

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.Introdução

Atualmente, um dos principais objetivos da ciência é ter a qualidade de prognosticar certos sistemas e seus futuros comportamentos. São exemplos claros disso, os serviços de previsão do tempo, as previsões de terremotos e tempestades, como também, a previsão das dispersões dos contaminantes atmosféricos.

O grande problema, talvez o maior deles, é a qualidade do ar atmosférico, que hoje em dia vem se deteriorando e se caracterizando em uma das mais graves e temidas ameaças à qualidade de nossas vidas. O desafio principal, portanto, é o de manter um padrão de qualidade do ar que não coloque em risco e não comprometa a saúde de nossa sociedade. Tal deterioração é fruto de emissões industriais, dos veículos automotores, além de outras fontes.

Com base no relato acima, as leis que regulamentam a qualidade do ar estão se tornando cada vez mais rigorosas e mais detalhadas, e assim sendo, são necessários modelos cada vez mais complexos que forneçam resultados mais realísticos e precisos, afim de que se possam estabelecer padrões para manter o ar dentro dos níveis de qualidade exigidos pelas legislações ambientais competentes.

A qualidade do ar de determinada região é afetada diretamente pelos níveis de poluição atmosférica, os quais, são originados de um amplo sistema de fontes emissoras, que podem ser: estacionárias (indústrias, queima de lixo, emissões naturais, tais como, vulcões...) ou móveis (veículos, aviões, trens...). Também, deve-se levar em conta os fatores do meio físico, cujos atores principais são: a topografia da região e suas condições climáticas e meteorológicas (Fruehauf, 1998).

A caracterização da qualidade do ar é designada por um conjunto de fatores que compreendem a intensidade do lançamento das emissões, seu transporte e decomposição na

atmosfera, e o tempo de exposição (e concentração) do poluente na atmosfera (Cerqueira, 2001).

Visto que, em longo prazo, esses efeitos de concentrações de poluentes, não são totalmente conhecidos, a poluição atmosférica constitui-se atualmente na principal e mais grave preocupação de nossa sociedade. Como ilustração disso, a ocorrência de chuva ácida e o agravamento do efeito estufa, são fenômenos que denotam tal preocupação com esta situação, (segundo estudos meteorológicos, a temperatura global do planeta aumentou cerca de 0,6° C nos últimos 100 anos). Porém, não há nenhuma prova conclusiva que relaciona este aquecimento com o agravamento do efeito estufa – mecanismo natural de manutenção da temperatura do planeta -, mas a variação da temperatura e a concentração de gás carbônico (CO₂), tiveram comportamento semelhante, segundo algumas pesquisas (Cerqueira, 2001).

Esta poluição se faz presente na atmosfera através de gases e também na forma de partículas sólidas em suspensão (MP), que são derivados de resíduos industriais (siderúrgicas, petroquímicas, indústrias de cimento, usinas termelétricas com queima de carvão e petróleo, automóveis, incêndios florestais, etc).

Assim, o que seria um poluente atmosférico? Segundo Seinfeld, 1975, “considera-se poluente qualquer substância presente no ar em concentrações altas o suficiente para produzir efeitos mensuráveis e danosos em seres humanos, impróprio, nocivo, ofensivo à saúde, ao bem estar, à flora, à fauna, e aos materiais”. Seinfeld (1986) esquematiza o processo da poluição do ar da seguinte maneira.



Através do esquema, os poluentes são emitidos para a atmosfera pelas fontes emissoras, que atuam como meio de transporte e onde ocorrem misturas e transformações físicas/químicas. Por fim, os poluentes são detectados pelos receptores, que podem ser instrumentos, seres humanos, animais, plantas ou materiais (Cunha, 2002).

Na atmosfera eles podem ser classificados em dois grupos: Os poluentes que são emitidos diretamente por fontes, (denominados poluentes primários); e os que são originados a partir dos poluentes primários, através de transformações e reações

fotoquímicas, chamados poluentes secundários. Como exemplos, temos respectivamente, monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃) (Lyons, 1990). Esses poluentes podem ser originados naturalmente – por emissões naturais (erupções vulcânicas, cisalhamento do vento), e emissões antropogênicas – quando derivados da ação exclusiva do homem, como, por exemplo, queimadas, usinas termelétricas, queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural...).

Um dos principais fatores e que precisa ser levado em consideração quando se trata de uma situação de poluição atmosférica, é a influência das condições meteorológicas na dispersão dos poluentes. Devido a essa influência, é que alguns poluentes depois de emitidos, podem ser transportados à longa distância antes de alcançarem a superfície solo, ocasionando danos às populações mais próximas.

Dentre diversas condições meteorológicas, as mais importantes e que podem prognosticar níveis críticos de poluição do ar estão: altura da Camada Limite Planetária, estabilidade atmosférica, intensidade e direção do vento, inversão térmica e umidade relativa do ar, além de movimentos verticais originados devido aos sistemas de alta e baixa pressão.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Revisão Bibliográfica

Desde meados de 1960, aproximadamente, a poluição do ar deixou de ser um problema das vizinhanças das fontes de emissão e das áreas urbanas, para vir a ser um problema em âmbito nacional e internacional. Isso ocorreu mais ou menos simultaneamente nos países industrializados, devido às denúncias das organizações não governamentais e da mídia, que baseadas em estudos mostravam que os poluentes eram levados (transportados), á longa distância. Todo esse movimento teve como resultado, em muitos países, a criação da legislação ambiental, o surgimento de organizações não governamentais, agências de proteção ao meio ambiente e finalmente a participação das organizações das nações unidas, na defesa do meio ambiente. A partir de então, os modelos de dispersão foram se tornando cada vez mais complexos. A aplicação desses modelos de dispersão, a diversas fontes e cidades tem sido contínua, como pode ser observado na literatura nos últimos anos.

Muitos pesquisadores têm comprovado a influência das condições meteorológicas para a dispersão de poluentes emitidos por fontes naturais e antropogênicas. A estabilidade atmosférica, a altura da camada limite planetária, a inversão térmica, a umidade relativa do ar e a intensidade e direção do vento, são as principais condições meteorológicas consideradas para sua avaliação, (Abreu, 1985).

A Camada Limite Planetária (CLP), é a parte mais baixa da atmosfera sendo diretamente influenciada pela presença da superfície da terra e respondendo aos forçantes superficiais em escala de tempo de menos de uma hora. Nesta camada, ocorre de maneira dominante, o transporte turbulento de espécies entre a superfície da terra e a atmosfera, sendo que após um dia, (período de 24 horas), é possível classificá-la quanto aos seus

forçantes. Esta camada é subdividida em: Camada Limite Convectiva (CLC), Camada Limite Neutra (CLN), Camada Limite Estável (CLE).

Como exemplo de alguns forçantes superficiais (térmicos e mecânicos) da CLP, pode-se mencionar a evaporação, a transferência de calor para a superfície, o resfriamento radiativo, a modificação dos fluxos turbulentos, os efeitos da topografia, o atrito com a superfície do solo, entre outros. Uma modelagem completa desta camada é extremamente difícil, tanto do ponto de vista meteorológico, quanto para o estudo da dispersão de poluentes, devido ao fato de os processos físicos que nela ocorrem não serem completamente conhecidos. Dentre esses, o problema principal e que causa maiores preocupações, é o problema da turbulência atmosférica, pois, a alta capacidade dispersiva da atmosfera advém de sua natureza turbulenta, e esta, é mais efetiva para o transporte de qualquer quantidade física (calor, contaminante, umidade...).

Uma condição é dita de estabilidade atmosférica, (atmosfera estável) quando há próximo à superfície, uma camada de ar frio, ou seja, quando ocorrer a situação de uma camada de ar frio se apresentar por baixo de uma camada de ar quente. Nesse caso, os movimentos verticais são limitados e assim sendo espera-se que a poluição se agrave, e que surjam névoas, nevoeiros, restrições à visibilidade, e a presença de nuvens estratiformes.

Quanto à velocidade e direção do vento, podemos dizer que são de grande importância quando nos referimos à dispersão de poluentes, por que, além de nos relatar a procedência de certos poluentes e seu provável destino, podem também, prevenir episódios críticos de poluição do ar, e da mesma forma, estimar as prováveis causas de problemas dessa natureza. De maneira geral, a velocidade do vento é o fator determinante no transporte horizontal dos contaminantes. No transporte vertical, a responsável pelo deslocamento desses poluentes é a turbulência atmosférica.

Refere-se à inversão térmica, quando do aumento da temperatura do ar com a altura. Neste caso o ar, em vez de o ar continuar a diminuir sua temperatura, como seria previsível encontrar quando nos elevamos na atmosfera, faz o inverso, isto é, aquece em determinada altitude, e depois, volta a resfriar. As inversões térmicas geram estabilidade atmosférica, podendo estar próximas (ou até junto da superfície da terra), ou em níveis elevados da atmosfera. Na situação de inversão térmica, se tem um ar mais quente acima da camada de ar frio, originando esse ar quente, uma “tampa” e bloqueando a circulação do ar. Com a inversão térmica, pode-se esperar um agravamento na poluição do ar atmosférico.

Em relação á umidade do ar, ao dizer que ela é 100%, significa dizer que na atmosfera onde tal fato esteja ocorrendo, o ar se encontra no seu estado de saturação. Umidade Relativa é então, uma relação entre a umidade que o ar contém e a quantidade máxima de umidade que o ar pode conter numa dada temperatura (Sonemmaker, 1998).

Existem muitos estudos relacionando os fatores meteorológicos com as concentrações dos poluentes atmosféricos ao nível do solo. Setzer et al., 1980, estudaram as influências das condições meteorológicas na poluição atmosférica de São Paulo. Consideraram-se como condições meteorológicas, a localização de frentes e anticiclones em relação a São Paulo, dados meteorológicos de pressão, direção e velocidade dos ventos, precipitação, umidade relativa do ar, e altura da camada limite planetária. Foram analisados, um período de inverno e um período de verão, para o ano de 1978. Observou-se, que os altos índices de poluição verificados estavam relacionados com a passagem de uma frente fria ao sul do Brasil e que o anticiclone subtropical estava localizado a leste de São Paulo, sobre o Oceano Atlântico. As variáveis meteorológicas nesses dias tiveram o seguinte comportamento: umidade relativa baixa (menor que 50%); ausência de precipitação; altura da camada limite inferior a 300 m, ás 09:00 horas. Por outro lado, em dias de baixas concentrações de poluentes, as frentes frias se localizavam ao norte de São Paulo e o anticiclone ao sul do continente. Nesses dias, os ventos eram mais intensos, favorecendo assim o transporte e a dispersão dos poluentes. A umidade relativa era maior de 50%, a ocorrência de chuvas aumentou e a altura da camada limite ficou da ordem de 1200 m, ás 09:00 horas.

Oliveira et al. (1982), usaram um modelo diagnóstico de previsão do tempo descrito em Silva Dias e Silva Dias (1986), no estudo das condições sinóticas e dinâmicas nos quatro dias que antecedem o episódio da poluição do ar em Cubatão-SP, de 07 de Maio de 1985. Foi observado em superfície o deslocamento do centro de alta pressão do dia 03/05/85. Da análise do dia 06/05/85, foi notada a advecção de vorticidade positiva em 500 mb, que favoreceu a intensificação da alta em superfície. A vorticidade anticiclônica atingiu seu máximo valor de $10^{-5} s^{-1}$ sobre São Paulo e a advecção fria favoreceu a subsidência da camada e o aumento da pressão em superfície. Finalmente, a divergência de umidade em todos os níveis, favoreceu a secagem da coluna atmosférica. O conjunto dessas condições sinóticas culminou com a formação de um anticiclone de núcleo quente ao norte-nordeste de São Paulo no nível de 500 mb.

Abreu (1985), estudou a relação entre os sistemas sinóticos meteorológicos e índices extremos de poluição do ar, no período de março de 1979 a dezembro de 1982, na região da Grande São Paulo. Constatou que a frente fria sobre a região provoca uma mistura vertical das parcelas de ar. Acima da superfície observou a presença de ventos fortes (maior que 25m/s) em 250 mb que contribuem para o deslocamento rápido dos sistemas em superfície, promovendo a dispersão dos poluentes, e permitindo a renovação das massas de ar. No caso das altas concentrações de poluentes, encontrou a presença da frente fria ao sul de São Paulo. Anticiclone subtropical em superfície e predomínio de circulação anticiclônica em 850 mb, criando uma atmosfera altamente estável, acrescida de ventos fracos em superfície (até 3 m/s), dificultando assim a dispersão de poluentes. Os ventos fracos em 250 mb (menores que 25m/s), a presença do jato ao sul do país e o escoamento para sudeste ou zona no sul do continente, indicam a persistência da situação sinótica. Esta situação permite que os sistemas em superfície permaneçam inalterados, pelo tempo em que a configuração sinótica perdure. Essa situação, ocorrendo por dois ou três dias eleva a concentração dos poluentes ao nível do solo.

Manfredini (1988), compreendendo o período de maio a agosto de 1977 a 1980, na grande São Paulo, destaca a ocorrência de um caso (03 junho de 1979) correspondente a uma situação que em geral antecede a ocorrência de altas concentrações de poluentes: Neste dia, observou-se um anticiclone subtropical com centro a leste de São Paulo, sobre o oceano atlântico, com subsidência influenciando São Paulo, a presença da frente fria ao sul do Brasil e região da bacia do prata. O campo de vento em 850 mb e 500 mb, mostrou uma circulação anticiclônica sobre a região de São Paulo com velocidades inferiores a 10 m/s. Na radiossondagem do Aeroporto de Congonhas, encontrou-se inversão térmica próxima à superfície, com ventos fracos dentro da camada de mistura e uma intensa secagem acima desta camada, facilitando o acúmulo de poluentes. Em 850 mb e 500 mb observou-se vorticidade anticiclônica na região de São Paulo. A advecção de vorticidade positiva em 500 mb sobre São Paulo, e negativa no sul do Brasil foram encontradas. A advecção de temperatura foi negativa nos níveis de 850 mb e 500 mb, sobre São Paulo, indicando um esfriamento da camada, o que favoreceu o aumento de pressão na superfície.

Estudos realizados por Sanches et al. (1990), no período de outubro a maio de 1983-1984 na cidade de Valladolid (Espanha), sobre a influência das condições sinóticas no comportamento dos poluentes, baseadas numa análise para o nível de 500 mb, usando o

método multivariado (análise de Cluster). Tais análises mostraram que altas concentrações de poluentes são observadas em uma situação de circulação anticiclônica em 500 mb. Nessa situação ocorre na superfície: ventos fracos, ausência de precipitação, alta pressão atmosférica, baixa temperatura mínima. Baixas concentrações foram encontradas, na presença de um cavado em altitude sobre a Espanha. Nessa situação a superfície apresenta baixa pressão atmosférica, muita precipitação e ventos fortes.

Com relação ao modelo de dispersão atmosférica que foi utilizado neste estudo, existem vários trabalhos desenvolvidos nos últimos anos, entre os quais podemos citar: Cunha (2002), que estudou o transporte de poluentes na região de Triunfo-RS, onde se encontra instalado um Pólo Petroquímico; Alves (1996), que utilizou o ISCST para verificar a dispersão de poluentes na região de Candiota-RS, Naik (1992) que estudou a qualidade do ar relacionada à liberação de SO₂ (Dióxido de Enxofre) de uma usina termelétrica dentro dos limites da cidade de Ahmedabad, Índia, calculando a dispersão de SO₂ empregando o modelo de dispersão ISCST. Nesse estudo, a concentração de SO₂ foi calculada a uma distância de 500m em 16 direções localizadas nos limites da cidade. A qualidade do ar, em último caso, foi estimada em distâncias a favor do vento, sob condições meteorológicas desfavoráveis. Uma das medidas proposta para diminuir as zonas de alta concentração de poluentes é aumentar a altura das chaminés, o que resulta no funilamento das mesmas, direcionando-as a favor do vento para além dos limites da cidade, com isso atingindo-se valores de concentração ao nível do solo bem inferiores, prevenindo seus efeitos sobre o ser humano.

Fisher et al (1994), estudaram o transporte de SO₂ em áreas industriais na cidade de Ohio, e compararam dois modelos de dispersão do tipo pluma gaussiana com os valores monitorados, para verificar qual dos modelos é o mais acurado. Os modelos utilizados foram o ISCST ("Industrial Source Complex Short Term") e RTDM ("Rough Terrain Diffusion Model"), onde são consideradas para ambos, oito fontes de emissão, e também a elevação do terreno. As fontes em geral eram muito baixas, inclusive com algumas fontes localizadas em terrenos que excediam a altura das chaminés. Os autores verificaram neste estudo que o modelo ISCST melhor reproduziu os dados experimentais.

Assim, como referência pode-se citar entre outros: Experimentos realizados na região metropolitana de Buenos Aires – Argentina, analisando a dispersão de poluentes emitidos através de fontes industriais numa região de ventos, verificando a eficiência do

modelo ISCST, entre vários modelos de dispersão atmosférica. A conclusão foi que: o modelo de dispersão atmosférica ISCST é o que mais se aproxima da realidade, sendo sua correlação com os dados de experimentos coletados altamente satisfatória. Baseado nisso, espera-se garantir uma boa eficiência desse modelo de dispersão no presente estudo.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Objetivos e Metodologia

A poluição atmosférica pode ser originada de várias maneiras e através de diferentes fontes de emissão. Dentre essas, podem se destacar três: as fontes fixas constituídas principalmente pelas indústrias (termelétricas, siderúrgicas, fábricas de cimento, refinarias...); as fontes móveis que correspondem aos veículos automotores; e as fontes fugitivas que são aquelas lançadas para a atmosfera sem o auxílio de dutos ou tubulações (chaminés, sistemas de ventilação, escapamento dos automóveis). Como exemplo dessas últimas, temos a movimentação de minerais a granel por correias transportadoras e caçambas, ressuspensão de material pulverizado depositado no solo pelo arraste eólico, emissões evaporativas na forma de compostos orgânicos voláteis a partir de lagoas de decantação, entre outros (Fruehauf, 1998).

A queima de combustíveis fósseis, principalmente o carvão, está entre as fontes industriais que têm ocasionado mudanças significativas na qualidade ambiental em determinadas áreas extrativas do mineral no estado do Rio Grande do Sul.

Baseado nisso, analisar-se-ão nesse estudo as emissões de poluentes atmosféricos, neste caso, material particulado (MP) e dióxido de enxofre (SO₂), emitidos pela chaminé da Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM), uma fonte pontual fixa cuja altura é de 150 metros, e que está localizada na cidade de Candiota, a Sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, no chamado “pampa gaúcho”. Tal usina gera energia elétrica a partir da queima do carvão mineral, extraído na própria região, onde existe a maior reserva carbonífera brasileira (jazida Grande Candiota), com aproximadamente 12 milhões de toneladas, o que representa um percentual de 38% das reservas de carvão do País, tornando-se assim a mais rica no mineral.

O objetivo é estudar a dispersão de poluentes emitidos pela UTPM e verificar o possível impacto ambiental causado na região de estudo. Com isso espera-se obter uma estimativa da caracterização ambiental da mesma, onde a avaliação final permitirá a CGTEE a prevenção ou a correção de problemas oriundos das atividades da queima do carvão. Essa caracterização será realizada com a utilização da modelagem numérica, dados de concentração medidos ao redor da usina e ainda comparações das concentrações simuladas com os padrões nacionais da qualidade do ar estipulados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA - em sua resolução nº 03 de 28/06/90, que estabelece com base no Programa Nacional da Qualidade do ar, padrões primários e secundários de qualidade do ar – PRONAR – (CONAMA, 1990).

Para o tratamento da dispersão de MP (PM_{10}) e SO_2 , o modelo de dispersão de poluentes *ISCST (Industrial Surce Complex Term Short Term, versão III)* foi utilizado. Esse modelo é recomendado pela *EPA (Environmental Protection Agency)* para tratamento da dispersão de poluentes emitidos por fontes industriais como refinarias, termelétricas, siderúrgicas, entre outras fontes de emissão.

Com relação às concentrações dos poluentes medidos, os dados foram obtidos através de campanhas experimentais realizadas na região da usina termelétrica em períodos contínuos de dez dias, com intervalos de dois em dois meses para um período de dois anos. Essas campanhas experimentais fazem parte do projeto: “Estudo Ambiental Aplicando a Modelagem Numérica na Região de Candiota-RS”, aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEL/CNPq) e financiado pela Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE), cuja supervisão e pesquisa cabe ao Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS) e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM).

Os dados meteorológicos necessários para inicialização do modelo de dispersão utilizado no estudo, bem como os dados de concentração de poluentes foram obtidos através da rede de monitoramento da qualidade do ar, de propriedade da CGTEE. Esses dados são mensalmente repassados pela equipe técnica da CGTEE, possibilitando deste modo à comparação entre a modelagem numérica e as concentrações de poluentes ao nível do solo. Os parâmetros meteorológicos disponíveis, obtidos através da estação meteorológica automática instalada junto ao aeroporto de Candiota são: temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica (em superfície),

umidade do solo e precipitação. Os dados relacionados aos campos meteorológicos do modelo Global e as imagens de satélite necessárias para a avaliação das condições meteorológicas, relacionadas ao período de estudo foram repassados pela equipe do laboratório MASTER, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP). As imagens utilizadas nesse estudo são imagens do satélite GOES-8 no canal infravermelho.

Com relação aos dados de “qualidade do ar”, a rede de monitoramento da qualidade do ar automática existente na região (estação: Três lagoas, 8de Agosto, Aceguá, aeroporto de Candiota), possibilitou a obtenção de dados horários relativos à concentração dos principais poluentes atmosféricos, tais como MP, SO₂, proporcionando dessa maneira, “meios” adequados, confiáveis e precisos para desenvolvimento de nosso estudo.

3.2 Métodos de Amostragem

Para este estudo utilizou-se a primeira campanha experimental realizada entre os dias 19 e 28 do mês janeiro de 2003, em Candiota-RS.

Durante esta campanha experimental para coleta de Material Particulado (PM₁₀), utilizou-se na coleta dos poluentes, dois tipos de amostradores: Amostrador de grandes volumes (HV PM₁₀) e Amostrador Fino e Grosso (AFG).

O primeiro é um coletor de grande volume para partículas de até 10 µm no ar ambiente, ou seja, permite avaliar a concentração de particulado cujas partículas sejam menores que 10 µm, conforme ilustra a figura 3.2 (a), seu princípio de funcionamento é por impactação em que as partículas são dirigidas para um filtro onde ficam retidas (Energética, 1998).

O segundo é composto por um pequeno suporte plástico no qual colocam-se dois pequenos filtros de 47 mm de diâmetro. O filtro superior com poros de 8 µm de diâmetro, retém as partículas grossas (cujo diâmetro está compreendido entre 2,5 µm e 10 µm) e o inferior com poros de 0,4µm retém as partículas finas (diâmetro menor que 2,5µm), figura 3.2 (b). Esses filtros são montados um após o outro, em suportes plásticos de modo que o ar amostrado atravesse o primeiro filtro (mais grosso) e em seguida o segundo (mais fino). Esse amostrador foi modificado a partir do AFG original, com o propósito de reduzir o custo do equipamento, pelo Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio Grande do

Sul (IF-UFRGS). Já foi utilizado em muitos estudos relacionados à poluição ambiental (Hanson e Nymann, 1983; Eldred et al, 1987; Orsini et al, 1982; Artaxo et al, 1990).

Tais amostradores baseiam-se no processo de filtração por impactação (o particulado é selecionado de acordo com seu tamanho, baseado no processo físico inercial, isto é, as partículas em suspensão depositam-se conforme diminuem seus tamanhos aerodinâmicos), (Kerr, 1983). A figura 3.2 (c), ilustra o sistema de coleta onde o AFG é preso por uma haste com aproximadamente 1m e 80cm de altura, ligado a uma bomba de vácuo diafragma, que realiza a sucção do ar amostrado durante 24 horas contínuas de amostragem.

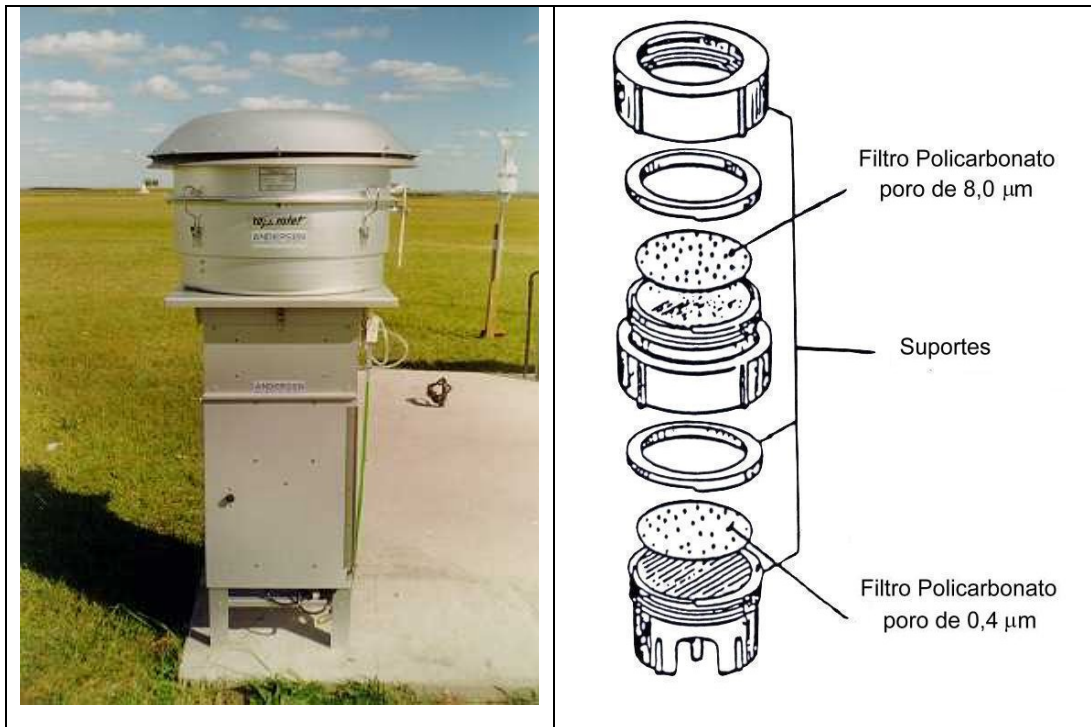


Figura 3.2 a - Amostrador HV PM₁₀
(Parker et al., 1977; Jonh et al., 1983)

Figura.3.2 b- Componentes AFG



Figura 3.2 c - Sistema de coleta AFG

3.3 Estações de Amostragem

As campanhas experimentais para coleta de particulado nas estações de amostragem utilizadas neste trabalho, fazem parte do projeto: “Estudo Ambiental Aplicando Modelos Numéricos na Região de Candiota – RS”. As estações de amostragem estão instaladas em posições específicas, previamente estudadas, conforme norma da Agência de Proteção Ambiental (EPA, ASTM D5111, 1996), e para tal, levam em consideração fatores importantes para a dispersão dos poluentes, como a direção predominante do vento (NE), as condições atmosféricas da região, distância de obstáculos que possam interferir na amostragem. Neste trabalho consideraram-se apenas duas estações de amostragem, cujas características estão representadas abaixo:

(a) Estação Três Lagoas

Localização: no campo da fazenda três lagoas, município de Candiota, nas imediações da residência da fazenda. O local fica à Sudoeste da Usina (fonte), a uma distância de aproximadamente 6 km, cuja elevação é de 215 metros acima do nível médio do mar (NMM), (Braga, 2002). Suas coordenadas geográficas são $31^{\circ}34'70''S$ e $53^{\circ}43'68''W$, (Moraes et al, 1996).

Equipamento: dois amostradores; Amostrador Fino e Grosso (AFG) e Amostrador de Grandes Volumes (HV PM_{10}). Os amostradores estão expostos sobre uma superfície gramada, a uma altura de aproximadamente 1m e 50cm do solo.

(b) Estação 8 de Agosto

Localização: Com uma altitude de 161 metros acima do NMM, a estação 8 de Agosto está situada junto a Escola Municipal, no distrito de 8 de Agosto, município de Candiota, à Sudoeste da UTPM e distando aproximadamente 18 km (Braga, 2002). As coordenadas geográficas do lugar são: $31^{\circ}40'31''S$ e $53^{\circ}49'74''W$ (Moraes et al, 1996).

Equipamento: dois amostradores; Amostrador Fino e Grosso (AFG) e Amostrador de Grandes Volumes (HV PM_{10}). Os amostradores estão expostos sobre uma superfície de concreto nas imediações da escola, a uma altura de aproximadamente 1m e 50cm do solo.

CAPITULO IV

A REGIÃO

4.1 A Área de Estudo

A área do presente estudo foi a região do Complexo Carboelétrico de Candiota, onde se localiza a Usina Termelétrica Presidente Médici, UTPM - também conhecida como Candiota II. O município de Candiota localiza-se na região Sudoeste do estado Rio Grande do Sul e distancia-se de aproximadamente 420 km da capital Porto Alegre, (figura 4.1).

4.2 Características Topográficas e Climatologia

Considerando o aspecto fisiográfico, Candiota insere-se na região do chamado pampa gaúcho entre as coordenadas geográficas $31^{\circ}17'35''$ / $32^{\circ}02'41''$ S de latitude e $54^{\circ}10'58''$ / $53^{\circ}18'35''$ W de longitude (Braga, 2002) possuindo uma elevação média de 320 metros acima do nível do mar. Esta região, em sua generalidade, caracteriza-se por apresentar durante toda sua extensão, terrenos planos, sem grandes elevações que possam inviabilizar a aplicação do modelo de dispersão utilizado aqui neste estudo.

Em relação à topografia a seu entorno, alguns fatores merecem serem destacados: a presença de um vale a nordeste da fonte de emissão com uma altura de 150 metros e a existência a sudoeste da fonte, a máxima elevação do terreno da região, da ordem de 420 metros de altura.

Climatologicamente caracteriza-se por apresentar estações bem definidas durante o ano inteiro. A direção do vento predominante nessa área é de nordeste, (Alves, 1996).

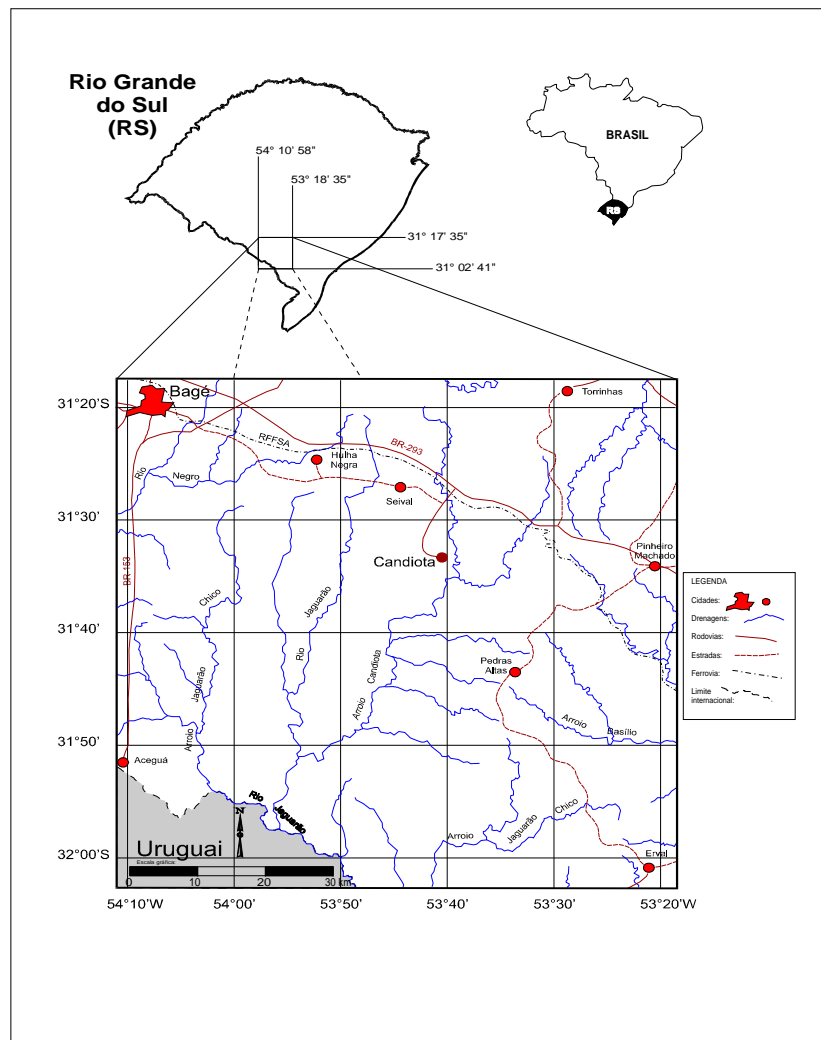


Figura 4.1: Mapa de localização da área de estudo.
 Fonte: Braga, 2002.

4.3 O Complexo Carboelétrico

Um complexo carboelétrico pode ser entendido como sendo um sistema gerador de energia composto no mínimo por uma usina termelétrica e uma mina de carvão mineral, que geralmente está situada muito próxima da usina. As minas de Candiota representam 38% das reservas de carvão do Brasil, com aproximadamente 12 bilhões de toneladas, o que a torna a maior reserva carbonífera do mineral, (CGTEE, 2003).

O complexo termelétrico de Candiota é constituído pela mina Candiota, pertencente à Companhia Riograndense de Mineração (CRM), e pela Usina Termelétrica Presidente

Médici - Candiota II - pertencente à Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTTE), e que dista de aproximadamente quatro quilômetros da área de mineração (Ciência Hoje, 1990).

A UTPM utiliza o carvão mineral para produção de energia elétrica, apresentando duas fases de operação: fase A, (inaugurada em 1974), com duas unidades geradoras, cada uma gerando 63 MW, e a fase B que entrou em operação em 1987, com mais duas unidades geradoras cada uma com 160 MW de potência, totalizando 446 MW de potência instalada.

Tramita ainda um projeto para um aumento em curto prazo, da sua capacidade de aproximadamente 350 MW de energia e a instalação da Usina Termelétrica Seival, de 500 MW, cuja responsabilidade caberá a Companhia de Pesquisa e Lavra Mineral, que juntamente com a Companhia Riograndense de Mineração, (CRM), detém as concessões de lavra de carvão na região (EIA-RIMA, 2000). Para o mês do estudo a produção média diária de energia na UTPM foi de 3324 MW (média diária de Jan/03), ocasionando um consumo de 3826 ton/dia de carvão e 62 ton/dia de óleo, consumindo um total de 118.615 toneladas/mês de carvão e 1921 toneladas de óleo combustível/mês. Quando está operando com a máxima potência (400 MW), a taxa de emissão máxima de SO₂ chega a 2200 g/s, (Alves, 1999).

O impacto ambiental gerado pelo Complexo carboelétrico (Usina + mina), é consequência das emissões originadas pela queima de carvão na usina termelétrica e pelos resíduos gerados na mina Candiota. A grande desvantagem desse carvão utilizado na queima pela usina, é o alto teor de matéria mineral que ele contém (média de 52 % de cinzas). Isso produz uma quantidade de resíduos de combustão anual da ordem de 670.209 ton/ano, se considerarmos como média os resíduos do mês Jan/03, da ordem de 55.850 toneladas, conforme mostra a tabela 4.3.

Esses resíduos compreendem as cinzas pesadas extraídas pelo fundo das caldeiras, cinzas leves abatidas pelos precipitadores eletrostáticos (um sistema de retenção de partículas que funciona por meio de atração eletrostática) e que são depositadas de volta na mina, e os gases de combustão que a chaminé da usina, com altura de 150 metros, espalha na atmosfera. Esses gases são constituídos de óxidos nitrogênio e óxidos de enxofre, metais volatilizados (alto poder de combustão) e partículas sólidas, ou, cinzas volantes, (Ciência Hoje, 1990).

Uma ilustração das interações ambientais no complexo carboelétrico Candiota pode ser observada através da figura 4.2.

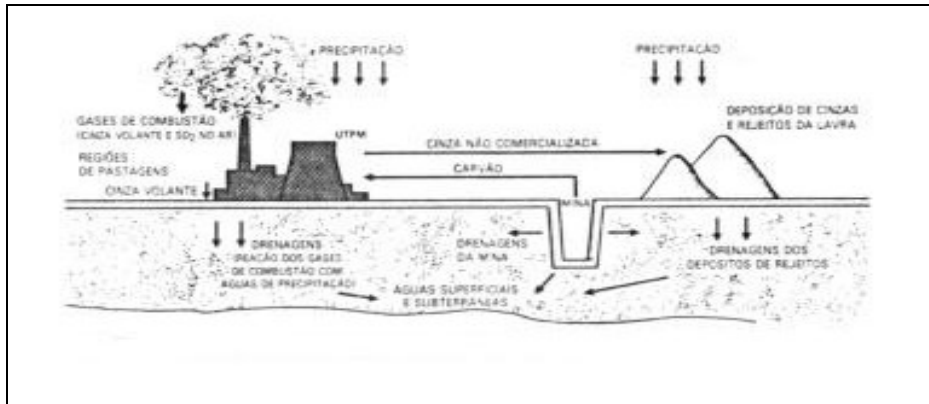


Figura 4.2: Interações ambientais no processo carboelétrico de Candiota.

Fonte: *Ciência Hoje*, 1990.

