

**INSTITUTO
DE FÍSICA**

*Base 4
1839966*

preprint

IFUSP/P-234

"IMPACTOS ATMOSFÉRICOS DE USINAS TERMO-ELETRICAS
A RESÍDUOS SÓLIDOS"

Grupo de Estudos de Poluição do Ar
Instituto de Física - Universidade de São Paulo

CONVÊNIO CESP-IFUSP

B.I.F. - USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
Caixa Postal - 20.516
Cidade Universitária
São Paulo - BRASIL

IFUSP/P 234
B.I.F. - USP

"IMPACTOS ATMOSFÉRICOS DE USINAS TERMO-ELÉTRICAS A RESÍDUOS SÓLIDOS"

Trabalho realizado pelo Grupo de Estudos de Poluição do Ar do Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

- Celso Maria de Queiroz Orsini (coordenador)
- Délcio Rodrigues
- Elisabeth Barolli
- Maria Inês Feitosa
- Paulo Artaxo
- Tarsis Germano
- Valter Souza

INDICE

Prefácio.....	i
1. Introdução.....	1
2. Tratamento do problema da difusão dos poluentes.....	2
2.1 - Expressão analítica do modelo da Pluma Gaussiana.....	2
2.2 - As condições de estabilidade da atmosfera e os parâmetros σ_y e σ_z	4
2.3 - Procedimento para determinação das concentrações dos poluentes.....	5
2.4 - Características dos ventos em São Paulo (Capital).....	6
3. Cálculos e resultados para o SO ₂	9
3.1 - Cálculos do fator de emissão para o SO ₂	9
3.2 - Resultados para a concentração de SO ₂	10
3.3 - Resultados para a concentração de SO ₂ nos casos de inversão térmica.....	12
3.4 - Concentrações de SO ₂ no eixo da Pluma Gaussiana.....	14
3.5 - A influência da altura da chaminé nas concentrações de SO ₂	15
4. Tratamento da matéria particulada (MP).....	16
4.1 - Introdução e fatores de emissão.....	16
4.2 - Concentração do particulado < 20 μ m.....	18
4.3 - Concentração do particulado > 20 μ m.....	18
4.4 - Deposição do particulado >20 μ m.....	20
5. Poluição de fundo e padrões de qualidade do ar.....	22
5.1 - Situação da qualidade do ar da GSP.....	22
5.2 - Amostragens do GEPA.....	24
5.3 - Padrões de qualidade do ar e conclusões sobre o estado de poluição das áreas consideradas.....	24
6. Os impactos atmosféricos das UTEL.....	27
6.1 - Os impactos das UTEL nas suas vizinhanças.....	27
6.2 - Impacto das UTEL na poluição do ar da GSP.....	29
6.3 - Impacto das UTEL levando-se em conta a desativação dos atuais incineradores de lixo da PMSP.....	30
7. Considerações finais; Conclusões e Sugestões.....	31
7.1 - Conclusões.....	31
7.2 - Sugestões.....	32
Apêndices.....	33
1 - Locais das amostragens do GEPA.....	33
2 - Mapas das concentrações dos poluentes e curvas de isopoluição.....	35

PREFÁCIO

Este relatório descreve um estudo parcial sobre impactos atmosféricos de Usinas Termo-elétricas a Resíduos Sólidos, realizado pelo Grupo de Estudos de Poluição do Ar do IFUSP, durante os meses de julho e agosto de 1980.

Não se trata aqui de uma pesquisa original, e mesmo inédita, ao gosto das nossas tradições acadêmicas, ao contrário, é um estudo limitado de viabilização ambiental, semelhante aos que são rotineiramente incorporados a projetos desse tipo nos países desenvolvidos.

No nosso País, contudo, a despeito de imprescindíveis, estudos desse tipo são ainda pouco freqüentes (sob esse ângulo ele tem, portanto, algo de original e inédito), razão porque entendeu-se ser útil a sua divulgação em escala restrita as pessoas e entidades mais ligadas ao assunto.

A CESP, agência patrocinadora do estudo, autorizando a divulgação deste relatório possibilita aos seus executores o recebimento de críticas e sugestões que certamente serão de grande valia em trabalhos futuros; de outro lado, espera-se que estas experiências sejam úteis a aqueles que venham a defrontar-se com problemas semelhantes.

Os participantes da pesquisa deixam expresso o seu agradecimento à CESP pela oportunidade que lhes proporcionou, bem como as demais entidades e pessoas que de uma ou outra forma tornaram possível a execução deste trabalho.

Agosto, 1980

Os Autores.

1. INTRODUÇÃO

Interessada em instalar Usinas Termo-elétricas a Resíduos Sólidos (abreviadamente UTEL) na área metropolitana de São Paulo, a CESP delegou ao GEPA (Grupo de Estudos de Poluição do Ar) do IFUSP a tarefa de avaliar os impactos atmosféricos dessas usinas.

Nos termos do Convênio IFUSP-CESP foi elaborada a O.S. nº 1190/039/RE, com vistas à realização de um "levantamento de impactos ambientais na atmosfera a serem causados por quatro usinas termo-elétricas a resíduos sólidos a serem instaladas pela CESP, respectivamente nas regiões de Pontê Pequena, Pedreira, Av. Nações Unidas x Av. Queiroz Filho e Av. Rio das Pedras (Jardim Aricanduva), todas no Município de São Paulo".

Em conformidade com recomendações da maioria dos especialistas em problemas de poluição do ar, baseamos nossas avaliações sobre a difusão atmosférica dos poluentes a serem emitidos pelas futuras usinas no "Modelo da Pluma Gaussiana de Fonte Puntual Contínua".

Programas de computação foram especialmente elaborados para as condições específicas dos problemas tratados e, em consequência, permitiram-nos apresentar um mapeamento completo (incluindo iso-curvas) das concentrações dos poluentes SO_2 , matéria particulada (MP), e da sedimentação da matéria particulada, dentro de círculos de 10km centrados nas respectivas usinas.

Medições de SO_2 e MP foram especialmente realizadas durante o mês de julho, nas áreas em questão, tendo em vista complementar o precário acervo de dados disponíveis para a descrição do estado atual de poluição atmosférica daquelas regiões.

Ao final deste relatório discutimos os resultados conseguidos interpretando-os sob dois enfoques importantes: primeiro, o impacto das usinas nas suas vizinhanças (até 10km); segundo, o impacto das usinas na atmosfera da GSP e, portanto, o seu significado na problemática da poluição do ar dessa região.

2. TRATAMENTO DO PROBLEMA DA DIFUSÃO DOS POLUENTES

O notável avanço da física e química da atmosfera nas últimas décadas permite hoje a utilização de elaborados modelos na simulação de problemas sobre difusão de poluentes. Sobretudo, quando devidamente manipuladas por sofisticados programas de computação, essas simulações podem produzir grande variedade de informações sobre o estado de poluição da atmosfera onde ocorre difusão de poluentes.

O chamado Modelo da Pluma Gaussiana de Fonte Pontual Contínua tem sido, provavelmente, o mais comumente utilizado em estudos de viabilização de projetos de unidades industriais localizadas em áreas urbanizadas. Neste trabalho aplicou-se esse modelo a fim de avaliar a dispersão de dois poluentes chaves - SO₂ e MP - nas atmosferas das regiões escolhidas para a instalação das usinas em causa.

2.1) Expressão Analítica do Modelo da Pluma Gaussiana

É a seguinte a expressão utilizada neste trabalho para a descrição da pluma gaussiana:

$$\chi(x,y,z,H_e) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \left[\exp -\frac{1}{2} \left(\frac{z-H_e}{\sigma_z} \right)^2 + \right. \\ \left. + \exp -\frac{1}{2} \left(\frac{z+H_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (1)$$

onde:

$\chi(x,y,z)$ é a concentração (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$) do gás poluente no ponto $P \equiv (x,y,z)$ do espaço definido por um sistema de coordenadas com origem na chaminé da usina, sendo o eixo x na direção do vento médio (\vec{u}), o eixo y transversal a essa direção e o eixo z na direção da própria chaminé (vertical), Q é a taxa de emissão do gás poluente

(em $\mu\text{g}/\text{seg}$) pela fonte (chaminé); U é a magnitude do vento (em m/s); σ_y e σ_z são os desvios padrões das gaussianas que representam, para cada valor de x , os coeficientes de difusão dos poluentes nas direções y e z , respectivamente; H_e é a altura efetiva da chaminé da usina, seus valores foram calculados a partir da chamada "fórmula de Briggs", segundo a qual:

$$\Delta H = 2,6 \left(\frac{F}{US} \right)^{1/3} \quad (2) \quad \text{com} \quad F = g V_s \left(\frac{D}{2} \right)^2 \left(\frac{T_s - T_\infty}{T_\infty} \right) \quad (3)$$

$$e \quad S = \frac{g}{T_\infty} \left(\frac{dT}{dz} + \Gamma \right) \quad (4)$$

$$\text{(com, naturalmente, } H_e = H + \Delta H) \quad (5)$$

onde:

H é a altura real da chaminé (em m); ΔH é a correção da altura real da chaminé (em m); F é a força de flutuação agindo no poluente, que leva em conta a temperatura na qual este poluente é emitido (T_s) em relação à temperatura atmosférica (T_∞). F tem unidades de (m^4/seg^3); S é um parâmetro de estabilidade atmosférica, que leva em conta o gradiente da temperatura ($\frac{dT}{dz}$) em relação ao perfil de temperatura para a condição adiabática seca (Γ). S é medido em (seg^{-2}); g é a aceleração da gravidade ($9,80 \text{ m}/\text{s}^2$); V_s é a velocidade de saída do poluente pela extremidade da chaminé, (em m/s); D é o diâmetro da boca da chaminé (em m); T_s é a temperatura de saída do poluente (em $^\circ\text{K}$); T_∞ é a temperatura do ar adjacente à boca da chaminé (em $^\circ\text{K}$).

A velocidade do vento é corrigida para a altura da chaminé segundo a expressão

$$U_H = U_z \left(\frac{H_e}{z} \right)^n \quad (6)$$

onde

U_H : velocidade do vento na boca da chaminé; U_z : velocidade do vento no solo (ou a 10m de altura); z : altura onde o vento no solo foi medido (geralmente 10m); n : índice de turbulência da atmosfera.

2.2) As Condições de Estabilidade da Atmosfera e os Parâmetros σ_y e σ_z

Os coeficientes σ_y e σ_z variam com a distância à fonte, como já referido atrás, e também com as condições atmosféricas. Essas dependências funcionais são especificadas pelas chamadas "Curvas de Pasquill", duas famílias de curvas que descrevem as variações σ_y e σ_z com as distâncias, respectivamente, para os diferentes estados de equilíbrio térmico da atmosfera (instável, neutro ou estável).

Abaixo apresentamos o quadro de "Categorias de Estabilidade" da atmosfera que utilizamos a fim de selecionar os estados atmosféricos, pela forma explicada adiante, para definição das Curvas de Pasquill convenientes à nossa pesquisa.

Categorias de Estabilidade*

Velocidade do vento a 10m da sup. (m/s)	PERÍODO DIURNO COM INSOLAÇÃO:			PERÍODO NOTURNO COM CÉU :	
	FORTE	MODERADA	FRACA	NUBLADO ($> \frac{4}{8}$)	PÓUCO NUBLADO ($< 3/8$)
< 2	A	A - B	B		
2 - 3	A - B	B	C	E	
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

* Significado das categorias de estabilidade e código usado para fins de computação:

Código	Categoria	Estado Atmosférico
1	A	Atmosfera extremamente instável
2	B	Atmosfera moderadamente instável
3	C	Atmosfera fracamente instável
4	D	Atmosfera neutra
5	E	Atmosfera fracamente estável

As condições A e B são freqüentes pois ocorrem em dias ensolarados com ventos de 1 a 5m/seg. A noite as condições atmosféricas são geralmente representadas pelas categorias D e E. Durante um mesmo dia, a atmosfera pode mudar várias vezes de categoria, gerando diferentes condições de dispersão dos poluentes.

