



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14598-TDI/1198**

**MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA NO VALE DO  
PARAÍBA E VIZINHANÇA E SEUS IMPACTOS NA  
CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA LOCAL**

Daniela de Azeredo França

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,  
orientada pelos Drs. Nelson Jesus Ferreira e Saulo Ribeiro de Freitas, aprovada em  
29 de agosto de 2006.

528.711.7 (815)

França, D. A.

Mudança do uso e cobertura da terra no Vale do Paraíba e vizinhança e seus impactos na circulação atmosférica local / Daniela de Azeredo França. – São José dos Campos: INPE, 2006.

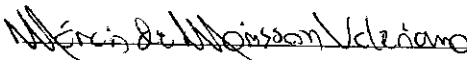
139p. ; (14598-TDI/1198)

1.Mudança de uso e cobertura da terra. 2.Detecção de mudanças. 3.Mudanças climáticas. 4.Sensoriamento remoto. 5.Modelagem atmosférica. I.Título.


Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Mestre em

**Sensoriamento Remoto**

Dr. Márcio de Morisson Valeriano

  
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Nelson Jesus Ferreira

  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Saulo Ribeiro Freitas

  
Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Cláudia Maria de Almeida

  
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Mário Valério Filho

  
Convidado(a) / UNIVAP / SJC Campos - SP

Aluno (a): Daniela de Azeredo França

São José dos Campos, 29 de agosto de 2006



*"Foi o tempo que perdeste com tua rosa que fez tua rosa tão importante".*

ANTOINE DE SAINT-EXUPÉRY



*A meus pais,  
SEVERINO M. FRANÇA e  
ELISABETH DE A. FRANÇA.*





## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus pela oportunidade de fazer o mestrado no INPE, por tudo que aprendi no decorrer deste curso e por toda ajuda que Ele me deu durante esta importante etapa da minha vida.

Agradeço a meus pais, Severino M. França e Elisabeth de A. França, por todo apoio que sempre me deram. Amo muito vocês!

Aos meus orientadores, Drs. Nelson Jesus Ferreira e Saulo Ribeiro de Freitas, agradeço de coração por todo apoio e por tudo que me ensinaram.

Ao professor Nelson, quero agradecer também por ter sido sempre um grande amigo.

Aos professores e pesquisadores do INPE pelo conhecimento compartilhado e disponibilidade em ajudar.

Em especial, quero agradecer ao Dr. Márcio Valeriano pelas valiosas sugestões e ensinamentos partilhados ao longo deste trabalho.

Agradeço também aos pesquisadores Madalena Pereira, Paulo César Gurgel, Paulo Roberto Martini e Dras. Cláudia Almeida e Tatiana Kuplich pelas importantes contribuições fornecidas para esta pesquisa.

A Tatiana Kuplich e Denise Guisard, quero agradecer pela importante ajuda nos trabalhos de campo.

Ao Dr. Mário Valério Filho, da UNIVAP, agradeço pelas sugestões de grande valor.

Aos meus queridos amigos do curso de Sensoriamento Remoto do INPE, agradeço por todo carinho, apoio e amizade, e em especial, a Dênis, Pablo, Correia, Ramon, Marco Aurélio, Wilson, Marcus, Delano e Veraldo, por todo auxílio durante a realização da etapa de Sensoriamento Remoto deste estudo.

Aos meus amigos da Meteorologia (especialmente ao Marcos, Joice, Solange, Marcelo, Sâmia, João e Enver), por toda ajuda e conhecimento compartilhado, os quais foram essenciais ao andamento da parte deste trabalho referente às simulações climáticas.

Às minhas queridas amigas Sâmia e Ilka por terem me emprestado seus computadores em muitos momentos, o que foi essencial para a elaboração desta Dissertação.

Ao Pesquero, do CPTEC, pelo fornecimento de arquivos com os limites municipais utilizados na confecção das gravuras, no GrADS.

Às secretárias e estagiárias da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, especialmente a Etel, Vera e Angelucci, por toda ajuda prestada durante o mestrado.

Agradeço a todos os funcionários do suporte do INPE que me auxiliaram no decorrer deste trabalho, em especial: Felipe Cota, da Divisão de Sensoriamento Remoto; César e Rafael, da Meteorologia; e ao Manoel, do CPTEC, por toda assistência durante o desenvolvimento de atividades com o uso do supercomputador do CPTEC.

Ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo, em especial a Ciro Matsukuma, pelo fornecimento de dados utilizados neste trabalho.

À Intersat pela imagem Quickbird cedida.

À Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Enfim, a todos que me ajudaram a vencer mais esta etapa da minha vida, muito obrigada!

## RESUMO

Nas últimas décadas, houve uma significativa mudança de uso e cobertura da terra em municípios da Região Administrativa de São José dos Campos – SP e em áreas adjacentes, principalmente, devido ao crescimento urbano e industrial. Este trabalho visa detectar e avaliar estas mudanças e analisar as suas implicações climáticas. Utilizaram-se técnicas de sensoriamento remoto para classificar imagens MSS e TM de satélites da série LANDSAT, de dois períodos distintos (década de 1970 e 2004), desta região e detectar as modificações ocorridas na superfície. As imagens classificadas, por meio do algoritmo de classificação automática pixel a pixel MAXVER (método estatístico de Máxima Verossimilhança), foram usadas na etapa de detecção de mudanças, realizada através da comparação pós-classificação. Elas também foram incorporadas na versão operacional do BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*), modelo atmosférico de mesoescala disponível no CPTEC, para a realização de simulações em alta resolução sobre esta região, que abrange parte do Vale do Paraíba, visando analisar o impacto climático destas mudanças. Duas simulações foram realizadas, levando em consideração as características atuais da superfície e de trinta anos atrás. Os resultados mostraram a ocorrência de variações expressivas na paisagem de um período para o outro, tais como o crescimento das áreas com cobertura florestal, uso urbano e corpos d'água, e que as mesmas são capazes de modificar a circulação atmosférica numa escala local, destacando-se a contribuição da implantação de reservatórios na geração de microclimas. Foi constatada a aplicabilidade do uso conjunto destes produtos de sensoriamento remoto e de modelagem climática, para a detecção e avaliação das mudanças de uso e cobertura da terra e análise de seus impactos no clima.



