

## Utilização de imagens de satélite e modelagem numérica para determinação de dias favoráveis a dispersão de poluentes.

Claudinéia Brazil Saldanha  
Rita de Cássia Marques Alves

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Caixa Postal 15044 – Porto Alegre – RS.  
neiabrazil@yahoo.com.br  
ritaca@cesup.ufrgs.br

**Abstract.** The objective of this work is to verify, through the use of the images of satellite GOES and numerical modeling the days favorable to the dispersion of pollutants in the industrial plants of Charqueadas and São Jerônimo and to compare the results of the numerical simulation with the data of concentration of the gotten sulphur dioxide and particulate material through the station of quality of air, yielded for the plant of Charqueadas, thus getting one better knowledge of the dispersion of pollutants.

**Palavras-chaves:** satellite images, atmospheric modeling, air pollution, imagens de satélite, modelagem numérica, poluição atmosférica.

### 1. Introdução

O estudo relacionado à dispersão de diferentes poluentes na atmosfera utilizando modelos numéricos é uma das principais maneiras de prever os valores das concentrações ao nível do solo de um determinado poluente emitido por fontes pontuais contínuas, com esse tipo de ferramenta torna-se possível verificar qual o impacto ambiental a ser causado por uma determinada fonte e assim verificar a qualidade do ar na área de estudo. A importância deste assunto tornou-se evidente com o aumento das emissões de poluentes, causado pelo crescimento das áreas urbanas e industriais, onde na maioria das vezes estas indústrias, localizam-se em áreas consideradas topograficamente inviáveis para a dispersão de poluentes. É de fundamental importância levar em conta às características meteorológicas do local onde esta sendo instalado um complexo industrial, para viabilizar um melhor controle da qualidade do ar.

Uma grande variedade de estudos relacionados a dispersão de poluentes foram desenvolvidas utilizando diversos modelos numéricos, com o propósito de verificar qual era o que se adequava melhor as diferentes condições de terreno e condições meteorológicas.

Alves (2000) estudou a dispersão de poluentes na região de Candiota – RS utilizando três modelos numéricos (RAMS, KAPPAG e M4PUFF) para a análise do transporte de SO<sub>2</sub>. Os resultados dos três modelos foram comparados com dados obtidos nas estações de qualidade do ar instalados na região da usina. Analisando os resultados pode-se observar, que as simulações com o modelo RAMS foram as que mais se aproximaram dos dados de concentrações medidos nas estações de qualidade do ar instalados ao redor da usina.

Elbir (2003) utilizou o modelo meteorológico CALMET e o modelo de dispersão CALPUFF para estimar a dispersão de SO<sub>2</sub> emitidos por fontes na cidade de Izmir, Turquia, para o ano de 2000. O desempenho do modelo quando comparado com as quatro estações de monitoramento foi considerado bom com uma acurácia de 68%.

O objetivo deste trabalho é verificar, através do uso das imagens de satélite GOES e modelagem numérica os dias favoráveis à dispersão de poluentes nas usinas termelétricas de Charqueadas e São Jerônimo e comparar os resultados da simulação numérica com os dados de concentração do dióxido de enxofre e material particulado obtidos através da estação de

qualidade de ar, cedidos pela usina de Charqueadas, obtendo assim um melhor conhecimento da dispersão de poluentes.

## 2. Material e métodos

Para desenvolver este trabalho foram utilizadas imagens de satélite GOES-8 no canal infravermelho, juntamente com os campos de vento e pressão atmosférica ao nível médio do mar, obtidas através do laboratório MASTER/IAG/USP, para identificar os períodos favoráveis à dispersão de poluentes, após realizar esta análise foram escolhidos os dias 20, 21 e 22 de junho de 2003, classificados como dias de condição pré-frontal, frontal e pós-frontal. Depois de feita esta análise utilizou-se o modelo RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) com o intuito de estudar a dispersão dos poluentes nas Usinas termelétricas de Charqueadas e São Jerônimo e descrever as condições meteorológicas atuantes na área de estudo.