Finalmente, de posse dessas informações e escolhidos os estados de maior freqüência nas regiões em exame, as Curvas de Pasquill permitem-nos a obtenção dos valores desejados de σ_y e σ_z .

2.3) Procedimento para a Determinação das Concentrações do Poluentes

Para fins operacionais, os poluentes examinados foram classificados em quatro categorias: SO_2 ; MP menor que $20\mu m$; MP maior que $20\mu m$; MP depositada.

Nos dois primeiros casos as concentrações foram calculadas com base na equação (1) da pluma gaussiana. Nos casos da MP maior que $20\mu m$, e MP depositada, a gaussiana sofre uma rotação em seu eixo, causada pela sedimentação desses particulados, conforme será oportunamente mostrado.

Inicialmente, calculamos os fatores de emissão de SO_2 e MP. A seguir formulamos um programa que leva em conta as categorias de estabilidade, as diversas correções para a altura da pluma e velocidade do vento, utiliza o modelo da pluma gaussiana e calcula a concentração segundo a expressão (1). Para determinação da concentração de particulado grosso e da sua deposição um outro programa foi

feito, levando em conta, além da dispersão gaussiana, a sedimentação do particulado. Os programas permitem a variação de todos os parâmetros, para uma análise do efeito combinado das variáveis do problema.

A concentração pode ser calculada para $z=0$, ou seja, no solo, e fornece um quadro bidimensional das concentrações no plano $x-y$. O eixo x é assumido como sendo a direção do vento, e a coordenada y , a distância do ponto calculado ao eixo da pluma. A máxima distância x é de 10000 m, com um cálculo, neste caso, das concentrações a cada 200 m. A máxima distância y vale 2000 m, sendo que o espaçamento entre dois pontos adjacentes é de 40 metros. A concentração é lida diretamente em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Exemplos das saídas do programa podem ser vistos no apêndice 2.

Inicialmente são listados todos os parâmetros que entraram no cálculo (condição de estabilidade, velocidade do vento na superfície, velocidade do vento calculada na altura H , a altura da chaminé, o incremento na altura, a vazão do efluente, a máxima distância em x e em y , o espaçamento em x e em y , e se o cálculo foi feito no solo ou não). Após esta listagem temos um diagrama bidimensional das concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com a fonte posicionada em $x=0$, $y=0$, ou seja no centro e na extremidade superior do diagrama bidimensional.

O segundo tipo de saída do programa é um conjunto de curvas de iso-poluição, onde em cada curva temos o valor das concentrações naquela região do espaço (Veja também apêndice 2).

2.4) Características dos ventos em São Paulo (Capital)

Os dados sobre ventos utilizados provêm de três estações: Mirante de Santana (do Ministério da Agricultura), Instituto Astronômico e Geofísico (da USP) e Cidade Universitária (da Escola Politécnica da USP).

Se considerarmos que todos os ventos do quadrante S-E contribuem para que os poluentes sejam levados, em média, para a dire-

ção SE, podemos afirmar que esta direção é predominante em São Paulo (~60% dos dias - tabelas 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3).

As intensidades predominantes estão indicadas nas tabelas. Deve-se observar que já foram registradas grandes frequências de calmarias (velocidade do vento $<0,5\text{m/s}$) na região da Capital. Em 1975 e 1976, 21% dos dias foram calmos. Em 1977, 15% dos dias.

TABELA 2.4.1 - Direção, Velocidade Média, Desvio Padrão e Frequência Anual dos Ventos no Mirante de Santana (1978/1979)

DIREÇÃO	\bar{v} (m/s)		σ (m/s)		Freq. Anual (%)	
	1978	1979	1978	1979	1978	1979
N	3,0	3,2	0,9	0,8	9	10
NE	3,1	2,5	1,0	0,5	9	7
E	2,9	2,5	0,4	0,5	21	24
SE	3,4	3,5	1,9	0,6	15	24
S	3,0	2,5	0,4	0,6	23	12
SW	3,3	3,6	1,0	1,0	5	5
W	2,7	2,9	1,0	0,6	4	2
NW	4,0	3,9	0,8	0,8	9	13
-	calmo	calmo	-	-	5	3

Direção Predominante: SE (~60%)

Velocidade média SE: ~3 m/s

OBS: O Mirante é geograficamente elevado; a velocidade medida é sujeita a correção que diminui o seu valor a ~2 m/s.

TABELA 2.4.2 - Direção, Velocidade Média, Desvio Padrão e Frequência Anual dos Ventos no IAG-USP (Parque do Estado) (Período Jan/78-Set/79) *

DIREÇÃO	\bar{v}^{**} (m/s)	(m/s)	Frequência (%)
SSE	1,9	0,2	48
SE	1,7	0,2	29
E	2,3	0,1	13
ESE	2,1	-	5
WNW	1,9	-	5

* Não são computados dias de calmaria - ** Médias mensais

Direção predominante SSE, SE: ~80% dos dias

Velocidade média SSE, SE: ~2 m/s

OBS: O IAG situa-se num vale de direção SSE o que aumenta a frequência nesta direção.

TABELA 2.4.3 - Direção, Velocidade Média e Frequência Anual dos Ventos na Cidade Universitária (1975)

DIREÇÃO	\bar{v} (m/s)	Frequência Anual (%)
N	2,5	3,9
NE	1,7	3,9
E	2,5	6,5
SE	3,8	46,9
S	3,5	10,2
SW	2,3	2,9
W	2,3	2,2
NW	3,3	21,9
-	calmos	1,6

Direção predominante SE: ~60% - Velocidade média SE: ~3m/s.

3. CÁLCULOS E RESULTADOS PARA O SO_2

Foi calculado o fator de emissão de SO_2 de uma usina processando 1800 t/dia de lixo, com os demais parâmetros colocados no quadro abaixo:

altura da chaminé	100 m
diâmetro da chaminé	2 m
velocidade de saída dos gases	20 m/seg
temperatura de saída dos gases	250°C
temperatura ambiente	20°C
dT/dz	0,5°C/100m
Γ	1°C/100m
velocidade do vento na superfície	de 1 à 4m/seg
condição de estabilidade atmosférica	de 1 à 4

O cálculo foi feito para $z=0$ (no solo), embora algumas simulações foram feitas para a altura do eixo da pluma e serão apresentadas.

3.1) Cálculos do fator de emissão para o SO_2

A análise elementar do lixo da cidade de São Paulo feita pelo IPT, mediu um conteúdo de Enxofre de 0.18% em peso no lixo seco. O mesmo trabalho coloca a umidade do lixo quando coletado, em 60%. Portanto, o conteúdo de enxofre no lixo úmido, é de 0.07%.

Pelo fato do enxofre ter um peso atômico 32, e o dióxido de enxofre (SO_2) um peso molecular 64, se todo o enxofre elementar fosse convertido para SO_2 teríamos uma quantidade de SO_2 equivalente à 0.14% do lixo queimado. Como 20% do enxofre elementar fica nas cinzas, temos um conteúdo percentual de emissão de SO_2 igual à 0,11%,

ou seja, uma tonelada de lixo queimado libera 1.1 kg de SO_2 . O relatório da EPA (Environmental Protection Agency), de 1976, coloca um fator de emissão de 0.125% o que fornece uma taxa de emissão de 1,25 kg de SO_2 por tonelada de lixo incinerado, resultado muito próximo do calculado pelo conteúdo de enxofre no lixo conforme determinado pela análise do IPT. Por segurança usaremos o valor da EPA.

Portanto, a taxa de emissão de SO_2 para uma usina de incineração com capacidade de 1800 t por dia será de

$$Q = 1,25 \times 10^3 \frac{\text{g}}{\text{t de lixo}} \times 1800 \frac{\text{t de lixo}}{\text{dia}} =$$

$$= 2,250 \times 10^6 \frac{\mu\text{g}}{\text{dia}} \times \frac{1}{24 \times 3600} \frac{\text{dia}}{\text{s}} = 26,04 \text{ g/s}$$

ou $Q = 26,04 \times 10^6 \frac{\mu\text{g}}{\text{s}}$

3.2) Resultados para a concentração de SO_2

Foram feitas 13 simulações das concentrações para o SO_2 , correspondente à todas as possibilidades das categorias de estabilidade A,B,C,D,E com as velocidades dos ventos de 1 à 4m/seg. Isto ocorre pelo fato de não ser fisicamente possível a condição de estabilidade 1, com velocidade do vento de 4 m/seg. As possibilidades estão na Tabela 3.2.1.

TABELA 3.2.1 - Condições de estabilidade possíveis

CONDIÇÕES	VELOCIDADE DO VENTO			
	v=1m/s	v=2m/s	v=3m/s	v=4m/s
1	X	X		
2	X	X	X	X
3		X	X	X
4				X
5		X	X	X

Para estas 13 possibilidades, as concentrações máximas, bem como as posições onde estes máximos ocorrem estão na Tabela 3.2.2. Para termos uma visão mais global destas concentrações, no plano do solo, colocamos o mapeamento das concentrações e as curvas de iso-polução no apêndice 2, no fim deste trabalho. Cada quadro da Tabela 3.2.2 coloca, para cada condição de estabilidade e velocidade do vento, a posição do máximo da concentração, em metros, o valor deste máximo, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e a página do adendo onde está o mapeamento completo, e as curvas de Iso-polução.

TABELA 3.2.3 - Concentrações Máximas (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$; distâncias em m)

CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE	VELOCIDADE DO VENTO			
	1m/seg	2m/seg	3m/seg	4m/seg
1	$x_{\text{max}} = 520$ $\chi_{\text{max}} = 139$ A1	$x_{\text{max}} = 480$ $\chi_{\text{max}} = 78$ A2		
2	$x_{\text{max}} = 1120$ $\chi_{\text{max}} = 95$ A3	$x_{\text{max}} = 1040$ $\chi_{\text{max}} = 54$ A4	$x_{\text{max}} = 1040$ $\chi_{\text{max}} = 38$ A5	$x_{\text{max}} = 1000$ $\chi_{\text{max}} = 30$ A6
3		$x_{\text{max}} = 1600$ $\chi_{\text{max}} = 45$ A7	$x_{\text{max}} = 1800$ $\chi_{\text{max}} = 33$ A8	$x_{\text{max}} = 1600$ $\chi_{\text{max}} = 26$ A9
4				$x_{\text{max}} = 5200$ $\chi_{\text{max}} = 13$ A10
5		$x_{\text{max}} = 7800$ $\chi_{\text{max}} = 16$ A11	$x_{\text{max}} = 5600$ $\chi_{\text{max}} = 12$ A12	$x_{\text{max}} = 5600$ $\chi_{\text{max}} = 10$ A13

Este quadro fornece uma visão global das concentrações de SO_2 . Por exemplo, para um dia ensolarado, com vento fraco (1m/seg), a concentração a uma distância de 520 metros da usina atingirá o valor de $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A este valor temos que adicionar a concentração de fundo, para obtermos o valor total do SO_2 no ar para aquela posição.

3.3) Resultados para a concentração de SO_2 nos casos de Inversão Térmica

Durante o inverno são frequentes em São Paulo os dias onde ocorrem inversões térmicas do perfil de temperatura. A consequência da inversão térmica é um confinamento em altura dos poluentes, impedindo a sua dispersão. O cálculo das concentrações com inversão térmica foi feita expandindo em uma série de exponenciais as concentrações que estariam acima da camada de inversão. As concentrações resultantes foram obtidas através da expressão 7, onde L é a altura da camada de inversão e o cálculo é feito ao longo do vento ($y=0$).

$$\begin{aligned} \chi(x,0,z) = & \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{U}} \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \right. \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H-2nL}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H-2nL}{\sigma_z}\right)^2\right] + \right. \\ & \left. \left. + \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H+2nL}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H+2nL}{\sigma_z}\right)^2\right] \right] \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

A altura da camada de inversão L , que simulamos foi de 150m e 300m, para ventos de 1m/seg e 2m/seg. A tabela 3.3.1. fornece as concentrações, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, devido às emissões da usina em função da distância ao longo da direção do vento para 4 condições, sendo que o cálculo foi feito no solo ($z=0$).