# **LAND USE/LAND COVER CHANGE AT VALE DO PARAÍBA AND VICINITIES AND ITS IMPACTS ON THE ATMOSPHERIC CIRCULATION**

## **ABSTRACT**

In the last decades a significant land use/land cover change has occurred in São José dos Campos – SP and adjacent areas mostly due to the associated urban and industrial growth. The objective of the current study is to detect and evaluate these changes and to analyze its climatic implications. Remote sensing techniques were used to classify MSS/TM-LANDSAT images of this region for two distinct periods (1970s and 2004) and to detect alterations in surface. Change detection was carried out through post-classification comparison using both classified images by the automatic classification algorithm Maximum Likelihood Classifier (MLC). These images were also incorporated at operational version of the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS) that is an atmospheric mesoscale model available at CPTEC to carry out high-resolution climatic simulations aiming to investigate the impact of surface changes on the local climate. Two simulations were performed taking in account the actual and the 30 years ago surface characteristics. The results showed significant changes in landscape along the studied period, due to the increase in urban and forest areas and building of new reservoirs. These changes were able to modify the atmospheric circulation in a local scale. The main observed climatic variations were caused by artificial lakes. Also these results have shown that the combined use of remote sensing and climatic modeling products is very useful for detection and assess of land use/land cover change and to study the local climate.



## SUMÁRIO

Pág.

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1 Justificativas .....	24
1.2 Objetivos .....	25
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>27</b>
2.1 Detecção de Mudanças e suas Técnicas .....	27
2.2 Algumas Considerações sobre Mudanças Climáticas .....	30
2.3 Modelagem e Simulação Climática .....	32
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
3.1 Área de Estudo.....	37
3.1.1 Caracterização Físico-Ambiental.....	40
3.1.2 Algumas Considerações sobre o Clima da Região de São José .....	41
3.2 Materiais .....	42
3.3 Métodos .....	48
3.3.1 Pré-processamento .....	50
3.3.2 Classificação .....	51
3.3.3 Detecção de Mudanças .....	54
3.3.3.1 Estatística de Detecção de Mudanças .....	55
3.3.3.2 Elaboração de Mapas de Diferenças .....	55
3.3.4 Simulação Atmosférica.....	56
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</b> .....	<b>61</b>
4.1 Classificação das Imagens .....	61
4.1.1 Considerações sobre as Classes Adotadas .....	64
4.1.2 Níveis de Ocorrência das Classes .....	71
4.2 Detecção de Mudanças .....	73
4.3 Simulação Atmosférica.....	88
4.3.1 Características da Circulação Atmosférica no Vale do Paraíba e Arredores.....	88
4.3.1.1 Temperatura do Ar.....	88
4.3.1.2 Umidade Específica .....	96
4.3.1.3 Vento.....	99
4.3.2 Contrastes entre as Décadas de 1970 e 2000 .....	108
4.3.2.1 Temperatura do Ar.....	108
4.3.2.2 Umidade Específica .....	116
4.3.2.3 Fluxo de Calor Sensível.....	119
4.3.2.4 Fluxo de Calor Latente .....	121
4.3.2.5 Vento.....	123
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</b> .....	<b>127</b>
5.1 Sugestões .....	128

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>131</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>139</b>



## LISTA DE FIGURAS

3.1 – Localização da área de estudo .....	39
3.2 – Imagem LANDSAT-1 (MSS), de 11/7/1973.....	43
3.3 – Imagem LANDSAT-1 (MSS), de 12/10/1976.....	44
3.4 – Imagens LANDSAT-5 (TM) de 8/9/2004 e 31/7/2004 .....	44
3.5 – Bandas 4, 5 e 7 do sensor MSS, de 12/10/1976.....	45
3.6 – Bandas 3, 4 e 5 do sensor TM, de 8/9/2004.....	46
3.7 – Procedimento metodológico .....	49
3.8 – Etapas do uso do modelo BRAMS .....	56
3.9 – Domínios das grades aninhadas do modelo: 1, 2 e 3, com resolução de 20km, 4km e 1km, respectivamente .....	57
3.10 – Topografia (em metros) do domínio da grade 3, com resolução de 1km.....	59
4.1 – Imagem classificada da década de 1970, da região de São José dos Campos, utilizada na etapa de detecção de mudanças .....	62
4.2 – Imagem classificada de 2004, da região de São José dos Campos, utilizada na etapa de detecção de mudanças .....	63
4.3 – Culturas diversificadas e em diferentes estágios fenológicos localizadas uma ao lado da outra .....	66
4.4 – 1- Contraste entre o talhão irrigado (mais escuro) e as demais culturas, devido à maior atuação do solo. 2- Área de extração de turfa. 3- Contraste entre a turfa, mais escura, e a pastagem .....	68
4.5 – Recorte da imagem classificada de 2004, que mostra um exemplo de área com ocorrência de queimadas, na altura de São José dos Campos .....	70
4.6 – Percentual de área ocupada pelas classes temáticas apresentadas na imagem classificada da década de 1970 .....	72
4.7 – Percentual de área ocupada pelas classes temáticas apresentadas na imagem classificada de 2004 .....	72
4.8 – Variação do percentual de área ocupada pelas classes, na década de 1970 e em 2004 .....	73
4.9 – Gráfico da Imagem Diferença em (%), mostrando as taxas de crescimento e redução das classes de um período para o outro .....	74
4.10 – Máscara de detecção de mudanças da classe corpos d'água .....	76
4.11 – Máscara de detecção de mudanças da classe uso urbano .....	77
4.12 – Máscara de detecção de mudanças da classe cultura/pastagem.....	77
4.13 – Máscara de detecção de mudanças da classe cerrado/outros .....	78
4.14 – Máscara de detecção de mudanças da classe áreas úmidas .....	78
4.15 – Classe corpos d'água em 1970 e em 2004 e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas .....	79
4.16 – Classe uso urbano em 1970 e em 2004 e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas .....	80
4.17 – Classe cultura/pastagem em 1970 e em 2004 e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas .....	81

4.18 – Classe áreas úmidas em 1970 e em 2004 e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas .....	82
4.19 – Classe solo exposto em 1970 e em 2004 e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas .....	83
4.20 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 00Z e 03Z.....	89
4.21 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 06Z e 09Z.....	90
4.22 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 12Z e 15Z.....	91
4.23 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 18Z e 21Z.....	92
4.24 – Ciclo diurno da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, no município de Camanducaia, na latitude 22,82S e longitude 46,02W .....	93
4.25 – Ciclo diurno da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, nas cidades de São José dos Campos (na latitude 23,2S e longitude 45,9W) e Pindamonhangaba (na latitude 22,92S e longitude 45,42W) .....	94
4.26 – Campo da temperatura do ar (em °C), a 48,8m da superfície, correspondente à média de todo o período .....	95
4.27 – Campos da umidade específica (g/kg) e vento, a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 15Z e 21Z.....	97
4.28 – Campos da umidade específica (g/kg) e vento, a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 00Z e 06Z.....	98
4.29 – Campo do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondente à média das 00Z-99	
4.30 – Campos do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 03Z e 06Z.....	100
4.31 – Campos do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 09Z e 12Z.....	101
4.32 – Campos do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 15Z e 18Z.....	102
4.33 – Campo do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondente à média das 21Z .....	103
4.34 – Circulação idealizada da brisa marítima .....	104
4.35 – Circulação idealizada da brisa terrestre .....	105
4.36 – Circulação idealizada da brisa de vale .....	105
4.37 – Circulação idealizada da brisa de montanha .....	106
4.38 – Campos das diferenças entre as médias das 12:00 às 18:00 e das 00:00 às 06:00 (hora local) da temperatura, a 48,8m da superfície .....	109
4.39 – Campo da diferença entre as médias de todo o período da temperatura, a 48,8m da superfície .....	110
4.40 – Diferença entre os valores da temperatura (em °C), a 2m da superfície, dos Experimentos com a cobertura de 2004 e 1970, num ponto localizado na parte sul da cidade de São José dos Campos (na latitude 23,25S e longitude 45,91W) .....	111
4.41 – Diferença entre os valores do fluxo de calor sensível ( $W/m^2$ ), dos Experimentos com a cobertura de 2004 e 1970, num ponto localizado na parte sul da cidade de São José dos Campos (na latitude 23,25S e longitude 45,91W) .....	112