4.4 O Carvão

O carvão é uma rocha sedimentar originada da decomposição de substâncias orgânicas que sofrem profundas alterações físicas e químicas por efeito da ação térmica e de compressão. A mineração do carvão é feita a céu aberto, em baixa profundidade (máximo 40m) e o seu deslocamento é feito através de caminhões até o sistema de britagem de onde é levado por correias transportadoras até a usina termelétrica, onde, é pulverizado em moinhos e queimado nas caldeiras de geração de vapor, que alimentam as turbinas geradoras de eletricidade. Trata-se de um carvão sub-betuminoso, com poder calorífico oscilando entre 2600 a 3200 kcal/kg e umidade de 17%, (CGTEE, 2003). Uma relação entre o carvão queimado e a energia gerada pode ser visualizada na figura 4.3.

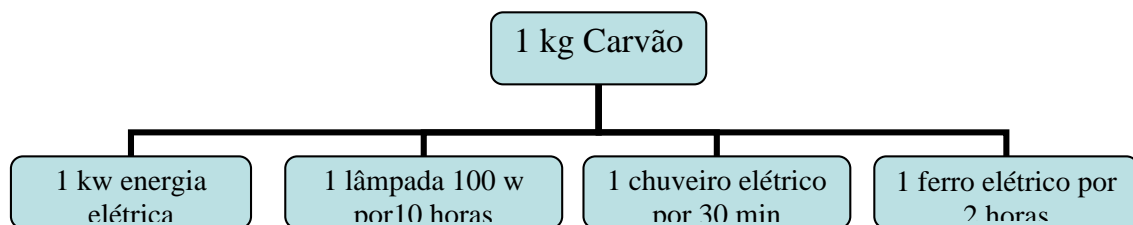


Figura 4.3: Exemplos de aplicação com a energia produzida com a queima do carvão. Fonte: *CGTEE*, 2003.

Tabela 4.3: Emissões em massa produzidas pela UTPM, mês de Janeiro 2003.

Fonte: CGTEE, 2003.

| Dia | Geriação (MWh) | Carvão Us (t) | Cinza Total (t) | Cinza Pesada (t) | Cinza Leve (t) | S carvão (t) | S óleo (t) | Carvão+PE | Cinza Leve Gás (t) | M ³ (gás) | SO ₂ (gás) |
|-----------|----------------|---------------|-----------------|------------------|----------------|--------------|------------|-----------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 4835,43 | 4374,93 | 2406,85 | 361,00 | 2045,85 | 54,88 | 0,87 | 1943,37 | 19,43 | 224,93 | 1.286,06 |
| 2 | 3845,96 | 2742,49 | 1508,84 | 226,30 | 1282,34 | 34,28 | 1,47 | 1218,23 | 12,18 | 141,00 | 827,64 |
| 3 | 1108,24 | 942,18 | 518,29 | 77,74 | 440,55 | 14,78 | 0,35 | 418,52 | 4,19 | 48,44 | 280,85 |
| 4 | 1106,73 | 1189,18 | 654,17 | 98,12 | 556,04 | 14,88 | 0,37 | 528,24 | 5,28 | 61,14 | 362,70 |
| 5 | 1934,27 | 1884,36 | 926,56 | 138,98 | 787,58 | 21,05 | 0,99 | 748,20 | 7,48 | 86,80 | 510,20 |
| 6 | 2280,44 | 2147,90 | 1181,58 | 177,23 | 1004,32 | 28,86 | 0,85 | 954,11 | 9,54 | 110,43 | 636,45 |
| 7 | 1128,57 | 1085,76 | 586,28 | 87,94 | 498,33 | 13,32 | 0,43 | 473,42 | 4,73 | 54,79 | 318,44 |
| 8 | 1172,85 | 1498,03 | 836,50 | 125,47 | 711,02 | 18,73 | 0,85 | 675,47 | 6,75 | 78,18 | 453,19 |
| 9 | 3759,92 | 3589,20 | 1986,54 | 297,83 | 1687,71 | 44,61 | 3,76 | 1603,33 | 16,03 | 185,57 | 1.119,67 |
| 10 | 3696,83 | 3229,99 | 1782,28 | 264,34 | 1487,94 | 40,37 | 0,61 | 1423,04 | 14,23 | 164,70 | 948,68 |
| 11 | 3834,54 | 4081,90 | 2236,88 | 335,53 | 1901,35 | 51,02 | 1,38 | 1806,28 | 18,06 | 209,06 | 1.213,02 |
| 12 | 4681,23 | 4284,86 | 2357,10 | 353,58 | 2003,53 | 53,56 | 0,78 | 1903,36 | 19,03 | 220,30 | 1.257,79 |
| 13 | 4834,45 | 4431,83 | 2500,86 | 375,10 | 2125,88 | 55,40 | 0,47 | 2019,28 | 20,19 | 233,71 | 1.293,15 |
| 14 | 4830,25 | 4637,45 | 2601,61 | 390,24 | 2211,37 | 57,97 | 0,38 | 2100,80 | 21,01 | 243,15 | 1.350,85 |
| 15 | 4853,96 | 4808,63 | 2694,28 | 404,14 | 2290,14 | 60,11 | 0,54 | 2175,63 | 21,76 | 251,81 | 1.403,91 |
| 16 | 4426,50 | 4702,07 | 2625,84 | 393,85 | 2231,79 | 58,78 | 0,86 | 2120,20 | 21,20 | 245,39 | 1.375,71 |
| 17 | 4834,12 | 4346,85 | 2462,93 | 389,44 | 2083,49 | 54,34 | 1,10 | 1988,81 | 19,88 | 230,19 | 1.283,13 |
| 18 | 4298,16 | 4505,41 | 2398,43 | 359,46 | 2038,96 | 56,32 | 1,46 | 1935,11 | 19,35 | 223,97 | 1.337,36 |
| 19 | 4636,34 | 4380,86 | 2317,03 | 347,56 | 1969,48 | 54,78 | 0,85 | 1871,01 | 18,71 | 216,55 | 1.287,26 |
| 20 | 4145,07 | 3668,14 | 1991,43 | 296,72 | 1692,72 | 45,85 | 1,55 | 1608,08 | 16,08 | 186,12 | 1.097,16 |
| 21 | 2818,30 | 2707,33 | 1413,63 | 212,04 | 1201,59 | 33,84 | 6,81 | 1141,51 | 11,42 | 132,12 | 936,39 |
| 22 | 2884,19 | 2353,63 | 1270,36 | 190,55 | 1079,81 | 29,42 | 4,15 | 1025,82 | 10,26 | 118,73 | 777,25 |
| 23 | 2806,98 | 2887,99 | 1809,25 | 241,39 | 1367,87 | 36,22 | 5,71 | 1289,47 | 12,89 | 150,40 | 970,89 |
| 24 | 4535,41 | 4879,88 | 2742,82 | 411,39 | 2331,23 | 61,00 | 0,82 | 2214,67 | 22,15 | 256,33 | 1.430,93 |
| 25 | 1731,73 | 2140,72 | 1172,04 | 175,81 | 986,24 | 26,78 | 1,43 | 946,42 | 9,46 | 109,54 | 652,57 |
| 26 | 5133,85 | 3353,19 | 1844,59 | 276,89 | 1567,90 | 41,91 | 2,61 | 1489,51 | 14,90 | 172,40 | 1.030,63 |
| 27 | 4236,12 | 4463,79 | 2507,54 | 376,13 | 2131,41 | 55,80 | 0,69 | 2024,84 | 20,25 | 234,36 | 1.307,80 |
| 28 | 3326,20 | 3261,26 | 1759,94 | 263,99 | 1495,95 | 40,77 | 1,79 | 1421,15 | 14,21 | 164,49 | 965,03 |
| 29 | 1834,99 | 1970,25 | 1084,62 | 162,69 | 921,93 | 24,63 | 1,08 | 875,63 | 8,76 | 101,37 | 595,05 |
| 30 | 2174,73 | 2461,74 | 1385,82 | 204,88 | 1181,04 | 30,77 | 2,45 | 1102,96 | 11,03 | 127,66 | 789,08 |
| 31 | 3772,98 | 3813,52 | 2082,37 | 312,38 | 1770,02 | 47,67 | 1,20 | 1681,52 | 16,82 | 194,62 | 1.131,19 |
| Soma | 103040,03 | 100895,31 | 55403,33 | 8310,50 | 47092,83 | 1257,44 | 48,03 | 44736,19 | 447,38 | 5.178,03 | 30219,22 |
| Média Dia | 3323,87 | 3226,31 | 1787,20 | 266,08 | 1519,12 | 40,56 | 1,56 | 1443,17 | 14,43 | 167,03 | 974,81 |

4.5 Principais Poluentes

Existem muitas definições relacionadas a esse agravante problema que toda a sociedade, tanto seres humanos como animais, plantas e vegetais, está sujeita que é a poluição atmosférica. A poluição atmosférica difere das outras formas de poluição por consistir-se de um processo irreversível com esse poluente após sua emissão para a atmosfera.(Cerqueira, 2000). Como já vimos anteriormente, às vezes pode ser causada por emissões naturais (geralmente em áreas ilimitadas e ambientes rurais), mas muitas vezes, ocorrem originadas pela ação exclusiva do homem (poluições antropogênicas), podendo ser mais significantes em meio urbanos e industriais, sendo seus efeitos mais severos devido às concentrações dessas emissões serem em áreas mais limitadas. Nas proximidades das fontes, os gases abandonados destroem a qualidade do ar em áreas urbanas, agrícolas e industriais. A média e longas distâncias produzem a chuva ácida e em escala global, contribuem na formação do buraco na camada de ozônio, (Carvalho, 2000).

Enquanto os níveis de poluição natural podem ser considerados constantes no tempo, os níveis de poluição ocasionada pelo ser humano vêm aumentando consideravelmente (Carvalho, 2000). Por outro lado, avanços importantes no que se refere ao problema da poluição do ar localizada em regiões urbanas e zonas industriais, vêm ocorrendo. Através do controle da qualidade do ar por órgãos competentes e instituições governamentais, que buscam uma maior proteção ao ecossistema e uma melhor qualidade de vida á população, as indústrias pressionadas pelas regulamentações ambientais, estão controlando cada vez mais e se apropriando de ferramentas adequadas para controle dessas emissões de poluentes.

Quando se observa a concentração de determinado poluente na atmosfera, estamos falando no grau de exposição dos receptores após a emissão desse poluente para atmosfera. Com relação aos efeitos provocados pelos poluentes, dentre os fatores que determinarão a gravidade de tais efeitos, se fazem indiscutíveis principalmente dois: a concentração dos poluentes e o tempo de exposição, constituindo-se no que podemos chamar de efeitos agudos e crônicos. Intoxicações agudas se diagnosticam, quando se tem uma exposição com tempo de duração curto a altas concentrações, os efeitos crônicos aparecem em situações com exposições longas com doses de concentrações mais baixas (Seifeld, 1986). Existem ainda os fatores de sensibilidade de cada pessoa que poderá determinar maior ou

menor severidade dos efeitos, como por exemplo: a idade (crianças, idosos, indivíduos com problemas respiratórios e cardíacos), o estado nutricional, o volume de ar inalado (crianças inalam em média 2 vezes mais ar que adultos, pessoas em atividades esportivas inalam até 5 vezes mais ar/min), (Cerqueira 2000).

De acordo com Seinfeld (1986) e Lyons (1990), se consideram geralmente como poluentes atmosféricos substâncias classificadas como:

- ▶ Material Particulado – Partículas Totais em Suspensão (mistura de compostos no estado sólido ou líquido);
- ▶ Compostos de Nitrogênio – óxidos (NO, NO₂), amônia (NH₃), ácido nítrico (HNO₃);
- ▶ Compostos de Enxofre – óxidos (SO₂, SO₃), gás sulfídrico (H₂S), SULFATOS (SO₄⁻²);
- ▶ Monóxidos de Carbono;
- ▶ Compostos Halogenados – ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), cloretos, fluoretos;
- ▶ Compostos orgânicos – hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos.

Cabe salientar que neste estudo foram analisadas apenas as concentrações em massa de Material Particulado (PM₁₀) e Dióxido de Enxofre (SO₂).

Em relação aos limites para os níveis de emissão de poluentes, o Conselho Nacional de do Meio Ambiente –CONAMA- em sua resolução n°3 de 28/08/90 com base no Programa Nacional de Qualidade do Ar –PRONAR-, estabelece em níveis nacionais padrões de qualidade do ar – indicadores, cujas concentrações quando ultrapassadas poderão afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população, bem como, ocasionar danos à fauna, a flora e ao meio ambiente em geral - em função da maior frequência de ocorrência e devido aos efeitos desfavoráveis que os contaminantes causam.

De acordo com a resolução cima, os seguintes padrões de qualidade do ar foram determinados:

- ▶ Padrão Primário: Concentração de poluentes atmosféricos que quando ultrapassada poderá afetar a saúde da população atingida e danos ao meio ambiente em geral.

- ▶ Padrão Secundário: Concentração que quando não ultrapassada, se prevê o mínimo de efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como, danos à fauna e a flora e ao meio ambiente.

A Tabela abaixo apresenta os padrões determinados pelo CONAMA:

Tabela 4.5: Padrões Qualidade do ar - CONAMA

| Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Resolução CONAMA 03 de 28/05/90 | | | |
|---|--|--|---------------------------|
| <i>Poluente</i> | <i>Padrão Primário</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | <i>Padrão Secundário</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | <i>Tempo para amostra</i> |
| <i>PM₁₀</i> | 150 m.d 50 m.a | 150 m.d 50 m.a | 24 horas anual |
| <i>SO₂</i> | 365 m.d 80 m.a | 100 m.d 40 m.a | 24 horas anual |

m.d: média diária **m.a:** média anual **PM₁₀:** Material Particulado

SO₂: Dióxido de Enxofre **OBS:** Para ambos poluentes, os valores de concentração média diária não podem ser excedidos mais de uma vez no ano.

Um exemplo para ilustrar o perigo da exposição à poluição atmosférica, é uma reportagem publicada na agência Estado no ano de 1997, onde uma equipe da faculdade de medicina da USP analisou fragmentos dos pulmões de pessoas que morreram por acidente ou nas ruas, e foram necropsiadas. Foram analisados fragmentos de habitantes de Guarulhos, cidade altamente industrializada da grande São Paulo, e do interior do Estado. Os tecidos dos habitantes de Guarulhos, independentemente da causa da morte, apresentavam inflamações nas pequenas vias aéreas, o que não foi observado nos pacientes do interior. As possíveis interferências da exposição a contaminantes ocupacionais ou de outras doenças, nos resultados, foram eliminadas através de questionários, respondidos pelos familiares dos necropsiados. “Nossos resultados confirmam um estudo feito nos EUA, em 16 cidades do Meio-Oeste, que concluíram ser a poluição a responsável pela redução em até 2 anos a expectativa de vida dos habitantes das cidades mais poluídas”, observa o médico chefe da Equipe.

4.5.1 Material Particulado (MP)

As partículas existentes na atmosfera são “denominadas, ou qualificadas” pela maneira através da qual são medidas. De acordo com a resolução 03/90 do CONAMA, o material particulado pode ser representado por: Partículas Totais em Suspensão (PTS), (partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 50 μm), Partículas Inaláveis (PI, PM_{10} , partículas com diâmetro menor que 10 μm), Fumaça (teor de fuligem na atmosfera).

Impulsionados pelo crescimento industrial e a pela hiperurbanização dos países em desenvolvimento, nos últimos anos foi dedicada especial reflexão aos efeitos das partículas e assim sendo, as medições tradicionais de Partículas Totais em Suspensão (PTS) estão sendo substituídas pela medição de partículas que representam um maior risco à saúde, (Elsom, 1989).

Várias denominações são utilizadas para definir material particulado. Algumas delas pelos métodos originais, tais como, material particulado suspenso, partículas totais em suspensão e fumaça preta. Essas partículas presentes na atmosfera podem ser provenientes de fontes naturais - vulcões (principalmente), ação do vento sobre o solo, poeira, aerossol marinho, etc., como também, oriundas de emissões antropogênicas, como queima de combustíveis fósseis, processos industriais, tráfego rodoviário, entre outras.

Existem também, algumas definições que se referem ao local de deposição de partículas aspiradas no trato respiratório, tais como, as partículas inaláveis (PI ou PM_{10}). A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), baseada em estudos recentes a respeito da correlação efeito – risco, recomenda as medidas dessas partículas como sendo os melhores indicadores dos efeitos relacionados à saúde. Subdividem-se em partículas inaláveis grossas cujo diâmetro aerodinâmico é maior que 2,5 μm (emitidas normalmente por fontes naturais), e partículas inaláveis finas, com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 μm (emitidas normalmente pelos processos de combustão e reações químicas na atmosfera), (Who, 1987). Uma relação entre o tamanho das partículas e seus efeitos, pode ser estabelecida, afirmando que quanto menores o tamanho das partículas, maiores serão os riscos sobre a saúde. As partículas mais finas podem transportar substâncias tóxicas (sulfatos, nitratos, metais pesados, hidrocarbonetos) para as vias respiratórias inferiores, acentuando seus efeitos. Em se tratando das PM_{10} , suas maiores preocupações, segundo Cerqueira, variam desde irritação nasal, tosse até bronquite e asma, podendo levar à morte

(Cerqueira 2000). A fração mais fina das PM_{10} , é que pode apresentar a maior gravidade entre os efeitos sobre a saúde, pois essa porção de partículas influencia diretamente no trato respiratório, podendo penetrar profundamente nos pulmões e atingir os alvéolos pulmonares, ocasionando além dificuldades respiratórias, em muitos casos, danos permanentes.

As partículas menores da fração fina, ou seja, partículas com diâmetro aerodinâmico menor que $1\mu m$, conforme o autor, ficam, em suspensão na atmosfera, podendo ser levadas a grandes distâncias (centenas, milhares de km). Já a fração grossa (maiores $2,5\mu m$), são removidas rapidamente por precipitação atmosférica e sedimentação.

Da mesma forma, os efeitos relacionados às plantas são tais que as partículas de sulfato e nitrato, comuns em grandes áreas urbanas, em decorrência de queima de combustíveis à base de petróleo, interagem com umidade do ar sobre as folhas, resultando na formação de ácidos que queimam e furam as folhas.

4.5.2 Dióxido de Enxofre (SO_2)

Estudos relacionados à deposição de Dióxido de Enxofre (SO_2) na atmosfera denotam que durante os últimos vinte anos, suas emissões nos países industrializados tiveram um considerável decréscimo, devido provavelmente às mudanças nos tipos ou nas quantidades do combustível utilizado nas atividades industriais.

A ocorrência de Dióxido de Enxofre (SO_2) de forma natural na atmosfera resulta essencialmente de atividades vulcânicas e é caracterizada pelo fato de ser um gás incolor e muito solúvel em água. O SO_2 emitido antropogenicamente é resultado de processos industriais, e oriundo da queima de combustíveis fósseis, de modo particular, do setor de produção de energia. Pode ser também lançado para a atmosfera em pequenas doses em veículos automotores a diesel. Desse modo, pode ser considerado um poluente antropogênico primário (Cunha, 2002).

Os efeitos dos gases na saúde humana estão diretamente relacionados com a sua solubilidade nas paredes do aparelho respiratório, e essa solubilidade é que prediz a quantidade do poluente capaz de atingir as partes mais profundas do aparelho respiratório. Assim, quanto mais solúvel em água for o gás, mais profundamente penetra no aparelho respiratório.

O SO_2 é um gás muito solúvel em água, incolor, irritante para as mucosas dos olhos e vias respiratórias, podendo apresentar efeitos agudos e crônicos na saúde, mais especificamente no sistema respiratório, quando observado em altas concentrações.

Uma Intoxicação crônica é acarretada por uma exposição prolongada a pequenas doses desse poluente, já a intoxicação aguda seria a exposição de curta duração a doses elevadas na atmosfera. Efeitos crônicos de Dióxido de Enxofre, por exemplo, podem apresentar aumento da ocorrência de bronquites, longos resfriados e supressão (alteração) no sistema imunológico. O “smog” (fumaça) de Londres de Dezembro de 1952, que resultou em 4000 mortes é uma ilustração real do extremo perigo associado ao SO_2 (Zanneti, 1990). Além dessas enfermidades, também podem aumentar os problemas cardiovasculares devido ao seu impacto na função respiratória (Seinfeld, 1986).

O Enxofre liberado na queima de combustível combina-se com o oxigênio do ar formando o SO_2 , que após a oxidação pode ser transformado em SO_3 (trióxido de enxofre). Na presença da umidade do ar, este composto dá origem ao Ácido Sulfúrico e respectivos sais, contribuindo dessa forma para a formação da chuva ácida, responsável pela acidificação das águas e dos solos.

Nas plantas, altas concentrações de SO_2 podem provocar mudanças no seu metabolismo, dentre as quais se destacam a redução da taxa de crescimento e a redução da taxa fotossintética, especialmente quando combinadas com condições adversas como baixas temperaturas. Também pode ser observado o aparecimento de necroses e aumento da sua sensibilidade ao gelo e aos parasitas (Cunha, 2002).

De acordo com Seinfeld, (1986), a deposição seca e úmida do SO_2 sobre edificações e materiais de construção acarretam a corrosão, além de acelerarem o processo de envelhecimento e degradação.

CAPITULO V

CAMADA LIMITE PLANETÁRIA

5.1 A Camada Limite Planetária (CLP)

A maioria dos fenômenos de poluição do ar ocorre na parte mais baixa da atmosfera, chamada de Camada Limite Planetária (CLP). O estudo da dispersão de poluentes nessa camada, é um fator importante em problemas que envolvem a qualidade do ar. Sabe-se que o processo de modelagem da pluma de contaminantes está diretamente relacionado aos processos de modelagem da Camada limite e de conhecimentos dos parâmetros meteorológicos envolvidos.

O transporte turbulento de espécies entre a superfície da terra e a atmosfera ocorre na CLP, pois, esta região é diretamente influenciada pela superfície da terra, e que responde aos forçantes superficiais em uma escala de tempo de menos de uma hora. A espessura desta camada é uma função direta dos forçantes térmicos e mecânicos, e é muito variável com o tempo e espaço, desde centenas de metros até poucos Kilômetros, conforme figura 5.1 (Stull, 1988).

Na Camada Limite Planetária, o transporte de espécies como umidade, calor, poluentes..., é feito na horizontal pelo vento médio (também chamado de advecção), e na vertical pela turbulência, a qual é constituída de vários turbilhões (redemoinhos) ou “eddies”, que se sobrepõem, e cujos tamanhos são bastante variados (da ordem de 1mm até 3000 mts de diâmetro), sendo que, as maiores escalas de turbilhões são da ordem da altura da camada limite. A intensidade desses turbilhões define o espectro da turbulência. A maior parte da turbulência da camada limite é gerada por forçantes superficiais como o aquecimento solar (turbulência térmica) e o cisalhamento provocado pelos ventos (turbulência mecânica). Assim, pode-se afirmar que a turbulência é a principal característica da CLP.

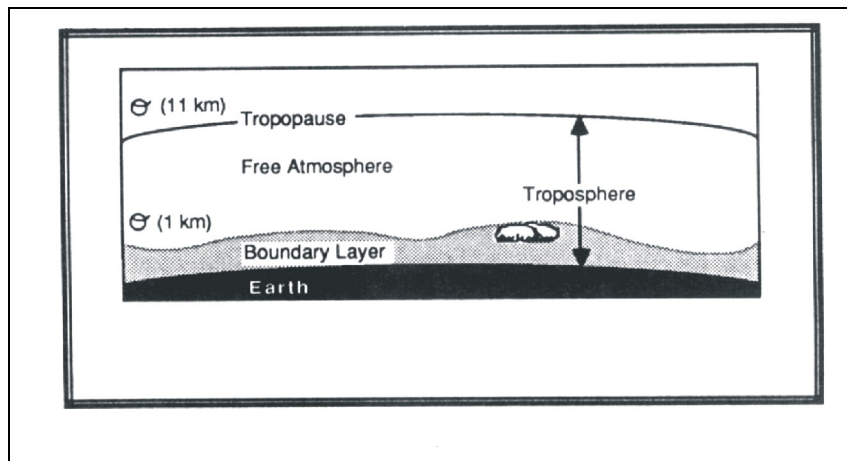


Figura 5.1: A Camada Limite Planetária

Fonte: Stull, 1988.

5.2 Estrutura da Camada Limite Planetária

Sua divisão é feita de acordo com os processos físicos e de mistura que nela ocorrem, podendo ser classificada como: Camada Superficial (CS), Camada Limite Convectiva ou Camada de Mistura (CLC), Camada Residual (CR), Camada Limite Estável (CLE), de acordo com a figura 4.2.

A camada superficial está logo acima da superfície da terra, bem próximo do solo. Nela os fluxos turbulentos e tensões variam em menos de 10% de sua magnitude total e os efeitos da turbulência estão sempre presentes, não importando se a camada é diurna ou noturna. Assim sendo, possui uma altura de aproximadamente 10% da altura da Camada Limite Planetária.

Ventos horizontais da ordem de 2 a 10 m/s são geralmente encontrados na camada superficial. Devido ao mecanismo de atrito, o vento médio próximo ao solo tem menor intensidade e os ventos médios verticais são bem mais fracos e da ordem de mm à cm/s.

Esta camada é caracterizada pela existência de forte turbulência, devido ao fato de estar mais próximo à superfície do solo. A ocorrência dessa turbulência próxima ao solo é uma característica que faz com que a camada limite seja diferente do resto da atmosfera.

A Camada Limite Convectiva – CLC é a parte da atmosfera mais diretamente afetada pelo aquecimento solar. É caracterizada por uma forte mistura vertical, a qual, é provocada

por movimentos convectivos bem organizados. Esta camada se estende do solo ($z=0$), até a base da primeira inversão ($z=z_i$) e esta é a altura da camada limite convectiva.

Desenvolve-se durante o dia, e é uma camada instável. Começa seu desenvolvimento, mais ou menos meia hora após o nascer do sol, atingindo sua maior espessura à tarde. Esta camada é alimentada pela energia turbulenta da superfície, ou seja, pelos fluxos turbulentos de calor da superfície para a atmosfera. Assim, a turbulência na camada limite convectiva é originada pela convecção térmica e tende a misturar calor, umidade e “momentum”. Os forçantes convectivos incluem transferência de calor da superfície da terra aquecida, que gera as termas (massas de ar quente em suspensão a partir do solo) e o resfriamento radiativo do topo da camada de nuvens, que gera as termas de ar frio (que descem do topo das nuvens em direção ao solo), (Correa, 1997).

Quando temos uma situação de dia com céu claro, o crescimento da CLC é originado principalmente pelo aquecimento do solo. Quando aquecimento da camada de mistura convectiva é muito intenso, a pluma é transportada rapidamente para o solo, pois ocorrem grandes turbilhões. A camada de mistura limita a dispersão de poluentes lançados para a atmosfera, influenciando no comportamento da pluma.

Quando, a superfície da terra já não é mais aquecida, por volta de meia hora antes do por do sol, começa a haver uma diminuição e a dissipação da turbulência convectiva, ou seja, ocorre a perda da principal fonte de energia, originando então a Camada de mistura Residual. Esta é estratificada naturalmente (a atmosfera começa a se resfriar), e a turbulência nessa camada tem intensidade praticamente igual em todas as direções, e como consequência as plumas de contaminantes emitidas dispersam-se também em todas as direções. Temos um perfil em forma de cone, na saída das chaminés. Pode ser também nomeada de Camada Residual devido as variáveis de concentração e meteorológicas iniciais serem da mesma camada de convecção (mistura) recentemente enfraquecida.

Estudos mostram que meia hora antes do por do sol, o fluxo turbulento de calor, torna-se negativo, assim, o forçante básico (grandes turbilhões) que mantém a estrutura da camada limite convectiva desaparece. Como consequência, começa o resfriamento da atmosfera por radiação de onda longa e inicia-se o processo de formação de uma camada limite estável (CLE). A estrutura desta camada depende basicamente de dois tipos de resfriamento: o resfriamento radiativo (infravermelho) e o resfriamento turbulento (caracterizado pelo transporte turbulento de calor sensível). Então, esta camada caracteriza-se por ter ar

estaticamente estável, turbulência esporádica, e a ocorrência dessa camada é durante o ciclo noturno.

Na camada limite estável, após essa mudança de fluxo na superfície, a turbulência começa a decair e pequenos turbilhões isotrópicos passam a dominá-la, ocasionando uma estrutura turbulenta estavelmente estratificada, a qual, é dominada pela taxa de resfriamento radiativo, e pela advecção da turbulência mecânica.

As condições típicas para um eficiente resfriamento à superfície e da atmosfera por radiação são: céu claro, ventos fracos e baixa umidade. Em uma situação em que ocorram todas essas exigências, forma-se uma camada de inversão bem alta, que é observada geralmente antes da meia noite (Duckworth e Sandberg, 1954; Ackerman et al).

Em outra situação quando ocorre à presença do cisalhamento do vento, há a formação de turbulência mecânica na camada limite estável. Neste caso, o fluxo turbulento de calor ocorre de cima para baixo e tende a reduzir o grau de intensidade da inversão, levando a um resfriamento turbulento a parte inferior da camada limite atmosférica.

A competição entre esses dois processos de resfriamento, o radiativo e o turbulento, define os padrões dominantes de uma camada limite estável.

Quando temos domínio de resfriamento radiativo, a inversão é acentuada e a turbulência é fraca e intermitente (pela ausência de grandes turbilhões), o que leva um desacoplamento entre as diferentes partes da CLE e favorecendo a formação dos jatos de baixos níveis. Esse jato além de acentuar o cisalhamento gerando turbulência localizada, pode transportar contaminantes a longas distâncias da fonte. Dentro de uma camada limite estável, por exemplo, os poluentes lançados se dispersam mais lentamente na vertical e muito rapidamente na horizontal.

Com o estado estável da camada limite, à noite, a dispersão de poluentes tem relação direta com a altura das chaminés. Em áreas elevadas da camada limite estável, alturas da ordem de 150 m ou mais, o contaminante sofre uma pequena mistura vertical. A dispersão vertical da pluma é bastante reduzida. Ela pode percorrer dezenas de quilômetros sem sofrer qualquer dispersão vertical apreciável. Os turbilhões no caso estável são bastante reduzidos e o campo de turbulência nas altas camadas pode ser bem homogêneo. Assim, à noite, com chaminés altas impede-se as regiões vizinhas à fonte de serem atingidas pela poluição. As plumas elevadas podem viajar a longas distâncias e atingir regiões remotas, com um alto grau de concentração (Alves, 1996).

Na situação contrária: Quando se tem resfriamento turbulento, a presença de turbilhões tende a gerar uma camada contínua de mistura, que acopla (junta) as diferentes partes da camada limite estável.

As escalas verticais destes parâmetros na camada limite estável, estão diretamente ligadas com o comportamento da dispersão de poluentes e afetam também a duração e a intensidade dos fenômenos meteorológicos.

Pode se distinguir algumas diferenças sensíveis de profundidade devido a sua natureza entre a altura de inversão e a altura da camada de mistura turbulenta (CMT). Por exemplo, esta camada pode ser bem menor que a profundidade da inversão e também podem ocorrer de a camada de mistura turbulenta ser bem desenvolvida, e ter a mesma ordem de grandeza da inversão (Correa, 1997).

Essas diferenças entre profundidades são diretamente influenciadas pelo balanço de resfriamento radiativo de onda longa em céu claro e a advecção ou diminuição da intensidade da turbulência.

A Camada Neutra Caracteriza-se por existir em dias cobertos por nuvem e de ventos fortes, e pode se observada, durante o dia ou à noite. Nessa situação (atmosfera neutra), a pluma de contaminantes apresenta uma forma de cone horizontal bem visível, fazendo com que o poluente percorra uma grande distância até alcançar o solo. Quando há convecção, a pluma atinge o solo em distâncias próximas à fonte de emissão. Os fluxos turbulentos, na situação de atmosfera neutra têm a mesma dimensão nas três direções espaciais, x, y, z.

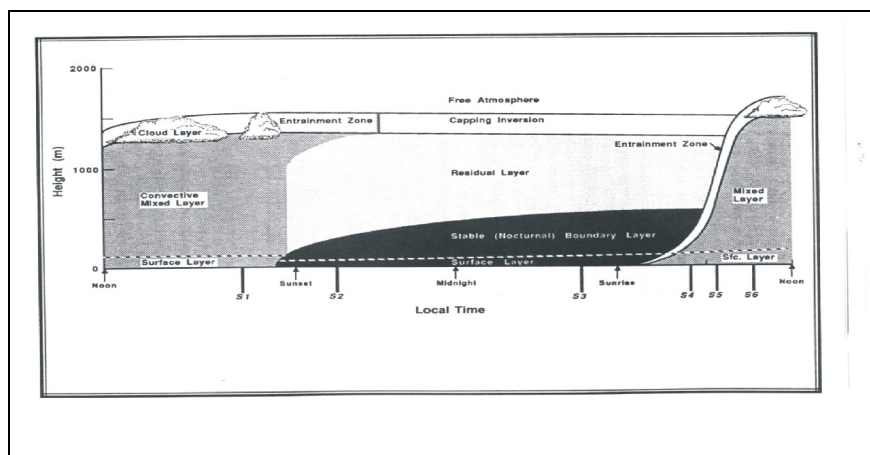


Figura 5.2: Estrutura da Camada Limite Planetária
Fonte: Stull, 1988.

5.3 A Estabilidade Atmosférica

Quando nos referimos à estabilidade da atmosfera, estamos admitindo que ela acontece de acordo com a seguinte maneira:

i) Atmosfera Estável - Esta condição é frequentemente encontrada na superfície, durante noites claras (céu claro), com ventos fracos. Sob esta condição, a temperatura não diminui rapidamente com a altura. Nesta camada os movimentos verticais são parcialmente limitados, e uma camada de mistura baixa é observada. Essa situação é desfavorável para a dispersão.

ii) Atmosfera Instável - Condições instáveis, são tipicamente observadas durante o dia, com fluxo positivo de calor do solo (condições de insolação). A temperatura diminui mais rapidamente com a altura e há um forte movimento vertical, nessas condições. Com isso a altura da camada de mistura torna-se maior, contribuindo assim para uma melhor dispersão de contaminantes.

iii) Atmosfera Neutra - Quando não existe troca de calor com o ambiente. O movimento vertical é nulo. É caracterizado pela presença de um perfil vertical adiabático de temperatura. Estas condições ocorrem durante a transição dia – noite, dias nublados, ou com fortes ventos (maiores que 6 m/s, até 10 m de altura).

Apresenta-se a uma situação de estabilidade atmosférica, quando temos próximo da superfície uma camada de ar mais frio e, sobre esta, um outro ar mais quente. Essa estabilidade atmosférica pode ser classificada segundo Stern (1967), através de vários métodos ou parâmetros, entre os quais podemos destacar:

- a) Métodos Empíricos: o método desenvolvido por Pasquill e mais tarde modificado por Turner (1970), que é o geralmente mais utilizado.
- b) Métodos Não Empíricos: o Fluxo do número de Richardson (R_f), Gradiente do número de Richardson (R_i), e o comprimento de Monin – Obukov.

a) Métodos Empíricos:

A partir de meados dos anos sessenta, (Pasquill, 1961, Turner 1967, mais adiante Slade 1968), começaram a serem realizados experimentos relacionados à difusão turbulenta. Calcularam-se então valores para os coeficientes de difusão turbulenta a partir

de emissões controladas, sob diversas condições atmosféricas, onde se verificou a distribuição de concentrações de contaminantes na atmosfera. Os resultados foram adaptados graficamente por Gifford (1976) fornecendo as classes de estabilidades (tabela 5.2.1) e também os valores mais freqüentemente utilizados.

Tabela 5.2.1: Classificação da Turbulência Pasquill / Gifford (1976).

| Vento na Superfície | Dia | | | Noite | |
|-------------------------|----------------|-----------------|--------------|----------------------|---------------|
| | Radiação Solar | | | Nublado | |
| | | | | $\geq 4/8$ | $\leq 3/8$ |
| <i>Velocidade (m/s)</i> | <i>Forte</i> | <i>Moderada</i> | <i>Fraca</i> | <i>Nuvens Baixas</i> | <i>Nuvens</i> |
| < 2 | A | A – B | B | | |
| 2 – 3 | A – B | B | C | E | F |
| 3 – 5 | B | B – C | C | D | E |
| 5 – 6 | C | C – D | D | D | D |
| ≥ 6 | C | D | D | D | D |

Tabela 5.2.2: Classes de estabilidade de Pasquill / Gifford (1976)

| |
|--------------------------------------|
| A: Condições extremamente instáveis |
| B: Condições moderadamente instáveis |
| C: Condições fracamente instáveis |
| D: Condições Neutras |
| E: Condições fracamente Estáveis |
| F: Condições moderadamente Estáveis |

Embora que se tente estabelecer (através de formulações) valores para os coeficientes de difusão atmosféricos para a Pluma Gaussiana, acaba-se sempre ajustando empiricamente esses valores a experimentos controlados. A grande não homogeneidade da turbulência (em função das características de cada região), pediria uma determinação local dos ajustes empíricos.

Baseados em estudos, pode-se afirmar que a caracterização da estabilidade atmosférica pelo método de Pasquill / Gifford é a mais normalmente utilizada, pois na ausência de medidas de turbulência, para se estimar os coeficientes de dispersão, a atmosfera é considerável estável. Assim, para classificar o estado turbulento da atmosfera, associa as características da CLP com observações meteorológicas habituais.

(b) Métodos não Empíricos, / Semi-Empíricos:

i) Os Números de Richardson (R_f e R_i) quando positivos correspondem a condições de atmosfera estáveis, quando negativos, à condições instáveis, quando igual a zero, a condições neutras.

$$\text{onde : } R_i = \frac{z}{L}, \text{ para condições instáveis e } R_i = \frac{z/L}{1 + 5z/L}, \text{ para condições estáveis.}$$

Uma maneira mais fácil que medir R_i , é medir o tamanho do número de Richardson R_b :

$$R_b = \frac{gz}{T} \frac{\partial T / \partial z + \gamma_d}{u^2}, \text{ o qual se relaciona com } R_i \text{ por: } R_i = \frac{R_b}{r^2},$$

onde r é o expoente da potência $u(z) = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^r$, que melhor ajusta o perfil do vento, (o nível z_1 é arbitrário). Um valor típico de r para terreno plano é $1/7$, enquanto para terreno rugoso é mais que duas vezes esse valor.