Como podemos ver, em dias de inversão térmica, a concentração só devido à usina pode atingir $176 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e se situar acima do padrão de qualidade do ar até a distância de 5.000 metros.

TABELA 3.3.1 - Concentrações, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, devidas à usina.
(Inversão térmica)

Posição ao longo do Vento (m)	v = 1m/seg L = 150m	v = 1m/seg L = 300m	v = 2m/seg L = 150m	v = 2m/seg L = 300m
600	8	1	3	2
800	42	12	14	10
1000	92	31	31	20
1200	134	51	45	28
1400	161	66	54	32
1600	173	74	58	33
1800	176	77	59	33
2000	172	77	57	31
2400	156	73	52	28
2800	134	66	47	24
3200	125	60	42	22
3600	113	55	38	19
4000	103	51	34	17
5200	82	41	27	14
6000	72	36	24	12
6800	64	32	21	11
7600	58	29	19	10
8400	53	27	18	9
9200	49	25	16	8
10000	46	23	15	7

3.4) Concentrações de SO₂ no Eixo da Pluma Gaussiana

Dependendo da localização geográfica da usina, a pluma pode atingir alguma elevação, ou prédios, à distância menores que 2000 metros. Nestes casos, as concentrações serão muito elevadas, e é necessário levar-se em conta essa possibilidade.

A tabela 3.4.1. mostra a concentração de SO₂ no eixo da pluma (para $z = H$), para algumas condições de estabilidade e para velocidade do vento $v = 1\text{m/seg}$ e $v = 2\text{m/seg}$. Os índices A14, por exemplo, indicam a página do apêndice onde se encontra o mapeamento completo e as curvas de iso-poluição para a particular situação.

TABELA 3.4.1 - Concentrações no eixo da pluma x (em $\mu\text{g/m}^3$) em função da distância ao longo do vento (x em metros) (alguns mapeamentos completos estão incluídos no apêndice).

CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	$v = 1\text{m/seg}$	$v = 2\text{m/s}$
1	$\chi(500\text{m}) = 178$ (A14) $\chi(1000\text{m}) = 37$ $\chi(1500\text{m}) = 11$	$\chi(500\text{m}) = 90$ $\chi(1000\text{m}) = 21$ $\chi(1500\text{m}) = 6$
2	$\chi(500\text{m}) = 377$ $\chi(1000\text{m}) = 116$ $\chi(1500\text{m}) = 61$	$\chi(500\text{m}) = 188$ $\chi(1000\text{m}) = 59$ $\chi(1500\text{m}) = 32$
3		$\chi(500\text{m}) = 565$ $\chi(1000\text{m}) = 175$ $\chi(1500\text{m}) = 86$
5		$\chi(500\text{m}) = 3028$ $\chi(1000\text{m}) = 1059$ $\chi(1500\text{m}) = 560$ (A17)

Como vemos claramente por este quadro, para a condição de estabilidade 5 (ã noite com vento de $\approx 2\text{m/seg}$) se a pluma incidir sobre algum obstáculo, a concentração será de $1059 \mu\text{g/m}^3$, a uma distância a 1.000m da fonte, o que é um valor muito elevado.

3.5) A influência da altura da chaminé nas concentrações de SO_2

A altura da chaminé e a altura da pluma são fatores importantes na concentração final, devido à dependência exponencial de χ com H. Uma altura maior da chaminé leva o máximo da concentração para uma posição mais distante e favorece a dispersão dos poluentes.

Foram feitas simulações com uma altura da chaminé de 100m e de 120m. Os resultados estão colocados na tabela 3.5.1., onde para uma velocidade do vento de 2m/seg e condições de estabilidade 1 e 2 calculou-se o máximo das concentrações.

TABELA 3.5.1 - Variação da concentração de SO_2 com a altura da chaminé (concentrações em $\mu\text{g/m}^3$ e distâncias em m).

CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	H = 120 m	H = 100 m
1	$x_{\text{max}} = 520$ $\chi_{\text{max}} = 62$ A18	$x_{\text{max}} = 480$ $\chi_{\text{max}} = 78$ (A2)
2	$x_{\text{max}} = 1160$ $\chi_{\text{max}} = 42$ A19	$x_{\text{max}} = 1040$ $\chi_{\text{max}} = 54$ (A4)

Observamos uma concentração máxima 20% mais baixa para a chaminé de 120m em relação a 100m. Portanto, em áreas críticas, uma maneira efetiva de reduzir as concentrações de SO_2 é aumentar um pouco a altura da chaminé.

4. TRATAMENTO DA MATÉRIA PARTICULADA (MP)

4.1) Introdução e fatores de emissão

Para o cálculo dos efeitos da MP emitidas pelas UTEL, dividimos em duas faixas segundo o diâmetro aerodinâmico das partículas: 1) MP menor que 20µm de diâmetro e 2) MP de diâmetro aerodinâmico maior que 20µm. Tal divisão se faz necessária pelo fato de considerar-se que o particulado <20µm difunde-se como gás, enquanto o particulado maior deposita-se rapidamente. O particulado maior que 20µm sofre uma queda gravitacional que é proporcional à sua velocidade de queda, dada pela fórmula de Stokes:

$$v_f = \frac{2V_p g(\rho_p - \rho) d_p}{\mu A_p R_e C_D}$$

- onde
- ρ_p : densidade do particulado
 - ρ : densidade do ar
 - d_p : diâmetro da partícula
 - V_p : volume da partícula
 - μ : viscosidade dinâmica do ar
 - A_p : área da seção transversal da partícula
 - R_e : número de Reynolds
 - C_D : coeficiente de arrastamento da partícula

A velocidade de queda é proporcional ao diâmetro aerodinâmico da partícula. A tabela 4.1.1. coloca a granulometria da MP bem como a velocidade de queda em função das faixas de diâmetro aerodinâmico:

TABELA 4.1.1 - Granulometria e velocidade de queda do particulado.

tamanho (μm)	% peso	Velocidade V_f (m/seg)
20	25	-
25	6	0.041
30	11	0.059
36	11	0.085
52	10	0.18
64	10	0.27
80	12	0.42
100	15	0.66

Para o cálculo do fator de emissão, foi assumido um fluxo de gás de $5 \text{ Nm}^3/\text{Kg}$ de lixo incinerado com uma quantidade de particulado de $8000 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, o que fornece uma emissão diária, para uma usina de $1800 \text{ t}/\text{dia}$ de lixo, igual à:

$$5 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg de lixo}} \times 8000 \frac{\text{mgMP}}{\text{Nm}^3} \times 1800 \times 1000 \frac{\text{Kg de lixo}}{\text{dia}} = 72000 \frac{\text{KgMP}}{\text{dia}}$$

A eficiência de precipitadores eletrostáticos (PE) para usinas de incineração dificilmente atinge valores maiores que 98%, sendo que a eficiência média é de 97%, devido aos problemas de corrosão e umidade do gás de entrada no precipitador. Com um PE de 97% de eficiência, teremos uma emissão de $2160 \text{ Kg}/\text{dia}$ de material particulado, ou um fator de emissão para particulado:

$$Q_p = 25,00 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{s}$$

dividindo esta emissão para as diferentes granulometrias do particulado, teremos:

$$Q (<20\mu) = 6,25 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{s}$$

$$Q (>20\mu) = 18,75 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{s}$$

4.2) Concentração do particulado $<20\mu\text{m}$

O particulado fino obedece o modelo de difusão gaussiano, sem modificações, pois a velocidade de sedimentação é muito pequena. Pelo fato da vazão deste particulado ser pequena, seu efeito em termos de concentrações também é pequeno, como podemos ver na tabela 4.2.1. (concentrações de MP em $\mu\text{g}/\text{m}^3$):

TABELA 4.2.1 - Concentração de particulados $<20\mu\text{m}$ (distâncias X em metros; concentrações χ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	Veloc.vento = 2m/seg	Veloc.vento = 3m/seg
1	$x_{\text{max}} = 480$ $\chi_{\text{max}} = 19$ A20	
2	$x_{\text{max}} = 1040$ $\chi_{\text{max}} = 13$ A21	$x_{\text{max}} = 1040$ $\chi_{\text{max}} = 9$ A23
3	$x_{\text{max}} = 1600$ $\chi_{\text{max}} = 11$ A22	

Não foram feitas simulações para todas as condições possíveis, pelo pequeno vulto dessas concentrações.

4.3) Concentrações do particulado $>20\mu\text{m}$

O particulado de diâmetro $>20\mu\text{m}$ sofre deposição gravitacional enquanto ocorre o processo de difusão na atmosfera. O resultado é que o eixo da pluma gaussiana sofre um decréscimo na sua altura, proporcional à posição, dando a seguinte expressão para as concentrações:

$$\chi = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{\left(H - \frac{V_f \cdot x}{U}\right)^2}{2 \sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

O resultado é uma concentração maior para o particulado de maior diâmetro aerodinâmico, para posições mais próximas da chaminé, em relação ao particulado mais fino, que atinge distâncias maiores.

A tabela 4.3.1 coloca as concentrações e as distâncias máximas, bem como as páginas do adendo onde estão colocados os valores bidimensionais, e as curvas de iso-poluição.

TABELA 4.3.1 - Concentração do Particulado $>20\mu\text{m}$. (Distâncias x em metros; concentrações χ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE	V = 1m/seg	V = 2m/seg	V = 3m/seg	V = 4m/seg
1	$x_{\text{max}} = 360$ A24 $\chi_{\text{max}} = 105$	$x_{\text{max}} = 440$ A25 $\chi_{\text{max}} = 42$		
2	$x_{\text{max}} = 400$ A26 $\chi_{\text{max}} = 138$	$x_{\text{max}} = 720$ A27 $\chi_{\text{max}} = 45$	$x_{\text{max}} = 800$ A28 $\chi_{\text{max}} = 26$	$x_{\text{max}} = 840$ A29 $\chi_{\text{max}} = 17$
3		$x_{\text{max}} = 800$ A30 $\chi_{\text{max}} = 64$	$x_{\text{max}} = 1000$ A31 $\chi_{\text{max}} = 33$	$x_{\text{max}} = 1100$ A32 $\chi_{\text{max}} = 22$
4				$x_{\text{max}} = 1400$ A33 $\chi_{\text{max}} = 30$
5		$x_{\text{max}} = 800$ A34 $\chi_{\text{max}} = 203$	$x_{\text{max}} = 1200$ A35 $\chi_{\text{max}} = 76$	$x_{\text{max}} = 1400$ A36 $\chi_{\text{max}} = 44$

4.4) Deposição do Particulado >20 μ m

O particulado >20 μ m tem um efeito em termos de poluição atmosférica devido à sua concentração, mas além deste fato, a vizinhança em torno da usina pode ser incomodada pela deposição do material particulado.

Foi calculada a deposição bidimensional sobre uma superfície no solo, expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{seg}$. Esta deposição pode ser integrada no tempo e podemos obter a massa de particulado depositada por unidade de área. A tabela 4.4.1 fornece os valores dos máximos de deposição, assim como a distância onde este máximo ocorre. No apêndice, encontram-se os mapeamentos completos no plano x-y, especificados pelas páginas A37 - A49 em cada uma das simulações.