4.42 – Diferença entre os valores da temperatura (°C), a 2m da superfície, dos Experimentos com a cobertura de 2004 e 1970, em locais onde houve a substituição de cultura/pastagem e de terreno úmido por solo exposto, em Pindamonhangaba .....	113
4.43 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando o decréscimo da temperatura (em °C), a 48,8m da superfície, na altura do reservatório de Paraibuna, às 17Z.....	114
4.44 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando a diminuição dos valores da energia cinética turbulenta ( $m^2/s^2$ ), acima do reservatório de Paraibuna, às 17Z, sobretudo nos primeiros 1000 metros da atmosfera .....	115
4.45 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando a diminuição dos valores do vento vertical (m/s), sobre o reservatório de Paraibuna, às 17Z, ou seja, a ocorrência de ventos descendentes neste local.....	115
4.46 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando a subsidência do vento vertical, sobre o reservatório de Paraibuna, às 17Z.....	116
4.47 – Campos das diferenças entre as médias dos períodos da tarde e da noite da umidade específica, a 48,8m da superfície .....	117
4.48 – Campo da diferença entre as médias de todo o período da umidade específica, a 48,8m da superfície.....	118
4.49 – Campo da diferença entre as médias do período vespertino do fluxo de calor sensível ( $W/m^2$ ) .....	119
4.50 – Campos das diferenças entre as médias do período noturno e de todo o período do fluxo de calor sensível ( $W/m^2$ ) .....	120
4.51 – Campo da diferença entre as médias do período vespertino do fluxo de calor latente ( $W/m^2$ ).....	121
4.52 – Campos das diferenças entre as médias do período noturno e de todo o período do fluxo de calor latente ( $W/m^2$ ) .....	122
4.53 – Campo da diferença entre as médias das 12:00 às 18:00 (hora local) do vento (m/s), a 48,8m da superfície .....	124
4.54 – Campos das diferenças entre as médias das 00:00 às 06:00 (hora local) e de todo o período do vento (m/s), a 48,8m da superfície .....	125
A.1 – Imagens GOES-12 de 1/8/2004 a 15/8/2004 .....	139



## LISTA DE TABELAS

3.1 – Área de estudo .....	38
3.2 – Características das imagens utilizadas neste estudo .....	43
3.3 – Características das bandas dos sensores MSS e TM .....	47
3.4 – Cartas topográficas utilizadas na etapa de classificação.....	48
3.5 – Parâmetros biofísicos das classes de uso e cobertura da terra .....	59
4.1 – Percentual de área ocupada pelas classes temáticas apresentadas nas imagens classificadas da década de 1970 e de 2004 .....	71
4.2 – Relatório da detecção de mudanças por área (em km <sup>2</sup> ).....	75



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, houve uma significativa mudança de uso e cobertura da terra em São José dos Campos – SP e em suas redondezas, devido, principalmente, à aceleração dos processos de urbanização e industrialização. No caso de São José dos Campos, em especial, tem sido observado, desde o século XX, um notável crescimento populacional e urbano, num ritmo cada vez mais acelerado. Em 1900, o município possuía 18.122 habitantes, em 1950 contava com 44.804, em 1980, 285.587, e em 2000 sua população já era de 537.899 habitantes (SEADE, 2005). Este incremento populacional está diretamente relacionado à forma como se deu o desenvolvimento da cidade, o qual ocorreu através de três fases distintas: Fase Cafeeira (até 1900), Fase Sanatorial (até 1950) e Fase Industrial (a partir de 1950).

Em virtude deste processo, a paisagem atual de São José dos Campos encontra-se bastante alterada no que se refere as suas características originais. A modificação ambiental ocorrida não apenas neste município, mas em todo o Vale do Paraíba, está ligada à junção de diversos fatores histórico-econômicos, como os plantios de café e algodão, a pecuária leiteira, o tropeirismo, a instalação de diversas indústrias e a implantação de ferrovias e da rodovia Presidente Dutra. Somam-se, ainda, a estes fatores as transformações resultantes da construção de grandes reservatórios na região, nas décadas de 1960 e 1970, como os de Igaratá, Santa Branca e Paraibuna – o maior da região, que forma um imenso lago de água doce, abrangendo os municípios de Natividade e Redenção da Serra.

No entanto, transformações como as que vêm ocorrendo no vale do Paraíba e vizinhança nas últimas décadas, como o aumento da urbanização, a mudança do tipo de cobertura vegetal e a construção de reservatórios, dentre outras, seriam capazes de ocasionar alterações no seu clima. Neste contexto, há uma necessidade de aprimorar o conhecimento científico sobre o impacto dessas mudanças no clima a nível local e

regional. Vale lembrar que a disponibilidade de informações deste tipo também é de grande importância para o planejamento urbano, agrícola e industrial.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto se mostra fundamental para estudos sobre os processos de mudanças no uso e na cobertura da terra, na medida em que os bancos de dados gerados através do uso de satélites correspondem a uma importante fonte de informações sobre os diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, sendo essencial para ajudar a entender as dinâmicas destes processos, assim como seus impactos sócio-ambientais. Além disso, esta tecnologia permite obter dados de áreas muito extensas em intervalos de tempo regulares, podendo-se obter informações espaciais e temporais acerca dos mais diversos alvos existentes na superfície terrestre, a fim de fornecer uma importante contribuição para estes estudos.