Uma relação entre fluxo do número de Richardson, R_f , e gradiente do número de Richardson, R_i , pode enfim ser obtida:

$$R_f = \frac{K_h}{K_m} R_i.$$

ii) Comprimento de Monin-Obukov (L): onde se convencionou para $L > 0$ condições estáveis, $L = 0$ condições neutras, e para $1/L < 0$ condições instáveis. O comprimento de Monin-Obukov pode ser dado por:

$$L = \frac{-\overline{\theta}_v u_*^3}{kg (\overline{w'\theta_v'})_s}$$

onde: u_* = Velocidade de atrito

$\overline{\theta}_v$ = Temperatura Potencial Virtual

$\overline{w'\theta_v'}$ = Fluxo vertical Turbulento

K = Constante de Von Karman

g = aceleração da gravidade

z = Altura

CAPITULO VI

DISPERSÃO DE POLUENTES

6.1 A Dispersão dos Poluentes Atmosféricos

A diluição e a distribuição pela atmosfera das partículas e dos resíduos contaminantes (gases de combustão, cinzas), a partir de sua emissão, ainda é uma questão que merece ser discutida, quando nos referimos ao processo de difusão na atmosfera: Uma questão ficaria em discussão: Qual seria o papel desempenhado pela atmosfera, como se dá a redistribuição para a atmosfera?

Sabe-se que a maior capacidade de dispersão da atmosfera, advém de sua natureza turbulenta. Os problemas meteorológicos relacionados com regiões industriais e populosas, em sua maior parte, são também governados pela difusão turbulenta. Essa turbulência atmosférica é uma propriedade de fácil identificação, mas de difícil definição, que cuja composição é de movimentos irregulares e caóticos que estão presentes em todos os escoamentos de aplicações práticas. Conforme vimos, afirma-se que a turbulência atmosférica é a principal característica da Camada Limite Planetária (CLP) e que ela é a responsável pela resposta desta camada limite planetária as mudanças relacionadas aos forçantes térmicos ou mecânicos, próximos à superfície (Alves,1996). Afirma-se também, que a turbulência é varias ordens de grandeza mais efetiva para o transporte de contaminantes, ou de qualquer quantidade física (calor, momentum...) que a viscosidade molecular.

Os modelos de dispersão atmosféricos aplicados para o cálculo da dispersão de um poluente, ensinam a conhecer os problemas mais complexos dos processos relacionados à difusão turbulenta e dos transportes turbulentos que acontecem na atmosfera, ou seja, de onde vem o poluente e para onde ele vai. Esses modelos são baseados em equações matemáticas e permitem conhecer como os termos destas equações agem na dispersão dos contaminantes para a atmosfera. Ao parametrizarmos cada equação, pode-se ter uma visão

de qual é a contribuição de cada termo para a solução de determinado problema. Assim, além da matemática destes modelos é necessário conhecer também a física da atmosfera onde ocorre tal dispersão.

6.2 O Modelo de Pluma Gaussiana

O modelo de Pluma Gaussiana é normalmente aplicado, quando se quer estimar as distribuições de concentrações à partir de determinada emissão industrial, estabelecendo-se condições de contorno para a movimentação do ar em torno dessa emissão. Esse modelo é a solução da equação de Difusão - Advecção, a qual descreve matematicamente os processos de transporte e difusão turbulenta que ocorrem na atmosfera. Considera que a dispersão de uma pluma lançada na atmosfera pontualmente se dá de tal modo que a concentração dos poluentes na pluma, em relação à posição fixa da fonte, exhibe um comportamento Gaussiano. Isto pode ser exemplificado ao se observar emissões de plumas por chaminés, sob condições atmosféricas favoráveis. Uma fotografia de exposição prolongada revelaria tal comportamento Gaussiano ao longo do tempo (Kerr, 1983).

A equação diferencial, que tem sido ponto de partida em grande parte da solução de problemas no tratamento da difusão de poluentes, será desenvolvida a seguir. Cabe ressaltar aqui, que as simplificações introduzidas para desenvolver teoricamente o modelo de Pluma Gaussiana estão longe das condições encontradas na realidade, mas é o modelo mais utilizado porque (Hanna, 1982):

- a) É simples de operá-lo matematicamente.
- b) Produz resultados que condizem com dados experimentais.
- c). É consistente com natureza aleatória da turbulência.
- d) É uma possível solução para a equação da continuidade.
- e) Utilizado em vários experimentos, alcançando excelente aprovação.

6.2.1 Desenvolvimento Matemático do modelo de Pluma Gaussiana

Partindo-se da equação da continuidade, sendo c a concentração local, unidades de massa por unidades de volume do fluido e admitindo o fluido (ar) incompressível, a equação da continuidade pode ser escrita na forma (Seinfeld, 1986):

$$\frac{dc}{dt} = 0$$

onde:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x}(c) + v \frac{\partial}{\partial y}(c) + w \frac{\partial}{\partial z}(c) = 0$$

ou seja:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \left(\frac{\partial}{\partial x}(uc) + \frac{\partial}{\partial y}(vc) + \frac{\partial}{\partial z}(wc) \right) \quad (6.1)$$

onde:

c – concentração do poluente

u – velocidade horizontal do vento

v – velocidade meridional do vento

w – velocidade vertical do vento

t – tempo

x,y,z, - coordenadas de posição

Uma aproximação usual para esse estudo, é supor que as variáveis são decompostas em uma parte média (efeito das quantidades médias) e uma parte perturbada, flutuante (efeito da turbulência), isto é:

$$u = \bar{u} + u' \quad v = \bar{v} + v' \quad w = \bar{w} + w' \quad c = \bar{c} + c'$$

Aplicando agora a média de Reynolds, a equação 6.1 fica:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \left[\frac{\partial}{\partial x}(\overline{u'c'}) + \frac{\partial}{\partial y}(\overline{v'c'}) + \frac{\partial}{\partial z}(\overline{w'c'}) \right] \quad (6.2)$$

Através do fechamento de primeira ordem para a equação de acima, os fluxos turbulentos tornam-se:

$$\overline{w'c'} = -K_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} \quad \overline{v'c'} = -k_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} \quad \overline{w'c'} = -k_{zz} \frac{\partial c}{\partial z}$$

onde: K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} , são os coeficientes de difusão nas direções x,y,z.

Fazendo agora o processo de substituição desses fluxos na equação (6.2), chegaremos na equação Difusão-Advecção abaixo:

$$\frac{d\bar{c}}{dt} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right) \quad (6.3)$$

que possibilita considerar diferentes difusividades em diferentes direções, significando que o processo de difusão não é necessariamente isotrópico.

O modelo de pluma gaussiana considera que $K_{xx}=, K_{yy},= K_{zz}$ e independentes de x , y e z . A equação Difusão-Advecção pode ser resumida a:

$$\frac{d\bar{c}}{dt} = -K \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (6.4)$$

considerando o transporte para uma dimensão:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} = -K \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} \quad (6.5)$$

onde $\frac{\partial \bar{c}}{\partial t}$ = variação temporal em uma posição fixa no espaço

$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}$ = advecção da concentração a uma velocidade média u

Para a solução da equação acima (6.4), faz-se necessário levar em conta algumas condições de contorno, considerando-se uma fonte puntual de poluentes (UTPM).

A concentração vai a zero em todos os pontos, quando o tempo após o lançamento do poluente para a atmosfera, tende (aproxima-se) ao infinito ($-\infty < x < \infty$).

a) A concentração vai a zero em todos os pontos, quando o tempo após o abandono do poluente aproxima-se do infinito (com exceção de quando $x = 0$, onde zero é a posição da fonte).

b) $\int_{-\infty}^{+\infty} \bar{c} dx = Q$, dado Q como a intensidade da fonte, que é a emissão total de concentração da fonte localizada em $x = 0$.

Assim, resolvendo a equação 6.4, para uma fonte puntual instantânea temos:

$$\bar{c} = \frac{Q}{(4kt)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4kt}\right) \quad (6.6)$$

que se aplica a uma atmosfera onde \bar{u} é constante, $v = w = 0$, e para o caso em que as coordenadas movem-se com o vento médio u .

Para três dimensões, (6.6) torna-se:

$$\bar{c} = \frac{Q}{(4kt)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4kt}\right) \quad (6.7) \text{ sendo } r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \text{ e como a}$$

atmosfera não é isotrópica ($k_{xx} \neq k_{yy} \neq k_{zz}$):

$$\bar{c}(x, y, z, t) = \frac{Q}{(4\pi t)^{3/2} (k_{xx} k_{yy} k_{zz})^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{4t} \left(\left(\frac{x^2}{k_{xx}} \right) + \left(\frac{y^2}{k_{yy}} \right) + \left(\frac{z^2}{k_{zz}} \right) \right)\right] \quad (6.8)$$

que é a solução da equação Difusão Advecção, utilizada pelo modelo tipo pluma gaussiana para calcular a distribuição das concentrações de poluentes.

O modelo gaussiano se aplica no limite de grandes tempos de difusão e para condições atmosféricas estacionárias e homogêneas.

Sabendo-se que σ é coeficiente de difusão turbulenta, e substituindo a expressão $\sigma^2 = 2kt$, e finalmente considerando-se que na atmosfera o processo de difusão não é isotrópico ($\sigma_x \neq \sigma_y \neq \sigma_z$), tem-se:

$$\bar{c}(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} (\sigma_x \sigma_y \sigma_z)} \exp\left[-\left(\frac{(x - \bar{u}t)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \quad (6.9)$$

Q : taxa de emissão de poluentes da usina

c : concentração do poluente (g/s)

$$r^2: x^2 + y^2 + z^2 = (x - \bar{u}t)^2 + y^2 + z^2$$

\bar{u} : velocidade média (m/s) do poluente transportado ao longo do eixo x

Ao considerarmos a homogeneidade horizontal e que o transporte do poluente é feito apenas pelo vento médio u , a difusão ao longo do eixo x pode ser menosprezada. Assim a equação (6.9) pode ser resumida a:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)u\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (6.10)$$

onde: Q é a intensidade de emissão da fonte, σ_y e σ_z são os coeficientes de difusão nas direções y e z respectivamente, z é a altura na qual foram coletados os parâmetros meteorológicos (10m), h a altura da fonte, y a direção transversal ao deslocamento da pluma (Braga, 2002).

6.2.2 Limitação e Aplicação do Modelo

O problema simples e básico de tratar uma dispersão gaussiana está na consideração de uma turbulência estacionária e homogênea. Sabe-se na prática, que a atmosfera não é estacionária e verticalmente ela nunca é homogênea, apresentando eventualmente homogeneidade horizontal. Assim sendo, a utilização dessas equações de Pluma Gaussiana no máximo fornecem uma estimativa grosseira da dispersão real da pluma na atmosfera. Apesar dessas limitações, elas têm sido o meio de previsão mais utilizado, pois, dentro do meio físico complexo em que são aplicadas, (edifícios, vegetação, irregularidades geográficas e gradientes de temperatura, os quais geram uma difusão irregular), conseguem fornecer uma estimativa razoável em relação ao conhecimento da dispersão, (Kerr, 1983).

Muitos trabalhos, já realizados com modelos do tipo Pluma Gaussiana, dão conta de sua boa aceitação, e que de acordo com Hanna (1982) “é vastamente utilizado, adquirindo status de “consagração”.

Para uma aplicação de ordem prática do modelo tipo pluma gaussiana, é preciso determinar valores para os coeficientes de dispersão σ_y (direção transversal ao eixo do vento, x) e σ_z (direção perpendicular ao eixo do vento, x). Na condição de ausência de medidas de turbulência é possível então, estimar esses coeficientes de dispersão através de classes de estabilidades. Como já vimos anteriormente, podemos estimá-los através de métodos empíricos, sendo o método mais utilizado o de Pasquill / Gifford, o qual associa o estado da atmosfera com observações meteorológicas realísticas, e a classifica em seis diferentes classes de estabilidade. Essas classes são determinadas por intermédio de observações de velocidade do vento em superfície, cobertura de nuvens e insolação, para o período diurno. Tais classes de estabilidade variam de A (fortemente instável) à F (fracamente estável).

Outra limitação do modelo, é que esse deixa de ser válido quando há mudanças na direção do vento, especialmente sob condições estáveis. Para esses casos a distribuição não é satisfatoriamente representada por uma distribuição gaussiana.

6.3 O Modelo Gaussiano ISCST

Os modelos de dispersão tipo pluma gaussiana, são utilizados quando analisamos a estimativa do impacto que determinados contaminantes podem causar na atmosfera (Kerr, 1983). Esses modelos nos descrevem matematicamente os processos de difusão turbulenta e de transporte pelo vento médio na atmosfera (Braga, 2002).

O modelo, de dispersão atmosférico, aqui utilizado, é o *ISCST* versão 3 (Industrial Surce Complex –Short Term), desenvolvido pela EPA (U.S Environmental Protection Agency) e recomendado para o tratamento da dispersão de poluentes emitidos por fontes industriais. É um modelo de pluma gaussiana que serve também para calcular a concentração de poluentes, assim como sua deposição, seca ou úmida. O *ISCST* possui uma flexibilidade de modelamento, permitindo fazer uma variedade de simulações (Fernandes, 1997).

Apresentam-se a seguir algumas de suas utilidades:

- Aceita fontes de emissão do tipo Ponto, Área, Volume.
- Calcula concentrações, ou valores de deposição seca ou úmida para períodos de 1,2,3,4,6,8,12,24 horas.
- Pode ser especificado para uma fonte simples ou para um grupo de fontes.
- Usa dados meteorológicos obtidos em tempo real para calcular as condições que afetam as distribuições dos poluentes no ar.
- A localização dos receptores pode ser especificada em receptores discretos considerando um sistema de coordenadas cartesianas, ou polares.
- Leva em consideração os efeitos topográficos, podendo ser aplicado tanto para terrenos planos como irregulares.
- Pode calcular concentrações anuais, desde que utilizados dados sequenciais para o período de um ano inteiro.

- Há incorporação de um algoritmo para a topografia do terreno, ou seja, considera terrenos planos e complexos, (COMPLEX 1)

O modelo ISCST3 possui uma interface gráfica chamada ISC3 View, que facilita o seu uso. Utiliza uma caixa com 6 diálogos para compor o arquivo de entrada do modelo.

- ▶ *Control Pathway (CO)*: Onde se especificam o roteiro e todos os controles para executar o modelo.
- ▶ *Surce Pathway (SO)*: Define-se as fontes emissoras
- ▶ *Receptor Pathway (RE)*: Se definem os receptores
- ▶ *Meteorology Pathway (ME)*: se definem as condições meteorológicas para a região.
- ▶ *Terrain Grid Pathway (TG)*: Onde se define a topografia do terreno por uma grade a ser utilizada no cálculo da remoção seca, em terrenos elevados ou complexos.
- ▶ *Output Pathway (OU)*: Onde se define a saída dos resultados

6.3.1 Entrada de Dados no Modelo

Para utilização do modelo *ISCST* são necessários dados meteorológicos, obtidos em tempo real, além de dados relativos á fonte de emissão. Os parâmetros meteorológicos necessários para inicializar o modelo foram: direção e velocidade do vento, temperatura do ar (K) classe de estabilidade, altura da Camada Limite Planetária. Os dados de temperatura e velocidade de saída dos gases, bem como a altura da fonte, diâmetro interno da fonte, taxa de emissão, relacionados à fonte de emissão, são apresentados pelas tabelas a seguir: A partir da obtenção desses dados é possível inicializar o modelo de dispersão.

Tabela 6.3.1: Parâmetros de emissão da fonte para entrada no modelo

| Altura da Fonte (m) | Temperatura de Saída dos gases (K) | Velocidade de Saída dos gases (m/s) | Diâmetro Interno da Fonte (m) |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 150 | 430 | 20 | 4 |

Tabela 6.3.2: Emissão diária de MP (PM₁₀) e SO₂.

| Dia | Emissão MP (PM₁₀) (g/s) | Emissão SO₂ (g/s) |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| 19/01/03 | 216,55 | 1287,26 |
| 20/01/03 | 186,12 | 1097,16 |
| 21/01/03 | 132,11 | 936,40 |
| 22/01/03 | 118,72 | 777,24 |
| 23/01/03 | 150,40 | 970,70 |
| 24/01/03 | 256,32 | 1430,41 |
| 25/01/03 | 109,53 | 652,63 |
| 26/01/03 | 172,39 | 1030,6 |
| 27/01/03 | 234,35 | 1307,6 |
| 28/01/03 | 164,48 | 985 |

Relacionado à parte *Receptor Pathway (RE)*, onde se definem os receptores, elaborou-se uma grade em coordenadas cartesianas X e Y modelo, em um espaçamento de 40 x 40. Ou seja, 40 km na direção Sul-Norte e 40 km na direção Oeste-Leste, de maneira que a fonte fique centrada na posição X=0 e Y=0, no centro da grade. Em outras palavras, tem-se, a partir do ponto (0,0): 20 km para Sul (sentido neg. do eixo) e 20 km para Norte (sentido pos. do eixo). De modo análogo, considera-se 20 km para Oeste (sentido neg. do eixo) e 20 km para Leste (sentido pos. do eixo). Como o modelo pode fornecer a concentração para cada ponto da grade, alguns pontos foram selecionados para serem observados com maior atenção, devido à localização das estações de amostragem de Material Particulado em Candiota. A tabela a seguir apresenta a localização das estações de amostragem, as quais, basearam a utilização da grade do modelo (Braga, 2002).

Tabela 6.3.3: Coordenadas cartesianas das estações receptoras e da fonte de emissão.

| | UTPM | <i>Estação Três Lagoas</i> | <i>Estação 8 de Agosto</i> |
|-------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| X(m) | 0 | - 4803 | - 12732 |
| Y(m) | 0 | - 5297 | - 13914 |

CAPITULO VII

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se os resultados das concentrações de material particulado e dióxido de enxofre na região de Candiota-RS, obtidos através de simulações com o modelo de dispersão *ISCST* para o período estudado, de 19/01/03 a 28/01/03. Nesse período, realizou-se a primeira campanha experimental do projeto “Estudo Ambiental Aplicando Modelos Numéricos na Região de Candiota-RS”, viabilizando dessa forma possíveis, comparações entre os resultados simulados pelo modelo e as concentrações experimentadas nesse dias.

7.1 Análise dos resultados para o dia 19/06/03

Os resultados apresentados a seguir descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 19/01/03.

Sabendo-se do papel desempenhado pelos processos atmosféricos na dispersão de poluentes, é inevitável, que ao se analisar a concentração de determinado contaminante na atmosfera, se faça necessário um conhecimento básico e simples da situação sinótica predominante na área de estudo.

As análises sinóticas do período de estudo, foram feitas através das imagens do satélite GOES-8 no canal infravermelho, obtidas através do laboratório MASTER/IAG/USP, juntamente com os parâmetros meteorológicos de direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura na superfície, pressão atmosférica em superfície e precipitação, (anexo III). Esses dados, com exceção das imagens de satélite, são horários e provenientes da estação meteorológica do aeroporto de Candiota e foram disponibilizados pela Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica.

A figura 7.1(a,b,c,d) apresenta as imagens de satélite para o dia 19/01/03. Observa-se que o estado do Rio Grande do Sul está sob influência de um sistema de alta pressão (1018mb), cujo centro está ao sul do Estado. Esse sistema aos poucos se desloca para o oceano, provocando uma mudança na direção do vento nesse dia, que no seu início era de sudeste, passando no final do período para nordeste. De acordo com os gráficos meteorológicos (anexo III), podemos notar uma queda no campo da pressão em superfície, que provavelmente é provocada pela aproximação do sistema frontal do sul da Argentina.

A figura 7.2 mostra o comportamento dos campos de direção e velocidade do vento, observados durante esse dia. Esses dados são médias horárias, obtidas junto à estação meteorológica do aeroporto de Candiota (a uma altura de 10 metros).

Através de uma análise gráfica mais detalhada da direção e velocidade do vento, pode-se mencionar que durante esse dia a direção do vento predominante foi de Este / Nordeste (ENE), com uma rápida variação no período em que os fluxos verticais de calor tornam-se mais acentuados, devido à intensa produção de energia térmica e mecânica (11 - 17 hrs.). Quanto à velocidade do vento, pode-se afirmar que esta se manteve fraca, com média de 4m/s ao longo do dia, apresentando um máximo de 8m/s às 9:00 horas da manhã.

Através do anexo III, pode-se observar a umidade relativa do ar que nas primeiras horas do dia (madrugada) era de 90% e diminuiu no decorrer do dia, atingindo um mínimo de 50% às 17 horas. Isso pode ser explicado devido à influência exercida pelo centro de alta pressão sobre o estado do Rio Grande do Sul no dia 19/01/03. A partir de então, a umidade começou a aumentar, alimentada pela aproximação do sistema frontal (frente fria) que chegou ao estado já na madrugada do dia 20/01.

Observando o campo de temperatura do ar (anexo III), observa-se que esta aumentou, passando de 20°C a partir das 8:00 horas e atingindo um máximo de 32°C às 17:00 horas.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM₁₀) para o dia 19/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram como resultado uma concentração máxima de 9 µg/m³ (emissão de 216,55 g/s), nas coordenadas (-3000m,-500m). O valor medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297) foi de 6 µg/m³ (AFG), e o simulado para a estação foi de 0,96 µg/m³.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor medido foi de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo aproximou-se a zero, tornando-se insignificante nessa localização.

Por outro lado, para as concentrações de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado foi de $58\mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (-3000,-500), e para a estação Três Lagoas o valor simulado foi de $12,35\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $4,38$ para a estação 8 de Agosto. Para esse dia não se obteve informação dos valores medidos em Três Lagoas. Referente a estação Três Lagoas e 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2 disponíveis para o dia, o que impossibilitará uma comparação entre modelados e medidos na estação.

A tabela 7.1 indica que os valores de concentrações de Material Particulado (PM_{10}) simulado para o dia 19/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos (AFG) nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento e a proximidades de estradas “terra” na região, as quais, são englobadas pela grade de $40\text{km} \times 40\text{km}$ usada pelo modelo, portanto, aumentando a quantidade de emissões nessa área. Ainda nas tabelas 7.1, 7.2, são possíveis de visualizar, para o dia 19/01/03, todos os valores medidos e modelados nas estações para as concentrações de MP e SO_2 .

As figuras 7.3 e 7.4 ilustram as isolinhas de concentração média para 24 horas de PM_{10} e SO_2 para o dia 19/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM). Isso se explica observando o campo de vento nesse dia, que teve predominância de este/nordeste, e, que devido á influência topográfica existente na região, ocorre um bloqueio significativo do escoamento quando a predominância do vento é nesse sentido, causando assim, a deposição de poluentes nas proximidades da fonte. Outra explicação, é que durante o aquecimento diurno, a atmosfera permaneceu instável e os movimentos verticais foram mais intensos, deslocando a pluma de contaminantes mais rapidamente para o solo.

Uma comparação dia x dia das concentrações em massa simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

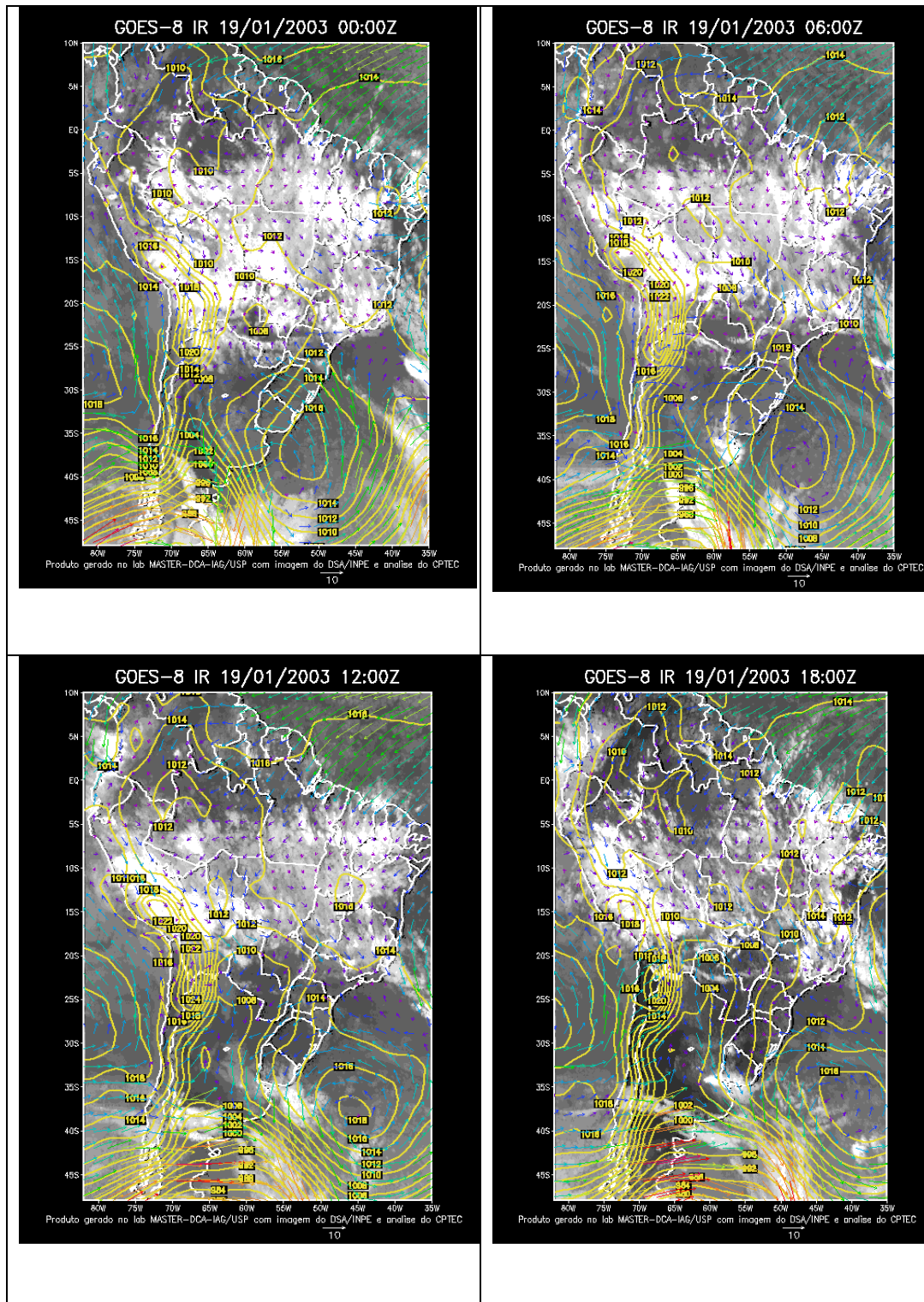


Figura 7.1 – Imagens de satélite, dia 19/01/03 nos seguintes horários: (a) 00:00Z, (b) 06:00Z, (c) 12:00Z, (d) 18:00Z do campo de pressão atmosférica.

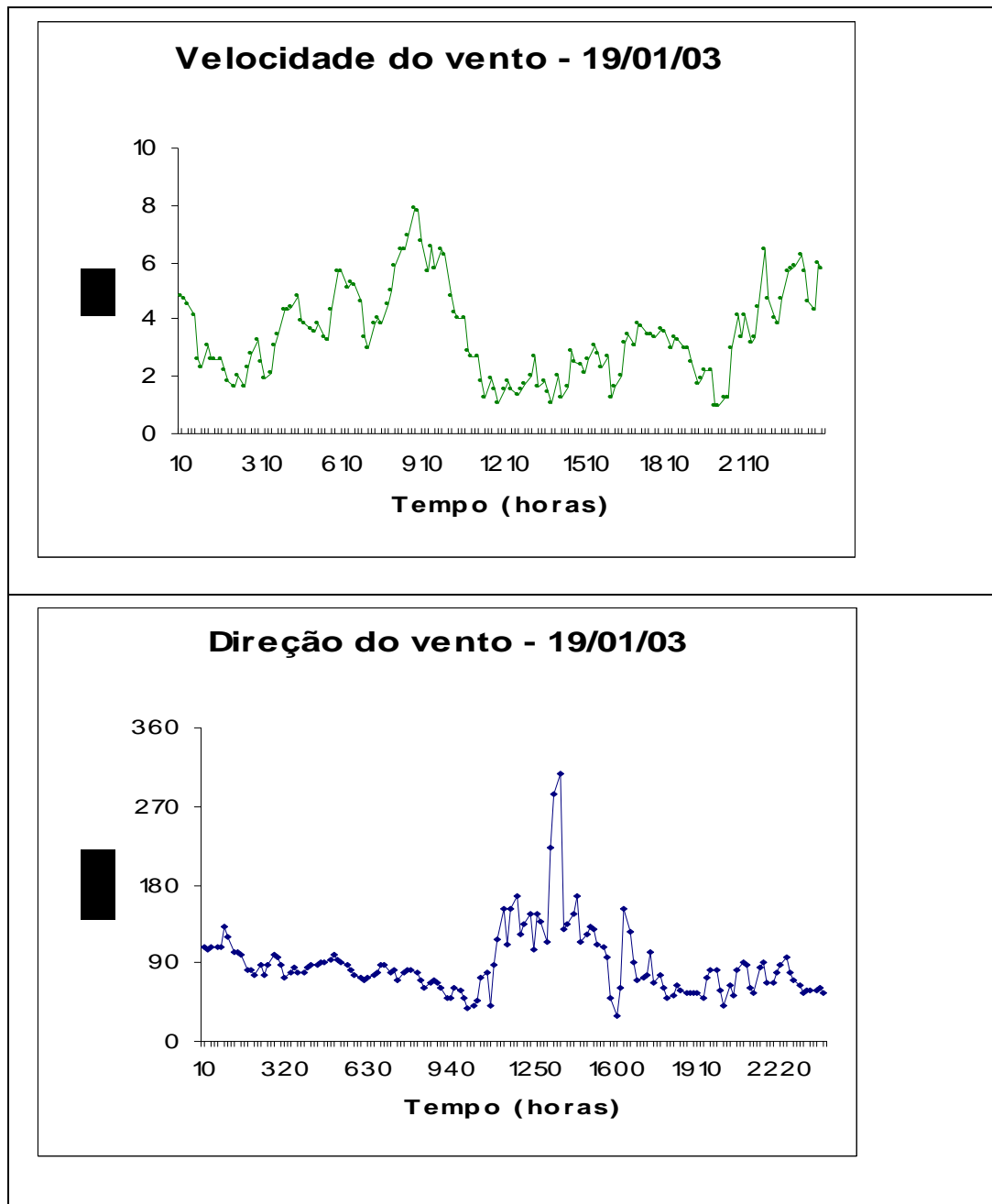


Figura 7.2 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.1 - Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação três lagoas para o dia 19/01/03. Média de 24 horas.

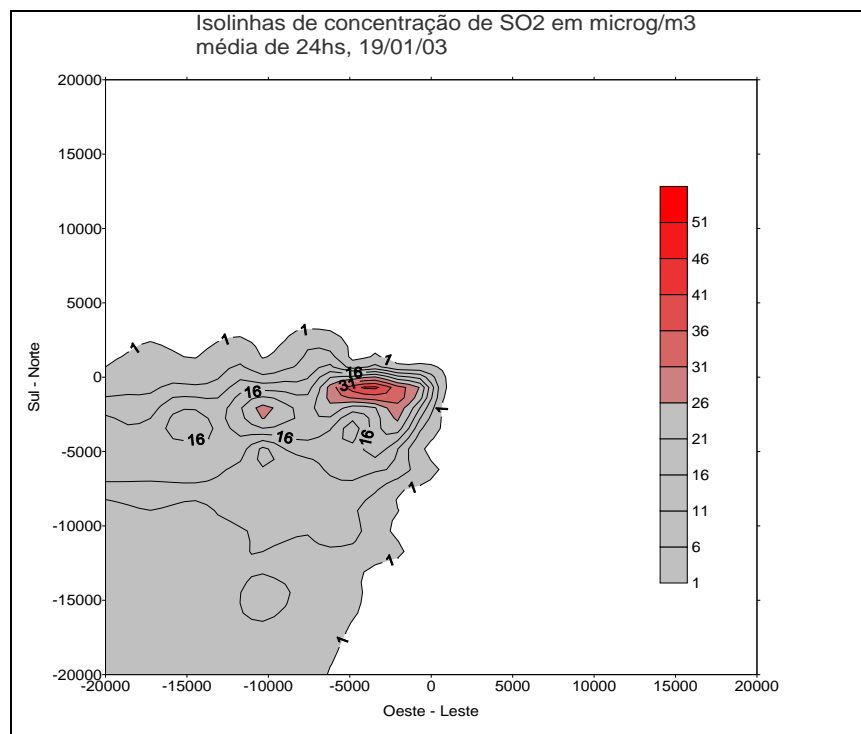
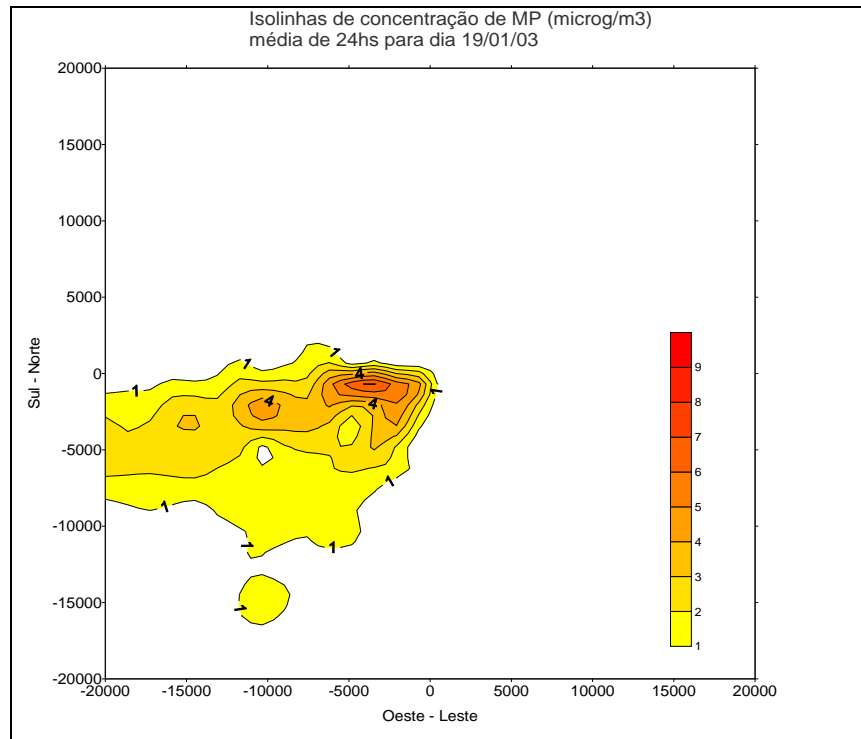
| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 6 | 0,96 | (-4803,-5297) | 9 | (-3000,-500) |
| SO_2 | 24 hs | | 12,35 | | 58 | (-3000,-500) |

| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.2 –Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 19/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 15 | 0 | (-12732, 13914) | 9 | (-3000,-500) |
| SO_2 | 24 hs | x | 4,38 | | 58 | (-3000,-500) |

TA- Tempo de Amostragem; *CME*- Concentração Medida na Estação (AFG);
CSE- Concentração Simulada na Estação; *LE*- Localização da Estação na grade;
CMS- Concentração Máxima Simulada; *LCM*- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuras 7.3 e 7.4 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 19/01/03, média para 24horas.

7.2 Análise dos resultados para o dia 20/06/03

Os resultados apresentados abaixo descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 20/01/03.

A figura 7.5 (a,b,c,d) apresenta as imagens de satélite para o dia de estudo, 20/01/03. Na imagem, às 00:00Z há grande nebulosidade sobre o Rio Grande do Sul que está associada a uma frente fria que se desloca sobre o oceano. A partir do meio da manhã, esse sistema se organiza, ganha força e começa a se deslocar em direção ao Sudeste do País.

A figuras 7.6 mostra o comportamento dos campos de direção e velocidade do vento, observados durante esse dia.

Através de uma análise gráfica mais detalhada da direção e velocidade do vento, pode-se mencionar que durante esse dia houve grandes variações na direção do vento provocada pela presença de um sistema ciclônico sobre o oceano. Quanto à velocidade do vento, pode-se afirmar que esta se manteve fraca, variando em magnitude, atingindo máximos de 9 m/s na madrugada e 7 m/s no período da tarde.

Através do anexo III, pode-se observar que a umidade relativa do ar na maior parte do dia se manteve alta, inclusive com registro de precipitações nas primeiras horas do dia, atingindo pico de 25 mm às 4 horas da manhã, o que causou a remoção de poluentes nesse dia.

No campo de temperatura do ar (anexo III), vê-se que esta se manteve amena, entre 20-25°C.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 20/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram como resultado uma concentração máxima de 5,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 186,12 g/s), nas coordenadas (2000m,1000m). Para a estação Três Lagoas não existem valores medidos nesse dia e o simulado para a estação foi insignificante, o que pode ser explicado se considerarmos a baixa concentração máxima simulada de particulado e as condições meteorológicas nesse dia. Com relação aos valores medidos, não se tem dados de coleta para este dia.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) também não existem valores de concentração em massa de particulado e o valor simulado pelo modelo aproximou-se a

zero, tornando-se assim insignificante nesse local. Também nessa estação não há dados de coleta para esse dia

Para as concentrações de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado pelo modelo foi de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (2000m, 1000m) da fonte de emissão, e para a estação Três Lagoas o valor simulado aproximou-se a zero. Para esse dia não se obteve informação dos valores medidos de SO_2 nessa estação. Referente a estação 8 de Agosto, também não existem dados medidos de SO_2 disponíveis, o que impossibilitara uma comparação entre concentrações modeladas e medidas nesse local.

