreas urbanas. Apesar da incerteza associada aos dados de entrada, como dados meteorológicos e a utilização de taxas de emissão semestrais, os resultados estimados para os pontos receptores utilizados pela Usiminas concordaram dentro de um fator obtidas a partir de valores médios obtidos em amostragens semestrais, os resultados estimados para os pontos receptores utilizados pela Usiminas concordaram dentro de um fator de dois com os resultados medidos por monitoramento, exceto para o receptor Centro de Pesquisas. Este resultado é consistente com os exemplos encontrados na literatura. Foi efetuada a avaliação do impacto ambiental causado pelas fontes estacionárias da Usiminas. Verificou-se que as concentrações médias nos receptores selecionados apresentaram-se abaixo do padrão legal, ou seja,  $\leq 80\mu\text{g}/\text{m}^3$ , exceto para o receptor do Centro de Pesquisas. Isto se explica, uma vez que o mesmo está localizado dentro da planta industrial, próximo à área de redução e das fontes área. Os resultados de concentração máxima diária em todos os receptores estudados estiveram abaixo do padrão legal, ou seja, não ultrapassaram  $240\mu\text{g}/\text{m}^3$  mais que uma vez no ano.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEYCHOK, Milton R. *Fundamentals of Stack Gas Dispersion*. Third Edition, 1994. 193p.
2. CHANG, J. C., FRANZENE F.,HANNA S.R., Evaluation of CALPUFF, HPAC and VLSTRACK with dipole Pride 26 Field Data. Institute of Computational Sciences and Informatics, George Mason University, Fairfax, VA 22030, 1999, 46 p.
3. IRWIN, J.S. *Modeling Air Quality Pollutant Impacts*. In: Air Quality Management In Urban Areas In The Light of EU Legislation, 2000, Krakow. National Oceanic and atmospheric Administration. Research Triangle Park, NC27711, USA. <http://www.meteo.bg/EURASAP>
4. MOHAN, M., SIDDIQUI, T. A. Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability. *Atmospheric Environment*, v.32, n.21, p.3775-3781, august 1998.
5. OLESEN, H.R., Model Validation Kit. Status and outlook. National Environmental Research Institute (NERI). P.O. Box 358, DK-4000 Roskilde, Denmark, 1996
6. PASQUILL, F. The estimation of the dispersion of windborne material. *The Meteorological Magazine*, v.90, n.1063, p.33-53, february 1961.
7. SEINFELD, John H., *Contaminacion Atmosferica – Fundamentos Fisicos y Químicos*. Trad. Rafael Mujeriego e Geneviève Derouex. Madrid: 1978. 557p. (Original inglês).
8. TURNER, D.B. *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*. PHS Publication No 999-AP-26, U.S. Departmento of Health, Education Welfare, National Air Pollution Control Administration, Cincinnati, Ohio,1970.
9. ULKE, A.G.,MAZEO N.A. Climatological aspects of the daytime mixing height in Buenos Aires City, Argentina, *Atmospheric Environment*, v.32, n. 9, p.1615-1622, april 1998.