Para o estudo da dispersão acoplou-se uma subrotina no modelo contendo as equações para o cálculo das concentrações dos poluentes, localização e características de cada uma das fontes tais como: altura da chaminé e taxas de emissões do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e material particulado.

Para inicializar o modelo RAMS versão 4.3, foram utilizadas as análises do modelo global do Centro de Previsão de Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), com resolução de 1,875° na horizontal, em um intervalo de doze horas, para a inicialização heterogênea.

Foram utilizadas três grades aninhadas com um espaçamento de grade horizontal de 16, 4 e 1 km para as grades 1, 2 e 3, respectivamente. O número de pontos utilizados nas três grades em x e y foi de 20 pontos na primeira grade, 34 pontos na segunda grade e 38 pontos na terceira grade. Os tamanhos das grades 1, 2 e 3 são respectivamente de 320 Km<sup>2</sup>, 136 Km<sup>2</sup> e 38 Km<sup>2</sup>.

## 3. Resultados

### 3.1. Descrição das imagens de satélite

No dia 20/06 às 00:00Z (**figura 1**) podemos observar um centro de alta pressão sobre o estado, causando a subsidência do ar impedindo a formação de nuvens. Na imagem do dia 21/06 às 00:00Z (**figura 2**) já podemos observar frente fria localizada sobre a Argentina e parte do Uruguai e avançando em direção ao estado, às 06:00 Z (**figura 3**) a frente já atinge parte do Rio Grande do Sul às 18:00Z (**figura 4**) localizando-se na metade nordeste do estado inclusive sobre a Região Metropolitana de Porto Alegre. Na imagem do dia 22/06 às 06:00 (**figura 5**) podemos observar que a frente fria já passou pelo estado e o sistema de alta pressão atua no Rio Grande do Sul.

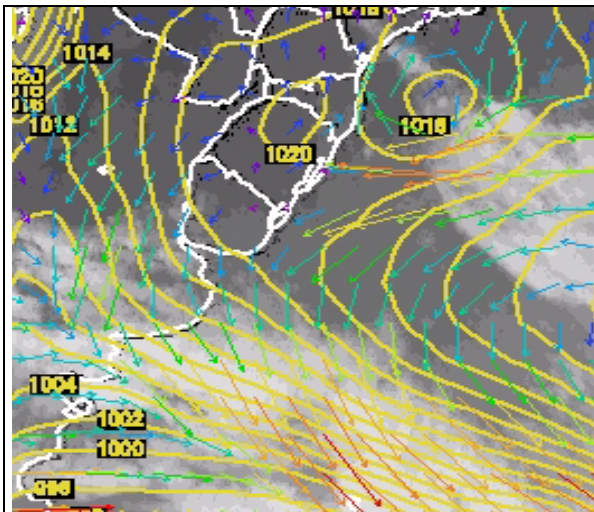


Figura 1- Imagem de satélite GOES-8 no canal infravermelho para o dia 20/06 as 00:00Z.

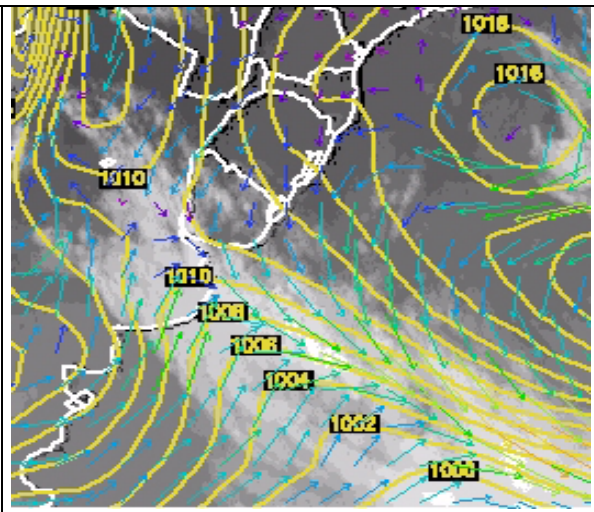


Figura 2- Imagem de satélite GOES-8 no canal infravermelho para o dia 21/06 as 00:00Z.