Nas tabelas 7.3, 7.4 são possíveis de visualizar, para o dia 20/01/03, todos os valores medidos e modelados nas estações para as concentrações de MP (PM_{10}) e SO_2 .

As figuras 7.7 e 7.8 ilustram as isolinhas de concentração de PM_{10} e SO_2 para o dia 20/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

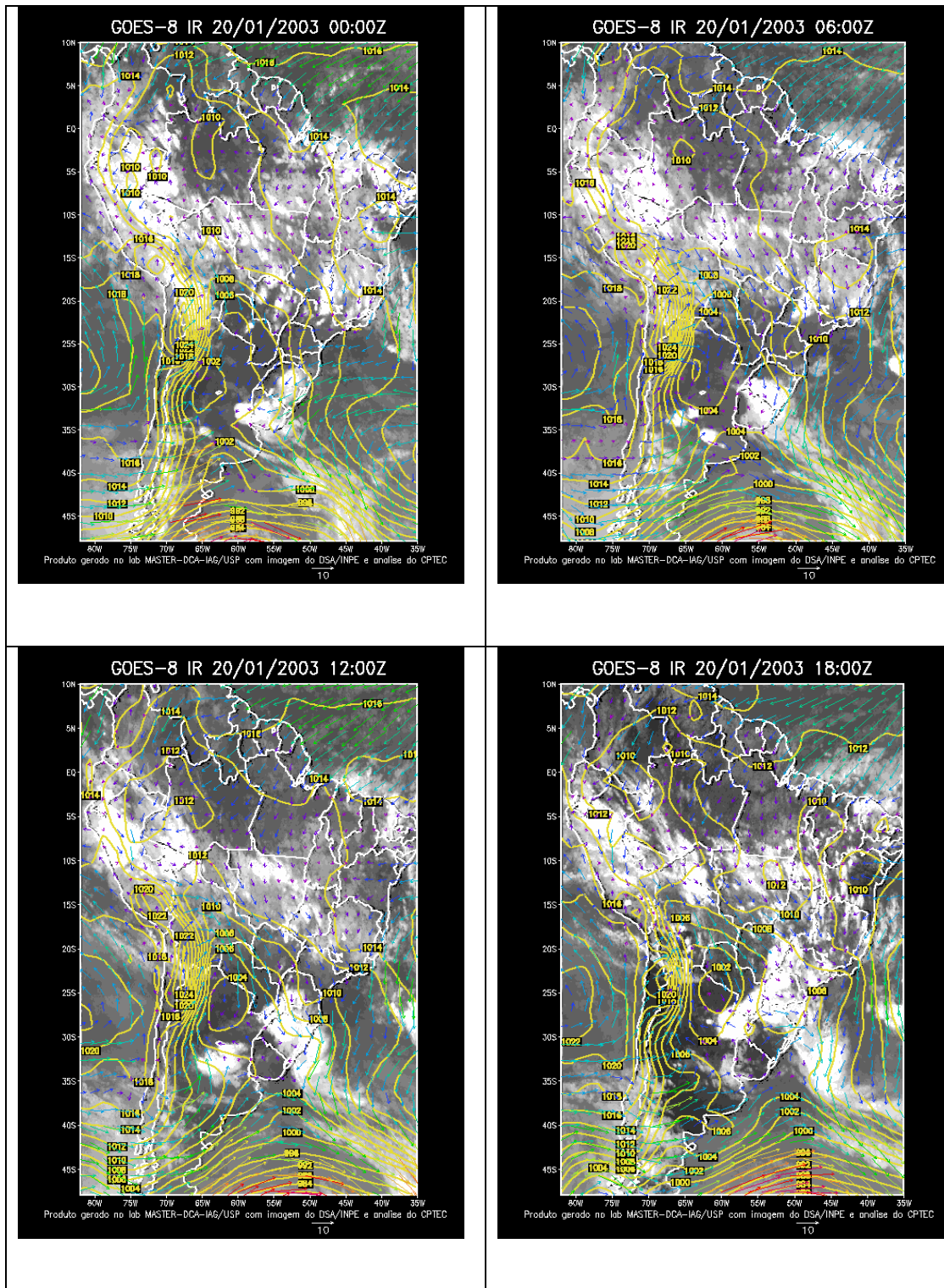


Figura 7.5 – Imagens de satélite, dia 20/01/03 nos seguintes horários: (a) 00:00Z, (b) 06:00Z, (c) 12:00Z, (d) 18:00Z

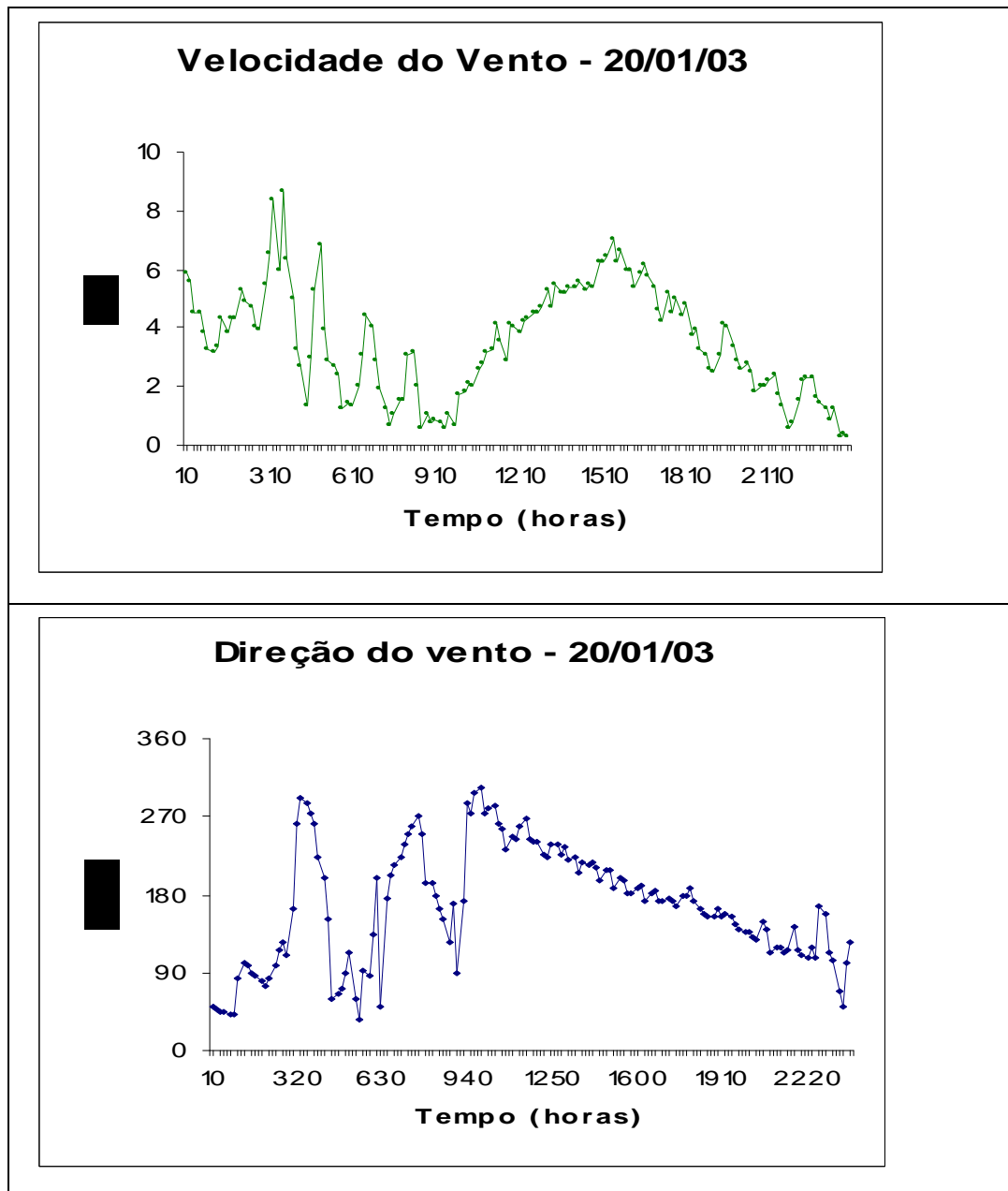


Figura 7.6 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.3 - Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação três lagoas para o dia 20/01/03 Média de 24 horas.

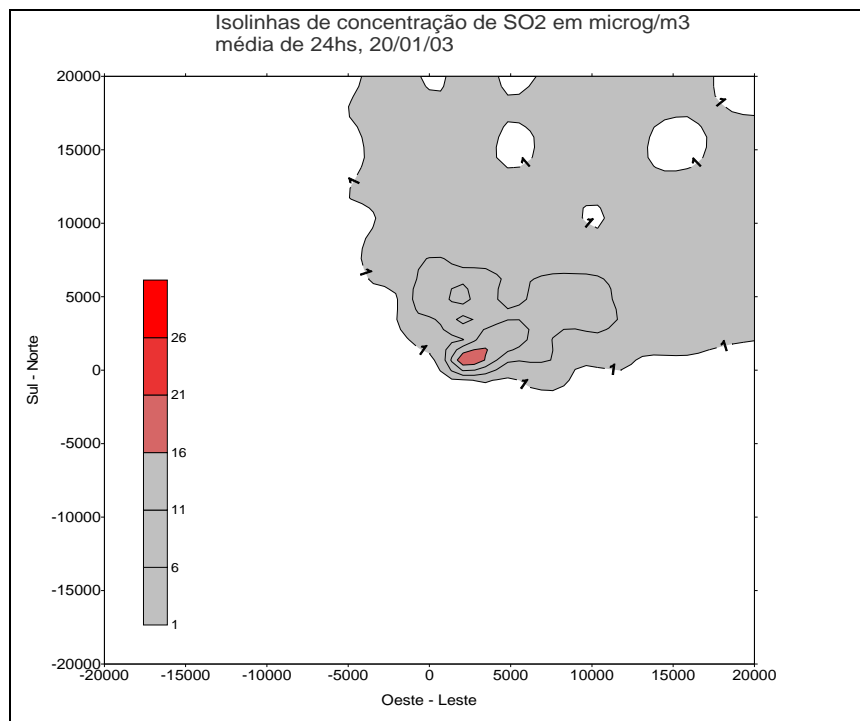
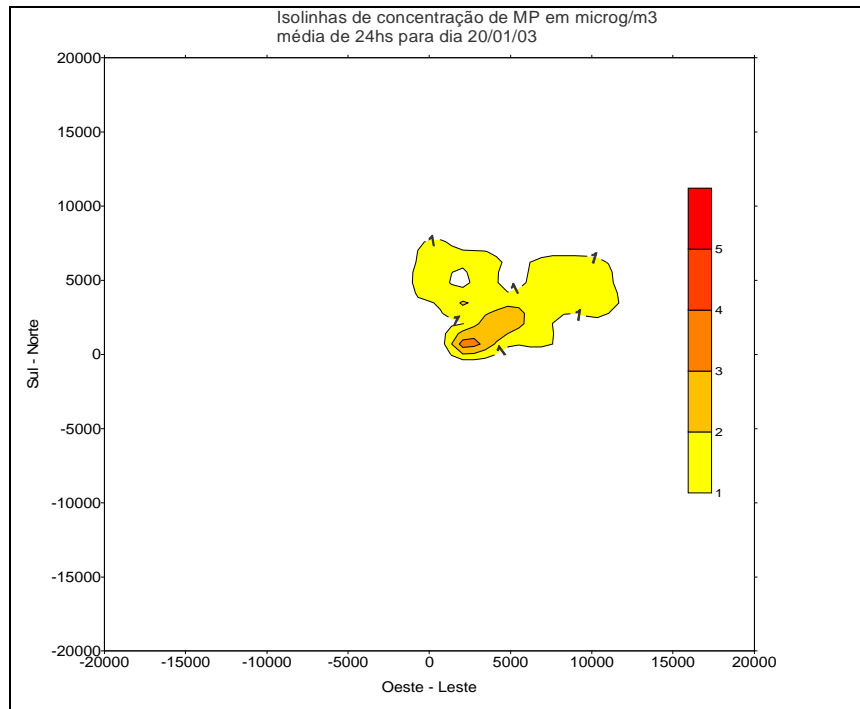
| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|-------------|
| PM_{10} | 24 hs | x | 0 | (-4803,-5297) | 5,21 | (2000,1000) |
| SO_2 | 24 hs | x | 0 | (-4803,-5297) | 30 | (2000,1000) |

| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.4 –Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 20/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|-------------|
| PM_{10} | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 5,21 | (2000,1000) |
| SO_2 | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 30 | (2000,1000) |

TA- Tempo de Amostragem; *CME*- Concentração Medida na Estação (AFG);
CSE- Concentração Simulada na Estação; *LE*- Localização da Estação na grade;
CMS- Concentração Máxima Simulada; *LCM*- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
 x- dados não disponíveis.



Figuras 7.7 e 7.8 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 20/01/03, média para 24horas.

7.3 Análise dos resultados para o dia 21/06/03

Os resultados apresentados a seguir descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 21/01/03.

Através da figura 7.9 (a,b) apresentam-se as imagens de satélite para o dia 21/01/03. Somente duas imagens foram disponibilizadas para esse dia.

Na imagem do dia 21/01/2003 às 00:00Z o céu está encoberto em praticamente todo estado do Rio Grande do Sul, devido ao predomínio de um sistema de baixa pressão sobre o Paraguai que se associara a uma frente fria que se encontra ao sul do continente, sobre o oceano. De acordo com os gráficos meteorológicos (anexo III), podemos notar um aumento no campo da pressão em superfície no final do dia, que é provocada pelo avanço de um sistema de alta pressão que garantira tempo aberto no próximo dia.

A figura 7.10 mostra o comportamento dos campos de velocidade e direção do vento, observados durante o dia 21/10/03.

Uma análise gráfica mais detalhada da direção e velocidade do vento pode-se dizer que durante esse dia a direção do vento predominante foi de leste (ESE) a partir da manhã do dia 21. Quanto à velocidade do vento, pode-se afirmar que esta aumentou consideravelmente durante esse período, atingindo valores da ordem de 8 m/s na noite do dia 21, devido ao avanço do sistema para o centro do País.

Na umidade relativa do ar, vista através do anexo III, pode-se observar que esta diminui no decorrer do dia, chegando à casa dos 50% entre o meio e o final da tarde, o que se confirma ao olharmos o campo de temperatura, que no mesmo período aumentou chegando à marca dos 31 graus Celsius, em um dia típico de verão.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 21/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado uma concentração máxima de $3,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 132 g/s), nas coordenadas (2000 m, 1000 m). O valor medido (AFG), na estação Três Lagoas (-4803, -5297), foi de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o simulado para a estação foi desprezível.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor de particulado medido foi de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo aproximou-se a zero, tornando-se insignificante nessa localização.

Por outro lado, para as concentrações de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado pelo modelo foi de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (2000m, 1000m), e tanto para a estação Três Lagoas quanto para 8 de Agosto, o valor simulado foi insignificante, próximo a zero, que pode ser explicado pelo vento médio que esteve do quadrante ESE, com intensidade fraca. Para esse dia, o valor médio observado na estação Três Lagoas foi de $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a estação 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2 disponíveis, o que impossibilitara uma comparação entre concentrações modeladas e medidas na estação.

Através da tabela 7.5 observa-se que os valores de concentrações em massa de particulado (PM_{10}) simulado para o dia 21/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento (Companhia de Cimento do Brasil, Cimento Rio Branco), calcário e a proximidade de estradas “de terra” na região, as quais, são englobadas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, portanto, aumentando assim a quantidade de emissões nessa área. Essas indústrias se utilizam do carvão mineral, das cinzas geradas no processo de combustão, para insumos na fabricação de cimento, (Braga, 2002).

As figuras 7.11 e 7.12 ilustram as isolinhas de concentração de particulado, PM_{10} , e SO_2 para o dia 21/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

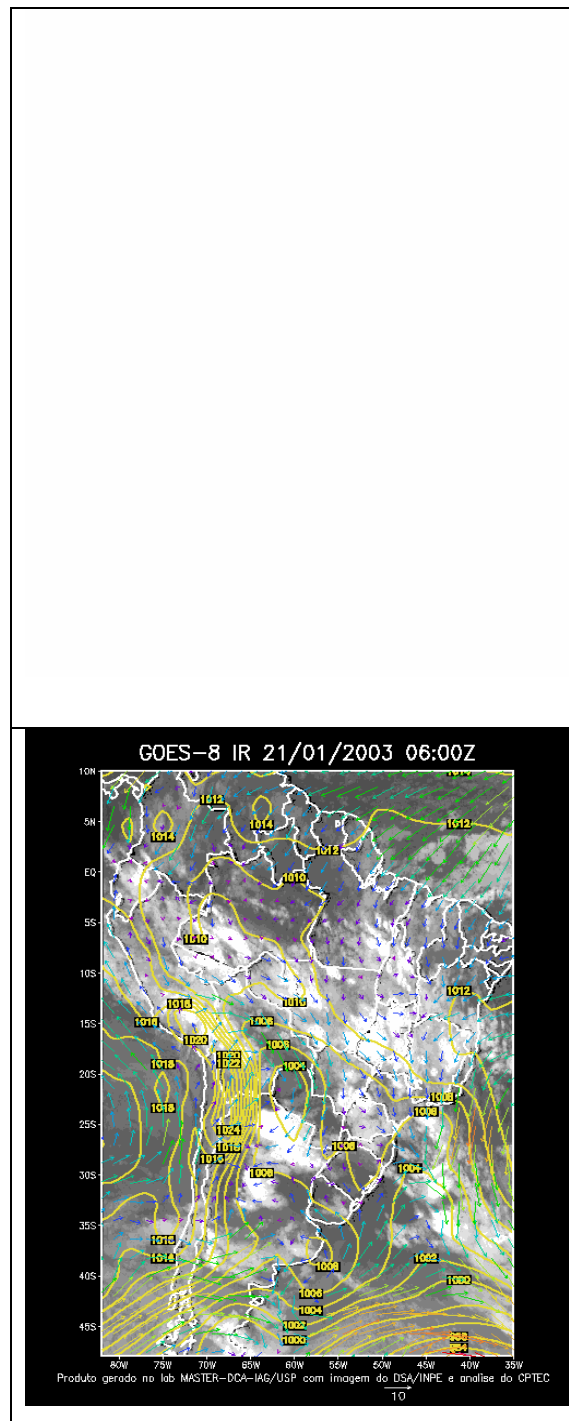


Figura 7.9 – Imagens de satélite, dia 21/01/03 nos seguintes horários:
(a) 00:00Z, (b) 06:00Z.

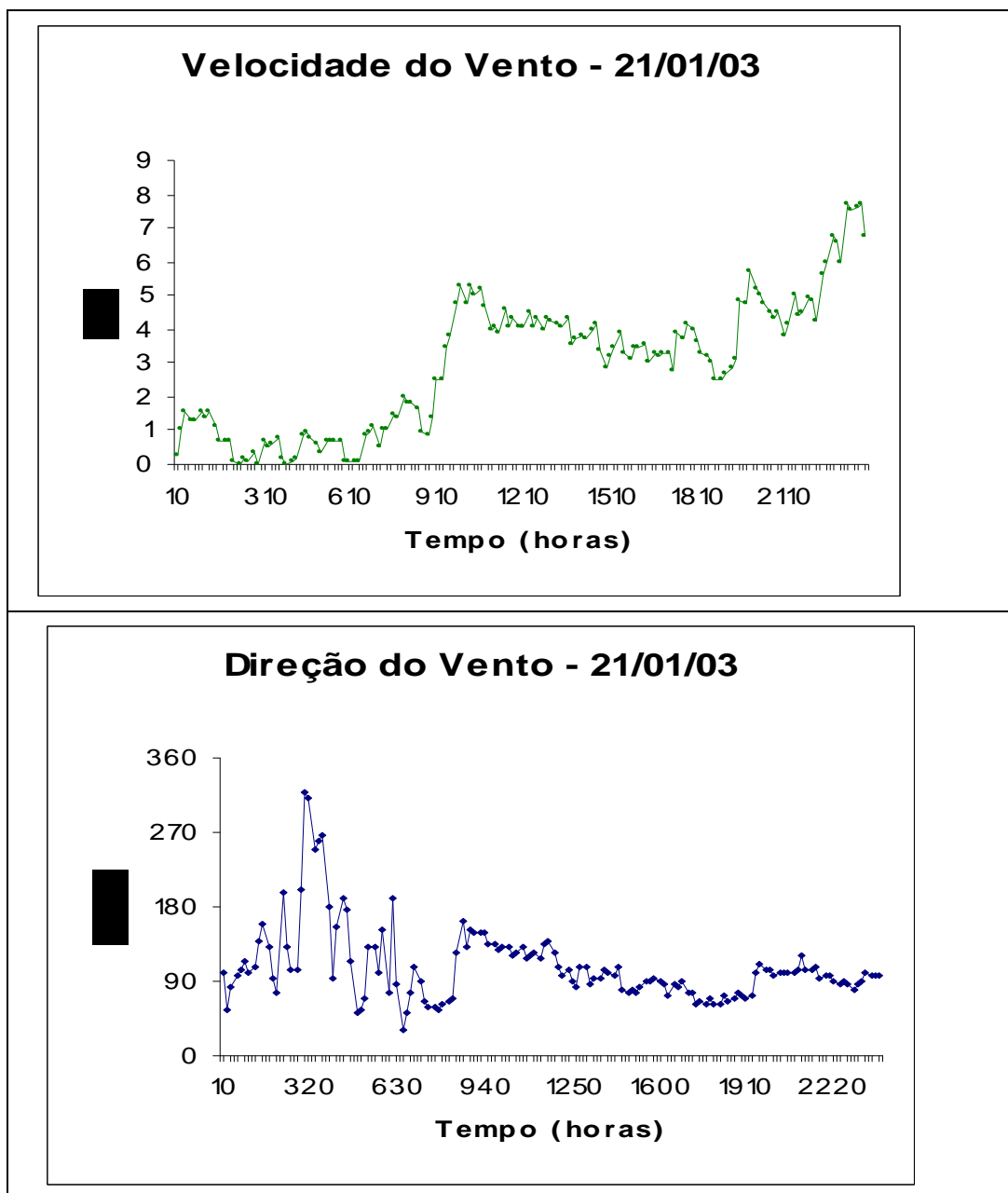


Figura 7.10 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.5 - Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu g/m^3$ na estação três lagoas para o dia 21/01/03 Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|------------------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|-------------|
| <i>PM₁₀</i> | 24 hs | 32 | 0 | (-4803,-5297) | 3,70 | (2000,1000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | 52 | 0 | (-4803,-5297) | 26 | (2000,1000) |

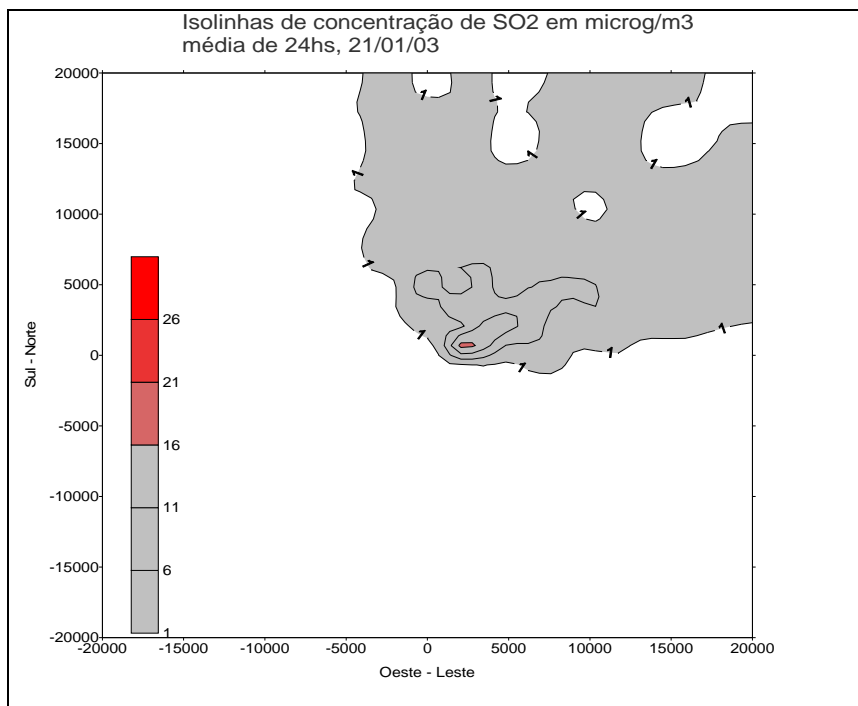
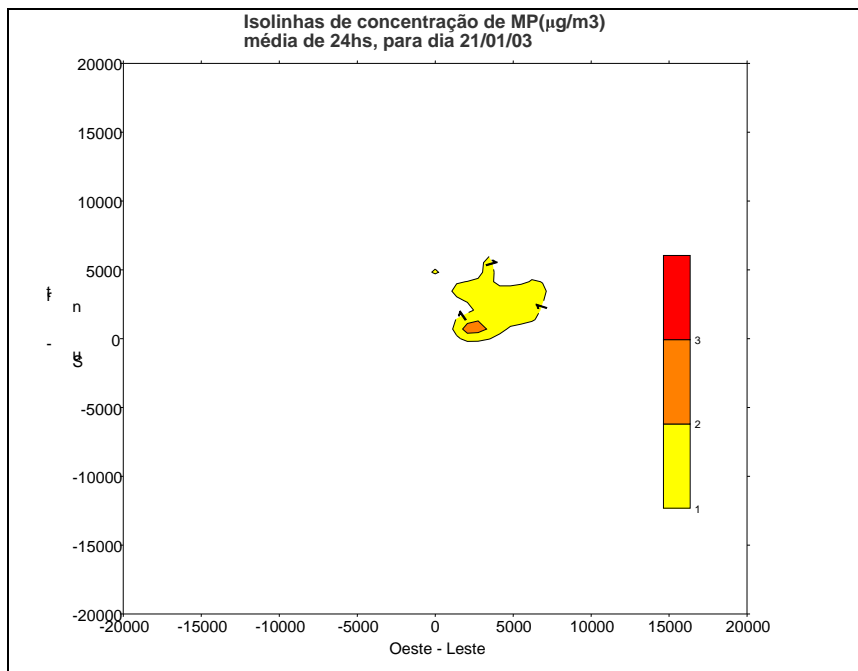
| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.6 –Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu g/m^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 21/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|------------------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|-------------|
| <i>PM₁₀</i> | 24 hs | 36 | 0 | (-12732, 13914) | 3,70 | (2000,1000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 26 | (2000,1000) |

TA- Tempo de Amostragem; *CME*- Concentração Medida na Estação (AFG);
CSE- Concentração Simulada na Estação; *LE*- Localização da Estação na grade;
CMS- Concentração Máxima Simulada; *LMC*- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu g/m^3$.

x- dados não disponíveis



Figuras 7.11 e 7.12 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 21/01/03, média para 24horas.

7.4 Análise dos resultados para o dia 22/06/03

Os resultados apresentados a seguir descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 22/01/03.

Através da figura 7.13 (a,b) apresentam-se as imagens de satélite para o dia 22/01/03. Somente três imagens foram disponibilizadas nesse dia.

Na imagem do dia 22/01/2003 podemos observar que a presença de um sistema anticiclônico com centro sobre oceano proporciona tempo aberto, com nebulosidade variável em parte do Rio Grande do Sul, especialmente na faixa Centro – Leste do Estado. No final do dia uma frente fria se aproxima do Estado, provocando chuvas já durante a madrugada do dia 23.

A figura 7.14 mostra o comportamento dos campos de velocidade e direção do vento, observados nesse dia.

Em uma análise mais detalhada da direção e velocidade do vento pode-se dizer que durante este dia a direção do vento predominante foi de leste -nordeste (ENE) até as 17 horas aproximadamente, quando a aproximação de um sistema frontal, ocasiona grandes variações em sua direção. Quanto à velocidade do vento, esta oscilou entre 4 m/s nas primeiras horas da manhã (madrugada) até 11 m/s durante o dia.

Na umidade relativa do ar, vista através do anexo III, observamos que esta diminui no decorrer do dia, chegando à 70% entre o meio e o final da tarde, quando então começam a ser sentidos os efeitos da aproximação do sistema frontal, o qual, acarreta no aumento da umidade relativa.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 22/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado a concentração máxima de 23,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 119 g/s), nas coordenadas (-2000m, -2000m). O valor medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297) foi de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o simulado para a estação foi de 11,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor esse que foi observado devido a maior velocidade do vento nesse dia, alimentado por sua direção predominante: Nordeste.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor medido foi de 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo foi de 3,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para as concentrações de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado foi de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (-2000m, -2000m). Para a estação Três Lagoas o valor simulado foi de $9,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e para a estação 8 de Agosto o simulado foi de 2,47. Para esse dia, o valor médio de SO_2 observado na estação Três Lagoas foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a estação 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2 disponíveis.

Através da tabela 7.7 observa-se que os valores de concentrações de Material Particulado (PM_{10}) simulado para o dia 22/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento, calcário e a proximidade de estradas “de terra” na região, as quais, são englobadas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, portanto, aumentando a quantidade de emissões nessa área. Ainda nas tabelas 7.7, 7.8 são possíveis de visualizar, para o dia 22/01/03, todos os valores medidos e modelados nas estações para as concentrações de MP (PM_{10}) e SO_2 .

As figuras 7.15 e 7.16 ilustram as isolinhas de concentração de MP e SO_2 para o dia 22/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

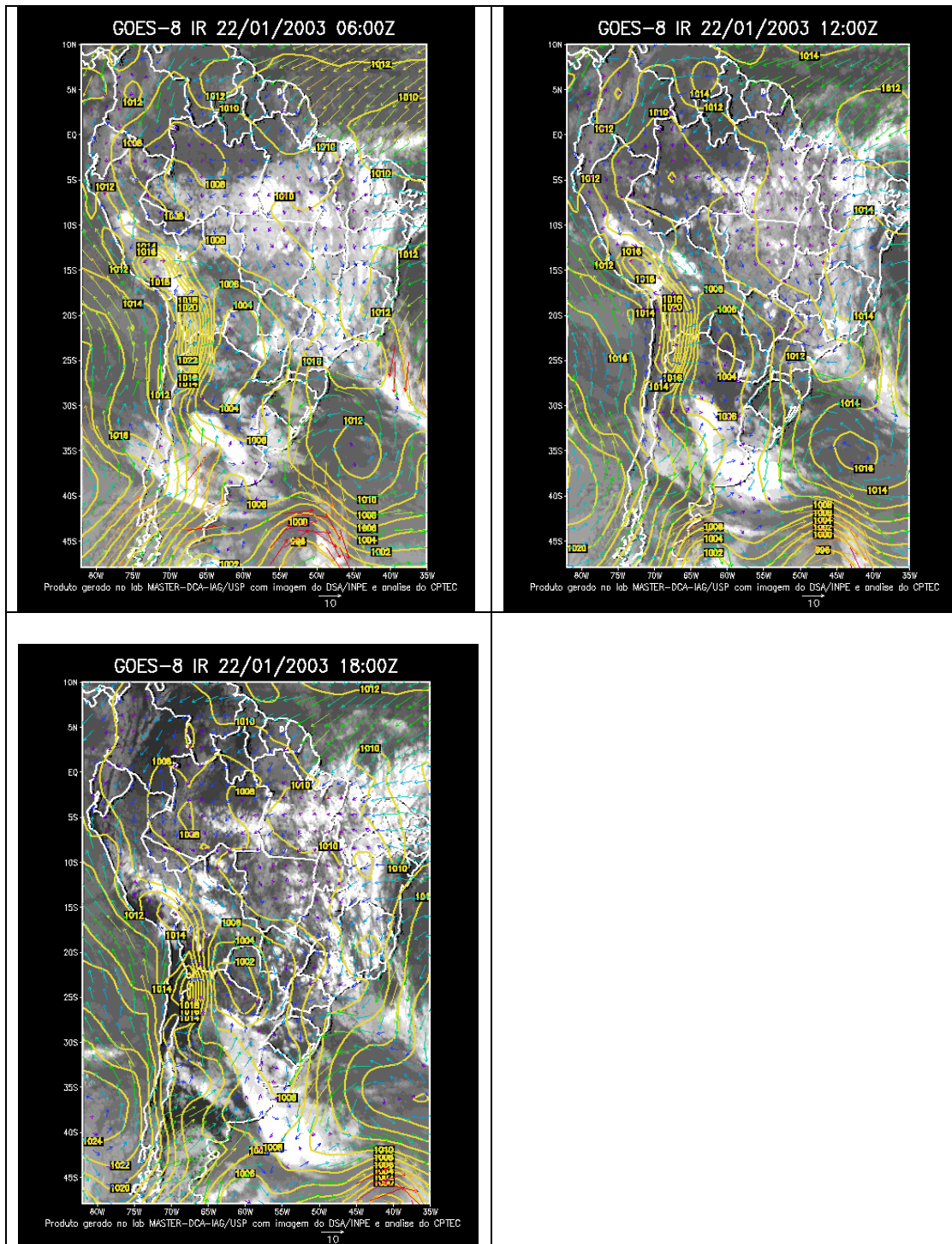


Figura 7.13 – Imagens de satélite, dia 22/01/03 nos seguintes horários: (a) 06:00Z, (b) 12:00Z, (c) 18:00Z.