TABELA 4.4.1 - Deposição do Particulado >20 μ m. (Distâncias x em metros e concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE	v = 1m/seg	v = 2m/seg	v = 3m/seg	v = 4m/seg
1	$X_{\text{max}} = 320$ $D_{\text{max}} = 48$ A37	$X_{\text{max}} = 400$ $D_{\text{max}} = 15$ A38		
2	$X_{\text{max}} = 400$ $D_{\text{max}} = 79$ A39	$X_{\text{max}} = 600$ $D_{\text{max}} = 21$ A40	$X_{\text{max}} = 720$ $D_{\text{max}} = 10$ A41	$X_{\text{max}} = 760$ $D_{\text{max}} = 6$ A42
3		$X_{\text{max}} = 700$ $D_{\text{max}} = 34$ A43	$X_{\text{max}} = 900$ $D_{\text{max}} = 16$ A44	$X_{\text{max}} = 1000$ $D_{\text{max}} = 9$ A45
4				$X_{\text{max}} = 1360$ $D_{\text{max}} = 18$ A46
5		$X_{\text{max}} = 800$ $D_{\text{max}} = 134$ A47	$X_{\text{max}} = 1100$ $D_{\text{max}} = 54$ A48	$X_{\text{max}} = 1360$ $D_{\text{max}} = 28$ A49

Não encontramos parâmetros em relação à legislação para a deposição de particulado no Brasil. Entretanto, para fins de avaliação, uma deposição de $100\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{seg}$, ao fim de um dia sobre uma superfície de 1m^2 , haverá um depósito de 8,64 gramas.

5. POLUIÇÃO DE FUNDO E PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Para avaliar-se corretamente os impactos das UTEL nas atmosferas das regiões onde atuarão e na atmosfera global da GSP é indispensável conhecer-se o estado atual de poluição (de fundo) dessas atmosferas. Em particular, observa-se que não existem dados disponíveis específicos das quatro regiões onde se instalarão as usinas.

Para superar essa situação adotou-se as seguintes providências:

1) Realizou-se um exame global das médias anuais, obtidas pela CETESB nos últimos 5 anos, das concentrações de SO_2 e MP em suas várias estações amostradoras espalhadas pela GSP.

2) Realizou-se uma série de amostragens de SO_2 e MP nos 4 locais exatos previstos para instalação de usinas.

Adiante discutimos separadamente os resultados dessas duas providências para depois concluirmos nossas avaliações sobre os efeitos das UTEL na poluição do ar, comparando-as com os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação em vigor.

5.1) Situação da qualidade do ar da GSP

Os dados disponíveis sobre a qualidade do ar na GSP nos últimos 5 anos estão transcritos na tabela 5.1.1, fornecida pela CETESB.

O exame desses dados revela um fato bem notório para qualquer paulistano: a qualidade atual de nossa atmosfera não é satisfatória, pois que, como revela a tabela 5.1.1, as médias anuais de SO_2 e MP superam, em muitas estações amostradoras, os padrões de qualidade vigentes (veja seção 5.3).

Além disso, observe-se que as estações do Vale do R. Pinheiros (Moema, Cerqueira Cesar e Osasco) revelam estar esta região em situação ligeiramente melhor do que a do Vale do R. Tietê (estações de Guarulhos, Tatuapé, Praça da República e Campos Elíseos).

TABELA 5.1.1.1 - Dados de qualidade do ar na GSP (médias anuais) - CETESB

ESTAÇÃO	78		77		76		75		74		73	
	SO ₂	MP	SO ₂	MP	SO ₂	MP	SO ₂	MP	SO ₂	MP	SO ₂	MP
ACLIÇÃO	131	68	126	75	106	82	113	61	110	77	110	96
CAMPOS ELÍSEOS	143	98	146	97	121	112	126	87	120	98	107	93
CERQUEIRA CESAR	94	63	84	68	72	72	82	66	76	58	80	73
MOEMA	89	52	78	55	64	60	64	52	64	53	61	51
P. DA REPÚBLICA	118	72	111	84	103	93	115	80	99	77	-	-
TATUAPÉ	134	114	127	108	115	126	136	108	131	114	134	99
V. ANASTÁCIO	98	49	91	51	82	59	94	58	101	68	104	64
CAPUAVA R.	122	36	125	39	118	39	-	-	-	-	-	-
CAPUAVA I.	131	42	170	44	192	50	198	35	268	38	246	35
GUARULHOS	132	87	121	82	107	91	128	90	108	85	105	85
OSASCO	83	48	73	52	71	59	82	54	84	52	78	48
S. CAETANO DO SUL	113	55	114	58	123	64	129	50	121	53	115	47
SANTO ANDRÉ	100	54	107	58	122	78	-	-	-	-	-	-

OBS.: As médias de MP são médias geométricas e de SO₂ médias aritméticas.

5.2) Amostragens do GEPA

Valendo-se do fato de que os meses de junho e julho são geralmente os mais desfavoráveis à dispersão de poluentes na atmosfera de São Paulo, foram realizadas amostragens exploratórias (mas não conclusivas) dos dois poluentes chaves (SO_2 e MP) nas próprias regiões onde se instalarão as UTEL.

As concentrações de MP nos locais das futuras UTEL foram medidas por meio de equipamentos de retenção de particulados finos e grossos de propriedade do GEPA. Esses retentores atuam com duas membranas de nuclepore, em sequência, a 1a. retentora dos particulados grossos (tamanho $> 2,5\mu\text{m}$) e a 2a. dos particulados finos ($< 2,5\mu\text{m}$). A tabela 5.2.1 resume os resultados encontrados, e as fotos mostradas no apêndice ilustram as estações amostradoras montadas no locais das UTEL.

Infelizmente os resultados obtidos para SO_2 não puderam ser aqui transcritos porque uma interferência sistemática ainda não identificada no método adotado (método do Peróxido de Hidrogênio) alterou-os substancialmente para menos (o escasso tempo disponível não possibilitou repetições ou revisões completas das operações realizadas).

5.3) Padrões de qualidade do ar e conclusões sobre o estado de poluição das áreas consideradas

Os dados apresentados nas 2 seções anteriores (os da CETESB espelhando a situação geral da GSP e os do GEPA das áreas onde serão instaladas as UTEL) indicam de maneira inequívoca que existe uma situação de saturação quanto ao estado de poluição do ar das regiões que interessam a este estudo.

De fato, de acordo com a legislação federal (Portaria nº 0231 de 27/04/1976, do Ministério do Interior), são as seguintes os Padrões de Qualidade do Ar:

a) Partículas em suspensão (MP):

- uma concentração média geométrica anual de $80\mu\text{g}/\text{m}^3$, e
- uma concentração máxima diária de $240\mu\text{g}/\text{m}^3$, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Dióxido de enxofre (SO_2):

- uma concentração média aritmética anual de $80\mu\text{g}/\text{m}^3$, e
- uma concentração máxima diária de $365\mu\text{g}/\text{m}^3$ que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

(Seguem-se ainda padrões de qualidade do ar para o CO e oxidantes fotoquímicos, que não foram considerados neste trabalho).

A legislação paulista (Decreto nº 8468 de 8/9/76) reitera os mesmos padrões fixados pela legislação federal.

Portanto os dados apresentados nas duas seções anteriores claramente se situam, via de regra, acima dos respectivos padrões fixados pelas legislações vigentes.

Em consequência, parece-nos lícito concluir que as regiões em questão estão praticamente saturadas quanto ao estado de poluição de suas atmosferas.

Examinaremos no capítulo seguinte o papel das novas usinas no quadro que acabamos de descrever.

TABELA 5.2.1 - CONCENTRAÇÕES DE MP MPS LOCAIS DAS UTEL

LOCAL	PERÍODO DE AMOSTRAGEM	CONCENTRAÇÃO Part. fino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CONCENTRAÇÃO Part.grosso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CONCENTRAÇÃO Total ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CONCENTRAÇÃO Média em cada Local ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ARICANDUVA	1º) 16/07-18/07	71	94	165	121
	2º) 18/07-21/07	56	106	162	
	3º) 21/07-23/07	28	55	83	
	4º) 23/07-25/07	36	61	97	
PONTE PEQUENA	1º) 16/07-18/07	89	313	402	252
	2º) 18/07-21/07	50	211	261	
	3º) 21/07-23/07	26	187	213	
	4º) 23/07-25/07	44	135	179	
SANTO AMARO	1º) 25/07-28/07	38	105	143	100
	2º) 28/07-30/07	9	99	108	
	3º) 30/07-01/08	13	52	65	
PINHEIROS	1º) 25/07-28/07	81	97	178	125
	2º) 28/07-30/07	40	124	164	
	3º) 30/07-01/08	19	48	67	

6. OS IMPACTOS ATMOSFÉRICOS DAS UTEL

A fim de facilitar a interpretação dos resultados, destacamos os dois impactos mais importantes: primeiro, o impacto das UTEL nas suas vizinhanças; segundo, o papel das UTEL na poluição do ar da GSP.

Examinamos separadamente os dois casos.

6.1) Os impactos da UTEL nas suas vizinhanças

Os resultados apresentados nos capítulos 3 e 4 revelam que existem condições (de estabilidade atmosférica, ventos, etc) que desfavorecem a dispersão dos poluentes, tornando crítica a poluição do ar nas vizinhanças das UTEL (veja Tabelas 3.2.2, 3.3.1, 4.2.1 e 4.3.1).

Concentrações médias anuais de SO_2 e MP nessas áreas mais críticas foram estimadas a partir da seguinte simulação de dados, válida para as áreas das 4 UTEL:

- Vento dominante e respectiva frequência anual: SE e 60%.
- Todas as situações consequentes de determinadas estabilidades atmosféricas e determinada velocidade de vento demonstradas no quadro 3.2.1, são igualmente prováveis de ocorrer.
- As zonas mais críticas nas vizinhanças das UTEL situam-se sempre a cerca de 500m vento (dominante, SE) abaixo, conforme sugerem as isopletas de concentração de poluentes.

Essas suposições conduzem à equação:

$$\bar{X} = \frac{1}{13} \times 0,60 \times \sum_{i=1}^{13} X_i$$

pois, são 13 estados (estabilidade, vel.vento), equiprováveis, e o vento SE tem frequência anual 0,60. Os valores de X_i devem ser extraídos das isopletas, para cada caso (estabilidade, vel.vento).

Realizados os cálculos obteve-se os seguintes resultados para as concentrações médias anuais procuradas:

$$\text{Para SO}_2 : \bar{\chi}_{\text{SO}_2} \approx 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{Para MP} : \bar{\chi}_{\text{MP}} \approx 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Deve-se ter sempre presente as elevadas incertezas implícitas nestes cálculos pois a pobreza de dados envolvidos no problema nos levaram a estabelecer muitas hipóteses simplificadoras.

De qualquer forma, os valores acima representam as contribuições aproximadas de SO₂ e MP que cada uma das novas usinas trará para as atmosferas de suas vizinhanças, num ponto 500m a jusante do vento dominante (SE).

Convém lembrar ainda que, devido ao estado de saturação de poluição do ar da cidade, estimamos que esses locais já têm concentrações elevadas de poluição de fundo; o quadro abaixo resume essas estimativas juntamente com o acréscimo correspondente às contribuições das UTEL.

U T E L	Médias anuais de Po luição de fundo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Médias anuais de Po luição c/ contrib. das UTEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	SO ₂	MP	SO ₂	MP
Aricanduva	85	80	105	110
Pte. Pequena	120	110	140	140
Pedreira	90	80	110	110
Pinheiros	95	90	115	120

Resumindo, podemos concluir que o impacto médio anual das UTEL nas atmosferas de suas vizinhanças, nas zonas mais críticas, é de elevar os níveis de concentrações de SO₂ e MP de cerca de 10 a 20%. Em todas as demais vizinhanças o impacto médio anual será menor.

Observe-se por fim, que todas as estimativas foram feitas ao nível do solo (a situação é bem mais grave ao nível do eixo da pluma) e não foram levados em conta episódios decorrentes de inversões térmicas.

6.2) Impacto das UTEL na poluição do ar da GSP

Uma idéia sobre o papel que as futuras UTEL vão representar no problema da poluição do ar da GSP pode ser obtida a partir de uma avaliação das quantidades relativas de SO_2 e MP que essas usinas lançarão anualmente à atmosfera.