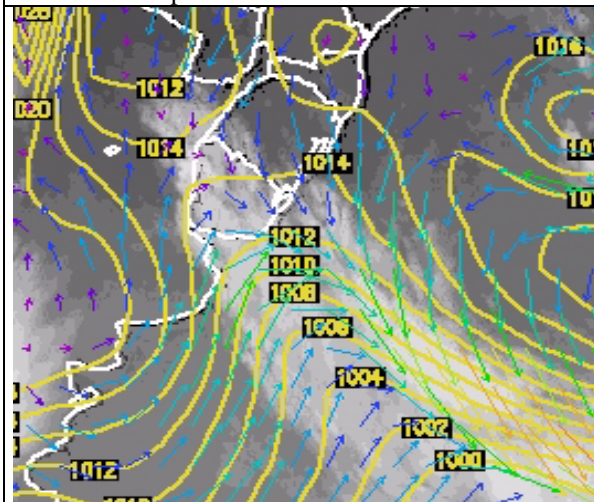


Figura 3- Imagem de satélite GOES-8 no canal infravermelho para o dia 21/06 as 06:00Z.

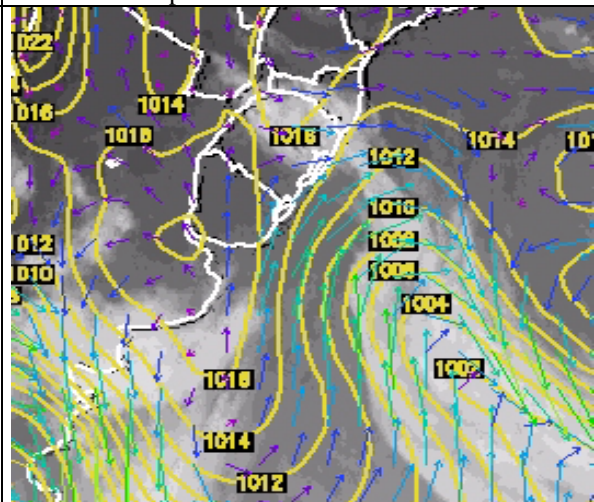


Figura 4- Imagem de satélite GOES-8 no canal infravermelho para o dia 21/06 as 18:00Z.

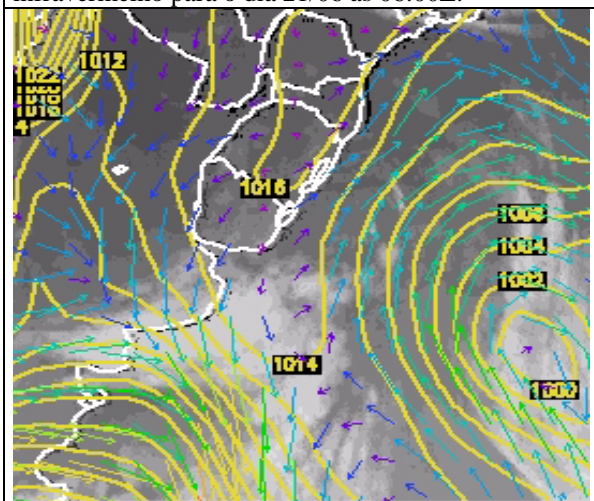


Figura 5- Imagem de satélite GOES-8 no canal infravermelho para o dia 22/06 as 06:00Z.

### 3.2.Descrição da modelagem numérica

Com base na análise das imagens de satélite e nos campos meteorológicos foram classificados os dias 20, 21 e 22 de junho como, dias de condição pré-frontal, frontal e pós-frontal.

Nas **figuras 6 e 7** as quais mostram as concentrações do material particulado e dióxido de enxofre, observa-se que em condições pré-frontal e pós-frontal as concentrações atingiram seus valores máximos da ordem de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o material particulado e  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o dióxido de enxofre e com a passagem do sistema frontal as concentrações estavam praticamente nulas.