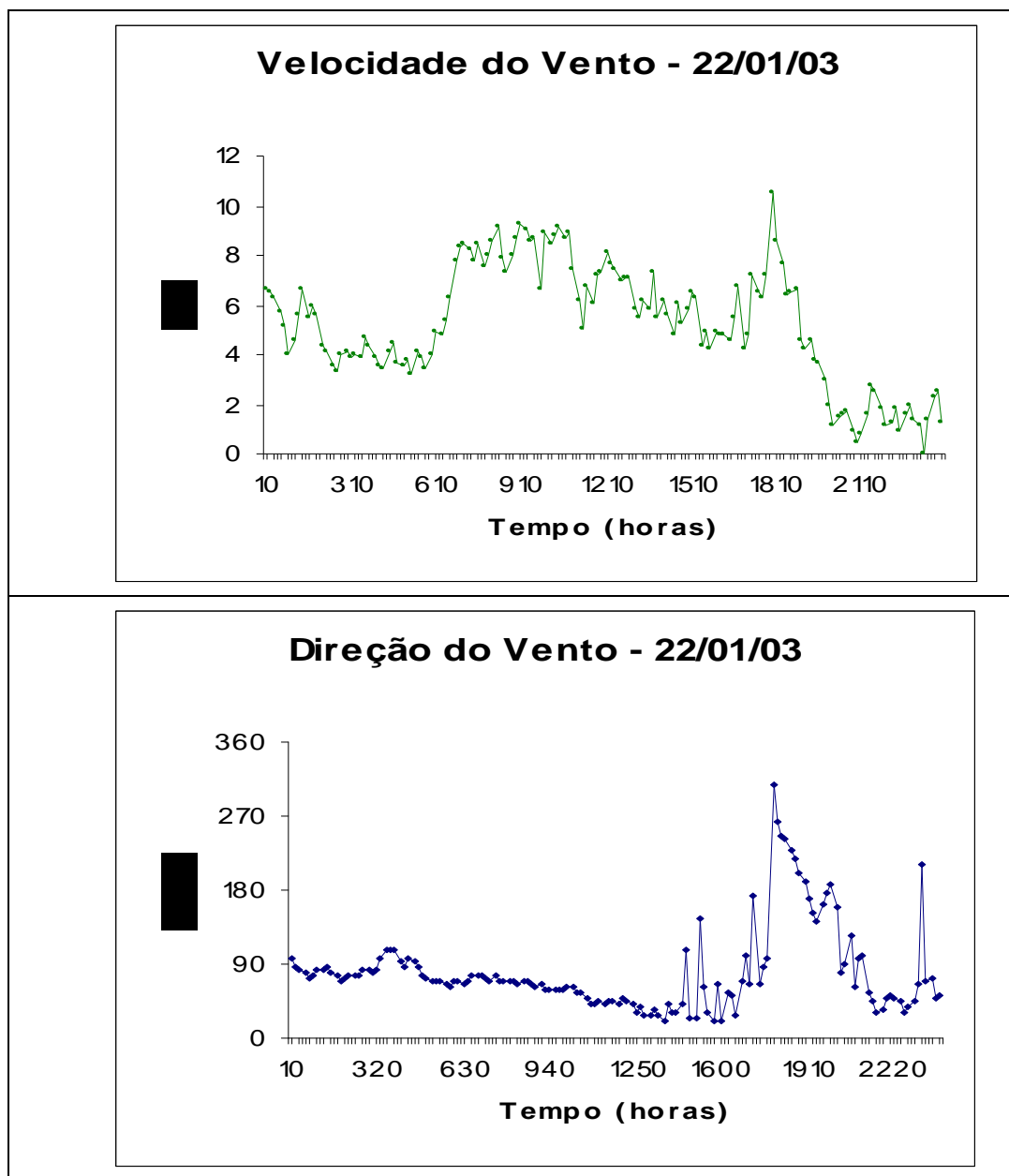


Figura 7.14 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7. 7- Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação três lagoas para o dia 22/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|------------------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|---------------|
| <i>PM₁₀</i> | 24 hs | 50 | 11,88 | (-4803,-5297) | 23,14 | (-2000,-2000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | 17 | 9,72 | (-4803,-5297) | 19 | (-2000,-2000) |

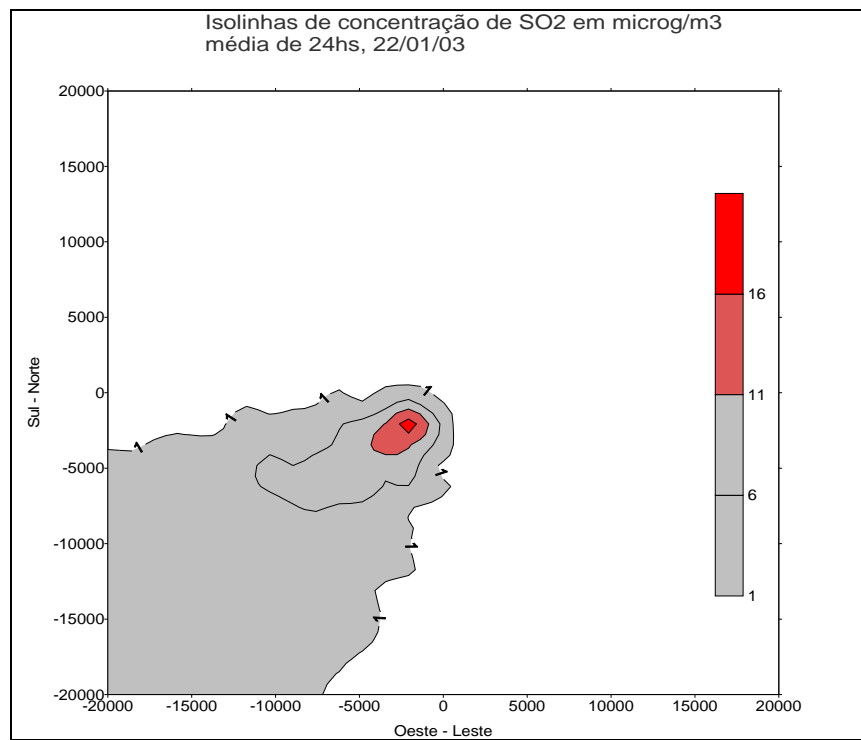
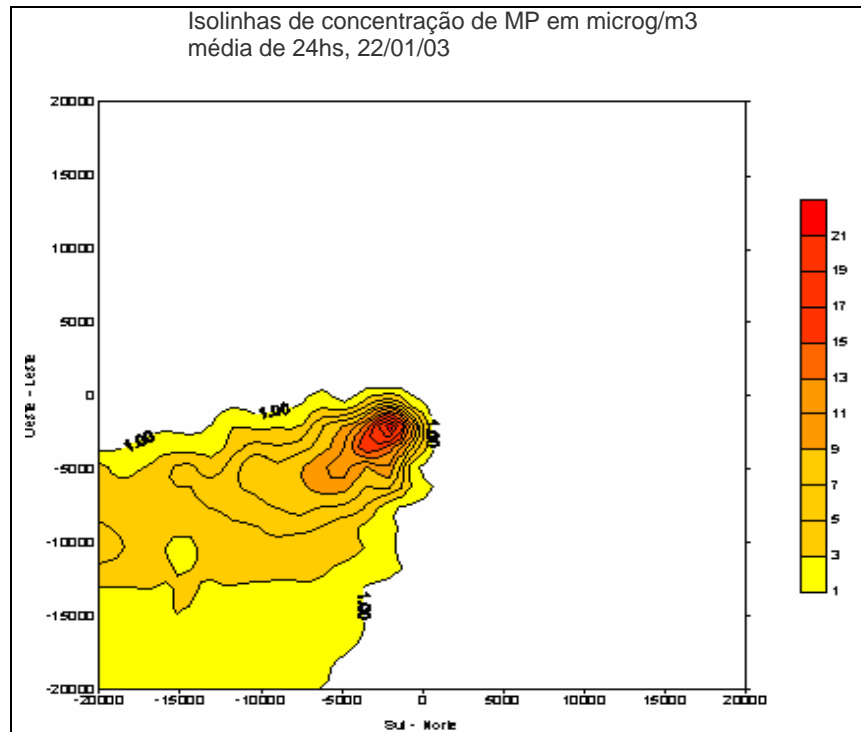
| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.8 –Valores medidos e modelados de MP e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 22/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|------------------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|---------------|
| <i>PM₁₀</i> | 24 hs | 48 | 3,02 | (-12732, 13914) | 23,14 | (-2000,-2000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | x | 2,47 | (-12732, 13914) | 19 | (-2000,-2000) |

TA- Tempo de Amostragem; *CME*- Concentração Medida na Estação (AFG);
CSE- Concentração Simulada na Estação; *LE*- Localização da Estação na grade;
CMS- Concentração Máxima Simulada; *LCM*- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

x- dados não disponíveis



Figuras 7.15 e 7.16 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 22/01/03, média para 24horas.

7.5 Análise dos resultados para o dia 23/06/03

Os resultados apresentados a seguir descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 23/01/03.

Através da figura 7.17 (a,b,c) apresentam-se as imagens de satélite para o dia 23/01/03. Somente três imagens foram disponibilizadas para esse dia.

Na imagem do dia 23/01/2003 observamos o sistema frontal atingindo o Rio Grande do Sul e causando nebulosidade a qual encobre todo Estado. Às 12:00Z, a frente fria já está bem definida e organizada com seu vórtice localizado sobre o oceano Atlântico, centrado em 1000 mb. Durante a tarde esse sistema começa a se deslocar em direção a Sudeste do Brasil e posteriormente, um sistema de alta pressão localizado sobre a Argentina ganha força e começa a se aproximar do Rio Grande do Sul, melhorando as condições do tempo já durante a noite do dia 23.

A figura 7.18 mostra o comportamento dos campos de velocidade e direção do vento, observados durante esse dia.

Em uma análise detalhada da direção e velocidade do vento para este dia, pode-se dizer que o vento manteve-se do quadrante SSO durante praticamente todo o dia 23. Quanto à velocidade do vento, esta manteve a situação de calmaria durante a noite, aumentando nas primeiras horas da manhã para em torno de 8 m/s, decaindo de maneira lenta e suave, até chegar aos 3 m/s no período da noite, nesse dia.

A umidade relativa do ar vista através do anexo III, esteve em declínio no decorrer do dia, atingindo 50 % por volta das 17 horas.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 23/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado uma concentração máxima de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 150 g/s), nas coordenadas (1000m, 3000m). O valor medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297) foi de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o simulado para a estação foi próximo de zero, tornando-se assim insignificante.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor medido foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo foi insignificante, próximo de zero.

Para as concentrações de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado foi de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (1000,3000), sendo para a estação Três Lagoas o valor simulado

foi insignificante, próximo de zero, e para a estação 8 de Agosto também aproximando-se de zero, podendo ser desprezado. Para esse dia, o valor médio observado de SO_2 na estação Três Lagoas foi de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a estação 8 de Agosto, não existem dados observados de SO_2 disponíveis, o que impossibilita uma comparação entre concentrações modeladas e medidas na estação.

Através da tabela 7.9 observa-se que os valores de concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) simulados para o dia 23/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento, calcário e a proximidade de estradas “de terra” na região, as quais, são englobadas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, portanto, aumentando a quantidade de emissões nessa área. Também, através da tabelas 7.9, 7.10 são possíveis de serem visualizados, para o dia 23/01/03, todos os valores medidos e modelados nas estações para as concentrações de particulado (PM_{10}) e SO_2 .

As figuras 7.19 e 7.20 ilustram as isolinhas de concentração de MP (PM_{10}) e SO_2 para o dia 23/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

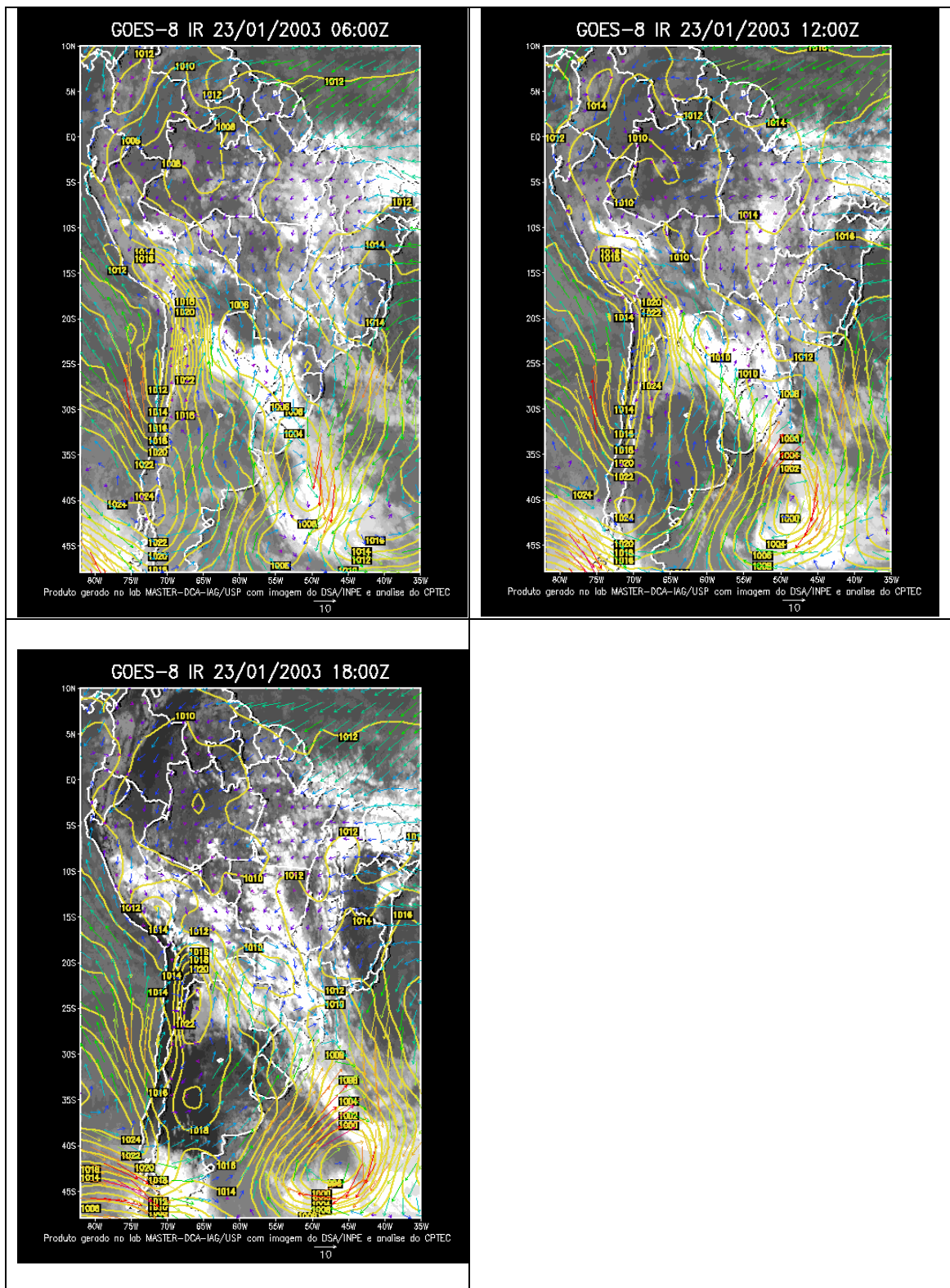


Figura 7.17 – Imagens de satélite, dia 23/01/03 nos seguintes horários: (a) 06:00Z, (b) 12:00Z, (c) 18:00Z.

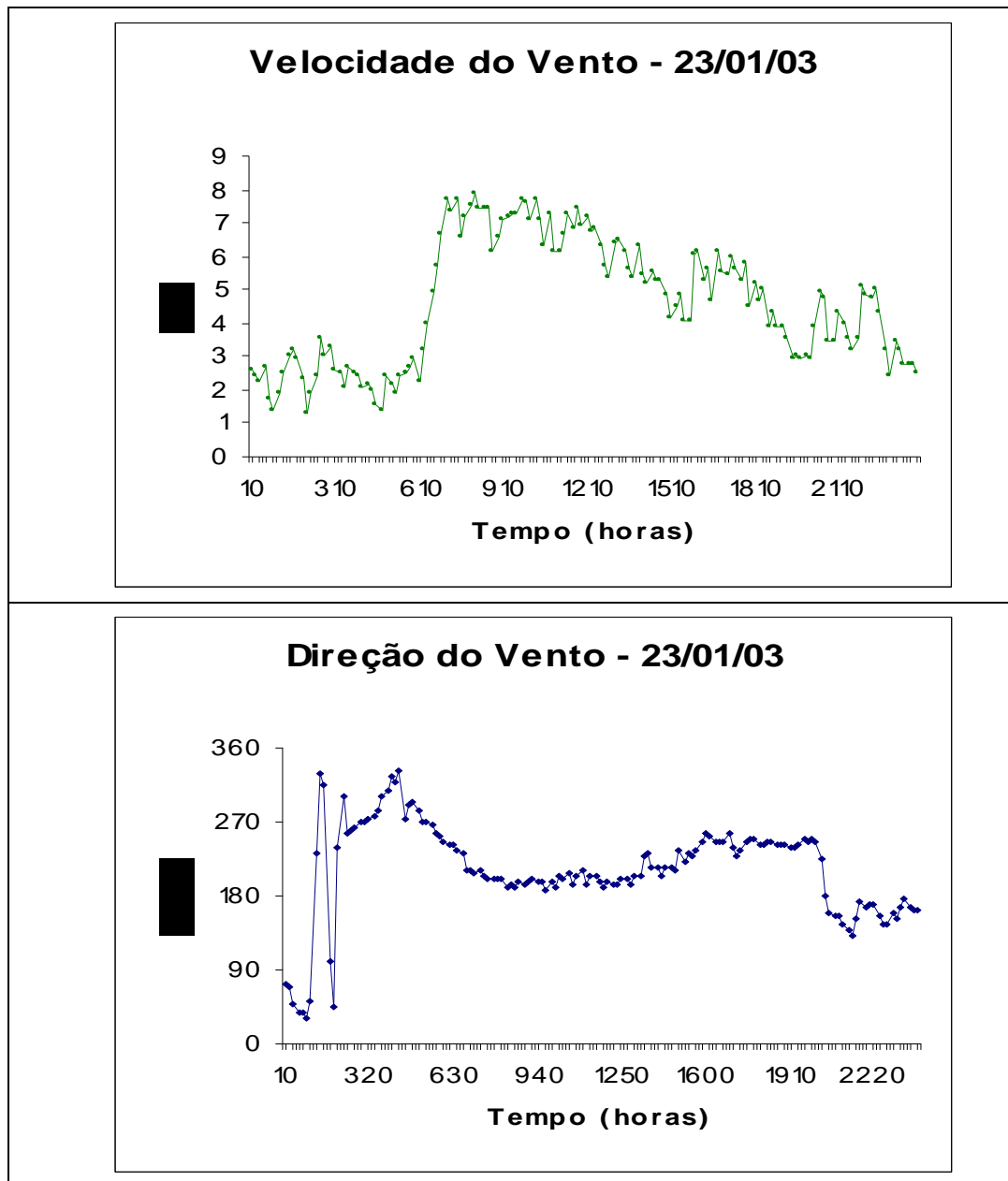


Figura 7.18 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.9 - Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação três lagoas para o dia 23/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|------------------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|-------------|
| <i>PM₁₀</i> | 24 hs | 11 | 0 | (-4803,-5297) | 4 | (1000,3000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | 20 | 0 | (-4803,-5297) | 26 | (1000,3000) |

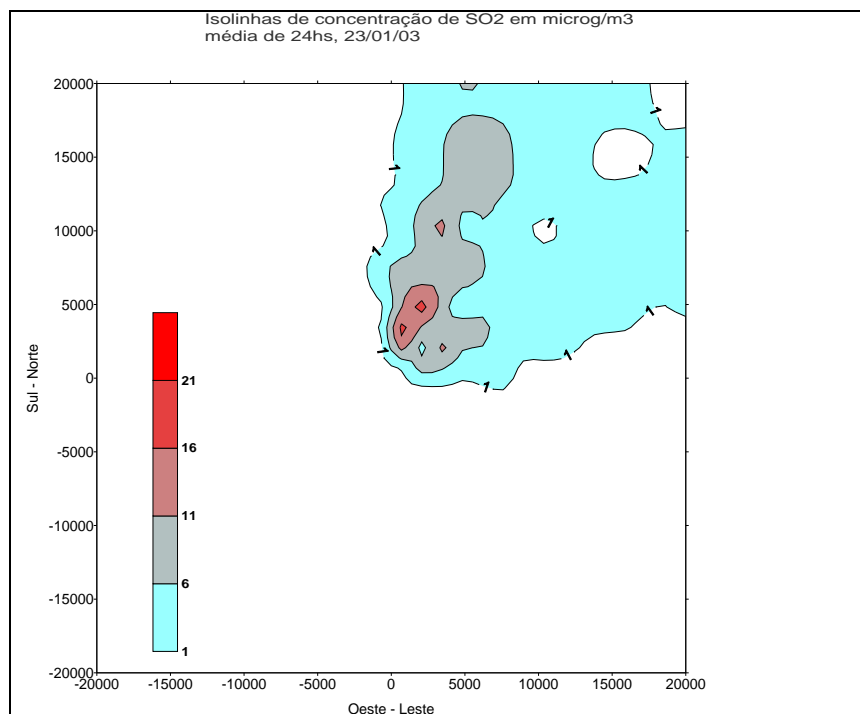
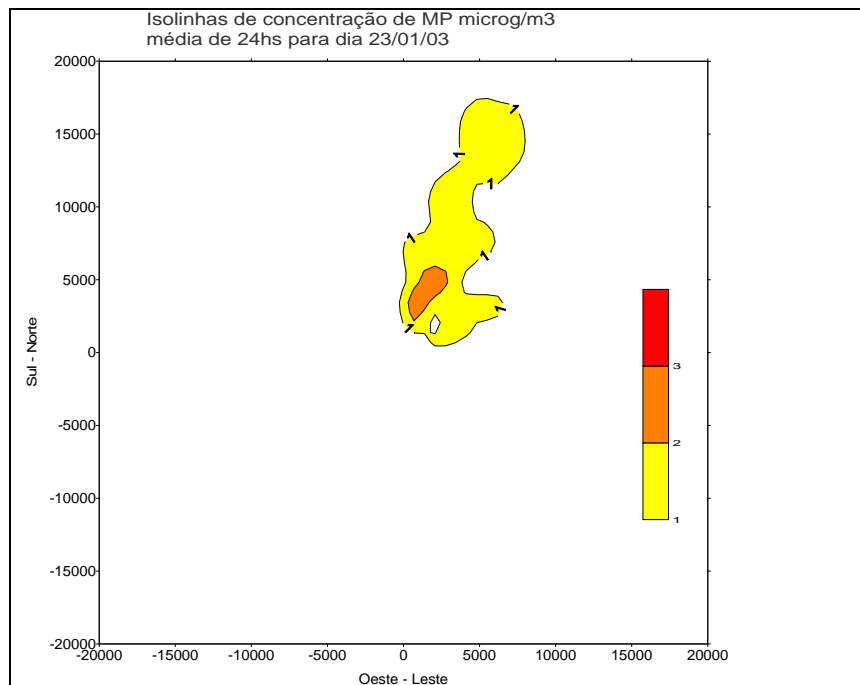
| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.10 –Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 23/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|------------------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|-------------|
| <i>PM₁₀</i> | 24 hs | 17 | 0 | (-12732, 13914) | 4 | (1000,3000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 26 | (1000,3000) |

OBS: *TA* - Tempo de Amostragem; *CME* - Concentração Medida na Estação (AFG); *CSE*- Concentração Simulada na Estação; *LE*- Localização da Estação na grade; *CMS*- Concentração Máxima Simulada; *LMC*- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

x- dados não disponíveis



Figuras 7.19 e 7.20 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 23/01/03, média para 24horas.

7.6 Análise dos resultados para o dia 24/06/03

Os resultados apresentados a seguir descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 24/01/03.

Através da figura 7.21 (a,b,c,d) apresentam-se as imagens de satélite para o dia 24/01/03.

Na imagem do dia 24/01/2003 observa-se que o sistema frontal que passou pelo Rio Grande do Sul no dia anterior ainda deixa muita nebulosidade sobre o Rio Grande do Sul. A medida que esse sistema avança sobre o sudeste do país, aos poucos vai perdendo força e se desintensificando. Na retaguarda desse sistema, a chegada de uma área de alta pressão, deixa o tempo aberto e seco a partir do final da tarde desse dia.

A figura 7.22 mostra o comportamento dos campos de velocidade e direção do vento, observados durante esse dia.

Em uma análise detalhada da direção e velocidade do vento para este dia, pode-se afirmar que nesse período a direção do vento manteve-se muito variável, devido à passagem do sistema frontal pelo Estado durante o dia 24. Quanto à velocidade do vento, esta manteve calma durante todo dia, atingido picos de 3,5 m/s ao meio dia.

A umidade relativa do ar vista através do anexo III, esteve alta durante a noite, como de costume, decaindo durante o dia até um mínimo de 30 % no fim da tarde, devido à entrada de um sistema de alta pressão, aumentando em seguida, com o período noturno.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 24/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado uma concentração máxima de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 256 g/s), nas coordenadas (-1000m, -500m). O valor medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297) foi de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG) e o simulado para a estação foi próximo de zero.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor medido foi de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo foi também insignificante, próximo de zero.

Para as concentrações de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado foi de $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (-1000m, -500m), e para a estação Três Lagoas o valor simulado foi insignificante, próximo de zero. Para a estação 8 de Agosto o valor simulado também pode ser desprezado. Para esse dia, o valor médio de SO_2 observado na estação Três Lagoas

foi de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a estação 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2 disponíveis, o que impossibilita uma comparação entre concentrações modeladas e medidas na estação.

Através das tabelas 7.11 e 7.12 observa-se que os valores de concentrações de Material Particulado simulado para o dia 24/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento, calcário e a proximidade de estradas “de terra” na região, as quais, são englobadas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, portanto, aumentando a quantidade de emissões nessa área.

Quanto às concentrações em massa de SO_2 para esse dia, nota-se grande diferença entre as concentrações simuladas e medidas. Esse dia experimentou a maior variação na direção do vento dentre os dez dias estudados. Se observarmos o campo de sua direção, (fig.7.22), pode-se ter uma idéia de quanto foi sua oscilação. O modelo *ISCST*, deixa de ser válido para esses casos onde ocorrem mudanças graduais na direção do vento e assim sendo, não modela de forma convincente as concentrações dos poluentes.

As figuras 7.21 e 7.22 ilustram as isolinhas de concentração de PM_{10} e SO_2 para o dia 24/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

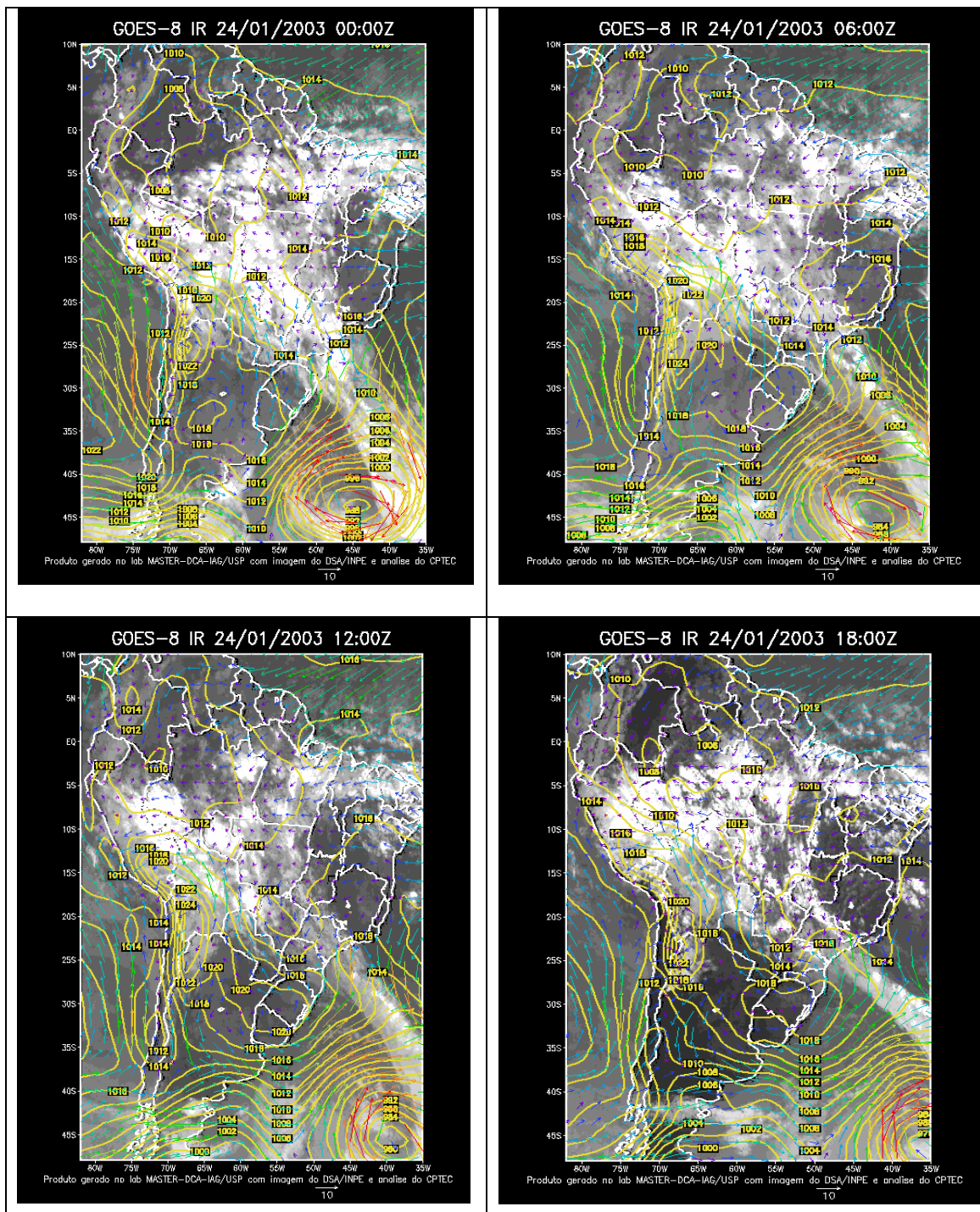


Figura 7.21 – Imagens de satélite, dia 24/01/03 nos seguintes horários: (a) 00:00Z, (b) 06:00Z, (c) 12:00Z, (d) 18:00Z.

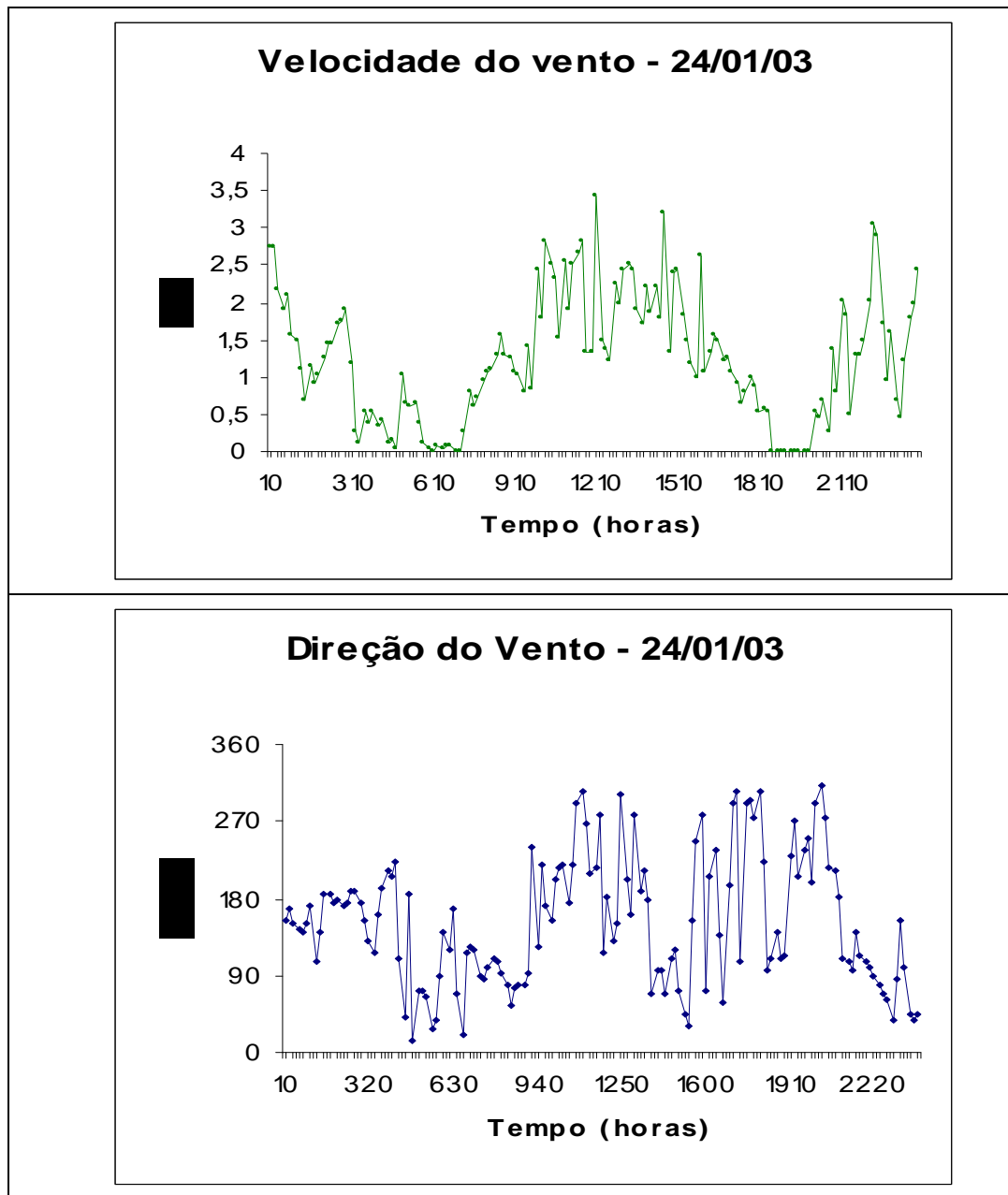


Figura 7.22 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.11 - Valores medidos e modelados de MP (AFG), (PM_{10}) e SO_2 $\mu g/m^3$ na estação três lagoas para o dia 24/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 26 | 0 | (-4803,-5297) | 15 | (-1000,-500) |
| SO_2 | 24 hs | 32 | 0 | (-4803,-5297) | 84 | (-1000,-500) |

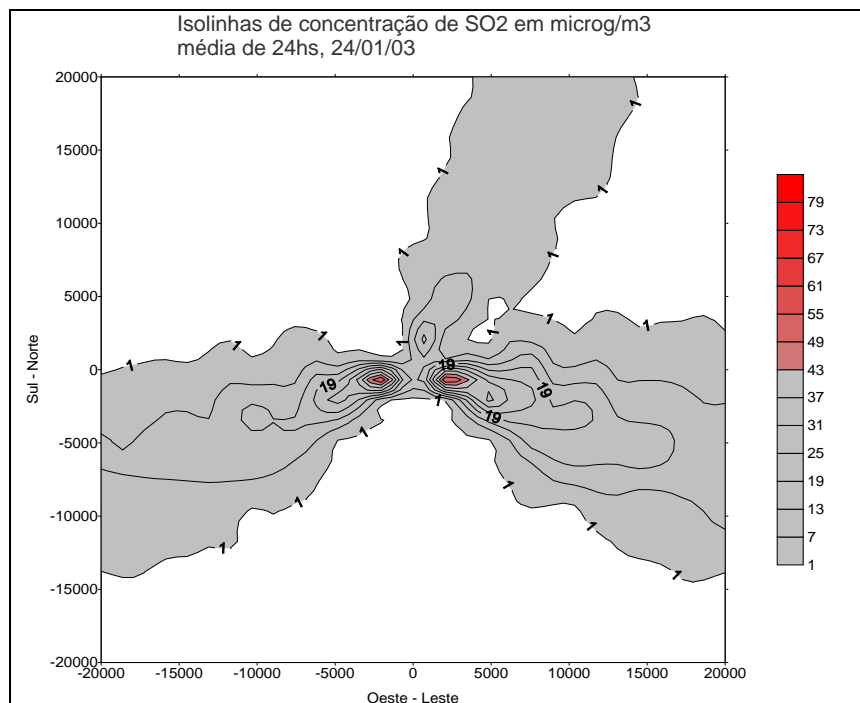
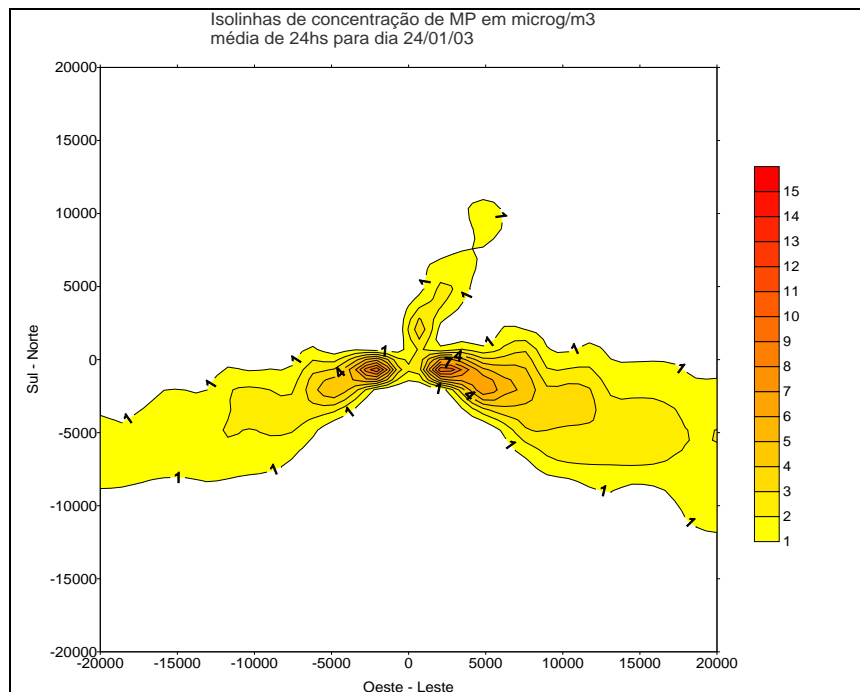
| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.12 –Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu g/m^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 24/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 24 | 0 | (-12732, 13914) | 15 | (-1000,-500) |
| SO_2 | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 84 | (-1000,-500) |

TA- Tempo de Amostragem; **CME**- Concentração Medida na Estação (AFG);
CSE- Concentração Simulada na Estação; **LE**- Localização da Estação na grade;
CMS- Concentração Máxima Simulada; **LCM**- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu g/m^3$.

x- dados não disponíveis



Figuras 7.23 e 7.24 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 24/01/03, média para 24horas.

7.7 Análise dos resultados para o dia 25/06/03

Os resultados apresentados a seguir descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 25/01/03.

Através da figura 7.25 apresenta-se a imagem de satélite para o dia 25/01/03. Somente uma imagem foi disponibilizada nesse dia.

Na imagem do dia 25/01/2003 se observa que o sistema frontal que passou pelo Estado encontra-se agora atingindo o estado de São Paulo, proporcionando tempo aberto sobre o Rio Grande do Sul.

A figura 7.26 mostra o comportamento dos campos de velocidade e direção do vento, observados durante esse dia.

Em uma análise detalhada da direção e velocidade do vento para este dia, pode-se afirmar que durante esse período a direção do vento manteve-se variável, no quadrante NEE. Quanto à velocidade do vento, esta se manteve calma com intensidade variando de 0,5 a 5 m/s, durante todo dia 25.

A umidade relativa do ar vista através do anexo III, esteve alta durante a noite, como de costume, decaindo durante o dia até valores de até de 40 % no fim da tarde, aumentando em seguida, com o período noturno.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 25/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado uma concentração máxima de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 110 g/s), nas coordenadas (-2000m, -500m). O valor medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297) foi de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG) e o simulado para a estação foi $0,014 \mu\text{g}/\text{m}^3$, próximo de zero, insignificante.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor medido foi de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo foi $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ também insignificante.

Para as concentrações de SO_2 nesse dia, o valor simulado foi de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (-2000m,-500m). Para a estação Três Lagoas o valor simulado 0,08 foi insignificante, próximo de zero, e para a estação 8 de Agosto o simulado também pode ser desprezado. Para esse dia, o valor médio de SO_2 observado na estação Três Lagoas foi de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a estação 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2

disponíveis, o que impossibilitará uma comparação entre concentrações modeladas e medidas na estação.

Através das tabelas 7.13 e 7.14 observa-se que os valores de concentrações de Material Particulado simulado para o dia 25/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento, calcário e a proximidade de estradas “de terra” na região, as quais, são englobadas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, portanto, aumentando a quantidade de emissões nessa área.

As figuras 7.27 e 7.28 ilustram as isolinhas de concentração de PM_{10} e SO_2 para o dia 24/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de serem visualizados através do anexo I e anexo II.