Este trabalho busca atender a estas necessidades ao tratar de questões ligadas às mudanças de uso e cobertura da terra em municípios da Região Administrativa de São José dos Campos – SP e vizinhanças e suas implicações climáticas, visando colaborar na busca pelo entendimento das relações entre a sociedade e o meio e, assim, servir como um subsídio ao direcionamento das intervenções feitas pelo poder público, no que se refere às políticas de gestão e planejamento urbano e regional. Neste sentido, destacam-se duas ferramentas que foram utilizadas no presente estudo:

- a) O uso de sensoriamento remoto para diagnosticar as alterações observadas na superfície, que é justificável em função de seu amplo alcance espacial.
- b) As simulações da circulação atmosférica, usando como base as classificações das imagens de sensoriamento remoto, que têm correspondido a uma ferramenta muito útil nos mais diversos estudos sobre mudanças do clima.

## **1.1 Justificativas**

A primeira motivação para a realização deste trabalho correspondeu a relatos de alguns moradores antigos de São José dos Campos de que o clima da cidade estaria mudando. A segunda se refere ao fato de que esta cidade equivale a um dos mais importantes



pólos industriais do estado de São Paulo, o qual ainda está passando por um processo de expansão atualmente.

A presença de grandes indústrias neste município – em 2003, das quase 750 indústrias exportadoras do Vale do Paraíba, 480 estavam localizadas nele, respondendo por 7,25% das exportações nacionais (Cursino e Matta, 2003) – e de um centro universitário de excelência são alguns dos motivos que mostram o importante papel que a cidade desempenha atualmente na economia nacional. Além disso, municípios vizinhos a São José dos Campos também abrigam um importante parque industrial, sobretudo ao longo da rodovia Presidente Dutra. Deste modo, o diagnóstico da evolução do uso da terra e suas implicações climáticas na região é importante para orientar a tomada de decisões, tanto da administração municipal, quanto regional ou estadual, no que diz respeito ao direcionamento da aplicação dos recursos e na elaboração de políticas de desenvolvimento, a fim de se alcançar melhores gestão e planejamento para a região.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral do presente trabalho é detectar e avaliar as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas na região de São José dos Campos – SP, entre as décadas de 1970 e 2000, e analisar as suas implicações climáticas, utilizando-se dados dos sensores MSS e TM-LANDSAT e simulações climáticas. Especificamente, pretende-se:

- Identificar, descrever e quantificar as diferenças apresentadas na cobertura da superfície entre as imagens destes dois períodos;
- Avaliar o comportamento de variáveis meteorológicas, por meio de simulações climáticas executadas com o modelo atmosférico *Brazilian Regional Atmospheric Modeling System* (BRAMS), com maior definição espacial, a fim de investigar as consequências das mudanças detectadas.



## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 Detecção de Mudanças e suas Técnicas**

A detecção de mudanças se refere ao reconhecimento de modificações ocorridas na superfície terrestre, com o passar do tempo (Lorena, 2001). As mudanças na cobertura da terra implicam em mudanças nos valores de reflectância dos diversos alvos. Na medida em que os sensores a bordo dos satélites presentes na órbita da Terra são capazes de medi-la, atesta-se a importância da utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a sua identificação e acompanhamento. Sendo assim, esta corresponde a uma das maiores aplicações dos dados de sensoriamento remoto, obtidos pelos satélites, devido à cobertura repetitiva em curtos intervalos de tempo e à boa qualidade das imagens que estes proporcionam (Singh, 1989).

A detecção de alterações no uso e na cobertura da terra pode ser realizada por meio de técnicas visuais e digitais. As primeiras consistem na comparação de imagens de duas ou mais passagens distintas, a fim de interpretar e mapear as áreas onde ocorreram as alterações. Dentre as digitais, encontram-se diversas técnicas tais como diferença, razão e regressão de imagens, diferença multitemporal entre índices vegetativos, transformações das principais componentes e a comparação pós-classificação (Medeiros, 1987).

Conforme Escada (2003), uso da terra se refere à utilização desta pelo homem, como para o cultivo agrícola, a pastagem etc., e sua mudança pode envolver a troca de um tipo de uso ou sua intensificação. Já o termo cobertura da terra está relacionado ao seu estado físico, à cobertura biofísica observada na superfície terrestre, ou seja, a corpos d'água, rochas e quantidade e tipo de vegetação, por exemplo – e sua mudança pode ser de uma classe para outra ou estar ligada à condição de um tipo de cobertura, como a degradação de uma floresta.

Segundo Green et al (1994), as implicações das mudanças no uso e na cobertura da terra existem em função do contexto social, econômico, político e ecológico em que elas ocorrem. Deste modo, o reconhecimento das alterações que ocorrem numa determinada região pode ser útil no planejamento do uso do solo para este local (Lorena, 2001). Neste sentido, diversos estudos têm sido realizados, como os exemplos a seguir.

Carrilho (1996) utilizou imagens do sensor TM do satélite LANDSAT-5 para estudar a aplicabilidade do método de detecção de mudanças da cobertura vegetal baseado em componentes principais seletivas, numa região de cerrado e verificou que a detecção de mudanças na cobertura da terra feita por meio desta técnica foi adequada para este fim.

Lee et al. (1991) realizaram trabalho apresentando aplicações das técnicas de detecção de mudanças no monitoramento de áreas reflorestadas. Para tal, utilizaram dados multiespectrais de sensoriamento remoto e técnicas como a Comparação Pós-Classificação, a Classificação Multitemporal e a Análise de Componentes Principais. Os resultados encontrados por eles permitiram acompanhar a evolução das mudanças ocorridas nas áreas reflorestadas, nos períodos analisados. Segundo eles, atualmente, as técnicas de detecção de mudanças podem rapidamente fornecer informações sobre a alteração da cobertura florestal, as quais permitem a tomada de decisões a respeito do manejo dessas áreas.

Mas (1999) testou seis técnicas de detecção de mudanças – imagem diferença, diferença de índice de vegetação, análise das componentes principais seletivas, classificação não supervisionada multitemporal, combinação de imagem produzida num procedimento de melhoramento com a comparação pós-classificação e comparação pós-classificação. Foram utilizadas imagens MSS-LANDSAT da zona costeira do Estado de Campeche, no México, além de fotografias aéreas e a estatística Kappa, para verificar a precisão dos resultados obtidos em cada uma delas. Ele constatou que a Comparação Pós-classificação, baseada na classificação supervisionada de duas imagens, foi o procedimento mais preciso e que apresentou a vantagem de indicar a natureza das mudanças. Seu bom desempenho foi atribuído à alta precisão de classificação das imagens classificadas para os dois períodos analisados, a qual foi melhorada através do

agrupamento das classes que apresentaram as confusões espectrais mais comuns. Os resultados obtidos no seu trabalho sugeriram que as principais mudanças na cobertura da terra podem ser monitoradas, com precisão, através do uso de sensoriamento remoto.