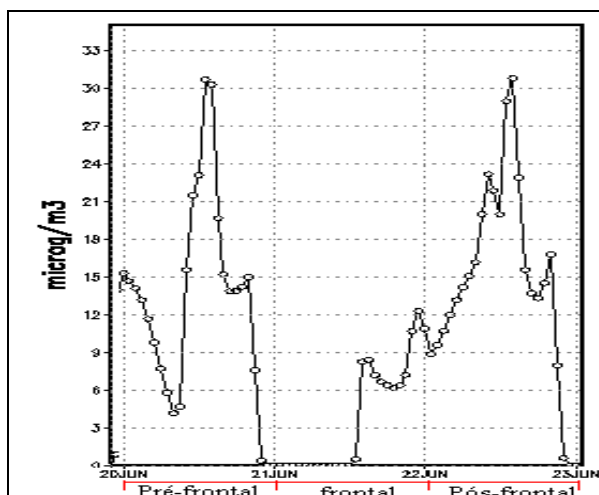


Figura 6. Variação temporal da concentração de material particulado (MP) para Charqueadas.

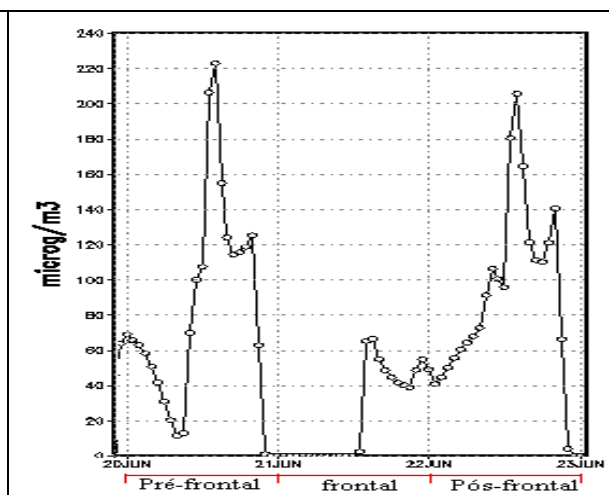


Figura 7. Variação temporal da concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) para Charqueadas.

As **figuras 8 e 9** representam respectivamente as concentrações de material particulado e dióxido de enxofre nas coordenadas da Usina termelétrica de São Jerônimo, observa-se o comportamento semelhante ao de Charqueadas, onde os picos de concentração ocorreram nos dias de condições pré-frontal e pós-frontal e com a passagem do sistema frontal às concentrações eram praticamente nulas. Mas os valores máximos de concentrações do material particulado e do dióxido de enxofre foram superiores aos de charqueadas com valores de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para cada um dos poluentes respectivamente.

No caso do dióxido de enxofre se esses resultados fossem comparados com os padrões de qualidade do ar ele teria ultrapassado tanto o padrão primário como o padrão secundário, e isso afeta a flora, fauna e a vida das pessoas principalmente pessoas sensíveis a poluentes como crianças e idosos. Os efeitos sobre a saúde humana estão associados a sua solubilidade nas paredes do aparelho respiratório. O SO<sub>2</sub> se dissolve na secreção úmida do aparelho respiratório humano, chegando a atingir as vias inferiores, provocando espasmos dos bronquíolos mesmo em pequenas concentrações. Em quantidades maiores, provoca irritação em todo sistema respiratório causando danos aos tecidos pulmonares.

Existem evidências de que o SO<sub>2</sub> agrava doenças respiratórias já existentes e também contribui para o seu aparecimento. Exposições prolongadas a baixas concentrações de SO<sub>2</sub> tem sido associada ao aumento da morbidade cardiovascular em pessoas idosas.

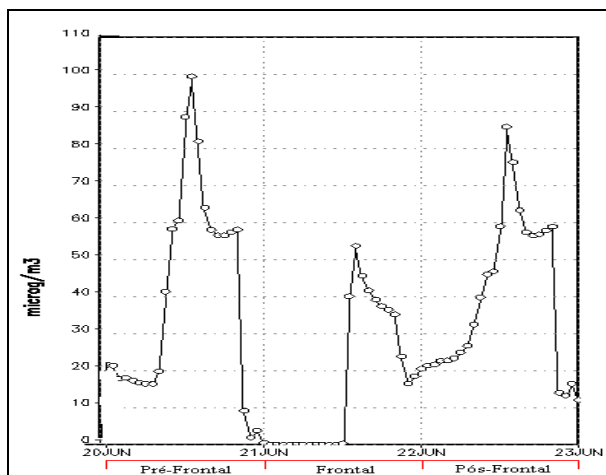


Figura 8. Variação temporal da concentração de material particulado (MP) para São Jerônimo.