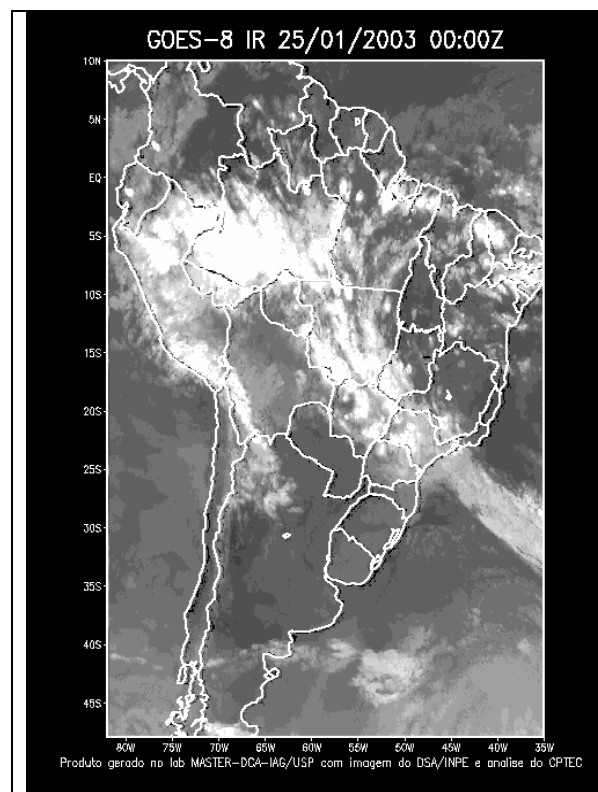


Figura 7.25 – Imagem de satélite, dia 25/01/03 no horário: 00:00Z.

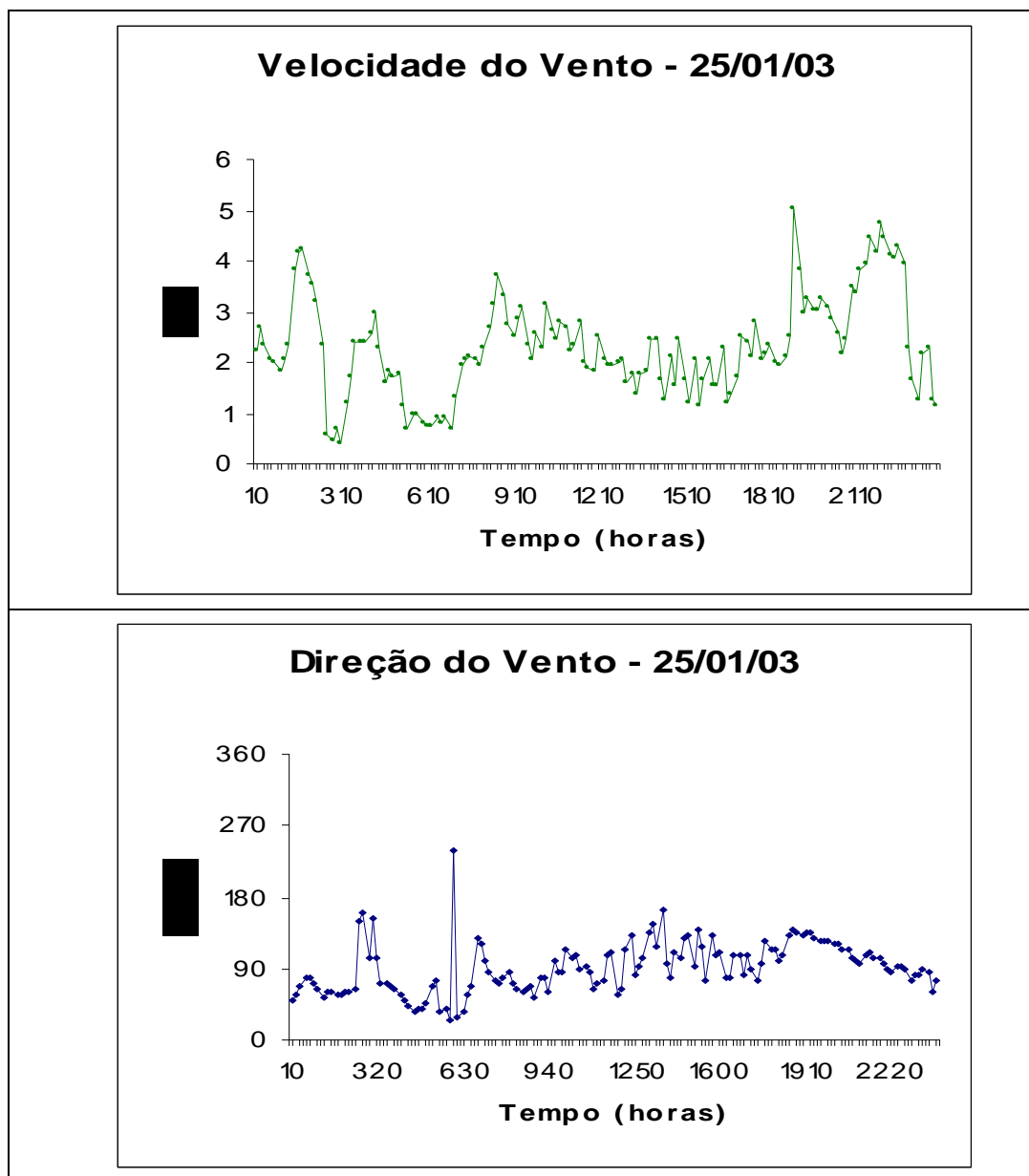


Figura 7.26 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.13 - Valores medidos e modelados de MP (PM₁₀) e SO₂ µg/m³ na estação três lagoas para o dia 25/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|--------------|
| <i>MP</i> | 24 hs | 16 | 0,014 | (-4803,-5297) | 8 | (-2000,-500) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | 50 | 0,08 | (-4803,-5297) | 46 | (-2000,-500) |

| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

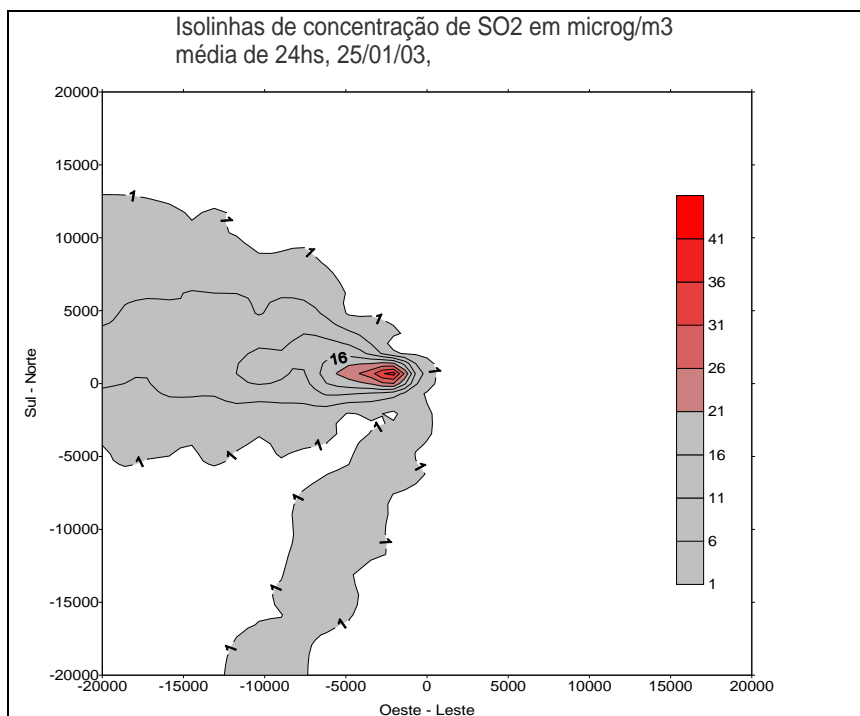
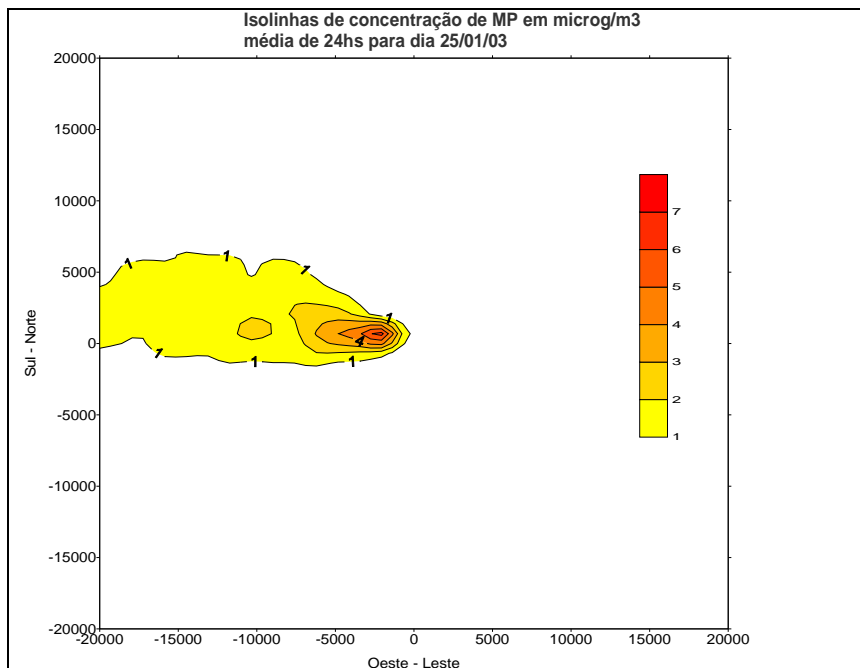
Tabela 7.14 –Valores medidos e modelados de MP e SO₂ µg/m³ na estação 8 de Agosto para o dia 25/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| <i>MP</i> | 24 hs | 38 | 0,001 | (-12732, 13914) | 8 | (-2000,-500) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 46 | (-2000,-500) |

TA - Tempo de Amostragem; *CME* - Concentração Medida na Estação (AFG);
CSE - Concentração Simulada na Estação; *LE* - Localização da Estação na grade;
CMS - Concentração Máxima Simulada; *LCM* - Localização da Concentração Máxima.

(x, y) m. As concentrações são dadas em µg/m³.

x- dados não disponíveis



Figuras 7.27 e 7.28 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 25/01/03, média para 24horas.

7.8 Análise dos resultados para o dia 26/06/03

Os resultados apresentados descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 26/01/03.

Através da figura 7.29 apresenta-se a imagem de satélite para o dia 26/01/03. Somente essa imagem foi disponibilizada para dia.

Na imagem do dia 26/01/2003 se observa a presença de um sistema anticiclônico à leste do RS (semi-estacionário) sobre o oceano atlântico, que ocasiona a formação de nebulosidade variável sobre o estado gaúcho, devido a sua circulação que traz um ar tropical e quente do mar.

Em uma análise detalhada da direção e velocidade do vento para este dia (figura 7.30), pode-se afirmar que durante esse período a direção do vento manteve-se do quadrante ESE. Quanto à velocidade do vento, esta atinge uma velocidade máxima de 7 m/s no início da noite (18 hs).

A umidade relativa do ar vista através do anexo III, permanece semelhante se comparada com o dia anterior. Esteve alta durante a noite, decaindo durante o dia até um mínimo de 50 % no fim da tarde.

Com relação às concentrações de MP (PM_{10}) para o dia 26/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado uma concentração máxima de aproximadamente $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 172 g/s), nas coordenadas (-500m, -1000m). O valor medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297) foi de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG) e o simulado para a estação foi insignificante.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor medido foi de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo foi insignificante, próximo de zero.

Para as concentrações de SO_2 nesse dia, o valor simulado foi de $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (-500m,-1000m), e para a estação Três Lagoas o valor simulado foi insignificante, próximo de zero; idem para a estação 8 de Agosto, onde o simulado também pode ser desprezado. Para esse dia, o valor médio de SO_2 observado na estação Três Lagoas foi de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a estação 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2 disponíveis, o que impossibilitará uma comparação entre concentrações modeladas e medidas na estação.

Através das tabelas 7.15 e 7.16 observa-se que os valores de concentrações de Material Particulado (PM_{10}) simulado para o dia 26/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento, calcário e a proximidade de estradas “de terra” na região, as quais, são englobadas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, portanto, aumentando a quantidade de emissões nessa área.

As figuras 7.31 e 7.32 ilustram as isolinhas de concentração de PM_{10} e SO_2 para o dia 24/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

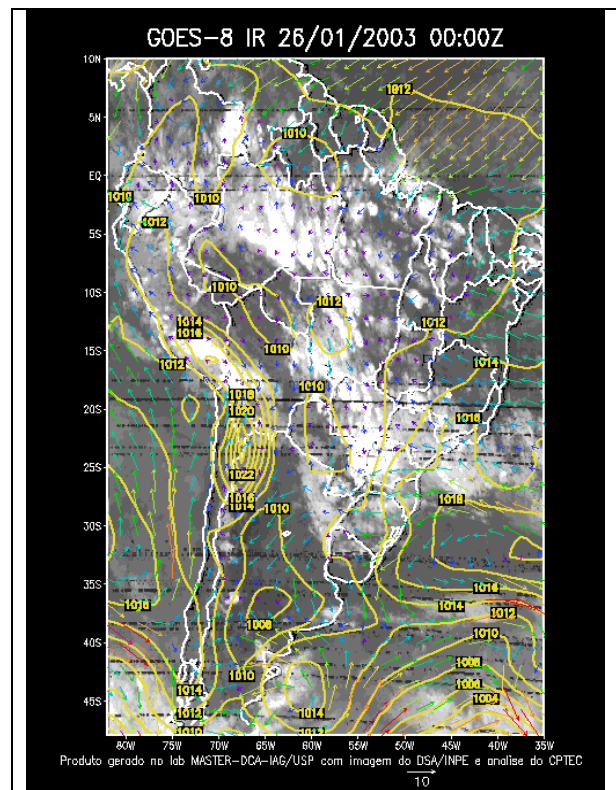


Figura 7.29 – Imagem de satélite, dia 26/01/03 no horário: 00:00Z,

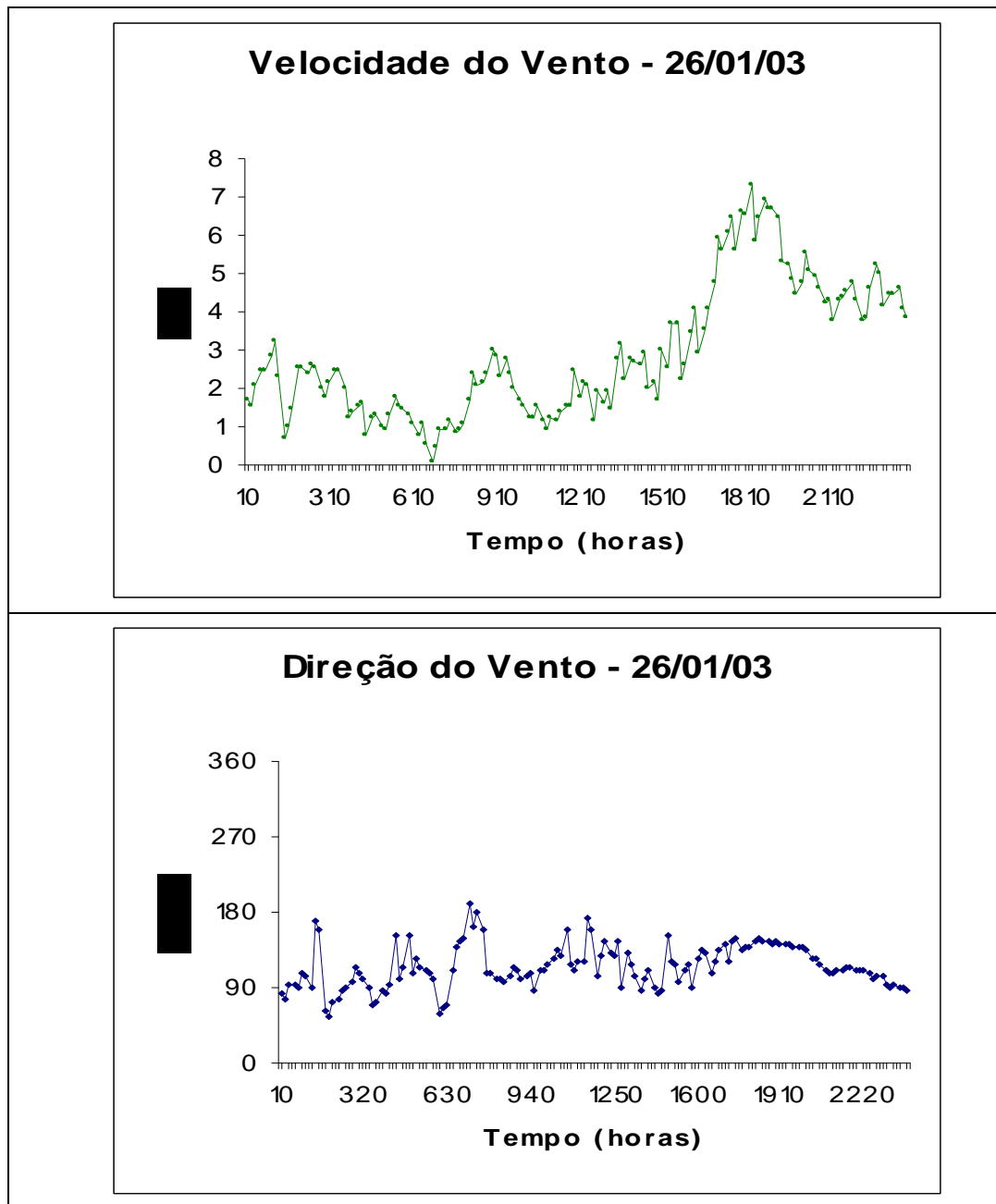


Figura 7.30 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.15 - Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação três lagoas para o dia 26/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 26 | 0 | (-4803,-5297) | 10 | (-500,-1000) |
| SO_2 | 24 hs | 38 | 0 | (-4803,-5297) | 58 | (-500,-1000) |

| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 6.16 –Valores medidos e modelados de MP e SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 26/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 34 | 0 | (-12732, 13914) | 10 | (-500,-1000) |
| SO_2 | 24 hs | | 0 | (-12732, 13914) | 58 | (-500,-1000) |

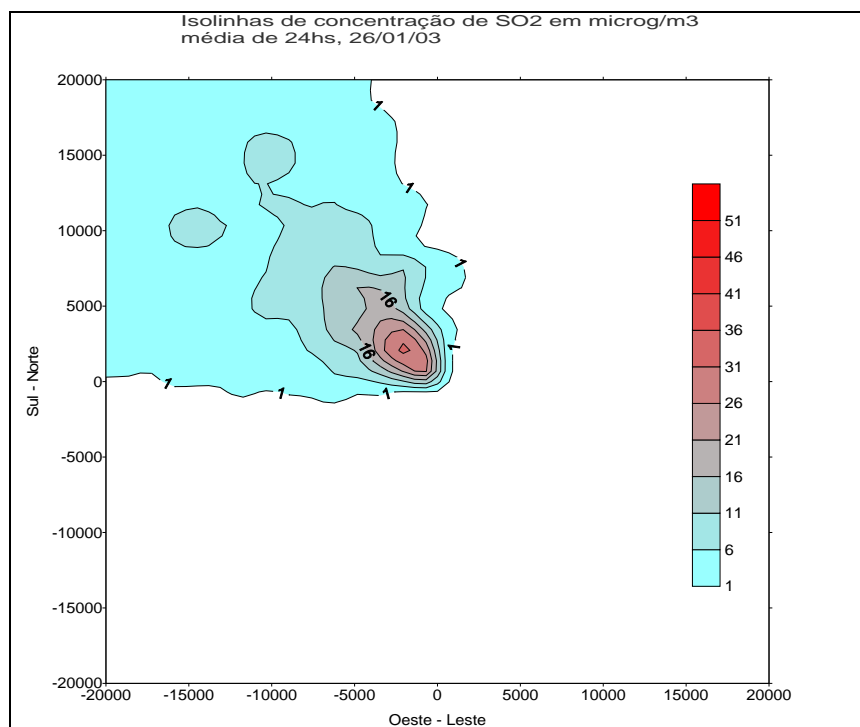
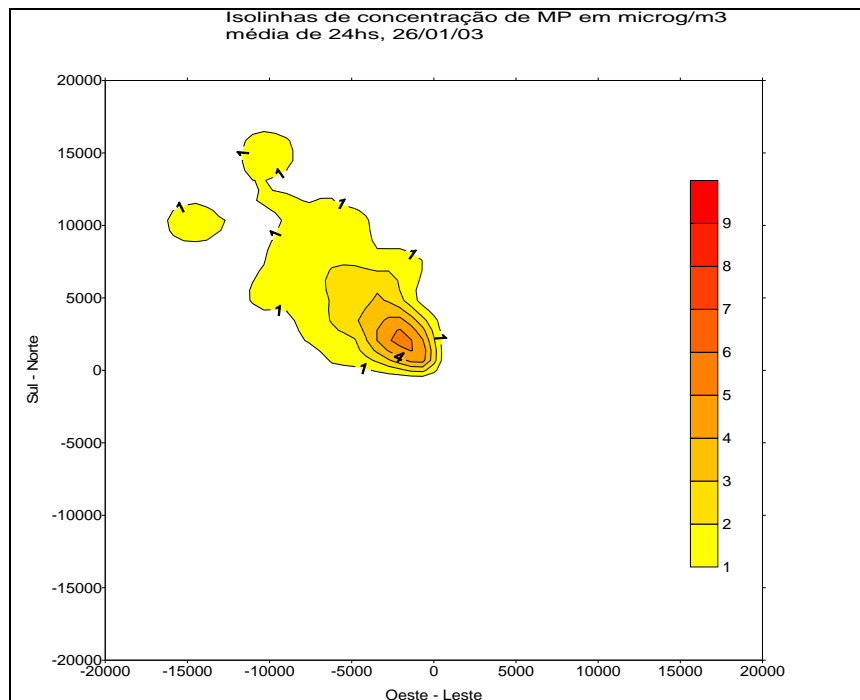
TA - Tempo de Amostragem; *CME* - Concentração Medida na Estação (AFG);

CSE - Concentração Simulada na Estação; *LE* - Localização da Estação na grade (m)

CMS- Concentração Máxima Simulada; *LMC*- Localização da Concentração

Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

x- dados não disponíveis



Figuras 7.31 e 7.32 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 26/01/03, média para 24horas.

7.9 Análise dos resultados para o dia 27/06/03

Os resultados apresentados descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 27/01/03.

Através da figura 7.33 (a,b,c,d) apresentam-se as imagens de satélite para o dia 27/01/03.

Na imagem de satélite das 00:00Z do dia 27/01/03, observa-se uma circulação zonal de leste em todo o RS, provocada pelo sistema de alta pressão (semi-estacionário) que está sobre o oceano, o qual, aliado aos ventos que carregam umidade e um ar mais aquecido do centro do País. Isso faz com que a nebulosidade ainda continue sobre boa parte do estado gaúcho, com exceção da região de Oeste, que apresenta apenas nuvens esparsas. Aos poucos esse sistema vai perdendo força e se deslocando para dentro do oceano, diminuindo a nebulosidade sobre o Estado, deixando-o no final do dia praticamente sem nuvens.

Em uma análise detalhada da direção e velocidade do vento para este dia, pode-se afirmar que praticamente durante esse período a direção do vento manteve-se do quadrante ESE. Quanto à velocidade do vento, esta apresenta grandes variações de magnitude, atingido a velocidade máxima de 6,5 m/s no decorrer da manhã.

A umidade relativa do ar vista através do anexo III, permanece semelhante se comparada com o dia anterior. Esteve alta, decaindo durante o dia até um mínimo de 50 % às 17 horas, aumentando novamente com o período noturno.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 27/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado uma concentração máxima de aproximadamente $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 234 g/s), nas coordenadas (-3000m,-500m) da fonte. O valor medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297) foi de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG) e o simulado para a estação foi próximo de zero.

Para a estação 8 de Agosto (-12732, -13914) o valor medido foi de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AFG), e o valor simulado pelo modelo foi insignificante, próximo de zero.

Para as concentrações em massa de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado foi de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (-3000m,-500m) da fonte. Para a estação Três Lagoas o valor simulado foi insignificante, próximo de zero, e idem para a estação 8 de Agosto onde o simulado também pode ser desprezado. Para esse dia, o valor médio de SO_2 observado na estação Três Lagoas foi de $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o valor simulado $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a

estação 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2 disponíveis, o que impossibilitará uma comparação entre concentrações modeladas e medidas na estação.

Através das tabelas 7.17 e 7.18 observa-se que os valores de concentrações de Material Particulado simulado para o dia 27/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento, calcário e a proximidade de estradas “de chão” na região, as quais, são englobadas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, portanto, aumentando a quantidade de emissões nessa área.

As figuras 7.35 e 7.36 ilustram as isolinhas de concentração de MP (PM_{10}) e SO_2 para o dia 27/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

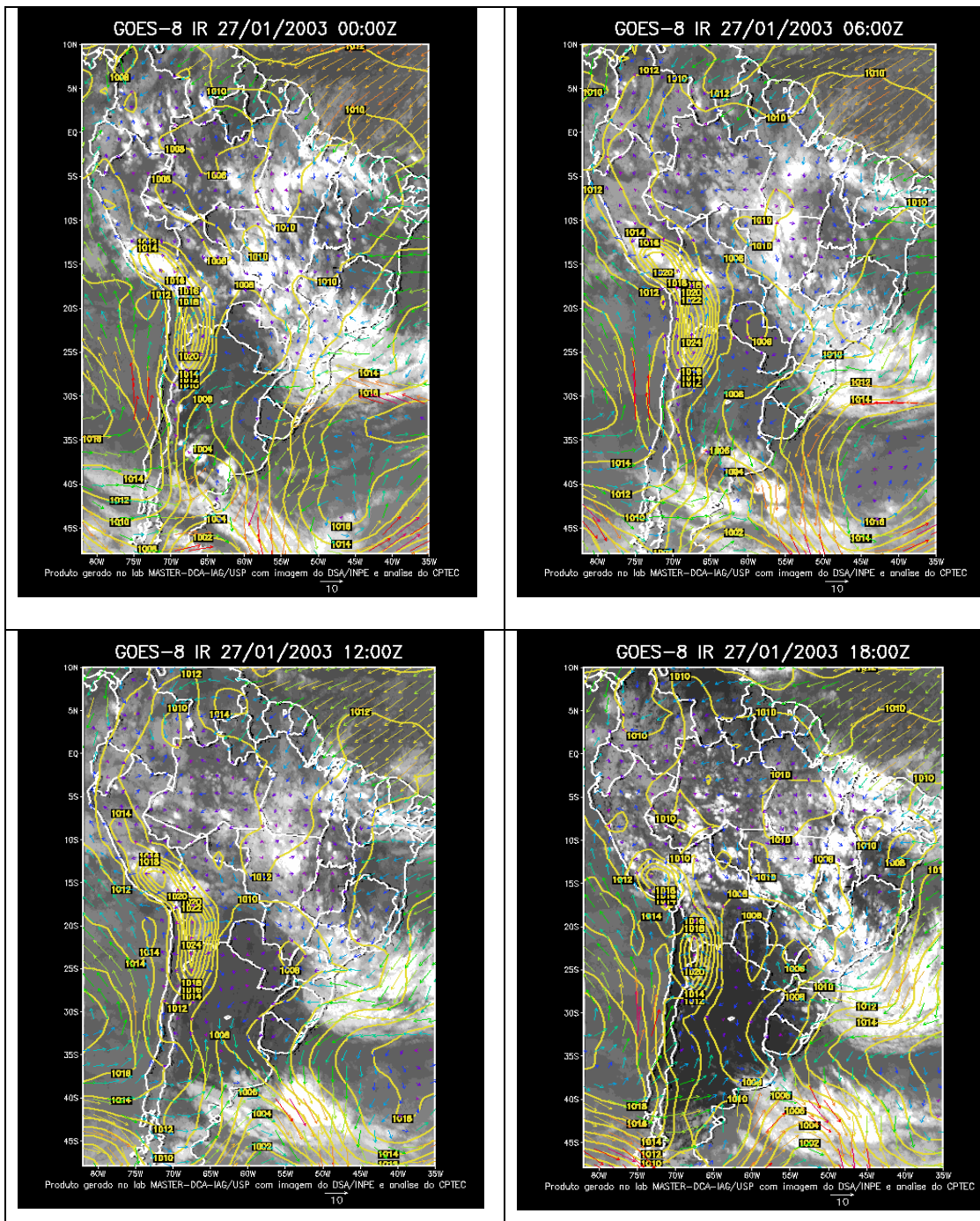


Figura 7.33 – Imagens de satélite, dia 27/01/03 nos seguintes horários: (a) 00:00Z, (b) 06:00Z, (c) 12:00Z, (d) 18:00Z

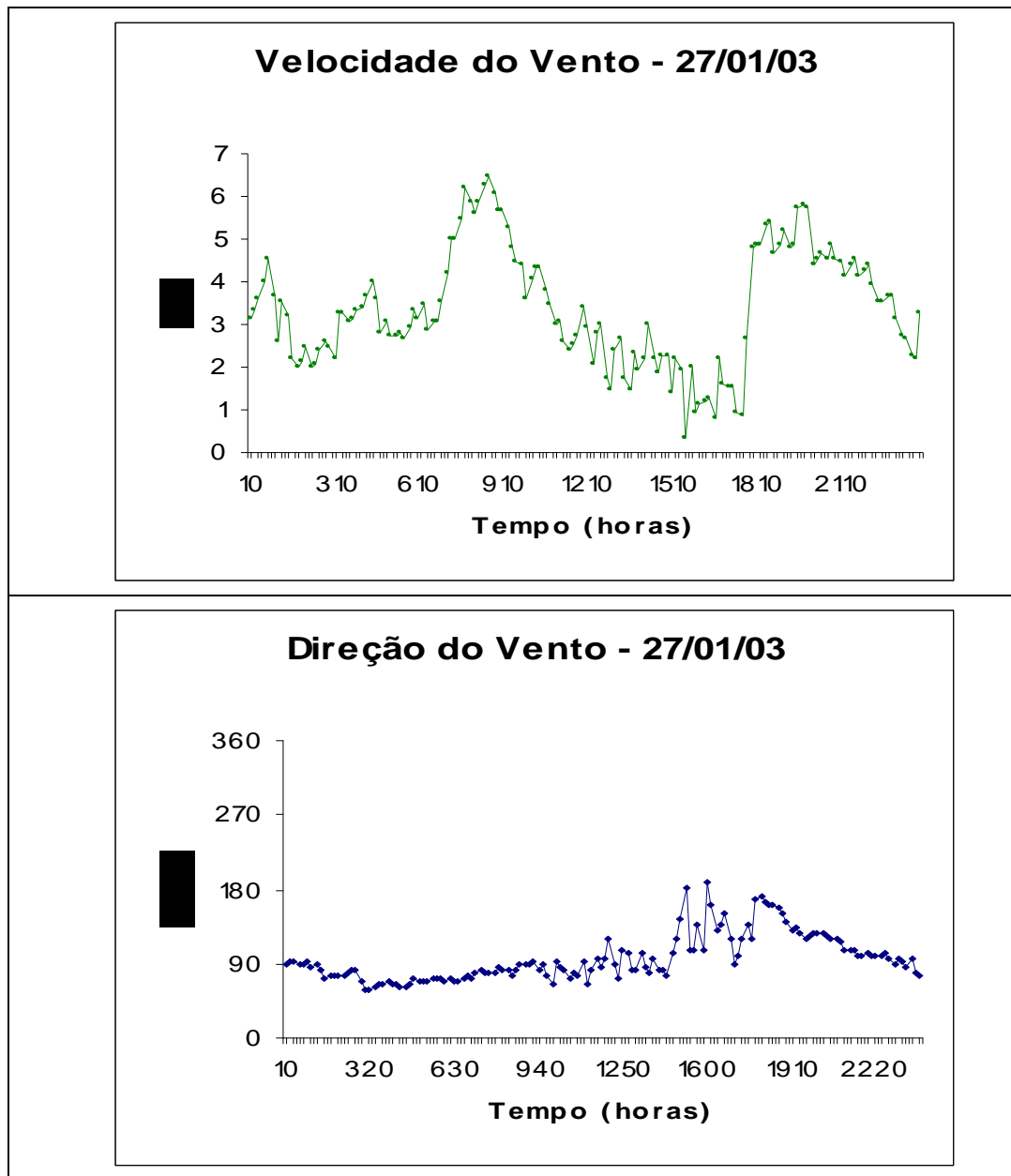


Figura 7.34 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.17- Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu g/m^3$ na estação três lagoas para o dia 27/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 15 | 0,08 | (-4803,-5297) | 14 | (-3000,-500) |
| SO_2 | 24 hs | 71 | 0 | (-4803,-5297) | 80 | (-3000,-500) |

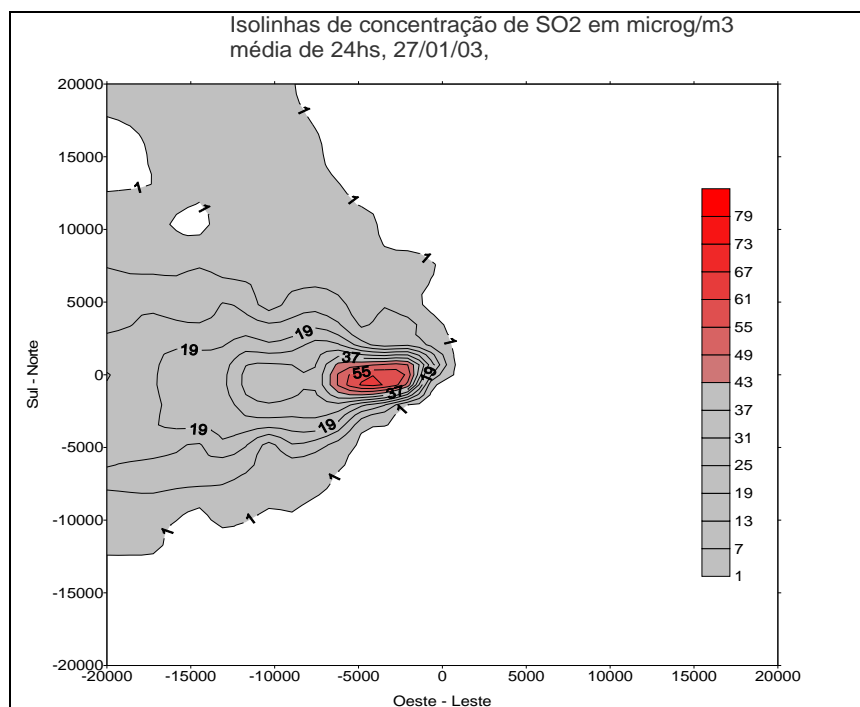
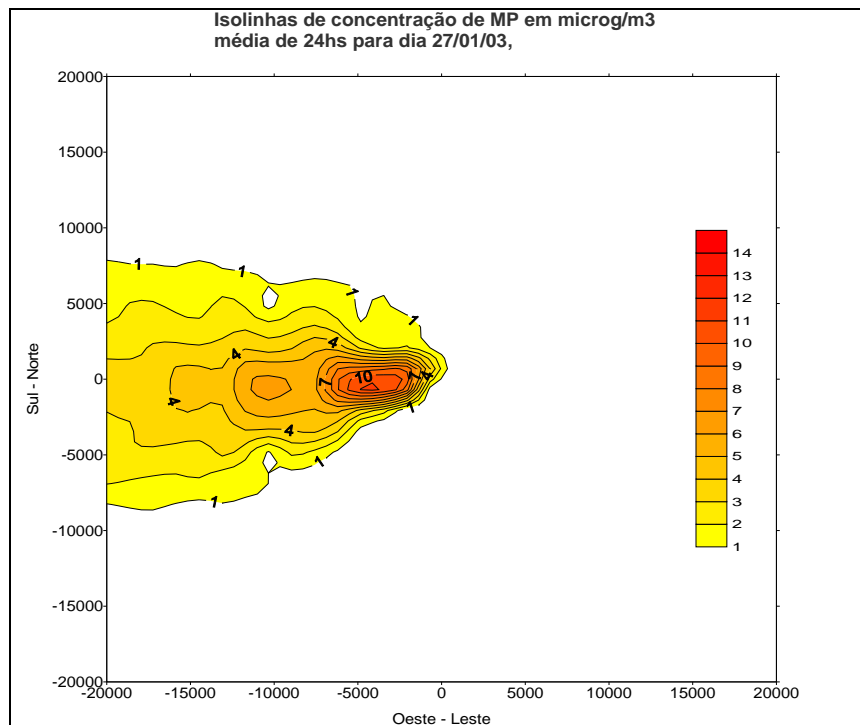
| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.18 –Valores medidos e modelados de MP (PM_{10}) e SO_2 $\mu g/m^3$ na estação 8 de Agosto para o dia 27/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| PM_{10} | 24 hs | 39 | 0,38 | (-12732, 13914) | 14 | (-3000,-500) |
| SO_2 | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 80 | (-3000,-500) |

TA- Tempo de Amostragem; *CME*- Concentração Medida na Estação (AFG);
CSE- Concentração Simulada na Estação; *LE*- Localização da Estação na grade;
CMS- Concentração Máxima Simulada; *LCM*- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em $\mu g/m^3$.

X - dados não disponíveis.



Figuras 7.35 e 7.36 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 27/01/03, média para 24 horas.

7.10 Análise dos Resultados para o dia 28/06/03

Os resultados apresentados descrevem as análises das condições meteorológicas e das concentrações em massa de Material Particulado (PM_{10}) e SO_2 para o dia 28/01/03.

Através da figura 7.37 (a,b,c,d) apresentam-se as imagens de satélite para o dia 28/01/03.