As técnicas de comparação pós-classificação, imagem diferença e composição e classificação multitemporal também foram analisadas por Acharya (2002), para a área rural do distrito de Chitwan, Nepal. Ele trabalhou com imagens LANDSAT/TM de três diferentes datas (1988, 1992 e 2000) e verificou que estas técnicas tiveram resultados quase similares, sendo que as duas primeiras se mostraram melhores do que a terceira. Neste estudo, a comparação pós-classificação forneceu informação detalhada de provável mudança ocorrida entre dois anos. Também foi alertado que esta pode vir a apresentar problemas em virtude de erros na classificação ou no registro anteriores a sua realização. O autor reconheceu que permanecem as incertezas quando se trata de definir a melhor técnica para ser usada nos mais diferentes estudos, havendo necessidade de se continuarem as investigações com as diversas escalas de aplicação destes estudos.

Do mesmo modo, Howarth e Wickware (1981) enfatizaram que os registros das imagens, assim como suas classificações, precisam ter boa precisão, pois possíveis erros que venham a ocorrer nestas duas etapas certamente implicarão em resultados com menor exatidão durante o uso da comparação pós-classificação. Eles também observaram que esta técnica se mostrou melhor do que a de razão de bandas, tanto visualmente quanto diante da possibilidade de avaliação quantitativa.

A técnica escolhida para a execução deste trabalho corresponde à comparação pós-classificação, que é realizada por meio da análise comparativa de duas imagens classificadas (produzidas independentemente), pertencentes a dois períodos distintos, na qual pares de diferentes classes são utilizados para indicar as áreas com alterações (Medeiros, 1987; Singh, 1989; Mas, 1999). Optou-se pelo seu uso a fim de aproveitar as imagens classificadas para a etapa de modelagem climática e devido a este método ser menos sensível às variações espectrais dos alvos nas diferentes épocas do ano, pois aquelas classes que apresentam diferenças muito grandes quanto a sua assinatura espectral, entre as imagens de cada data, podem ser mantidas dentro da mesma classe

correspondente ao seu uso/cobertura da terra. Ao contrário de alguns procedimentos que utilizam somente imagens não-classificadas, que podem não ter um bom desempenho na detecção de mudanças, em virtude da variação das respostas espectrais provocada pelas diferenças na umidade do solo e na fenologia da vegetação, por exemplo, entre as cenas de cada período, conforme constatado por Mas (1999).

## **2.2 Algumas Considerações sobre Mudanças Climáticas**

O homem e o clima se afetam mutuamente, pois assim como o clima influencia o ser humano de diversas maneiras, este pode influenciá-lo através das suas mais diversas atividades. No entanto, a principal interferência do ser humano sobre o clima ocorre nas áreas com maior adensamento populacional, pois é nestas áreas que a paisagem original é modificada de forma mais intensa.

Abreu (2000) chamou atenção para a ocorrência de possíveis mudanças climáticas locais em virtude da formação de aglomerados urbanos ou pela modificação do meio ambiente. Segundo ela, grandes hidrelétricas podem aumentar localmente a ocorrência de precipitações convectivas e substituições de áreas florestadas por áreas de pastagens são capazes de acelerar processos de aridez, por exemplo.

Stohlgren et al. (1998), com base em estudos realizados por outros pesquisadores, alegaram, ainda, que os efeitos das práticas locais de uso da terra podem afetar o clima regional, os ecossistemas e os recursos hídricos numa extensão similar ou até mesmo maior do que as mudanças climáticas comandadas pelas alterações de temperatura em larga-escala, associadas ao aumento das concentrações de gases do efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>, na atmosfera.

Entende-se por mudança climática toda e qualquer manifestação de inconstância climática, independente de sua natureza estatística, escala temporal ou causas físicas. Deste modo, as alterações climáticas podem ocorrer de forma muito variada e em diferentes escalas (Conti, 2000).

Como o clima é um elemento essencial para a vida no planeta, a sua mudança tem correspondido a uma preocupação de toda a humanidade. Neste sentido, vários estudos têm sido realizados na busca pelo melhor entendimento deste fenômeno, em diversas escalas. Nas áreas urbanizadas, por exemplo, a preocupação em se estudar o comportamento dos elementos climáticos é conhecida desde o século XIX, segundo Tarifa (1981).

Assim, a questão das mudanças climáticas, tanto a nível global como regional e local, vem sendo estudada com especial interesse por aqueles que se dedicam às ciências da natureza em todo o mundo (Conti, 2000). Perrella e Sakuragi (1998) estudaram a ocorrência de nevoeiros em São José dos Campos, utilizando dados meteorológicos do Aeroporto para o período de 1974 a 1992, e concluíram que a variação das atividades humanas na configuração física da cidade contribuiu para as variações climáticas, havendo alterações mais significativas de temperatura, umidade relativa, nevoeiro e vento. Eles constataram que a construção de represas e a industrialização foram fatores determinantes no aumento da umidade relativa e, ainda, que a mudança das propriedades do solo contribuiu para a diminuição da duração do nevoeiro.

Tarifa (1981) realizou trabalho em São José dos Campos visando caracterizar a influência da natureza do espaço (urbanizado ou rural) e do tipo de cobertura do solo (área de mata, eucalipto ou pasto) nas variações de temperatura e de umidade, e investigar as variações sofridas por estes elementos em virtude das diferentes exposições de vertentes. Ele verificou que a área urbana de São José exerceu influência na variação de temperatura e umidade em relação à área rural, devido à acentuação do calor pelas estruturas urbanas, e que as áreas de mata se mostraram importantes na manutenção de temperaturas mais amenas, pois as mesmas obtiveram valores de temperatura menores do que os mensurados nas áreas de pasto e eucalipto.

Chase et al. (1999) investigaram os efeitos das mudanças de uso da terra nas planícies do norte do Colorado no tempo regional, por meio de simulações numéricas de alta resolução, e concluíram que a substituição de pastagens por culturas irrigadas e não-irrigadas tem acarretado em impactos no tempo e no clima regional. Segundo eles, estas

alterações na cobertura da superfície resultam em aumento da umidade do solo durante as estações mais quentes, devido à irrigação, mudanças no albedo e na rugosidade, dentre outros impactos, que podem afetar os balanços de radiação e os fluxos da superfície e gerar circulações de mesoescala.

Conti (2000) também alertou para o fato de que as alterações no comportamento atmosférico num espaço muito curto de tempo, como de um ano para outro, podem não significar, necessariamente, variação de clima. Sendo essencial que se produzam em uma seqüência considerável de anos para definir uma tendência estatística indicadora de alteração. Deste modo, verifica-se a necessidade de avaliações climáticas que enfoquem períodos longos de tempo, como a que será realizada no presente trabalho.