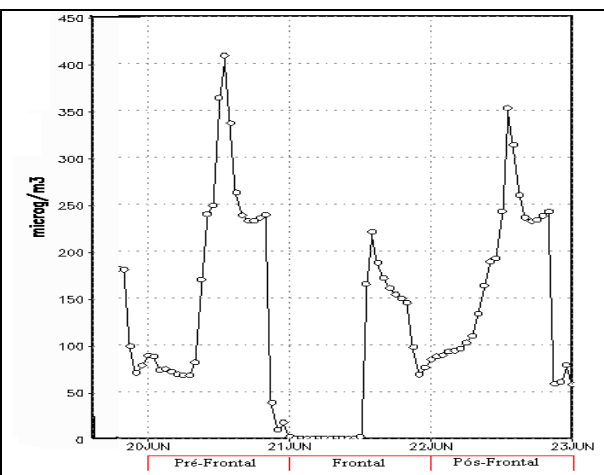


Figura 9. Variação temporal da concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) para São Jerônimo.

O fato da concentração de poluentes ser mais alta nas condições pré-frontal e pós-frontal, é explicada pelo fato da umidade relativa (**figura 10**) estar bastante baixa em torno de 60%, tanto para Charqueadas quanto para São Jerônimo, a pressão atmosférica (**figura 11**) estava alta em torno de 1021mb e a velocidade do vento (**figura 12**) apresentava-se abaixo de 2 m/s. Já os baixos valores de concentração ocorrem devido à queda na pressão atmosférica devido à passagem do sistema frontal, ao aumento da umidade relativa que chegou a 100% em Charqueadas e da ordem de 88 % em São Jerônimo, e também pelo fato da ocorrência de precipitação atmosférica neste dia como pode ser observado na **figura 13**. A precipitação não só remove o material particulado como ajuda na dissolução de gases como o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub>.

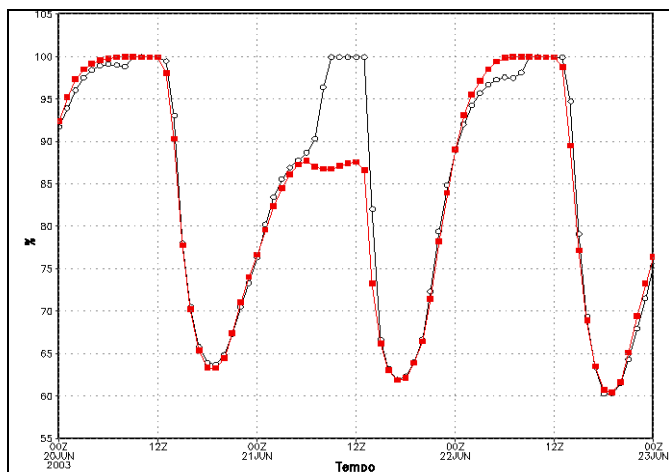


Figura 10. Variação temporal da umidade relativa nas coordenadas de Charqueadas (azul) e São Jerônimo (vermelho).