Na imagem de satélite do dia 28/01/03, observa-se que no RS o céu encontra-se com pouca nebulosidade, e essa se apresenta mais ao longo da região sul do país, devido à presença de um sistema de baixa pressão com centro sobre a costa de São Paulo. Observa-se que o centro de baixa pressão enfraquece e desloca-se para o oceano, ficando o Estado do Rio Grande do Sul sob influência de um sistema anticiclônico, que passa ao Sul do Uruguai, e que garantiria tempo bom para o Estado, no restante do dia.

Em uma análise detalhada da direção e velocidade do vento para este dia, pode-se afirmar que a direção do vento variou bastante nas primeiras horas do dia, predominando em média do quadrante SE. Quanto à velocidade do vento, esta apresentou –se fraca no período da manhã em torno de 2m/s, aumentando a partir do meio dia e atingindo um máximo de 7m/s, devido à aproximação do sistema de anticiclônico.

A umidade relativa do esteve alta, decaindo durante o dia até um mínimo de 50 % por volta das 17 horas, aumentando novamente com o período noturno.

Com relação às concentrações em massa de MP (PM_{10}) para o dia 28/01/03, após a modelagem de dispersão, apresentaram-se como resultado uma concentração máxima de aproximadamente $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emissão de 164 g/s), nas coordenadas (-500m, -1000m). Não há registros para os valores medido na estação Três Lagoas (-4803, -5297), e 8 de Agosto (-12732, -13914) para esse dia e o valor simulado para as estações foi próximo de zero, insignificante.

Para as concentrações em massa de SO_2 nesse dia, o máximo valor simulado foi de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu nas coordenadas (-500m, -1000m) da fonte de emissão. Para a estação Três Lagoas o valor simulado foi próximo de zero, e idem para a estação 8 de Agosto, onde o simulado também pode ser desprezado. Para esse dia, o valor médio de SO_2 observado na estação Três Lagoas foi de $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente a estação 8 de Agosto, não existem dados observados para SO_2 disponíveis.

Através das tabelas 7.19 e 7.20 observa-se que os valores de concentração em massa de Material Particulado (PM_{10}) simulado para o dia 28/01/03 apresentam-se menores que os valores medidos nas estações de qualidade do ar. Também são possíveis de se visualizar, todos os valores medidos e modelados nas estações para as concentrações de MP e SO_2 .

As figuras 7.39 e 7.40 ilustram as isolinhas de concentração de MP (PM_{10}) e SO_2 para o dia 28/01/03. Pode-se observar que as maiores concentrações estão próximas da fonte de emissão (UTPM).

Uma comparação dia x dia das concentrações em massa simuladas pelo modelo de Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) para todos os dez dias de experimento são possíveis de visualizar através do anexo I e anexo II.

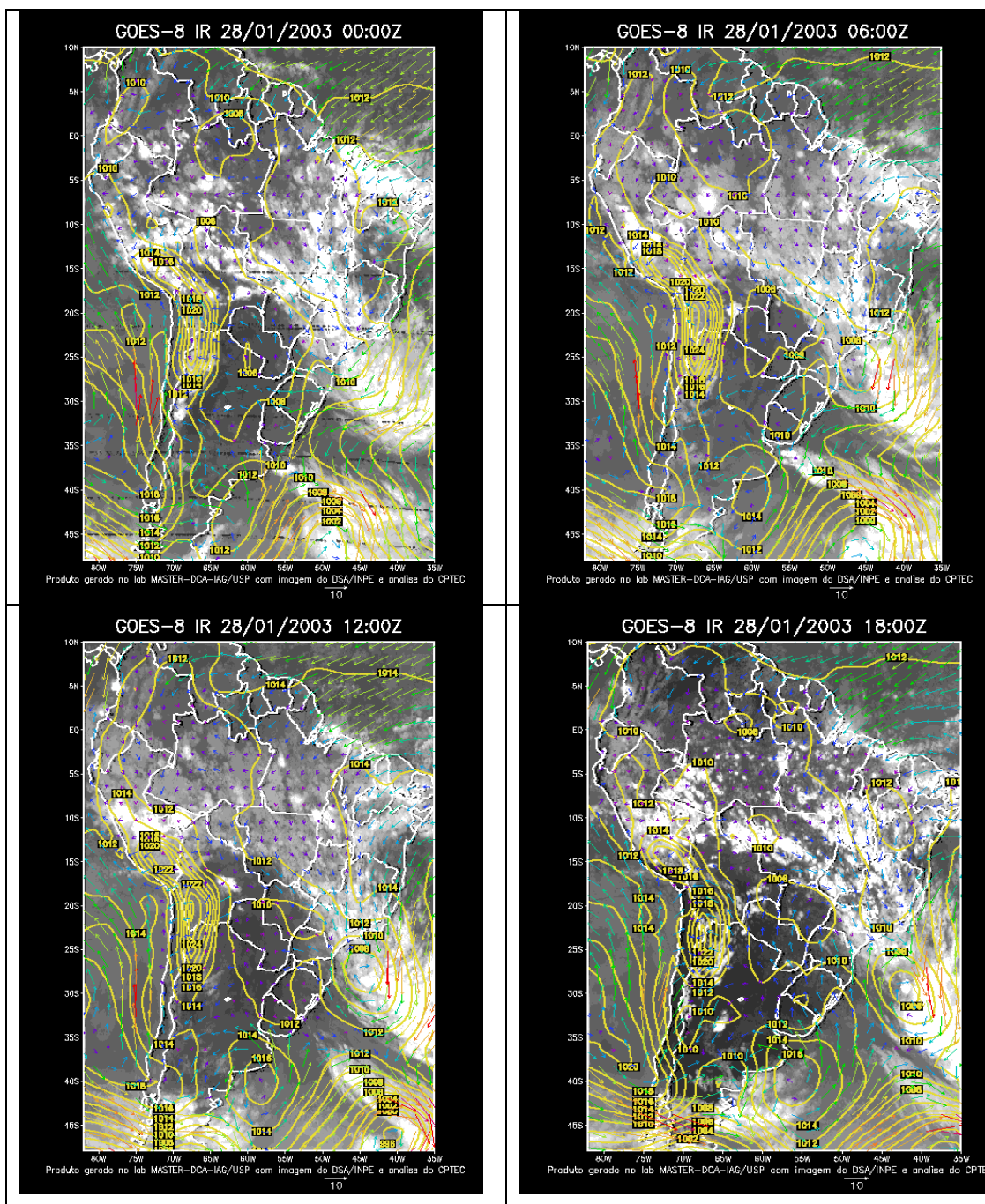


Figura 7.37 – Imagens de satélite, dia 28/01/03 nos seguintes horários: (a) 00:00Z, (b) 06:00Z, (c) 12:00Z, (d) 18:00Z.

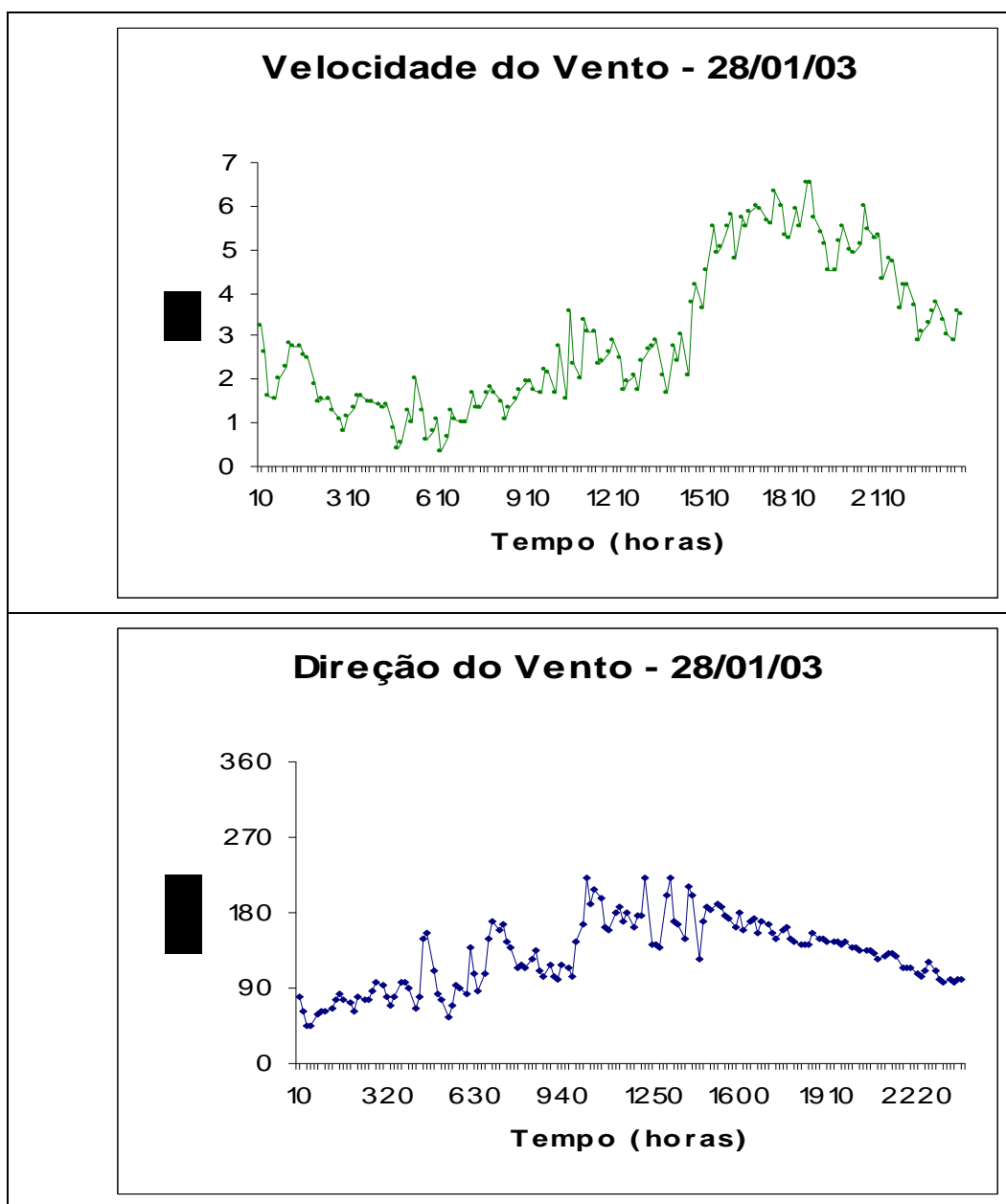


Figura 7.38 – Comportamento das variáveis: velocidade e direção do vento.

| |
|---------------------|
| Estação Três Lagoas |
|---------------------|

Tabela 7.19 - Valores medidos e modelados de MP (PM₁₀) e SO₂ µg/m³ na estação três lagoas para o dia 28/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|--------------|
| <i>MP</i> | 24 hs | x | 0 | (-4803,-5297) | 9 | (-500,-1000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | 42 | 0 | (-4803,-5297) | 53 | (-500, 1000) |

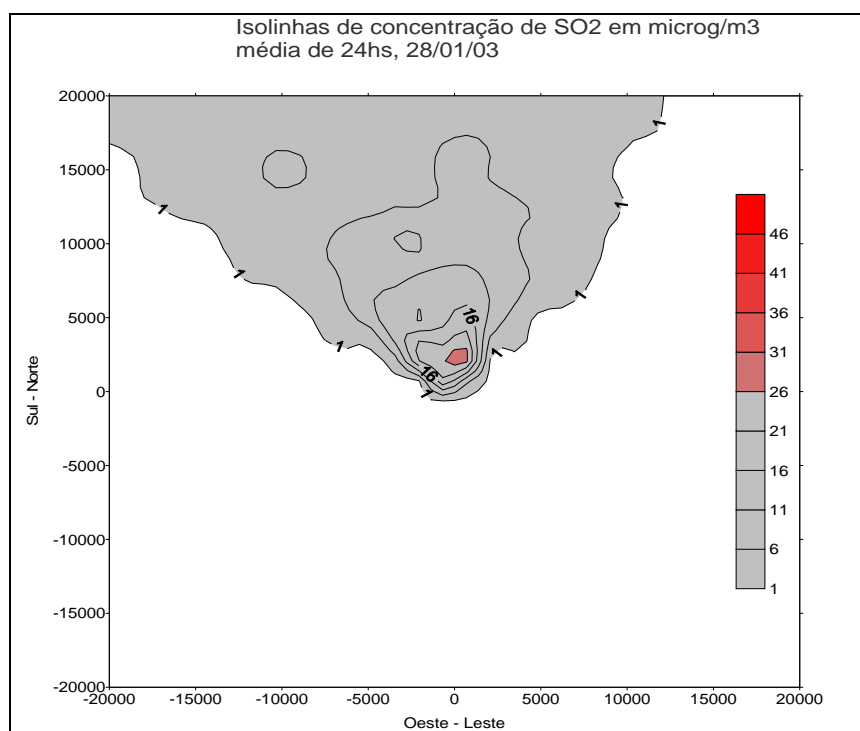
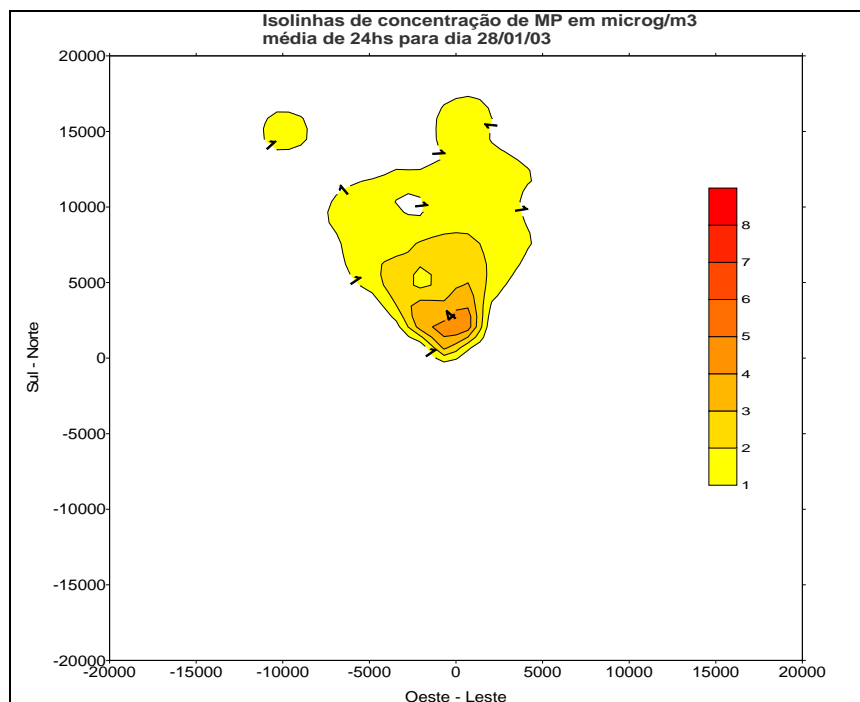
| |
|---------------------|
| Estação 8 de Agosto |
|---------------------|

Tabela 7.20 – Valores medidos e modelados de MP (PM₁₀) e SO₂ µg/m³ na estação 8 de Agosto para o dia 28/01/03. Média de 24 horas.

| <i>POLUENTE</i> | <i>TA</i> | <i>CME</i> | <i>CSE</i> | <i>LE</i> | <i>CMS</i> | <i>LCM</i> |
|-----------------------|-----------|------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| <i>MP</i> | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 9 | (-500,-1000) |
| <i>SO₂</i> | 24 hs | x | 0 | (-12732, 13914) | 53 | (-500,-1000) |

OBS: **TA**- Tempo de Amostragem; **CME**- Concentração Medida na Estação (AFG); **CSE**- Concentração Simulada na Estação; **LE**- Localização da Estação na grade; **CMS**- Concentração Máxima Simulada; **LMC**- Localização da Concentração Máxima, (x, y) m. As concentrações são dadas em µg/m³.

x- dados não disponíveis



Figuras 7.39 e 7.40 – Isolinhas de concentração PM₁₀ e SO₂, dia 28/01/03, média para 24horas.

CAPITULO VIII

CONCLUSÕES

8.1 Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo, estudar, através das emissões provenientes da chaminé (150 m de altura) da Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM), a dispersão dos poluentes Material Particulado (PM_{10}) e Dióxido de Enxofre (SO_2) na região de Candiota-RS e qual a relação de suas concentrações com as condições meteorológicas.

A estimativa feita pelos modelos de dispersão é importante no sentido da avaliação dos impactos provocados à qualidade do ar e ao meio ambiente em geral, durante a instalação de uma determinada indústria, e da mesma forma, providenciar paralelamente a construção de mecanismos de controle para tal dano.

Analisando os resultados modelados, observa-se que durante todo o período de estudo, os valores dos máximos de concentrações ocorreram próximo à fonte de emissão da UTPM. Esses máximos ocorreram principalmente pela influência direta da topografia na circulação local da região, de forma que o poluente sofra um bloqueio e deposite-se mais próximo da fonte quando o vento é do quadrante Nordeste / Este e também pela baixa velocidade do vento nestes dias.

A concentração média de Material Particulado simulada pelo modelo foi da ordem de aproximadamente $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante os dez dias de estudo, de acordo com as coletas feitas com o Amostrador Fino a Grosso (AFG). A título de comparação, esse amostrador não é reconhecido pela legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para estimativa dos padrões nacionais de qualidade do ar. Assim, não pode ser realizada uma comparação para com os padrões de qualidade do ar, mas se o fosse, esses valores de concentração seriam bastantes baixos.

O mais alto valor de concentração estimado pelo modelo foi de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no dia 22/01/03. Nesse dia a direção do vento predominante foi do quadrante Este / Nordeste durante todo período, depositando as concentrações nas coordenadas $x=-2000\text{m}$ e $y= -$

2000m, próximo à fonte. Observou-se também neste dia o maior valor de velocidade do vento, dentre os dez dias de experimento. Desta forma, o modelo simulou concentrações para as estações Três Lagoas e 8 de Agosto da ordem de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. A correlação entre o valor modelado / medido experimentalmente para esse dia foi de 46 %. A análise sinótica mostra a presença de um sistema de alta pressão (anticiclone), com centro de 1012 mb sobre o oceano, à leste do estado do Rio Grande do Sul, que transporta umidade e ar mais aquecido para o RS. Além disso, a aproximação de um sistema frontal bem definido e organizado na forma de frente fria advindo do Uruguai, colabora para um estagnamento do ar e aumento da nebulosidade sobre o Estado. Isso proporcionou uma altura da camada de mistura menor e assim, uma maior concentração de poluentes próxima à superfície.

Outra comparação pode ser feita com os dias 19/01/03 e 20/01/03, onde pode ser observada a influência exercida na concentração dos poluentes, pela aproximação de um sistema frontal do estado do Rio Grande do Sul nas primeiras horas do dia 20/01/03. Ocorreu no dia 19 a menor concentração de MP (PM_{10}) observado na estação 8 de Agosto da ordem de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto no dia 20/01/03 essa concentração ficou em torno dos $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Da mesma forma para o dia 23/01/03, quando as concentrações foram menores que para o dia 24/01/03. Houve registros de precipitação durante o dia 23, e assim, houve remoção dos poluentes para o solo, tornando essas concentrações inferiores que ao dia 24, mesmo que o sistema começasse a se afastar do estado do RS.

Com relação aos valores simulados pelo modelo de PM_{10} , pode-se dizer que este subestima os valores amostrados nas estações de qualidade do ar localizadas em Três Lagoas e 8 de Agosto. Isso se deve ao fato de haver na região outras fontes de emissão, como indústrias de cimento, calcário e também a proximidade de estradas de terra na região, as quais, são incluídas pela grade de 40km x 40km usada pelo modelo, aumentando desta forma, a quantidade de emissões nessa área.

Para as concentrações em massa de SO_2 , o modelo, em geral, superestima os valores medidos, mas se aproximando de maneira muito confiável. Haja vista que a UTPM seria a única fonte de emissão na região, essa diferença dos valores estimados pelo modelo, podem ser pelo fato de o *ISCST* ser um modelo empírico, o qual trata a atmosfera estável e homogênea.

Comparando-se as concentrações de SO_2 com os padrões de qualidade do ar estipulados pelo CONAMA, afirma-se que essas concentrações não excederam os padrões primários e secundários em nenhum dos dias analisados, estando dentro dos padrões aceitáveis para a qualidade do ar. As concentrações de Material Particulado (PM_{10}), não podem ser submetidas a título de comparações com os padrões de qualidade do ar, devido ao fato, de o amostrado utilizado na coleta (AFG), não se ser padronizado para tal, pela legislação estabelecida pela Agencia de Proteção Ambiental (EPA), (lembrando que o AFG utilizado foi construído pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e que ele é modificado).

As concentrações simuladas de SO_2 , para estação três lagoas, tiveram como média $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, par os dez dias, e o maior valor de concentração modelado foi de $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no dia 24/01/03, quando a emissão também foi a maior e da ordem de 1430 g/s de SO_2 .

Durante o dia 24/01/03, ocorre a maior diferença entre as concentrações em massa medidas e simuladas para SO_2 . O valor de concentração simulado pelo modelo de SO_2 , foi maior que o encontrado na amostragem ($84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). Uma explicação para isso pode ser a mudança gradual da velocidade do vento durante esse dia e a “não estabilidade da atmosfera”, condições essas em que o modelo deixa de ser válido, não simulando bem as concentrações. Para os demais dias, as concentrações se mostraram aceitáveis.

Para as concentrações em massa de SO_2 , a maior relação entre modelo / amostrador foi de 92 %, e aconteceu no dia 25/01/03 na estação Três Lagoas, a única com dados disponíveis para o período. A emissão foi da ordem de 652 g/s e os valores foram de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, simulados e amostrados, respectivamente. Os valores de PM_{10} , foram $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ simulados e $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ observados. As condições meteorológicas apresentavam tempo estável, com vento predominantemente de sudeste de fraca intensidade.

O dia de maior relação entre modelo e amostrador para Material Particulado (PM_{10}), foi de 90 %, no dia 27/01/03 (estação Três Lagoas). Esse dia apresentou: valor simulado de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor amostrado na estação de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e emissão de 234g/s. As concentrações em massa de SO_2 nesse dia, apresentaram valor simulado de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e valor observado $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, uma relação de 89 %. As condições meteorológicas foram de vento do quadrante Este com intensidade fraca, sendo praticamente homogêneo durante esse dia, apresentando o vento a menor variação de direção dentre os dez dias de experimento.

As concentrações em massa (PM_{10} e SO_2) durante os dez dias de estudo permaneceram próximas à fonte de emissão, a maioria das vezes nem atingindo à estação de qualidade do ar que se situa a maior distância da fonte: 8 de Agosto (18 km). Assim sendo, baseado nessa hipótese, os poluentes dificilmente atingiriam longas distancias em concentrações suficientes para provocar algum dano maior no que se refere à poluição ambiental. Se ainda chagassem, suas concentrações seriam relativamente baixas.

Considerando agora a baixa velocidade do vento (de acordo com a escala Beauford) durante os dez dias de experimento (média de 7 m/s), a distância relativa da localização das estações de amostragem em relação à fonte de emissão (Três Lagoas - Usina; 6 km, 8 de Agosto – Usina; 18 km), e que muitas vezes estas não estavam na direção do vento predominante, o modelo *ISCST*, estimou as concentrações de poluentes de maneira confiável. A tabela 8.1 ilustra os valores das concentrações medidas e modeladas para o período 19/01/03 a 28/01/03.

Em se tratando da confiabilidade do modelo utilizado, estudos comprovam que o mesmo atinge um bom grau de aceitação e que apesar de suas limitações, se aproxima bastante dos valores reais.

Portanto, esse modelo pode ser considerado como um bom previsor, e apesar de subestimar os dados de concentração observados nas estações de amostragem, ele pode nos fornecer uma “descrição” da dispersão dos poluentes na região de Candiota-RS e ser uma ferramenta importante na avaliação da qualidade do ar desta região.

Tabela 8.1: Concentrações em massa de PM₁₀ e SO₂ medidas e simuladas entre 10/01/03 e 28/01/03.

| | DIA | 3 LAGOAS | | 8 DE AGOSTO | |
|------------------|-----------|----------|------|-------------|------|
| | | SIM. | OBS. | SIM. | OBS. |
| PM ₁₀ | 19 | 9 | 6 | 9 | 15 |
| SO ₂ | | 58 | X | 58 | X |
| PM ₁₀ | 20 | 5,21 | X | 5,21 | X |
| SO ₂ | | 30 | X | 30 | X |
| PM ₁₀ | 21 | 3,70 | 32 | 3,70 | 36 |
| SO ₂ | | 26 | 51 | 26 | X |
| PM ₁₀ | 22 | 23,14 | 50 | 23,14 | 48 |
| SO ₂ | | 19 | 17 | X | X |
| PM ₁₀ | 23 | 4 | 11 | 4 | 17 |
| SO ₂ | | 26 | 20 | X | X |
| PM ₁₀ | 24 | 15 | 26 | 15 | 24 |
| SO ₂ | | 84 | 32 | X | X |
| PM ₁₀ | 25 | 8 | 16 | 8 | 38 |
| SO ₂ | | 46 | 50 | X | X |
| PM ₁₀ | 26 | 10 | 26 | 10 | 34 |
| SO ₂ | | 58 | 38 | X | X |
| PM ₁₀ | 27 | 14 | 15 | 14 | 39 |
| SO ₂ | | 80 | 71 | X | X |
| PM ₁₀ | 28 | 9 | X | 9 | X |
| SO ₂ | | 53 | 42 | X | X |

OBS: **SIM** – Concentração Simulada na grade (média 24 hs)

OBS – Concentração Observada (média 24 hs).

8.2 Sugestões

Levando em conta a falta de dados enfrentada neste estudo, deixa-se como sugestão para a realização de trabalhos futuros a afirmação de que: quanto maior número de estações de monitoramento da qualidade do ar e meteorológicas se dispor, mais exatos e reais serão esses dados, e melhor mais confiável e segura será a interpretação.

Para uma melhor comparação dos resultados entre modelo e amostrador, seria interessante coletar as amostras e inicializar o modelo nos mesmos horários, para se tenha uma melhor caracterização das condições ambientais da região.

CAPÍTULO IX

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. L. Previsores Sinótico-Meteorológicos para a Dispersão de Poluentes na Região da Grande São Paulo. São José dos Campos-SP,. INPE-3600- TDL/197. DRH-DME. FRH/MET. pp.131, 1985.
- ALVES, R.C.M. Descrição das Circulações Locais na região de Candiota-RS e seus Efeitos no Transportes de Poluentes.Tese apresentada ao Instituto Astronômico e Geofísico da USP para obtenção do título de Doutor.2000.
- ALVES, R.C.M. Estudo da Dispersão do SO₂ Emitido pela Usina Termoeletrica Presidente Médici, Candiota- RS, Brasil. Dissertação apresentada ao Instituto Astronômico e Geofísico da USP para obtenção do título de mestre. 1996.
- ALVES, R.C.M; M.F. Andrade, T Tirabassi: Resultados das Simulações do SO₂ Obtidos Através de Dois Modelos ISCST e KAPPAG. VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9 a 13 de novembro, Campos do Jordão, Brasil.1996.
- ALVES, R.C.M; Andrade M.F, Simulação da Dispersão do SO₂ Emitido pela Usina Termoeletrica de Candiota-RS, VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9 a 13 de novembro, Campos do Jordão, Brasil. 1996.
- ACKERMAN, B.; WESTCOTT, N.; HILDEBRAND, P. H., Diurnal cycle of the struture of the PBL over a metropolitan area. Fifth Symp. on turbulence Diffusion and Air Pollution, Atlanta, Amer. Soc., p. 175-176. 1981.
- ARTAXO, P.; STORMS, H.; BRUINSEELS, F.; VAN GRIEKEN, R. Composition and source of the aerosols from the Amazon Basin. J. Geophys. Res. n. 93, pp. 1605-1615. 1990.
- BRAGA, C.F, Estudo dos Compostos Inorgânicos em Partículas Atmosféricas da Região de Candiota-RS Utilizando a Técnica Pixe. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2002.

- BRAGA, C.F; R.C.M. ALVES; E.C. TEIXEIRA. Aerosol Concentration in the Candiota área applying different gravimetric methods of sampling and numeric modelling, JEM. 2002.
- CGTEE, As Minas de Candiota.Extraído de <http://www.cgtee.gov.br>, 2003. Informação capturada em Junho de 2003.
- CARVALHO, J.C.; DEGRAZZIA, G.; ANFONSSI D.; CASTELLI S. T., Simulação da Dispersão de Poluentes na Camada Limite Planetária Utilizando um Sistema de Modelos. Ciência e Natura. Dispersion Process.2000.
- CERQUEIRA, L., Poluentes Atmosféricos, Fórum Livre. Extraído de <http://www.unilivre.org.br/centro/textos/polar.htm>.2000..
- CIÊNCIA HOJE. Vol.12, 68, pp. 40-45.1990
- CONAMA,- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 03 de Junho de 1990, 4^a ed. Brasília.1992.
- CORREA, C.S, Estudo Micrometeorológico da Camada Limite Planetária Estável na Região de Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.
- CUNHA, R.M.P, Transportes de Poluentes na Região do Pólo Petroquímico de Triunfo. Dissertação de Mestrado, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.
- DUCKWORTH, F.S.; SANDBERG, J. S., The Effect of the cyties upon horizontal and vertical gradients. Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 35, p. 198-207. 1954.
- EIA-RIMA – UTE Gaúcha – Instalação da Usina Termoelétrica Gaúcha. FEPAM, vol. 2, MRS Estudos Ambientais Ltda. Porto Alegre-RS. Julho 2000.
- ENERGÉTICA, AGV., (Amostrador de Grande Volume para partículas até 10 µm) – Modelo 1200/CVV, Manual de Operação – Energética, Rio de Janeiro.1998.
- ELDERED, R. A.; CAHIL, T. A.; FEENEY, P.J. Particulater monitoring at US National Parks using PIXE. Nucl. Instrument. Meth. Phys. Res. B22, pp.289-295, 1987.
- ELSOM, D.M. Air Pllution: Causes, Effect and Control Policies, Basil Blackewll, New York. 1989.

- FERNANDES, E.T., Mercúrio Atmosférico na Amazônia e Estudo de Caso em Alta Floresta. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, USP. 1997.
- FISHER, P.W., Foster and Summer J.W., Comparison of the ISCST Model with two Alternative U.S. EPA Models Terrain in Hamilton Country, Ohio. ISSN 1047-3289J. Air & Waste Manage. Assoc., 44, pp. 418-427, 1994.
- FRUEHAUF, G.L.C., A Deterioração da Qualidade do Ar e do Clima na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Física, Universidade Federal de São Paulo. 1998.
- GIFFORD, F.A., Turbulent Diffusion –Typing Scheme: A Review. Nucl.Saf. Vol.17, 1, pp 71. 1976.
- HANNA, R. S.,G.; A. Briggs, R. P: Handbook Atmospheric Diffusion. DOE/TIC 11223, US Depto of Energy. 1982.
- HANSSON, H. C.; NYMAN, S. An Automatic two stage aerosol sampler for the outdoor environment. J. Aer.Sci. 14, 1983.
- KERR, A.A.F.S, Caracterização do Aerossol Atmosférico de Cubatão e uma Experiência de Aplicação do Modelo de Dispersão Por Pluma Gaussiana. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade Federal de São Paulo. 1983.
- LYONS, T.J.; SCOTT, W.D. principles of Air Pollution Meteorology. Belhaven Press. London. 1990.
- MANFREDINI, L. M. Condições Meteorológicas para a Previsão de Situações Críticas de Poluição na Grande São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto Astronômico e Geofísico - USP. 1988.
- MORAES, O.L.L, Um Estudo Observacional das Circulações Atmosféricas e das Propriedades Difusas na Região de Candiota. Relatório Técnico. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1996.
- MOURA, A.B.D. Solução Analítica para Dispersão Vertical Turbulenta Em Uma Camada Limite Estável, Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- NAIK, S.M. Dispersion of Sulpher Dioxide Around the Termal Power Plant at Ahmedabad, Índia. Atmospheric Envirounment, vol.26, 3, pp.331-338.1992.

- OLIVEIRA, A. P.; e SILVA DIAS, P. L.: Aspectos Observacionais da Brisa Marítima em São Paulo. *Anais do II Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Pelotas, 129-145, 1982.
- ORSINI, C. M. Q.; ARTAXO NETTO, P. E.; TABACNIKS, M. H.; SOARES, V. L.; GERMANO, T. M. Avaliação preliminar da qualidade do ar de Cubatão: experiência SEMA-IFUSP. São Paulo: ISUSP, 1982 (Relatório de pesquisas).
- PASQUILL, F. Atmospheric Diffusion. Ellis Horwood, Chischester.1974
- QUIN, Y.; ODUYEMI, K. Atmospheric Aerosol Surce Identification and Estimates of Surces Contributions to Air Pollution in Dundee, UK,. Atmospheric Environment, Article in Press, vol. 33, pp. 01-11. 2003.
- SETZER, A.; I. F. A. CAVALCANTI; B.C. MARCELINO. Influências Meteorológicas na Poluição Atmosférica em São Paulo. São José Dos Campos-SP. Inpe-669 - Rpe/107.pp.36.1980.
- SCHMIDT, R. Você e a Meteorologia, Torricelli Meteorologistas..Sacra-Dcluzzatto editores. 1994.
- SEINFELD, J.H. Atmospheric Chgemistry and Physics of Air Polution. Ed. John Wiley, New York. 1986.(Reprinted, 1998).
- SLADE, D. H. Meteorology and Atomic Energy, US atomic Energy Comission- Office Inform. Serv., 1968.
- SONNEMAKER, J.B. Meteorologia. Editora Asa.1998.
- STEIN, C.P. Um Estudo Analítico da Dispersão de Contaminantes Abandonados Por Fontes Áreas Em Uma Camada Limite Convectiva., Dissertação de Mestrado, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1996.
- STERN, A.C. Air Pollution . 2rd Edition, Volume I. Academy Press, New York 1967.
- STERN, A.C. The Effects of Air Pollution. Academy Press, INC. Nova York.1984.
- STULL, R.B. An Introduction to Boudary Layer Meteorology. Atmospheric Sciences Library, Kluwer Academic Publishers,1988, (Reprinted,1998).
- TIRABASSI, T. Influence of wind Speed on Features of Air Pollution Ground Level Concentrations. Conference on Applicationsof Auir Polluyion Meteorology. American Meteorology Society. 1989.

- TURNER, D. B. Workbook of atmospheric Dispersion Estimates – EPA –Office of Air Programs. Reseach Triangle Park, North Carolina. 1970.
- WHO – World Health Organization, UrbanA ir Pllution 1973 – 1980, Global Environmental Monitoring System. 1987.
- ZANETTI, P. Air Pollution Modeling. Published by Van Nostrand Reinhold. New York. U.S.A. 1990.

ANEXO I

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES EM MASSA DE MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀) PARA O PERÍODO DE AMOSTRAGEM REALIZADO ENTRE OS DIAS 19 E 28 DE JANEIRO / 2003.

Os gráficos a seguir ilustram as isolinhas de concentração em massa de Material Particulado (PM₁₀), média de 24 hs, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de 19 a 28 de janeiro de 2003. Consideraram-se aqui, as concentrações em massa de PM₁₀ tomando como base dados diários de emissão desse poluente, emitido pela Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM).

A fonte de emissão localiza-se no centro da grade e as coordenadas X e Y estão em metros.

Através da figura 1 e 2, considerando as isolinhas de concentração em massa de particulado (média de 24 hs) para os dias 19/01/03 e 20/01/03, observa-se que a maior concentração ocorreu no dia 19/01 e foi da ordem de $9 \mu\text{g}/\text{m}_3$ nas coordenadas $x = -3000 \text{ m}$ e $y = -500 \text{ m}$, próximo da fonte de emissão (UTPM), no quadrante Sudoeste. Para o dia 20/01 obtivemos um máximo de concentração de $5 \mu\text{g}/\text{m}_3$ nas coordenadas $x = 2000 \text{ mts}$ e $y = 1000 \text{ mts}$. A emissão para o dia 19/01 foi de 216 g/s enquanto o dia 20/01 teve uma emissão da ordem de 186 g/s .

A seguir as figuras 3 e 4 apresentam os gráficos com as isolinhas de concentração de Material Particulado para os dias 21/01 e 22/01.

Tais figuras, ilustram que a maior concentração de PM₁₀ aconteceu no dia 22/01 e foi da ordem de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = -2000 \text{ m}$ e $y = -2000 \text{ m}$, próximo da fonte, dentro do quadrante Sudoeste. Para o dia 21/01 obteve-se um valor de concentração estimado em $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = 2000 \text{ m}$ e $y = 1000 \text{ m}$. Com relação à emissão de Material Particulado (PM₁₀) nesse dia, esta foi da ordem de 132 g/s e no dia 22/01, 118 g/s .