O quadro 6.2.1 resume o impacto dessas usinas na atmosfera de São Paulo, quanto às suas emissões de SO_2 e MP.

Quadro 6.2.1 - Emissões Relativas das UTEL

U T E L	Q_{SO_2} (t/dia)	Q_{MP} total (t/dia)	$Q_{\text{SO}_2}^{(*)}$ rel. (t/dia)	Q_{SO_2} rel. (%)	Q_{MP} rel. (t/dia)	Q_{MP} rel. (%)
Emissões de 1 usina	2,25	2,16	0,004	0,4	0,004	0,4
Emissões de 4 usinas	9,0	8,64	0,016	1,6	0,016	1,6

(*) A estimativa de emissões diárias por fontes estacionárias na região da GSP, em 1978, é a seguinte:

	SO_2	MP
Processos e operações industriais	18	399
Queima de combustível em fontes estacionárias	541	28
Queima de resíduos sólidos	1	32
Outros	-	51
Total.....	560t/dia	510 t/dia

(Fonte: Divisão de Inventário da Superintendência de Administração de Licenças da CETESB)

6.3) Impacto das UTEL levando-se em conta a desativação dos atuais incineradores de lixo da PMSP.

Os impactos descritos nas duas seções anteriores, sobretudo os da seção 6.1, sofrerão alguma alteração se a entrada em operação das UTEL coincidir com a desativação de 2 incineradores em operação (um localizado em Pte. Pequena e outro em Pinheiros), ambos da PMSP.

Isso se deve ao fato de que aqueles incineradores, apesar de suas pequenas capacidades (de 100 e 200 t/dia, respectivamente), não contém qualquer dispositivo de controle de poluição; são as seguintes as taxas de emissão atuais desses incineradores:

INCINERADOR	Lixo queimado (t/dia)	Q_{SO_2} (t/dia)	Q_{MP} (t/dia)
Pte. Pequena	200	0,19	3,0
Pinheiros	100	0,10	1,5

Comparando-se essas taxas com as correspondentes das UTEL, constata-se para a instalação de 2 usinas, uma diferença de fator ~15 (para mais) no caso do SO_2 , e de fator ~1 no da MP (isso se deve ao uso previsto de precipitador eletrostático com 97% de eficiência para as UTEL, sem qualquer controle de SO_2).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS: CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Antes de apontar as conclusões deste relatório, cumpre ter presente os diferentes graus de confiabilidade que se deve atribuir aos variados resultados.

O primeiro fato relevante que um trabalho deste porte evidencia, talvez seja a pobreza de dados disponíveis para apoiá-lo. Realmente, a GSP é de um modo geral uma região extremamente carente de informações necessárias a um estudo deste tipo; escasseiam dados sobre parâmetros meteorológicos (vento, umidade, temperatura, etc), faltam dados sobre concentrações de poluentes; poucas são as informações sobre as características do seu lixo e assim por diante.

Em consequência, às incertezas inerentes ao uso de modelos matemáticos em situações reais complicadas como estas, somam-se aquelas resultantes das hipóteses necessárias para suprir a escassez de dados locais.

Portanto, as conclusões que se seguem devem ser usadas como evidências de comportamentos gerais sobre as situações simuladas.

7.1) Conclusões

1. O impacto atmosférico das UTEL, nas zonas mais críticas das suas vizinhanças, será de elevar de 10 a 20% as concentrações dos poluentes SO_2 e MP, bem como crescer (em porcentagem desconhecida, pois não se conhece o valor de fundo) a MP depositada. Em toda a restante vizinhança os impactos serão menores, exepcto naqueles locais (edifícios elevados, ou colinas) que se encontrem ao nível do eixo da pluma (cerca de 150m de altura).

2. O impacto de cada UTEL na poluição do ar em escala urbana, isto é, na atmosfera global da GSP, equivalerá ao acréscimo, à essa atmosfera, de, aproximadamente, mais 2,3 t/dia de SO_2 e 2,2 t/

dia de MP. Portanto, como foi mostrado atrás, se construídas duas unidades UTEL elas contribuirão para aumentar em, aproximadamente 0,5% as concentrações tanto de SO_2 como de MP na atmosfera da cidade.

3. Se a entrada em operação de duas unidades UTEL coincidir com a desativação de dois incineradores da PMSP (em Pinheiros e Ponte Pequena, respectivamente), o balanço anula o acréscimo de MP mas não altera significativamente o de SO_2 .

7.2) Sugestões

Acreditamos ter deixado claro, neste trabalho, que a poluição do ar na GSP ultrapassa, em praticamente toda a região, os padrões de qualidade do ar fixados pela legislação vigente.

Consequentemente, em tese, a adição de novas fontes poluidoras sem controle de poluentes é inadmissível, sobretudo quando se trata de contribuição substancial (~0,5%) à carga de poluentes diariamente lançada à atmosfera.

Dada as especiais características das UTEL, que obrigam-nas a situar-se dentro da cidade, parece-nos indispensável aparelhá-las com equipamentos de controle de poluentes gasosos (além do já previsto precipitador eletrostático para a MP), sobretudo para o SO_2 .

A propósito, é interessante relevar também que se espera, para futuro não muito remoto, que a legislação ambiental brasileira fixe os padrões de emissões de poluentes no ar, obrigando aquelas fontes que superem tais padrões à vultosas despesas em adaptações que foram previstas no devido tempo.

Estações amostradoras de MP e SO₂ montadas nas regiões onde se instalarão as UTEL.

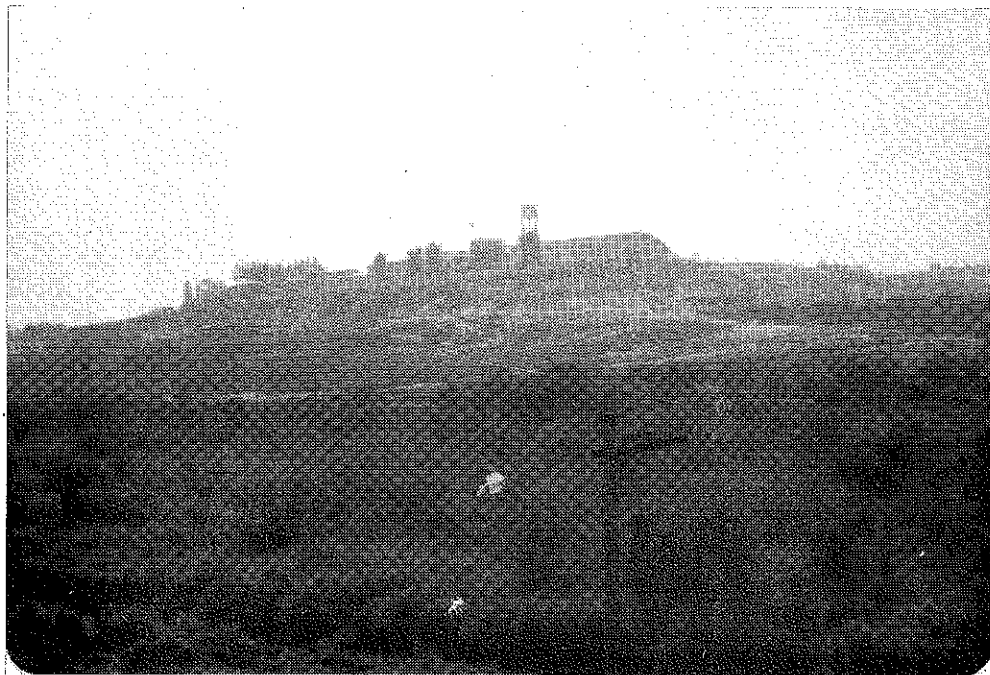


FOTO 1: Vista da região de Aricanduva

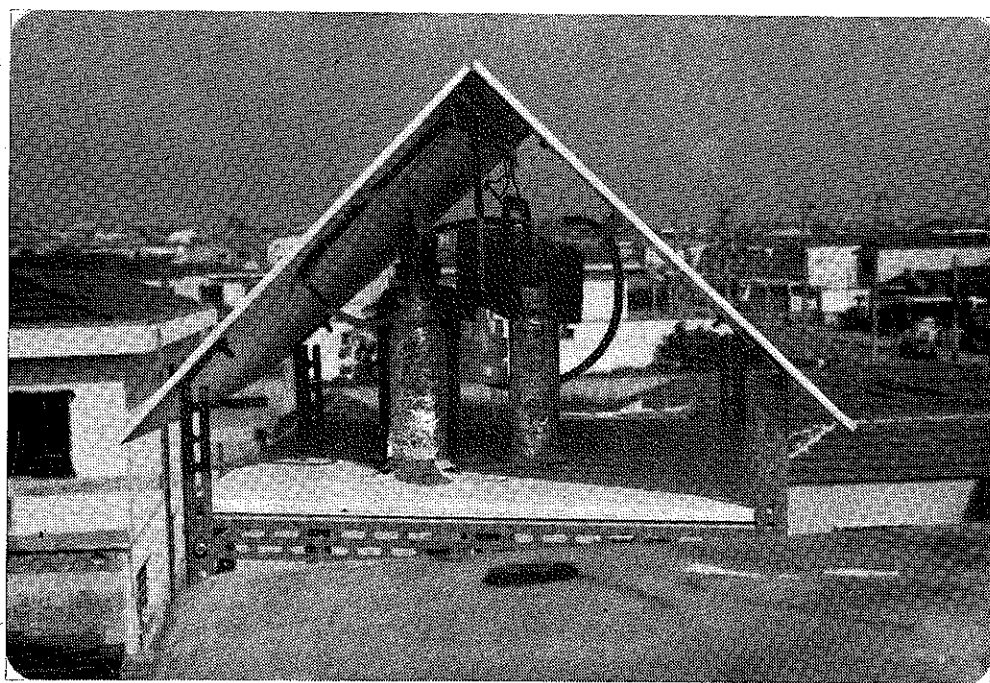


FOTO 2: Detalhe da estação de Aricanduva instalada na Rua Odilon Peres, 350 *

* Agradecemos a colaboração da proprietária do imóvel, Sra. Dirce dos Santos.