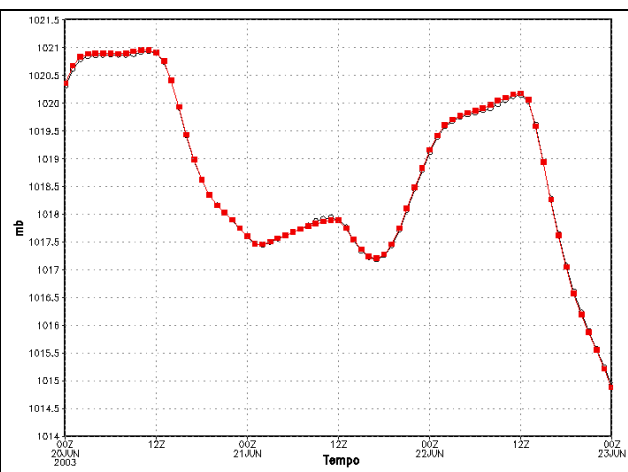


Figura 11. Variação temporal da pressão atmosférica nas coordenadas de Charqueadas (azul) e São Jerônimo (vermelho).



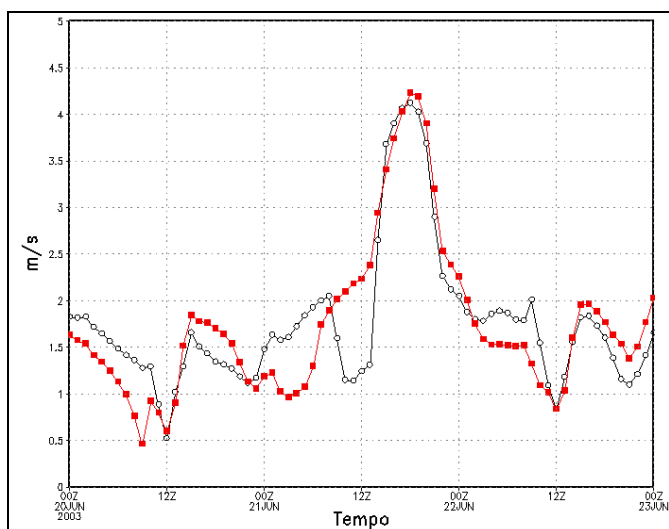


Figura 12. Variação temporal da velocidade do vento nas coordenadas de Charqueadas (azul) e São Jerônimo (vermelho).

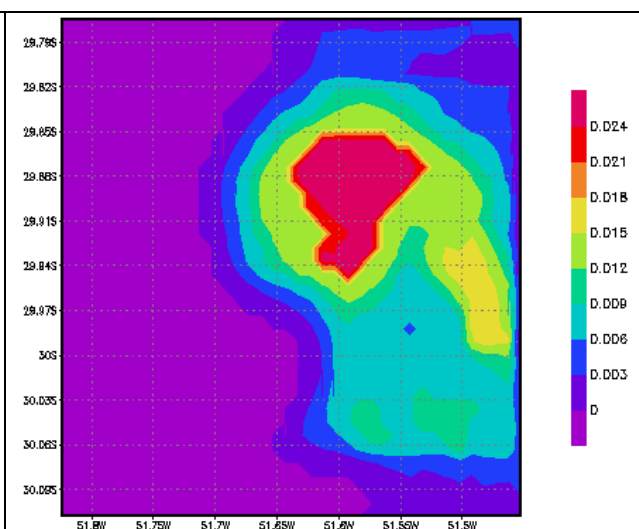


Figura 13. Campo de precipitação atmosférica (grade3) – 21/06/2003 as 12:00Z

Para obter uma análise mais detalhada foram plotados gráficos com a latitude fixada em Charqueadas e São Jerônimo, variando a longitude e a altitude. Na **figura 14** observa-se que os maiores valores de concentração de material particulado estão próximos a altura da fonte entre o segundo (47,2 metros) e o terceiro (86,6 metros) nível do modelo com valores da ordem de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , observa-se também uma subsidência do ar neste horário, devido a presença de um sistema de altas pressões. Na referente ao dióxido de enxofre (**figuras 15**) observa-se valores ao redor da fonte da ordem de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e a concentração se espalha até 180 metros aproximadamente, como a altura da camada nesta região é da ordem 700 metros a tendência é que os poluentes depositem-se próximo a fonte.