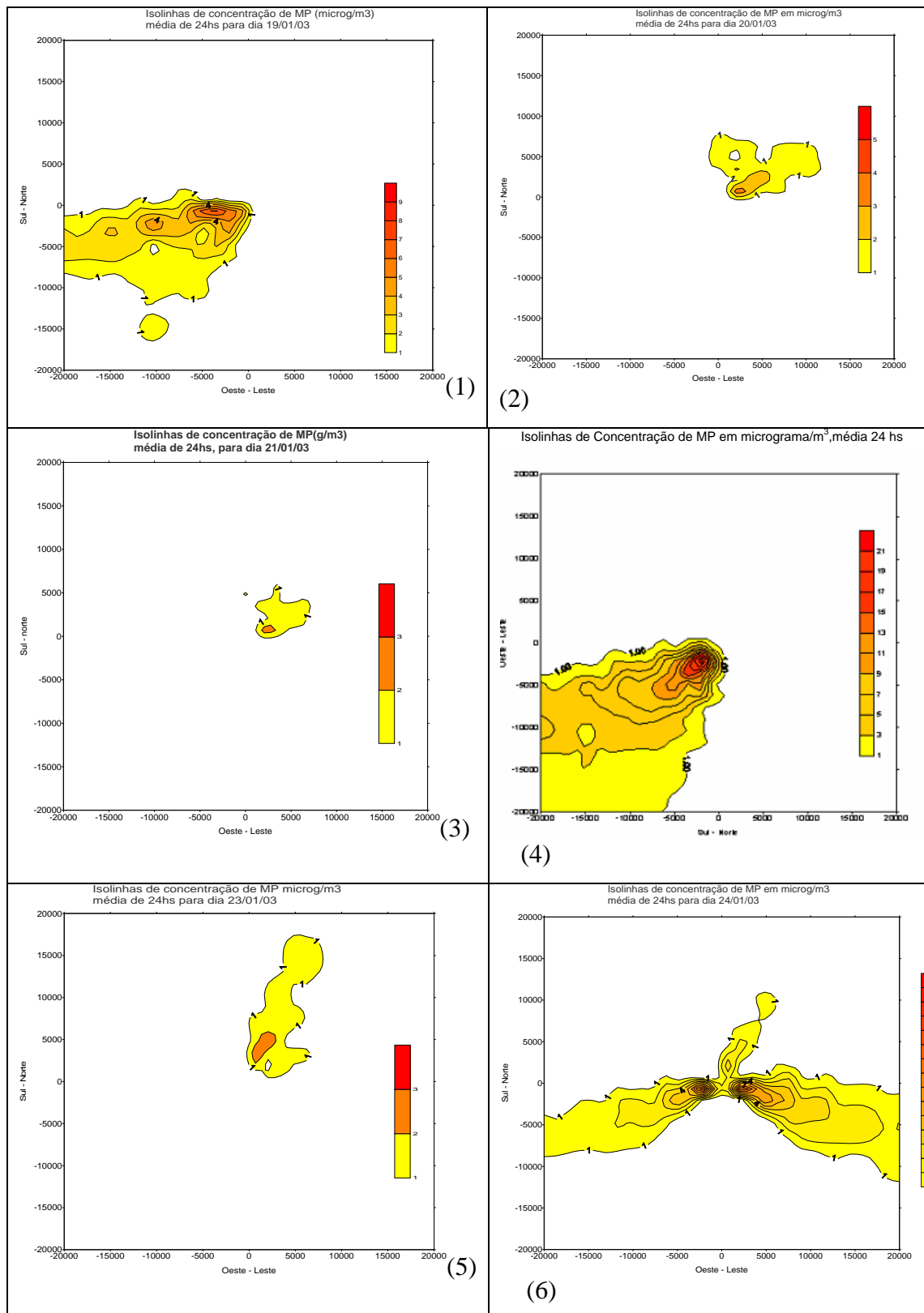
As imagens com as isolinhas de concentração em massa de particulado (PM₁₀) dos dias 23/01/03 e 24/01/03, ilustradas com as figuras 5 e 6, indicam um máximo de concentração ocorrido no dia 24/01 da ordem de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nas coordenadas $x = -1000 \text{ m}$ e $y = -500 \text{ m}$. Nesse dia observamos também, uma grande variação na direção do vento,

devido, provavelmente a passagem de um sistema frontal pela região, que causara chuva no dia anterior. Para o dia 23/01 tivemos como valor médio de concentração $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = 1000 \text{ m}$ e $y = 3000 \text{ m}$, igualmente nas imediações da fonte. Referente às emissões, pode-se afirmar que estas estiveram na faixa dos 150 g/s dia 23, chegando a 256 g/s no dia 24/01.

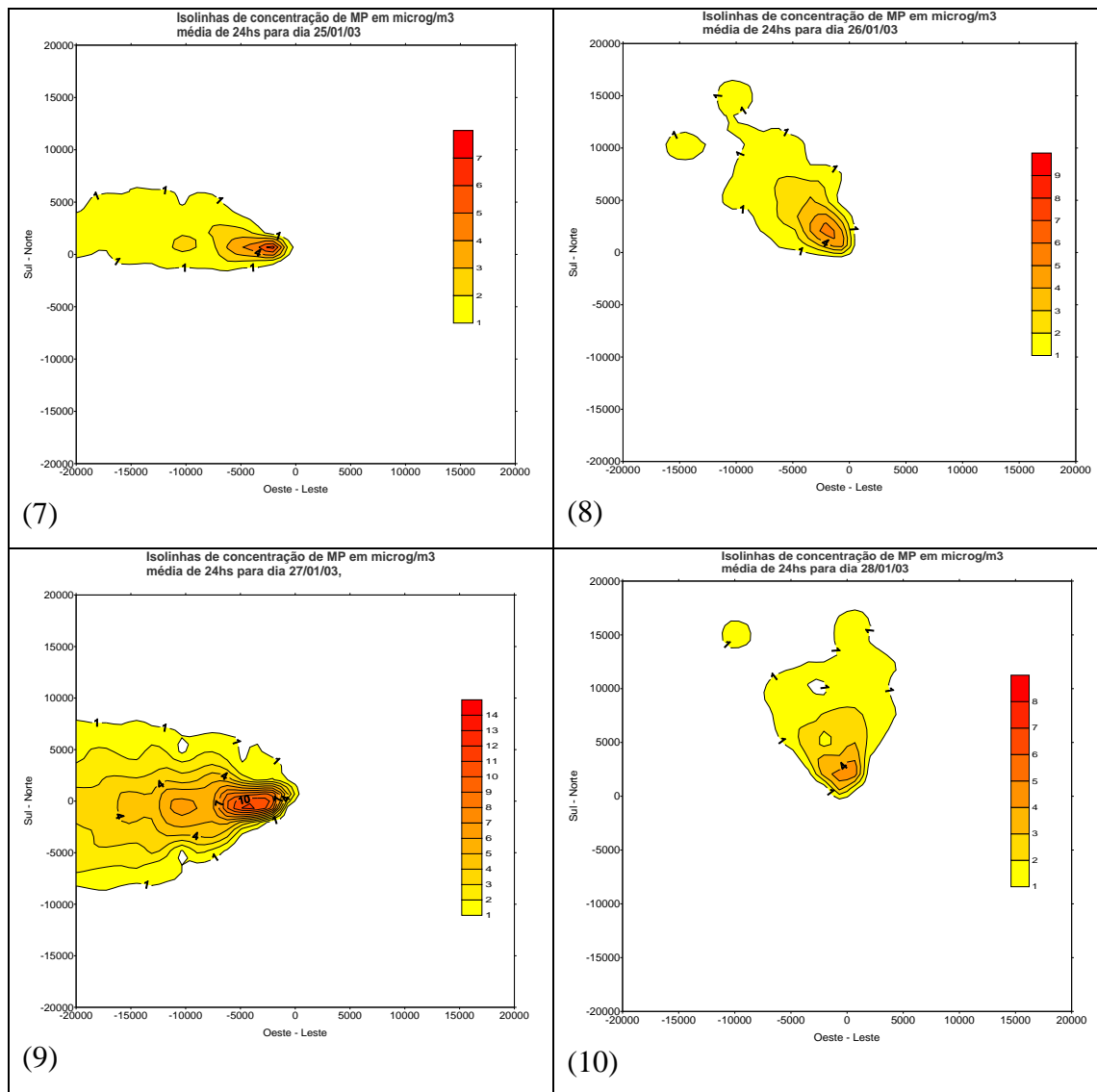
Uma análise das figuras 6 e 7, para os dias 25/01 e 26/01, observamos uma pequena diferença entre as concentrações de MP (PM_{10}), apresentando o dia 26/01/03 o maior valor entre os dois dias, da ordem de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = -500 \text{ m}$ e $y = -1000 \text{ m}$, dentro do quadrante Noroeste. Já para o dia 25/01 a concentração máxima ocorreu próximo da fonte, nas coordenadas $x = -2000 \text{ m}$, $y = -500 \text{ m}$ e foi da ordem de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quanto às emissões nesses dias, essas foram de 109 g/s dia 25 e como o esperado, devido a maior concentração, durante o dia 26 a emissão foi de 172 g/s.

De acordo com as emissões de MP (PM_{10}) para os dias 27/01 e 28/01 que foram respectivamente 234 g/s e 164 g/s, observamos através das figuras 9 e 10, que a maior concentração do poluente ocorreu no dia 27/01 e foi da ordem de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nas coordenadas $x = -3000 \text{ m}$ e $y = -500 \text{ m}$ no quadrante Leste. Para o dia 28/01, o máximo de concentração ocorreu em $x = -500 \text{ m}$ e $y = 1000 \text{ m}$ cujo valor foi de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A partir dessas concentrações para os dias 19 de Janeiro de 2003 a 28 de Janeiro de 2003 descritas acima, pode-se concluir que em geral para este estudo quanto maior a emissão do poluente pela fonte, maior foi a sua concentração ao nível do solo. A exceção foi durante o dia 22/02, onde a emissão foi menor que durante o dia 21/01. Cabe salientar aqui, que nem sempre isso acontece, pois a distribuição para a atmosfera depende de dois fatores: condições de emissão e condições meteorológicas. Nesse caso as condições meteorológicas favoreceram para que a afirmação feita acima se estabelecesse.



Figuras: 1,2,3,4,5,6 – representando as isolinhas de MP (PM₁₀) para os dias: 19,20,21,22,23,24, de Janeiro de 2003, respectivamente.



Figuras: 7,8,9,10 – representando as isolinhas de MP (PM10) para os dias: 25,26,27,28, de Janeiro de 2003, respectivamente.

ANEXOII

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES EM MASSA DE DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂), PARA O PERÍODO ENTRE OS DIAS 19 E 28 DE JANEIRO / 2003.

Os gráficos abaixo ilustram as isolinhas de concentração em massa de Dióxido de Enxofre (SO₂) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, média de 24 hs, para um período de dez dias de janeiro de 2003. Considerou-se neste estudo as concentrações em massa de SO₂, tomando-se como base dados diários de emissões de Dióxido de Enxofre emitidos pela Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM).

A fonte de emissão localiza-se no centro da grade e as coordenadas x e y estão em metros.

Através das figuras 1 e 2, com as isolinhas de concentração em massa de SO₂ para os dias 19/01/03 e 20/01/03, podemos observar que a maior concentração ocorreu no dia 19/01 e foi da ordem de $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = -3000\text{m}$ e $y = -500\text{m}$, no quadrante Sudoeste. Para o dia 20/01 obtivemos um máximo de concentração de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = 2000\text{ m}$ e $y = 1000\text{ m}$, da fonte. A emissão para o dia 19/01 foi de 1287 g/s enquanto o dia 20/01 teve uma emissão da ordem de 1097 g/s . Considerando essas emissões, podem-se entender as maiores concentrações de Dióxido de Enxofre observadas no dia 19/01/03.

De acordo as figuras 3 e 4, que mostram as isolinhas de concentração em massa de Dióxido de Enxofre, para os dias 21/01 e 22/01, podemos observar que a maior concentração de SO₂ aconteceu no dia 21/01 e foi da ordem de aproximadamente $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = 2000\text{ m}$ e $y = 1000\text{ m}$, próximo da fonte, dentro do quadrante Nordeste. Para o dia 22/01 obtivemos uma concentração estimado em $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = -2000\text{ m}$ e $y = -2000\text{ m}$ da fonte de emissão. Com relação à emissão de Dióxido de Enxofre nesse dia, esta foi da ordem de 936 g/s e durante o dia 21 a emissão esteve na casa de 777 g/s .

As imagens com as isolinhas de em massa concentração de SO₂ dos dias 23/01/03 e 24/01/03 são representadas nas figuras 5 e 6. Observa-se um máximo de concentração ocorrido no dia 24/01 e da ordem de $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aproximadamente, nas coordenadas $x = -$

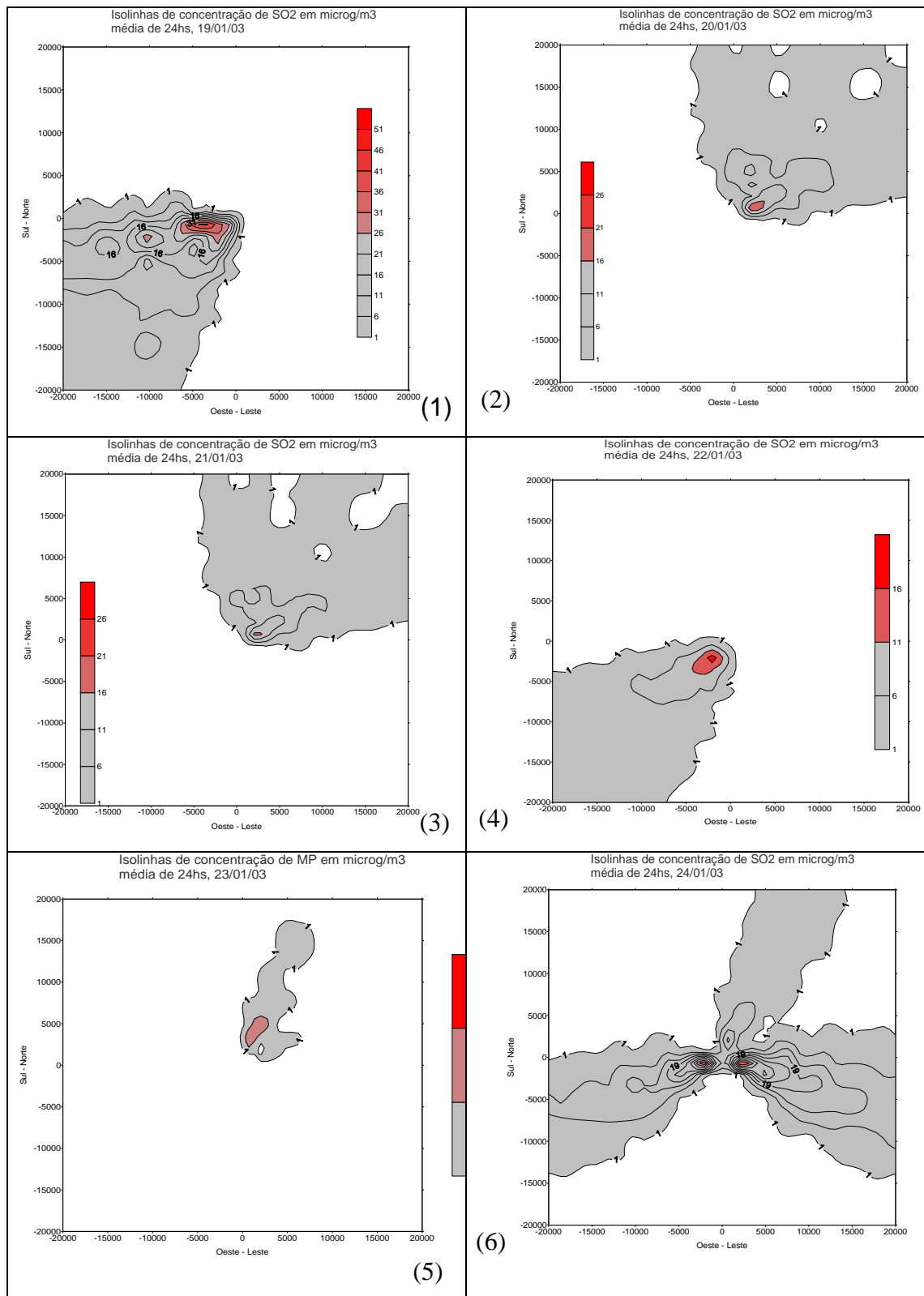
1000 m e $y = -500$ m. Nesse dia observou-se uma grande variação na direção do vento, devido, provavelmente a passagem de um sistema frontal pela região e que causara chuvas durante o dia 23/01. Para o dia 23/01 tivemos o valor da concentração de SO_2 em torno de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = 1000$ m e $y = 3000$ m, igualmente nas imediações da fonte. Referente às emissões, pode-se afirmar que estas estiveram na faixa dos 970 g/s dia 23, e 1430 g/s no dia 24/01.

Em uma análise das figuras 7 e 8, para os dias 25/01 e 26/01, observamos uma diferença entre as concentrações em massa de SO_2 de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentando o dia 26/01/03 o maior valor para os dois dias, e da ordem de $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas coordenadas $x = -500$ m e $y = -1000$ m, dentro do quadrante Noroeste. Para o dia 25/01 a concentração máxima ocorreu nas coordenadas $x = -2000$ m, $y = -500$ m e foi da ordem de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quanto às emissões nesses dias, estas foram de 652 g/s dia 25, e, durante o dia 26 a emissão foi de 1030 g/s.

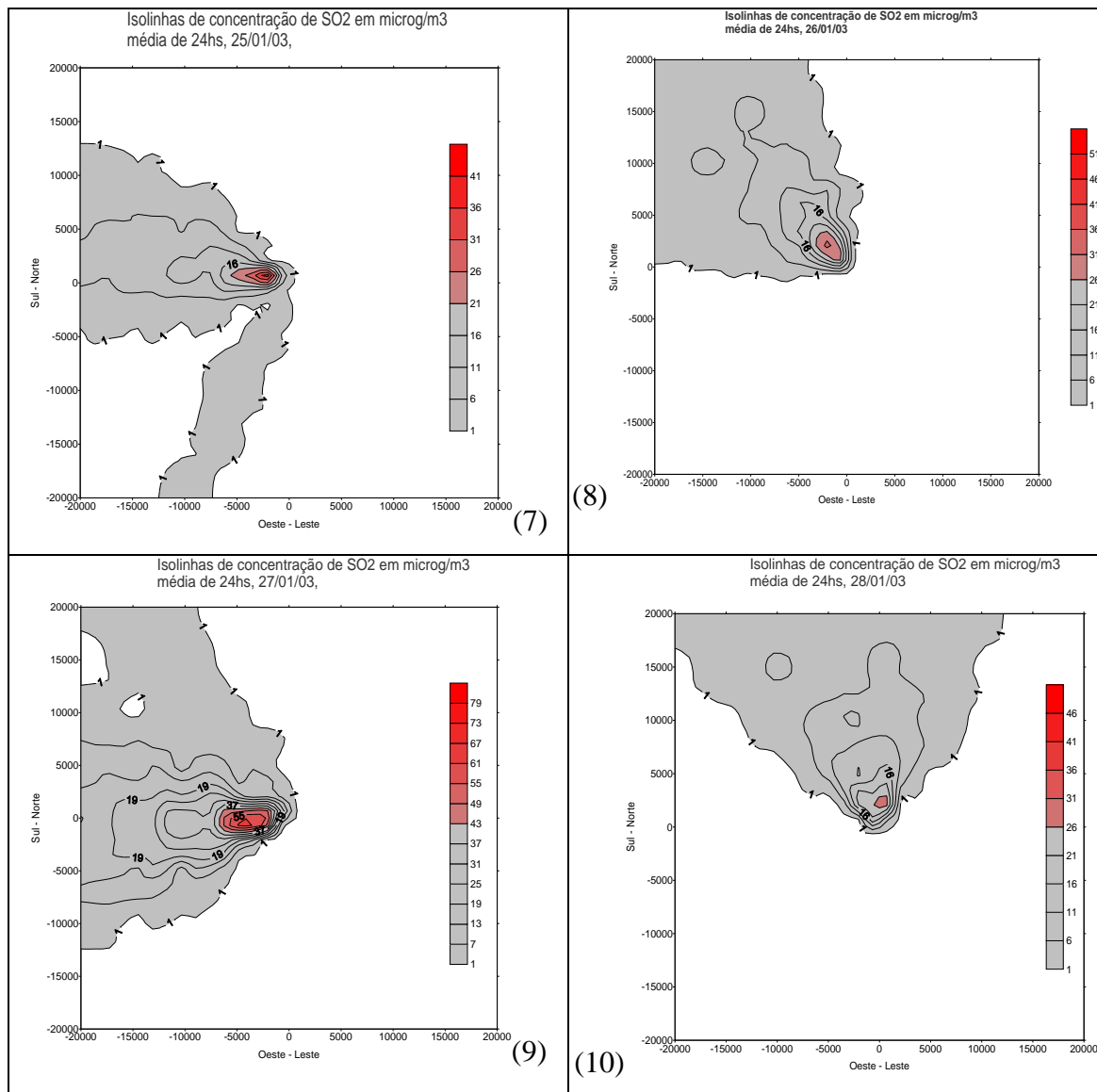
Por fim, apresentam-se os gráfico com isolinhas de concentração em massa de SO_2 , para os dois últimos dias de experimento, 27/01/03 e 28/01/03, figuras 9 e 10.

De acordo com as emissões de SO_2 para os dias 27/01 e 28/01 que foram respectivamente 1307 g/s e 985 g/s, observamos que a maior concentração do poluente ocorreu no dia 27/01 e foi da ordem de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nas coordenadas $x = -3000$ m e $y = -500$ m dentro do quadrante Leste. Para o dia 28/01, o valor de concentração ocorreu em $x = -500$ m e $y = -1000$ m cujo valor foi de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A partir das concentrações de SO_2 para os dias 19/01/03a 28/01/03 descritas acima, pode-se constatar que para este estudo quanto maior a emissão do poluente emitido pela fonte, maior foi a sua concentração em massa ao nível do solo, (não da mesma forma que para PM_{10}). Cabe ressaltar aqui, que nem sempre isso acontece, pois a distribuição na atmosfera depende de dois fatores: condições de emissão e condições meteorológicas. Nesse caso, (como também para MP) as condições meteorológicas em geral favoreceram para que a relação direta de emissão / concentração se estabelecesse.



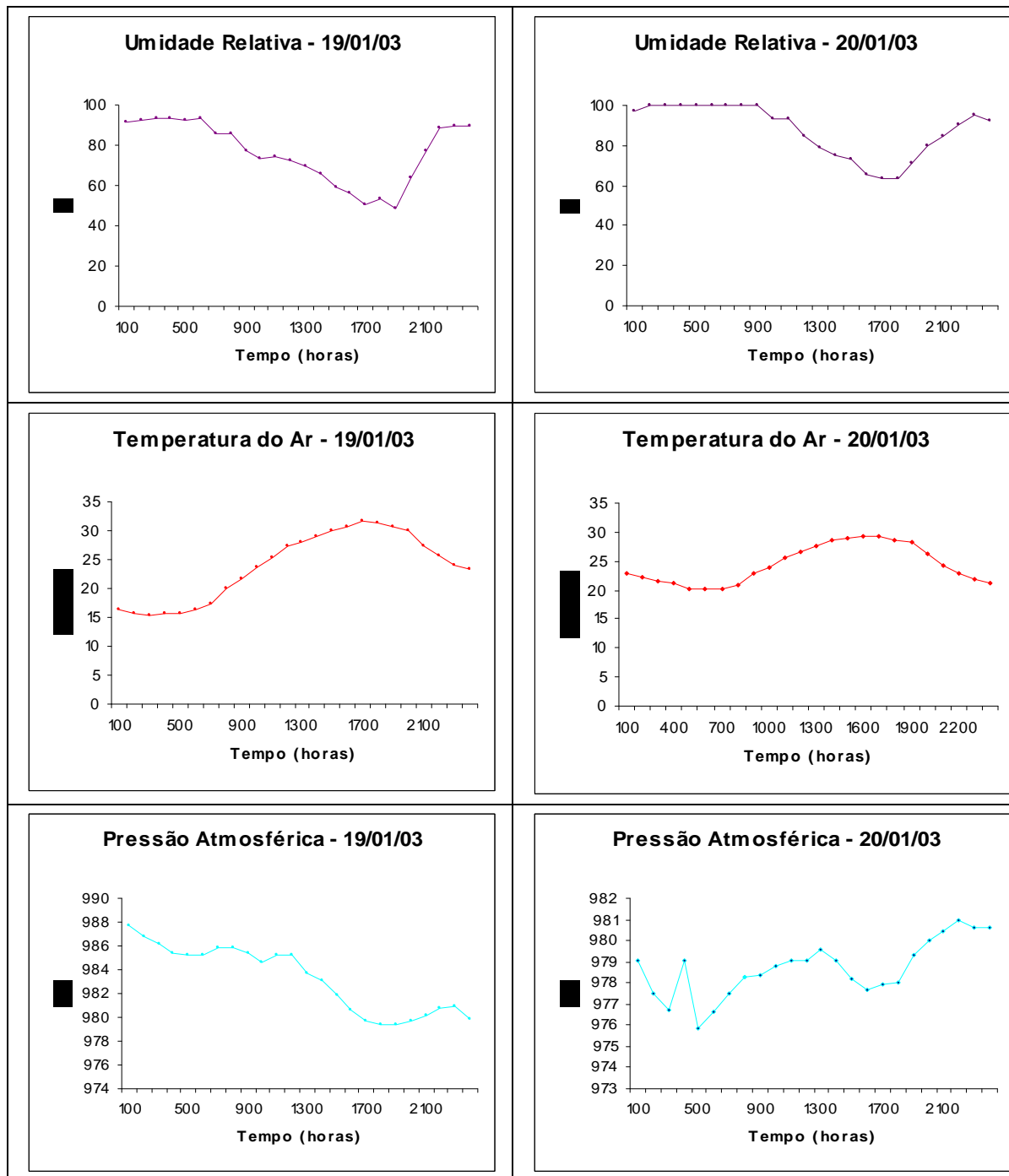
Figuras: 1,2,3,4,5,6 – representando as isolinhas de SO₂ para os dias: 19,20,21,22,23,24 de Janeiro de 2003, respectivamente.



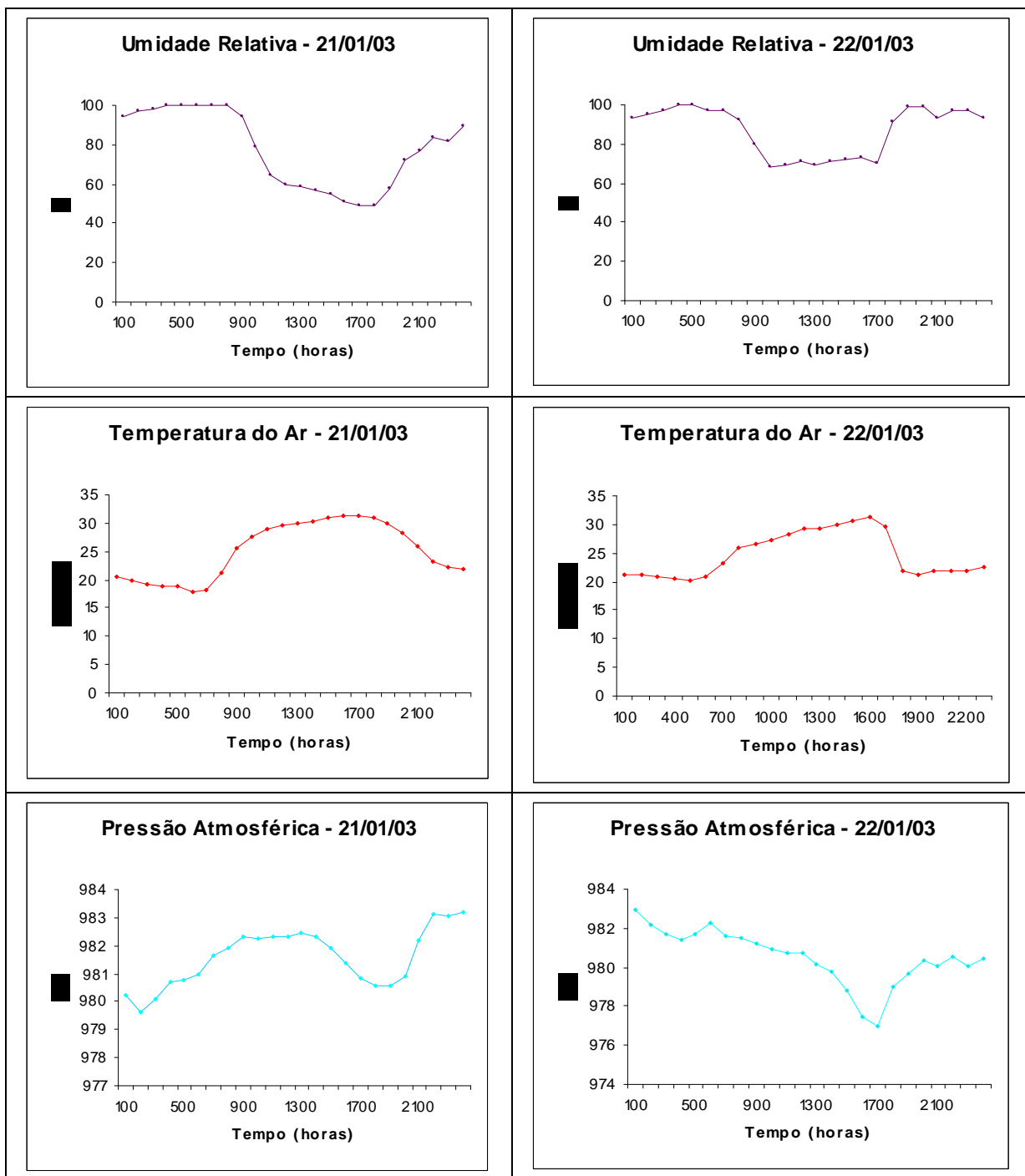
Figuras: 7,8,9,10 – representando as isolinhas de SO₂ para os dias: 25,26,27,28, de Janeiro de 2003, respectivamente.

ANEXOIII

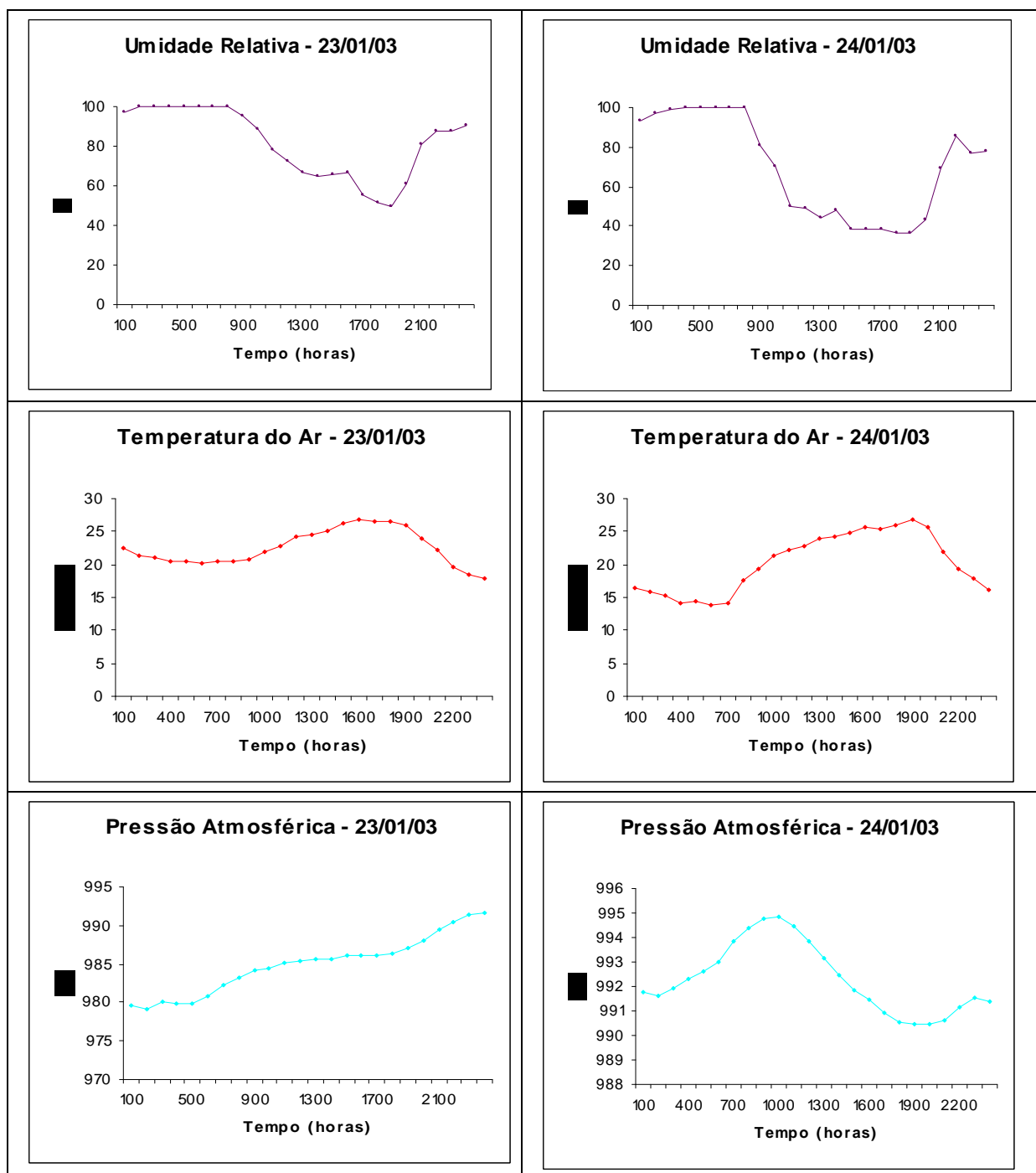
**GRÁFICOS DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS UMIDADE RELATIVA
TEMPERATURA E PRESSÃO PARA OS DIAS 19 e 20/01/03.**



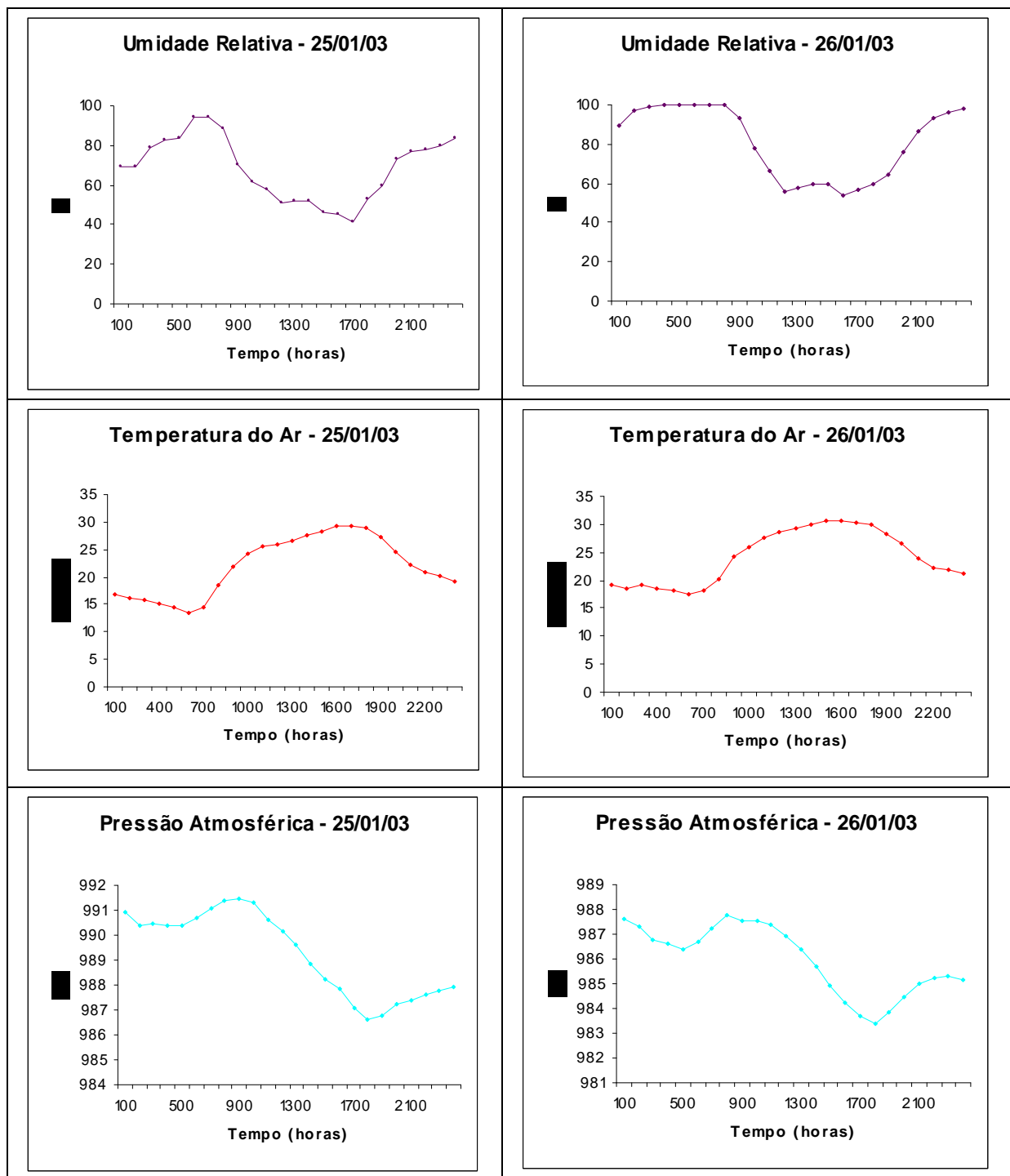
GRÁFICOS DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS UMIDADE RELATIVA TEMPERATURA E PRESSÃO PARA OS DIAS 21 E 22/01/03.



GRÁFICOS DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS UMIDADE RELATIVA, TEMPERATURA E PRESSÃO PARA OS DIAS 23 E 24/01/03.



GRÁFICOS DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS UMIDADE RELATIVA, TEMPERATURA E PRESSÃO PARA OS DIAS 25 E 26/01/03.



GRÁFICOS DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS UMIDADE RELATIVA, TEMPERATURA E PRESSÃO PARA OS DIAS 27 E 28/01/03