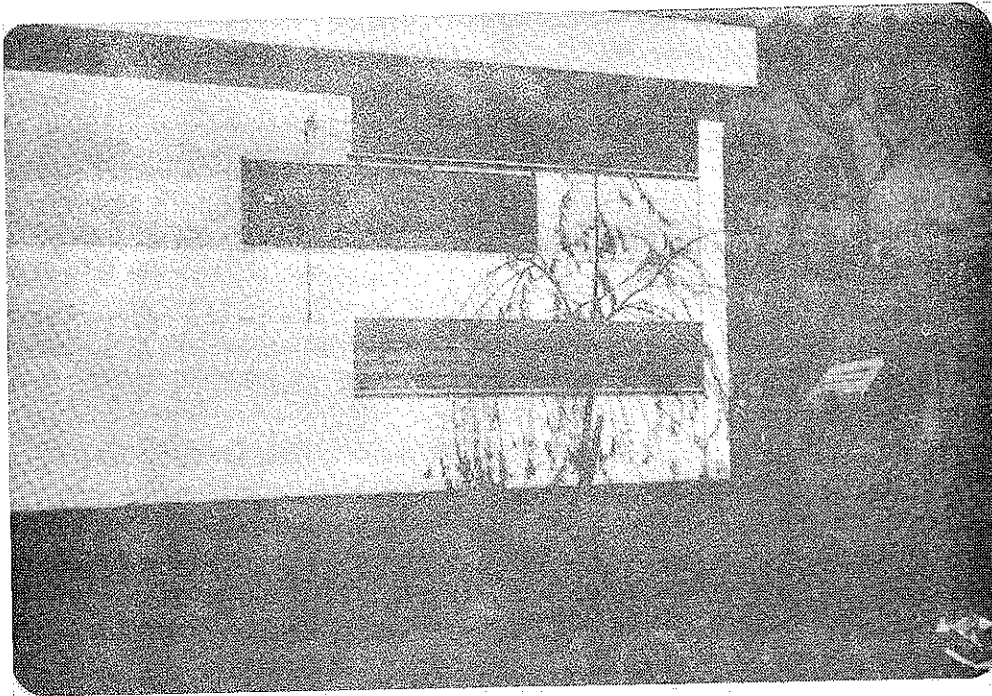


FOTO 3

À direita da foto o abrigo da estação da Ponte Pequena (Incinerador da PMSP) *

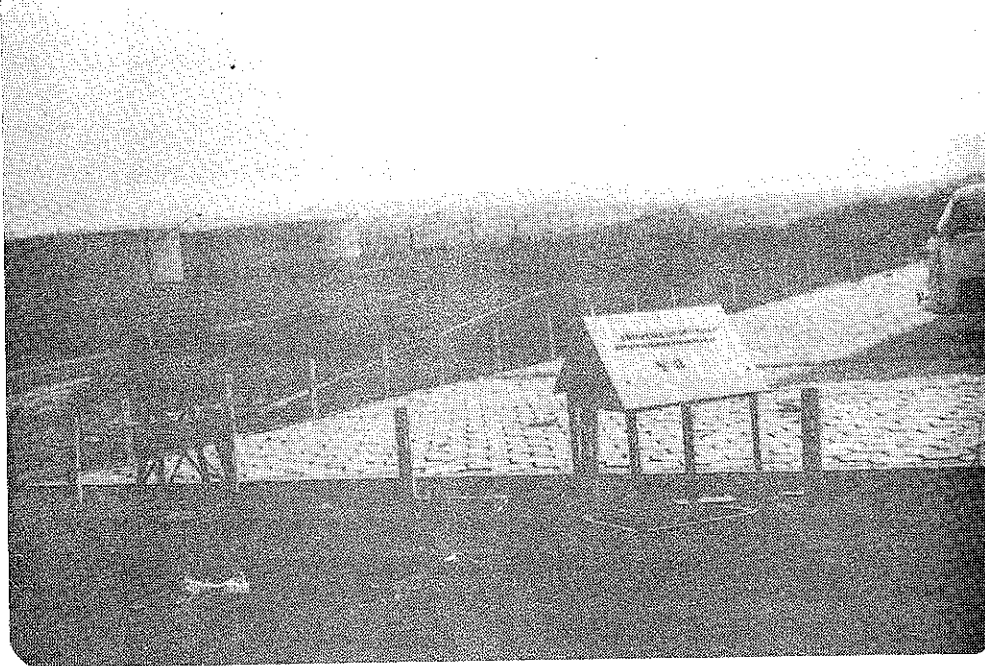


FOTO 4

Estação de Pedreira (Divisão de Hidrologia da Light) *

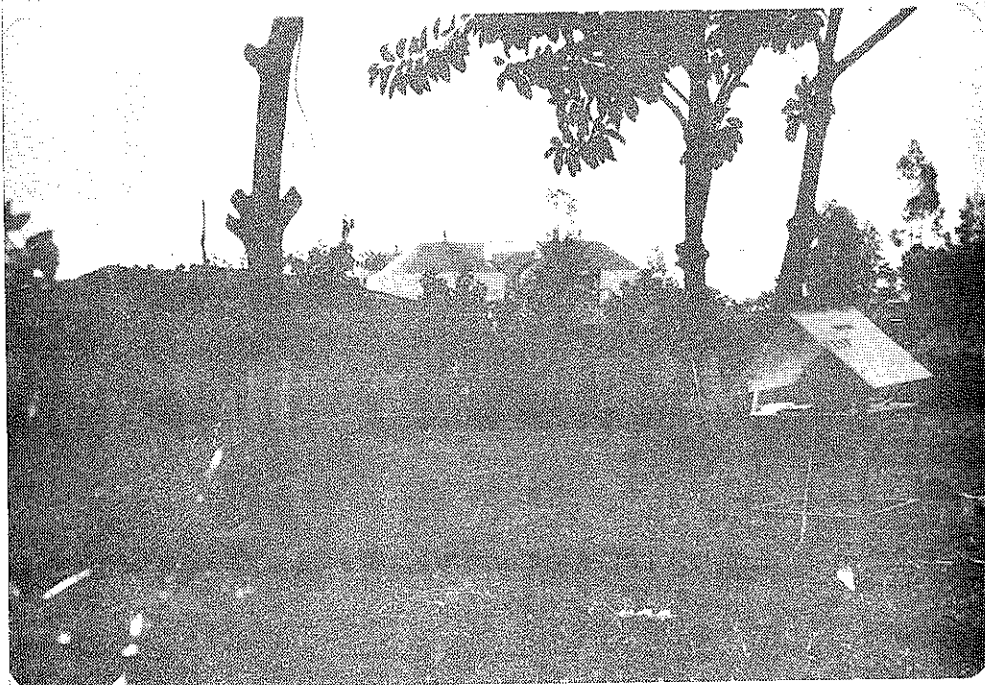


FOTO 5

Estação de Pinheiros (Incinerador da PMSP) *

APÊNDICE 2

"Mapeamento de concentrações e curvas de iso-poluição referentes ao SO₂ e MP, nas vizinhanças das UTEL"

Nas páginas que se seguem são apresentados, nessa ordem, os seguintes resultados: mapeamento de concentrações de SO₂ em µg/m³, nas condições especificadas no cabeçario do mapa; sistema de curvas de iso-poluição correspondente ao caso anterior; idem para a MP.

Particularmente, neste pre-print, ao contrário do que foi feito no relatório enviado à CESP, omitiu-se, por razões de ordem prática, a apresentação de todos os casos calculados, conforme referido no texto, num total de 80 casos. São apresentados adiante apenas algumas situações bem típicas: foram escolhidos os casos A1 e A11, da Tabela 3.2.2, para o SO₂; A20, da Tabela 4.2.1, para os particulados <20µm; A26, da Tabela 4.3.1, para os particulados >20µm; A47, da Tabela 4.4.1, para a deposição de particulados >20µm. Acreditamos que são suficientes para dar ao leitor uma clara idéia do método usado nas avaliações das concentrações.

Concentrações de SO2

GRUPO DE ESTUDOS DA POLUIÇÃO DO AR - IFUSP -

A1

VAZAD = .28040E+00 MICROGRAMAS POR SEGUNDO
VENTO NA ALTURA DA CHAMINE = 1.78 METRS POR SEGUNDO
INCRUMENTO NA ALTURA = 59.15 ALTURA DO EIXO DA PLUMA = 159.15 METROS
ESPACAMENTO EM X = 40.0 METROS ESPACAMENTO EM Y = 40.0 METROS

MAXIMA COORDENADA X = 2000. METROS
MAXIMA COORDENADA Y = 2000. METROS

Table with columns for X, Y, Z (2500, 5000, 7500) and a grid of numerical data points representing SO2 concentrations.

A1

GRUPO DE ESTUDOS DA POLUICAO DO AR - IFUSP -

CONCENTRAÇÕES DE SO₂

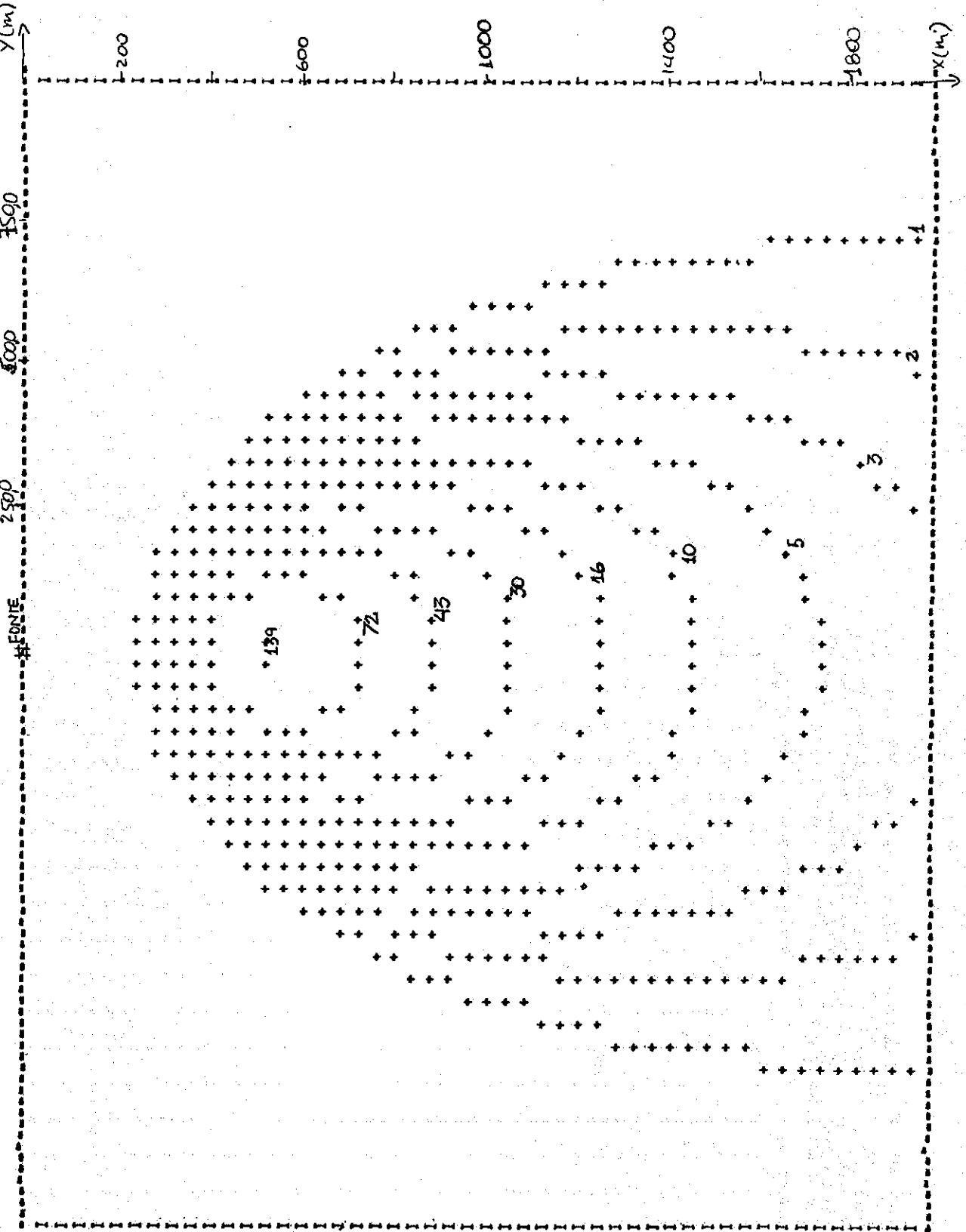
CONDICAO DE ESTABILIDADE = 1
 VENTO NA SUPERFICIE = 1.00
 ALTURA DA CHAMINE = 100.00 METROS
 O CALCULO DAS CONCENTRACOES FOI FEITO NO SOLO

VAZAO = .26040E+06 MICROGRAMAS POR SEGUNDO
 VENTO NA ALTURA DA CHAMINE = 1.78 METROS POR SEGUNDO
 INCREMENTO NA ALTURA = 59.15
 ESPALCAMENTO EM X = 40.0 METROS