### **2.3 Modelagem e Simulação Climática**

O uso de modelos numéricos tem se mostrado importante para auxiliar a avaliação das conseqüências de mudanças provocadas pelas atividades humanas, que são muito complexas, pois permitem simular diversas situações climáticas a partir de modificações nas condições da superfície terrestre e na constituição da atmosfera (Abreu, 2000). Deste modo, vários estudos têm sido realizados com o emprego destes modelos visando compreender, especialmente, as implicações climáticas das ações antrópicas, em várias escalas.

Abreu (2000) investigou o desempenho do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA), do CPTEC-INPE, em descrever as principais características da climatologia de precipitação e temperatura do ar à superfície sobre o Brasil, avaliando seu uso em previsões climáticas e em estudos futuros visando simular possíveis mudanças climáticas naturais ou antrópicas que pudessem afetar o território brasileiro. A referida autora verificou que, mesmo apresentando algumas limitações, este modelo se mostrou uma ferramenta importante na simulação das características de grande escala do clima das regiões brasileiras, sendo capaz de auxiliar no entendimento da gênese dinâmica da climatologia do Brasil e contribuir para o aprimoramento da análise e previsão das situações de tempo e clima.



Fisch et al. (1997) utilizaram o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do Hadley Centre para analisar as modificações microclimáticas provocadas pelo desmatamento na região Amazônica. Eles observaram as implicações da substituição de floresta por pastagem em nível sazonal. Dentre elas, encontram-se o aumento na temperatura média do ar (em 0,9 °C), a redução na evaporação (de 20 %) e precipitação (14 %), o aumento da velocidade do vento, uma pequena redução na umidade específica do ar e um período de seca prolongado.

No entanto, os modelos globais são limitados para estudos a respeito da vulnerabilidade climática local e regional, devido a sua pobre resolução, que os impede de simular adequadamente as variáveis climáticas nas escalas de maior complexidade da paisagem. Sendo, então, necessário para este fim o uso de modelos atmosféricos de mesoescala, de alta resolução, que incorporem as interações superfície terrestre - atmosfera (Stohlgren et al., 1998).

Neste sentido, modelos de alta resolução, como o RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) e o BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*), têm sido cada vez mais utilizados nos estudos sobre mudanças climáticas causadas pelas alterações do uso e cobertura da terra, especialmente, em virtude da ação antrópica.

Gandu e Cohen (2002) realizaram simulações numéricas com o modelo RAMS, a fim de avaliar com maior definição espacial os impactos da substituição de floresta por pastagem na atmosfera, na região leste da Amazônia, durante o período menos chuvoso. Neste estudo, duas simulações foram feitas e posteriormente comparadas, para um período de dois meses: uma mantendo os padrões da vegetação original e outra na qual os parâmetros biofísicos da vegetação do tipo floresta foram substituídos pelos do tipo pastagem. Estes autores verificaram alguns impactos resultantes desta substituição da floresta por pastagem e, assim como Fisch et al. (1997), observaram o aumento generalizado de temperatura (entre 0,5 e 1,5 °C) na região estudada e da velocidade do vento próximo à superfície. Além disso, destacaram a importância da maior resolução espacial deste modelo para verificar o efeito dos grandes rios da região.

Correia (2001) utilizou simulações numéricas do modelo RAMS, além de dados observacionais, para avaliar a ocorrência de mudanças climáticas na região do submédio da bacia do rio São Francisco, ligadas à construção da represa de Sobradinho. Ela constatou a aplicabilidade deste modelo para simular o comportamento da atmosfera em cenários distintos, tais como com lago ou sem lago, e concluiu que o reservatório afeta o clima desta região de forma direta e indireta (em função da substituição da caatinga por culturas irrigadas nas suas adjacências).

Freitas (1999) e Freitas et al. (2005) utilizaram o modelo RAMS, para estudar o transporte atmosférico de gases e partículas inertes emitidos pelas queimadas na Amazônia e no Brasil Central. As queimadas emitem gases do efeito estufa com potencial papel em mudanças climáticas em escalas regional e global. Acoplando um modelo de transporte on-line ao modelo RAMS, os autores mostraram as principais rotas de exportação da fumaça emitida e o papel de sistemas sinóticos típicos da América do Sul na definição destas rotas.

Percebe-se, então, a importante contribuição que a modelagem climática tem oferecido aos mais diversos estudos acerca de mudanças do clima, na medida em que esta técnica nos permite antever possíveis cenários de modificações climáticas associados à atuação antrópica. Sendo assim, conforme Abreu (2000), o aprimoramento destes modelos é fundamental para que se possa responder de forma cada vez mais eficiente às questões relacionadas à influência humana no clima.

No presente trabalho, foi feito o uso do modelo atmosférico BRAMS, desenvolvido a partir da versão mais recente do modelo RAMS (5.0) com várias inovações, tanto no aspecto de parametrizações quanto no numérico.

O RAMS foi criado na Universidade do Estado do Colorado e corresponde a um modelo numérico em diferenças finitas, apropriado para simular os movimentos da atmosfera em várias escalas (Walko et al., 2000). Ele resolve o sistema de equações não-hidrostático totalmente compressível, descrito em Tripoli e Cotton (1982), que possibilita a simulação de nuvens em qualquer escala, e é equipado com um sistema de múltiplas grades aninhadas, que permite a simulação de sistemas de diferentes escalas

espaciais simultaneamente, por meio da retro-alimentação entre estas. Também possui um completo e sofisticado conjunto de parametrizações físicas para simular os processos governantes da evolução do estado atmosférico.

A condição inicial pode ser definida a partir de vários conjuntos de dados observacionais e, como condição de contorno, o modelo tem o esquema 4DDA (assimilação de dados em 4 dimensões), o qual permite que a solução do sistema de equações seja confiante com dados analisados de escala maior, tais como análises atmosféricas de modelos globais, ou seja, que as saídas do modelo se encontrem contextualizadas com os dados atmosféricos de uma área maior, na qual o domínio do modelo esteja inserido.

Além disso, o RAMS tem um código paralelo altamente versátil com capacidade de execução em diferentes arquiteturas computacionais, incluindo redes de computadores IA32 rodando o LINUX.



## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir os objetivos propostos, foi seguida uma metodologia que envolve o uso de técnicas de sensoriamento remoto, na classificação de imagens orbitais e detecção de mudanças de uso e cobertura da terra, e de modelagem climática, para diagnosticar possíveis mudanças na configuração da paisagem da área definida para este estudo e sua influência no clima, conforme apresentado a seguir.

#### 3.1 Área de Estudo

A área escolhida para a realização da detecção de mudanças, de aproximadamente 10.000km<sup>2</sup>, está localizada no leste do estado de São Paulo entre as latitudes -22°47' e -23°40' e longitudes -46°11' e -45°16', como ilustrado na FIGURA 3.1.