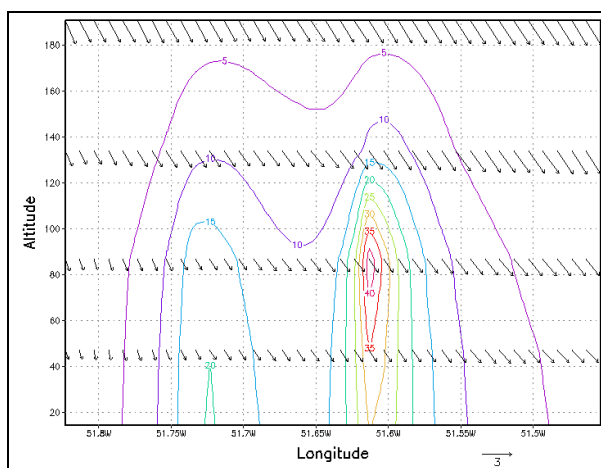


Figura 14. Variação longitudinal do material particulado – 20/06 as 14:00Z - Charqueadas

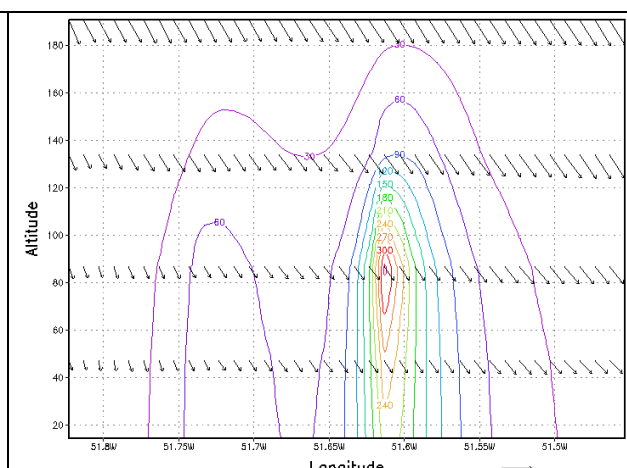
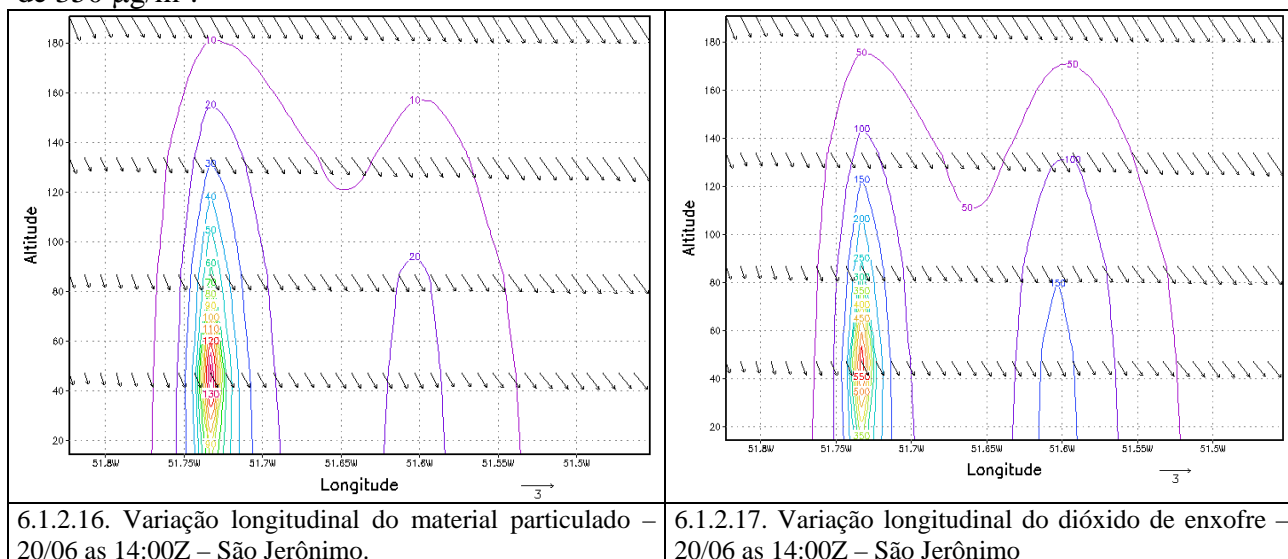