ALTURA DO EIXO DA PLUMA = 159.15 METROS
 ESPALCAMENTO EM Y = 40.0 METROS

MAXIMA COORDENADA X = 2000. METROS

MAXIMA COORDENADA Y = 2000. METROS



CONCENTRAÇÕES DE SO₂

GRUPO DE ESTUDOS DA POLUIÇÃO DO AR - IFUSP -

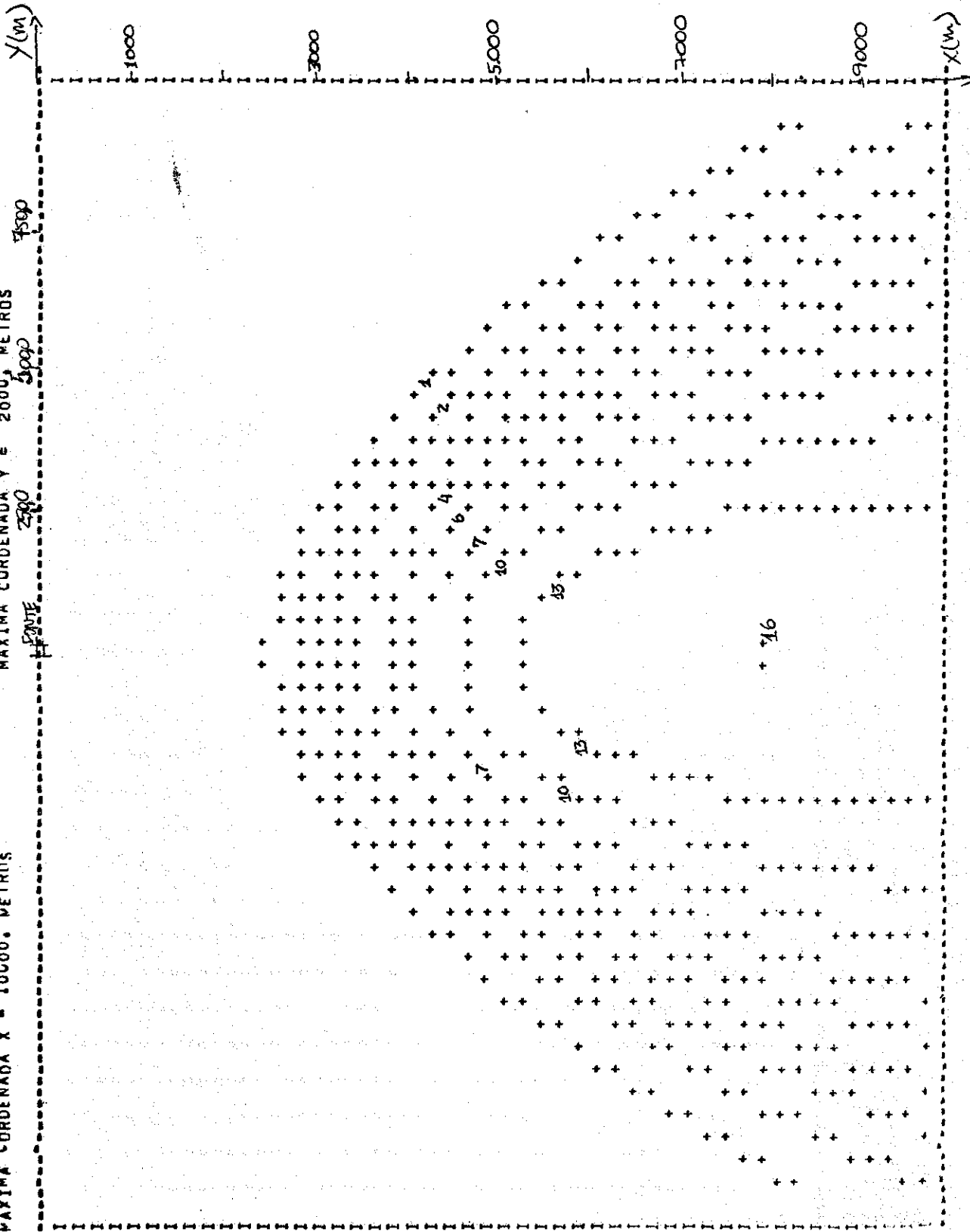
A 11

CONDICÃO DE ESTABILIDADE = 5
 VENTU NA SUPERFICIE = 2,00
 ALTURA DA CHAMINE = 100,00 METROS
 O CALCULO DAS CONCENTRAÇÕES FOI FEITO NO SOLO

VAZAO = 26040E+00 MICROGRAMAS PDR SEGUNDO
 VENTU NA ALTURA DA CHAMINE = 3,56 METROS POR SEGUNDO
 INCREMENTO NA ALTURA = 46,94 ALTURA DO EIXO DA PLUMA = 146,94 METROS
 ESPACAMENTO EM X = 200,0 METROS ESPACAMENTO EM Y = 40,0 METROS

MAXIMA COORDENADA X = 10000, METROS

MAXIMA COORDENADA Y = 2000, METROS



CONC. DE PARTIC. <20µm GRUPO DE ESTUDOS DA POLUIÇÃO DO AR - IFUSP - AZO
 CENTRAL DE ESTABILIDADE = 1
 VENTO NA ALTURA DA CHAMINE = 3.56 METROS POR SEGUNDO
 ALTA DA CHAMINE = 40.0 METROS
 INCREMENTO NA ALTURA = 46.94 ALTURA DO EIXO DA PLUMA = 146.94 METROS
 C CALCULO DAS CONCENTRAÇÕES FEI FEITO NO SOLDO ESPACAMENTO EM X = 40.0 METROS ESPACAMENTO EM Y = 40.0 METROS
 MAXIMA CORDENADA X = 2000. METROS MAXIMA CORDENADA Y = 2000. METROS

A20

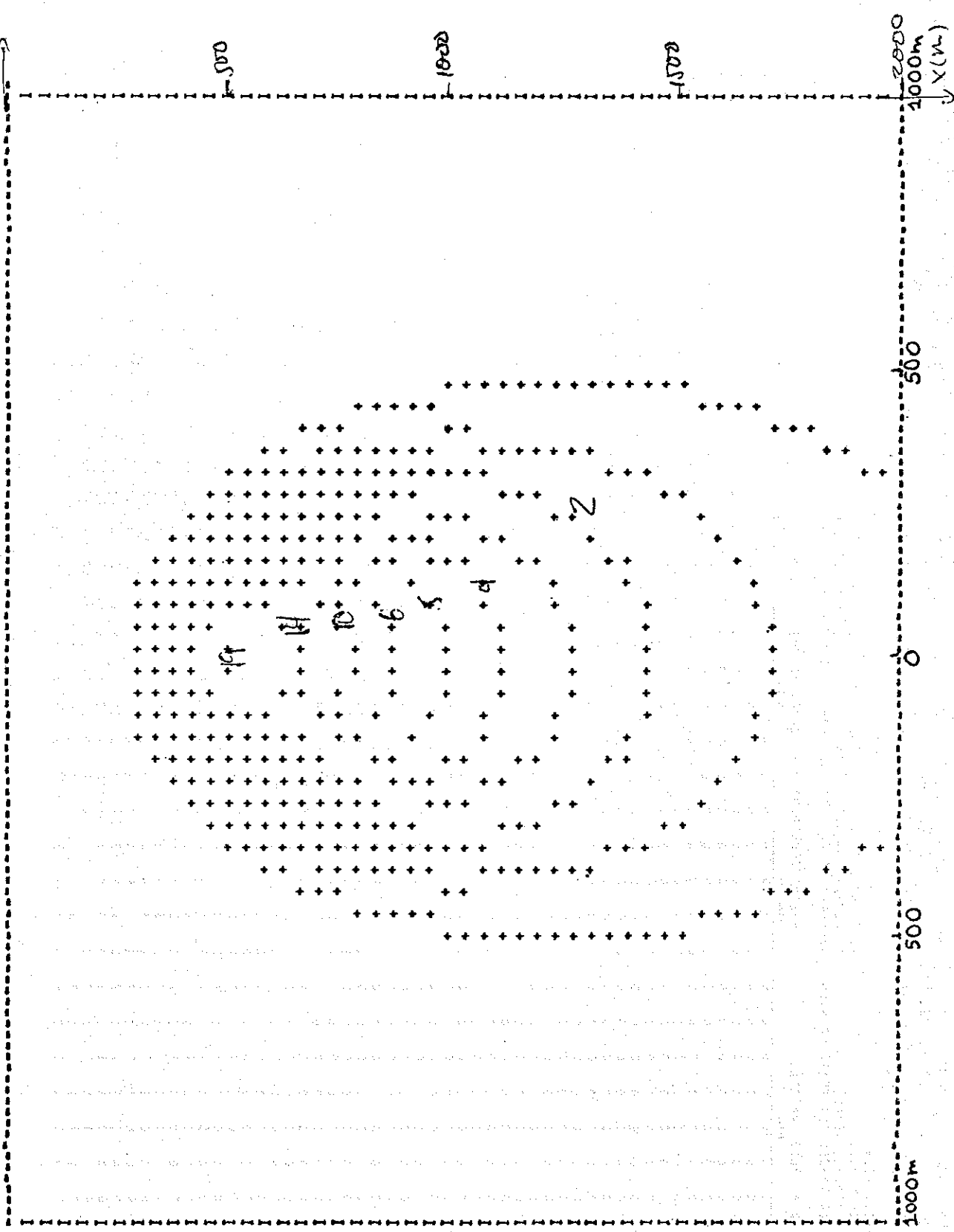
GRUPO DE ESTUDOS DA POLUICAO DO AR - IFUSP

CONC. DE PARTIC. < 20µm

CONDICAO DE ESTABILIDADE = 1.
 VENTO NA SUPERFICIE = 2.00
 ALTURA DA CHAMINE = 100.00 METROS
 O CALCULO DAS CONCENTRACOES FOI FEITO NO SOLO

VAZAO = 62500E+07 MICROGRAMAS POR SEGUNDO
 VENTO NA ALTURA DA CHAMINE = 3.56 METROS POR SEGUNDO
 INCREMENTO NA ALTURA = 42.94 ALTURA DO EIXO DA PLUMA = 146.94 METROS
 ESPALCAMENTO EM X = 40.0 METROS ESPALCAMENTO EM Y = 40.0 METROS

MAXIMA CORDENADA X = 2000. METROS MAXIMA CORDENADA Y = 2000. METROS



CONC. DE PARTIC. >20µm

GRUPO DE ESTUDOS DA POLUIÇAO DO AR - IFUSP -

A26

CONDICAO DE ESTABILIDADE= VENTO NA SUPERFICIE = 1,600 ALTURA DA CHAMINE = 100,00 METROS C CALCULO DAS CONCENTRACOES FOI FEITO NO SOLO

VENTO NA ALIURA DA CHAMINE = 1,78 MELHUS POR SEGUNDO INCREMENTO NA ALTURA = 59,19 ALTURA DO EIXO DA PLUMA = 159,15 METROS ESPALCAMENTO EM X = 40,0 METROS ESPALCAMENTO EM Y = 40,0 METROS

Table with columns for X(m), Y(m), Z(m), and various numerical data points. Includes a vertical axis for Z(m) from 0 to 2000 and a horizontal axis for X(m) from 0 to 3000. The table contains multiple rows of data points, likely representing concentration measurements at different locations and heights.