A TABELA 3.1 contém algumas informações dos principais municípios encontrados na área de estudo, pertencentes às Regiões Administrativas de São José dos Campos (em sua maior parte), Campinas e Metropolitana de São Paulo, do Estado de São Paulo, além daqueles situados no Estado de Minas Gerais. Observa-se que São José dos Campos, Mogi das Cruzes e Taubaté são os municípios mais populosos desta região, com cerca de 592.932, 361.350 e 264.031 habitantes, respectivamente.

A delimitação desta área para o presente estudo se deve ao fato de que as intensas transformações pelas quais São José dos Campos passou no último século certamente foram acompanhadas por repercussões ambientais, em especial as climáticas, que devem ser investigadas a fim de proporcionar um crescimento sustentável da região. Além disso, outros municípios próximos a este também passaram por profundas mudanças, especialmente no que se refere à implantação das represas, que podem ser capazes de influenciar no clima local. Foi constatada, assim, a necessidade de se incorporar a investigação das transformações espaciais que vêm ocorrendo nos

municípios vizinhos e suas correlações com o clima, paralelamente, a fim de enriquecer a análise climática para esta área.

Na etapa referente às Simulações Climáticas, esta área teve seu tamanho um pouco aumentado, passando a abranger, especialmente, os municípios de Aparecida, Guaratinguetá, Lagoinha e Ubatuba, na porção leste, e Suzano, Itaquaquecetuba, Arujá, Nazaré Paulista e Extrema (MG), no lado oeste.

TABELA 3.1 – Área de estudo.

<b>Municípios</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Habitantes</b>
São José dos Campos	1.142	592.932
Igaratá	301	9.520
Jacareí	463	206.014
Santa Branca	289	14.509
Paraibuna	735	18.383
Jambeiro	198	4.423
Natividade da Serra	848	7.258
Redenção da Serra	317	4.089
Caçapava	378	81.370
Monteiro Lobato	338	3.764
Santo Antônio do Pinhal	141	6.864
Tremembé	185	39.731
Taubaté	609	264.031
Pindamonhangaba	746	139.800
Potim	45	16.160
Roseira	121	10.016
São Luís do Paraitinga	737	10.727
Caraguatatuba	480	93.226
Piracaia	374	25.584
Joanópolis	377	11.686
Salesópolis	418	15.953
Biritiba Mirim	414	28.760
Guararema	262	24.111
Mogi das Cruzes	721	361.350
Santa Isabel	361	46.767
Camanducaia – MG	528	22.799
Sapucaá-Mirim – MG	285	6.195

FONTE: SEADE (2006).

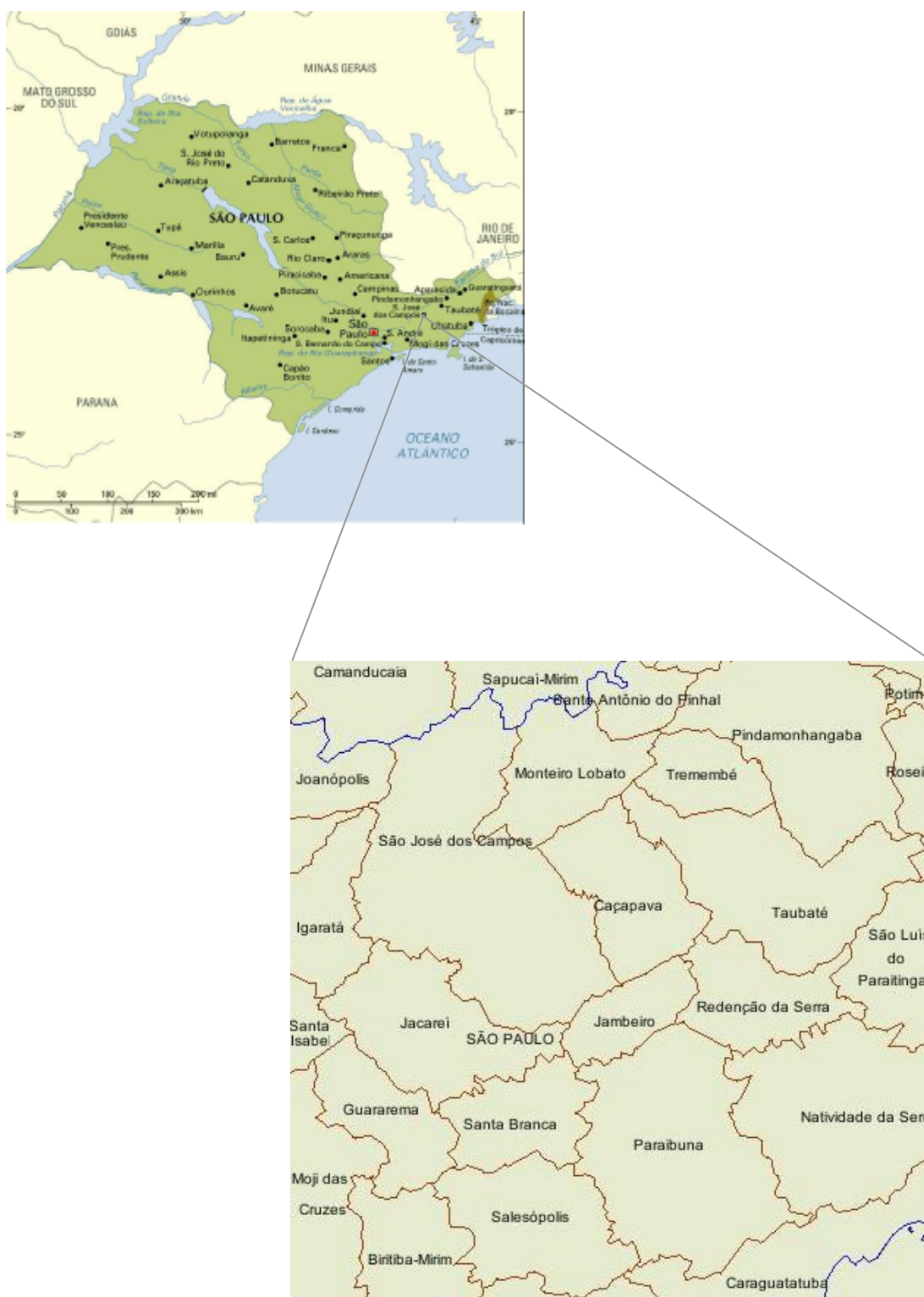


FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo.

### **3.1.1 Caracterização Físico-Ambiental**

A área de estudo, inserida no planalto Atlântico, é constituída de formas variadas de relevo, dentre as quais se destacam as escarpas acentuadas das serras do Mar e da Mantiqueira e a fossa tectônica do médio vale do rio Paraíba do Sul, cuja gênese está vinculada aos episódios tectônicos que originaram estas serras. Segundo Morelli (2002), o relevo local apresenta os maiores contrastes morfológicos do Brasil, pois entre altas superfícies cristalinas está localizado o amplo vale do Paraíba.