Figura 15. Variação longitudinal do dióxido de enxofre – 20/06 as 14:00Z – Charqueadas

Para a variação longitudinal com a latitude fixada na Usina Termelétrica de São Jerônimo onde a altura da fonte é de 45 metros entre o primeiro (14,3 metros) e o segundo nível (47,2 metros) do modelo. As concentrações ficaram retidas mais próximo ao solo, com valores máximos de material particulado (**figura 16**) da ordem de  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Na **figura 17** que representa o dióxido de enxofre, verifica-se valores da ordem de  $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na saída da chaminé, enquanto que bem próximo ao solo foram estimados valores da ordem de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



6.1.2.16. Variação longitudinal do material particulado – 20/06 as 14:00Z – São Jerônimo.

6.1.2.17. Variação longitudinal do dióxido de enxofre – 20/06 as 14:00Z – São Jerônimo

### 3.3. Comparação dos dados de concentração observados e simulados

Nesta seção foram comparados os resultados das concentrações do material particulado e do dióxido de enxofre obtido através da simulação numérica com os dados de concentrações da estação de qualidade do ar pertencente à Usina Termelétrica de Charqueadas. A tabela (6.1.4.a), apresenta as médias diárias das concentrações do material particulado e do dióxido de enxofre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), para o 22 de junho de 2003, o qual tinha dados da estação de monitoramento de qualidade do ar.

Tabela 6.1.4.a. Comparação entre os dados observados e os dados simulados pelo modelo.

	Material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Dióxido de enxofre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Observado	Simulado	Observado	Simulado
22/06/2003	34.0	<b>5.53</b>	26.83	<b>24.5</b>

Comparando os dados observados com os dados simulados através do modelo, podemos observar na tabela 6.1.4a, que o modelo subestimou os resultados referentes às concentrações de material particulado e dióxido de enxofre, para os dias em questão.

Os resultados das concentrações do material particulado apresentaram-se abaixo do observado. Esta diferença entre o que foi observado e o simulado deve-se ao fato do material particulado ao redor da estação de qualidade do ar não ser originado somente pelas emissões das usinas enquanto que o modelo considera somente o que é emitido pela mesma.

No dia 22 de junho o dióxido de enxofre apresentou um resultado bastante satisfatório com uma diferença de  $2,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre o simulado e o observado.

### 4. Conclusões

Nos dias classificados como pré-frontal e pós-frontal as concentrações do material particulado, dióxido de enxofre e dos óxidos de nitrogênio, atingiram seus valores máximos

da ordem de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, pelo fato da umidade relativa do ar estar bastante baixa em torno de 60%, pressão atmosférica da ordem de 1021 mb e ventos fracos.

No dia classificado como frontal as concentrações estavam praticamente nulas, devido à queda na pressão atmosférica devido à passagem do sistema frontal, ao aumento da umidade relativa que chegou a 100% em Charqueadas e da ordem de 88 % em São Jerônimo, e também pelo fato da ocorrência de precipitação atmosférica neste dia, a precipitação não só remove o material particulado como ajuda na dissolução de gases como o  $\text{SO}_2$  e o  $\text{NO}_x$ .

Ao comparar os resultados simulados pelo modelo com os dados coletados na estação de qualidade do ar, observou-se que os resultados obtidos pelo modelo apresentaram valores abaixo do observado, isso ocorreu porque o modelo leva em conta somente as emissões da usina e não o material particulado ao redor da estação como, por exemplo, a poeira presente no ar.

Com relação ao dióxido de enxofre no dia 22 de junho o modelo apresentou um bom resultado ao comparar com os dados observados, com uma diferença de  $2,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre o simulado e o observado.

### **Referências Bibliográficas**

- ALVES, R. C. M., 2000. Estudo da dispersão de  $\text{SO}_2$  emitido pela Usina Termelétrica de Candiota-RS, Brasil. Tese de Doutorado. USP-IAG. São Paulo.
- ELBIR, T., 2003. Comparison of model predictions with data of an urban air quality monitoring network in Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 37, 2149-2157.