A26

GRUPO DE ESTUDOS DA POLUICAO DO AR - IFUSP -

CONC. DE PARTIC. > 20µm

CONDICAO DE ESTABILIDADE=2

VENTO NA SUPERFICIE = 1.00

ALTURA DA CHAMINE = 140.00 METROS

O CALCULO DAS CONCENTRACOES FEI EPITEC 10 S0L0

VENTO NA ALTURA DA CHAMINE = 1.78 METROS POR SEGUNDO

INCLINAMENTO NA ALTURA = 59.15

ALTIMETRIA DO EIXO DA PLUMA = 159.15 METROS

ESPACAMENTO EM X = 40.00 METROS

ESPACAMENTO EM Y = 40.00 METROS

MAXIMA COORDENADA X = 2000. METROS

MAXIMA COORDENADA Y = 2000. METROS

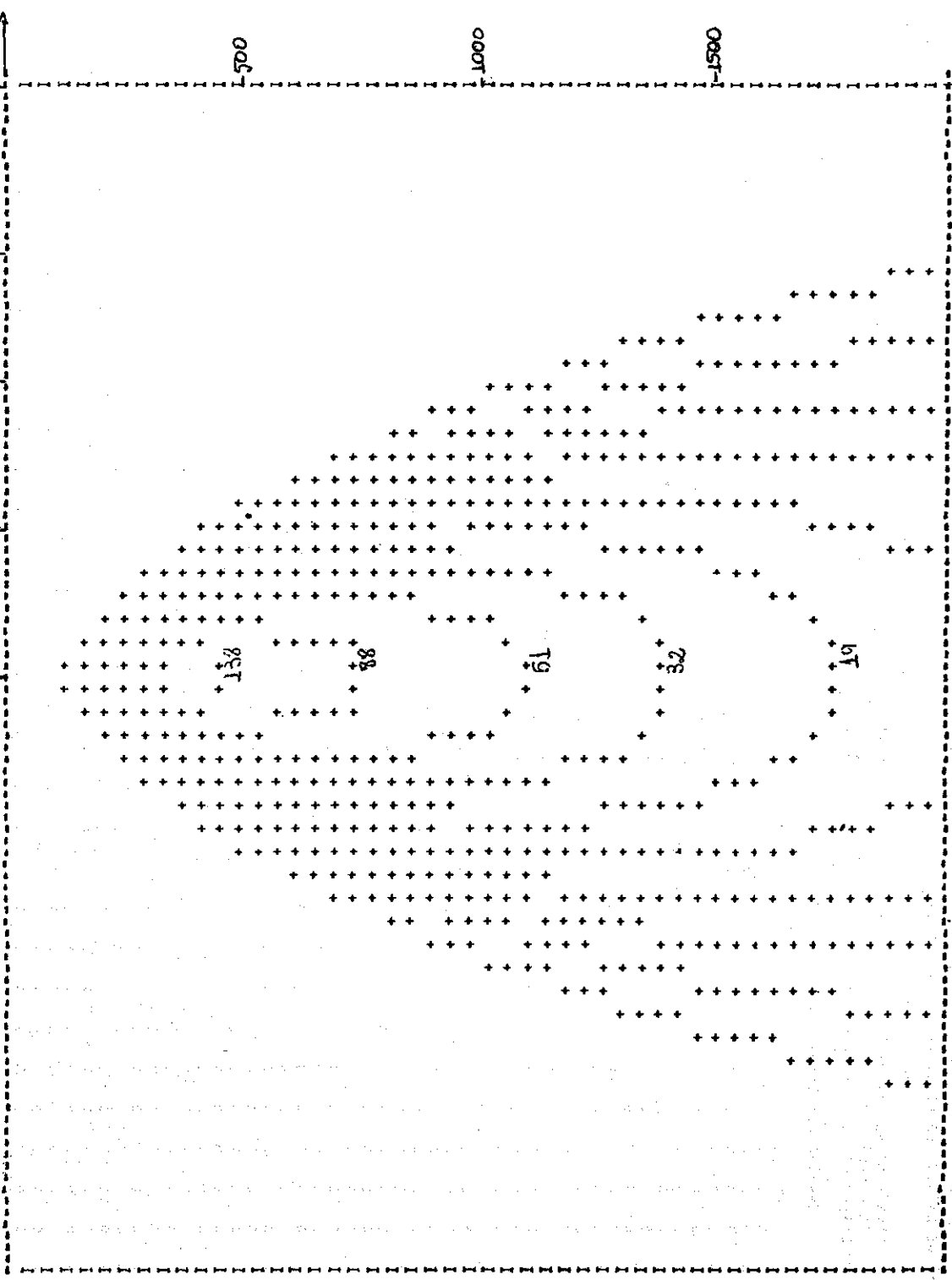
FOURTE

250

750

1000

Y(m)



X(m)

A47

GRUPO DE ESTUDOS DA POLUICAO DO AR - IFUSP -

DEPOSICAO DO PARTIC. >20µm

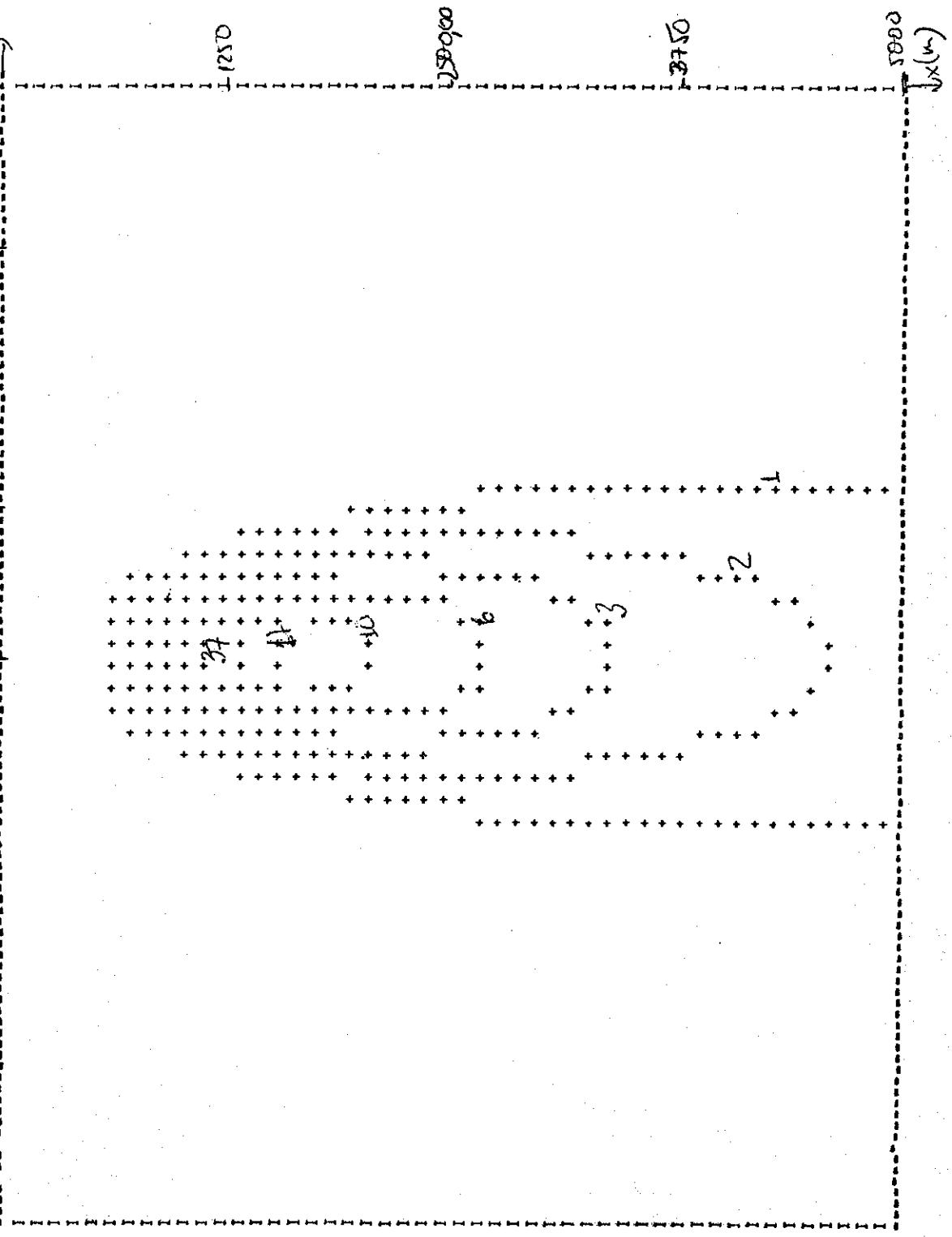
CONDICAO DE ESTABILIDADE=5
 VENTO NA SUPERFICIE = 2.00
 ALTURA DA CHAMINE = 100.00 METROS
 VENTO NA ALTURA DA CHAMINE = 3.56 METROS POR SEGUNDO
 INCREMENTO NA ALTURA = 46.94 ALTURA DO ETXO NA PLUVA = 146.94 METROS
 ESPACAMENTO EM X = 100.00 METROS ESPACAMENTO EM Y = 40.00 METROS

MAXIMA COORDENADA X = 5000. METROS

MAXIMA COORDENADA Y = 2000. METROS

PONTE

Y(m)



"IMPACTOS ATMOSFÉRICOS E USINAS TERMO-ELÉTRICAS A RESÍDUOS
SÓLIDOS"

ADENDO ao Preprint IFUSP/P-234

Este trabalho já estava concluído quando fomos notificados pela CESP e ELC (esta última a empresa responsável pelo projeto das UTEL) de algumas modificações estabelecidas nos planos de construção das usinas.

Dentre as alterações decididas, as abaixo discriminadas interessam de perto a este trabalho:

1. Serão construídas apenas duas UTEL, consumindo cada uma até 3.000 t/d de lixo;
2. A potência instalada de cada UTEL será de 40 MW;
3. Cada UTEL terá controle de MP por meio de eletrofiltro com 99% de eficiência;
4. A chaminé de 100 m de altura será do tipo "Multi-Flue", contendo no seu interior 5 dutos de aço carbono, permitindo uma velocidade de saída dos gases de 25 m/s.

Para facilitar comparações, a seguir apresentamos, conjuntamente, os dados antigos (usados na elaboração do trabalho) e os novos fornecidos pela CESP-ELC.

	Plano Anterior	Plano Novo
Nº de UTEL	4	2
Lixo consumido p/UTEL	1.800 t/d	3.000 t/d
Lixo total consumido pelas UTEL	7.200 t/d	6.000 t/d
Potência elétrica gerada pelas UTEL	-	80 MW
Velocidade de saída dos gases da chaminé	20 m/s	25 m/s
Eficiência do eletrofiltro	97%	99%

Os novos dados introduzidos nos modelos usados em nossos cálculos^(*) conduziram aos seguintes novos resultados:

	Resultados Anteriores	Resultados Novos
Taxa de Emissão de MP por UTEL	2,16 t/d	1,2 t/d
Taxa de Emissão de SO ₂ por UTEL	2,25 t/d	3,75 t/d
Emissão total de MP pelas UTEL	8,64 t/d	2,4 t/d
Emissão total de SO ₂ pelas UTEL	9,0 t/d	7,5 t/d
Imissão Média Anual máxima de SO ₂ por UTEL	20 µg/m ³	16,7 µg/m ³
Imissão Média Anual máxima de MP p/ UTEL	30 µg/m ³	2,8 µg/m ³

(*) - Corrigiu-se ainda o valor de frequência do vento dominante usado (SE), de 60% para 30%.

Por fim, tendo em mente tanto os resultados novos como os anteriores demonstrados neste trabalho, parece-nos ainda oportuno fazer as seguintes observações:

1. Existe uma grande variedade de modelos empregados na previsão da dispersão de poluentes em casos semelhantes ao aqui tratado;
2. Há indícios de que o modelo da Pluma Gaussiana, a despeito de ser o mais popular, e nas condições em que foi aqui utilizado, conduz a valores limites superiores das imissões médias anuais; outros modelos podem produzir valores bem inferiores (de até quase uma ordem de grandeza);
3. Sobretudo, de grande efetividade é o aumento das alturas das chaminés, pois, por exemplo, dobrando-se a altura de uma chaminé de 100 m consegue-se reduzir de um fator $3,4 \times 10^{-4}$, a distância de 1 km, as imissões em questão;
4. Deve-se levar em conta também que as duas UTEL, com potência geradora total de 80 MW, equivalem a uma usina termo-elétrica a óleo (grade 5 oil) que, usando eletro-filtro de 99% de eficiência, lançaria na atmosfera 58 t/d de SO_2 (contra 7,5 t/d das UTEL), e 1,1 t/d de MP (contra 2,4 t/d das UTEL).

Todos esses fatos levam-nos a ampliar as nossas sugestões ao uso de chaminés elevadas e a diminuição da exploração de usinas termo-elétricas à carvão e/ou óleo na proporção da entrada da potência gerada pelas UTEL.

São Paulo, 01 de dezembro de 1980.

OS AUTORES