A diversidade do relevo resulta numa grande variedade de microclimas, refletida nas características paisagísticas da área em questão. Assim, as vertentes da Serra do Mar voltadas para o oceano, são recobertas por florestas exuberantes, em função da alta ocorrência de chuvas neste local. Ao passo que as áreas localizadas no interior (atrás desta serra) são mais secas e por isso apresentam vegetação menos exuberante.

Dentre os rios encontrados na região de São José dos campos, chama atenção o rio Paraíba do Sul, pelo seu tamanho e pela sua importância como eixo de povoamento e desenvolvimento da região. Este rio é formado pela junção dos rios Paraitinga e Paraibuna e, inicialmente, segue em direção à sudoeste. No entanto, na altura do município de Guararema, o seu curso é alterado em decorrência da presença de um relevo mais acidentado neste local que faz com que seu curso mude em direção à nordeste. Posteriormente, ele segue para leste até desembocar no oceano Atlântico.

A planície aluvial do rio Paraíba do Sul teve um importante papel nas atividades agrícolas da região de São José, uma vez que concentra os solos de maior fertilidade, renovados pelas inundações periódicas. No entanto, as enchentes deste rio passaram a ser regularizadas no período chuvoso, devido à construção de represas, como as de Jaguari, Santa Branca e Paraibuna. Além destas, foram construídos outros reservatórios na região, a fim de diminuir as inundações dos principais rios, possibilitando uma maior ocupação urbana e industrial, e de atender à necessidade de abastecimento de água das cidades, que tiveram uma implantação acelerada de indústrias e conseqüente crescimento urbano.



No leito e na várzea do rio Paraíba, também são desenvolvidas atividades relacionadas à extração de areia, que se iniciaram na década de 1970 nesta localidade, para atender à construção civil, principalmente, da grande São Paulo (Vale Verde, 2004). Com o passar dos anos, houve o aumento desta prática de forma predatória, resultando em vários problemas ambientais, como erosão, assoreamento do rio e alteração paisagística, a qual, inclusive, pode ter implicações climáticas locais.

### **3.1.2 Algumas Considerações sobre o Clima da Região de São José**

O clima de uma determinada região é resultante da interação de vários fenômenos que ocorrem em diferentes escalas. Neste sentido, a circulação geral da atmosfera corresponde a um dos principais fatores formadores do clima da região de São José dos Campos, enfocada neste trabalho, uma vez que ela regula as circulações de menor escala (Molion, 1980). Sendo assim, diversos sistemas atmosféricos de grande escala exercem influência direta sobre o seu clima.

No período de inverno, destaca-se o Anticiclone Polar Atlântico, responsável pelo avanço de sistemas frontais sobre esta região, que resultam em tempo chuvoso, nos primeiros dias, e no declínio da temperatura. Geralmente, após a passagem das frentes frias que provocam chuva e ventos fortes, atuam sistemas de alta pressão associados às massas de ar polar, que ocasionam tempo bom, com diminuição da ocorrência de chuvas e ventos fracos. Enquanto que no verão, predomina a influência do Anticiclone Tropical Atlântico, centro de ação da Massa Tropical Atlântica (mTa) quente e úmida, que favorece a ocorrência de temperaturas mais elevadas e a predominância de chuvas nesta época do ano. Nesta estação, também ocorre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que resulta da interação dos sistemas advindos da região amazônica com as frentes frias, consistindo numa banda de nebulosidade semi-estacionária que se estende do sul da Amazônia até o Oceano Atlântico, passando sobre as Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Ela acarreta em períodos prolongados de chuvas, que podem ser intensas.

Todavia, a circulação atmosférica sofre variações expressivas na mesoescala e microescala, devido a diferenças nas propriedades das superfícies, como geometria e

altitude do terreno, tipos de vegetação e distribuição de terra e água. A atuação destes fatores em escalas menores pode resultar em condições de vento locais que se afastam significativamente do perfil da circulação de larga escala (Amarante et al., 2001).

Deste modo, o relevo da área de estudo que é bem diversificado, variando do plano ao montanhoso, é um dos fatores que mais interferem no clima da região de São José dos Campos, pois, na medida em que influencia a circulação local dos ventos, regula a distribuição e a intensidade das chuvas, acarretando numa precipitação pluviométrica diferenciada ao longo desta região. Assim, segundo Morelli (2002), as médias anuais de precipitação mais elevadas estão associadas às serras da Mantiqueira (1.300 a 2.000mm) e do Mar (1.300 a 2.800mm), indicando que o efeito orográfico é determinante para a gênese das chuvas na região. A ocorrência dos maiores valores na Serra do Mar está associada à exposição de suas vertentes aos ventos úmidos provenientes do oceano. Em contrapartida, na região mais plana situada entre as duas serras, e conhecida como Vale do Paraíba, são observados os mais baixos índices de precipitação.

### **3.2 Materiais**

Utilizaram-se neste estudo imagens orbitais representativas de dois períodos distintos: décadas de 1970 e 2000. Visando um melhor resultado em ambas as etapas de detecção de mudanças e simulação climática, foi dada preferência à escolha daquelas pertencentes à mesma época do ano. A seleção de imagens que pertençam a datas próximas mostra-se fundamental diante de fatores como ângulo de elevação solar e sazonalidade, que podem influenciar no comportamento espectral dos alvos.

Optou-se pelo uso de imagens de satélites da série LANDSAT, devido ao banco de dados históricos obtido pelos sensores MSS e TM nos últimos trinta anos, o qual representa uma importante fonte de informações a respeito da área de estudo. Assim, foram selecionadas imagens LANDSAT-1 (MSS) e LANDSAT-5 (TM), mostradas na TABELA 3.2 e nas FIGURAS 3.2, 3.3 e 3.4, para a identificação dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra na área de interesse.

Apesar de ser recomendável o uso de imagens obtidas no verão para o mapeamento do uso e cobertura da terra em áreas com a presença de relevo mais acidentado, devido a ângulos de elevação solar maiores neste período e conseqüente diminuição do sombreamento causado por este tipo de relevo, prevaleceu a aquisição de imagens geradas no inverno, em virtude da maior oferta de imagens sem nuvens nesta época do ano.

TABELA 3.2 – Características das imagens utilizadas neste estudo.

Satélite/Sensor	Órbita/Ponto	Data da passagem
LANDSAT-1 MSS	234/76	11/7/1973
	235/76	12/10/1976
LANDSAT-5 TM	219/76	8/9/2004
	218/76	31/7/2004

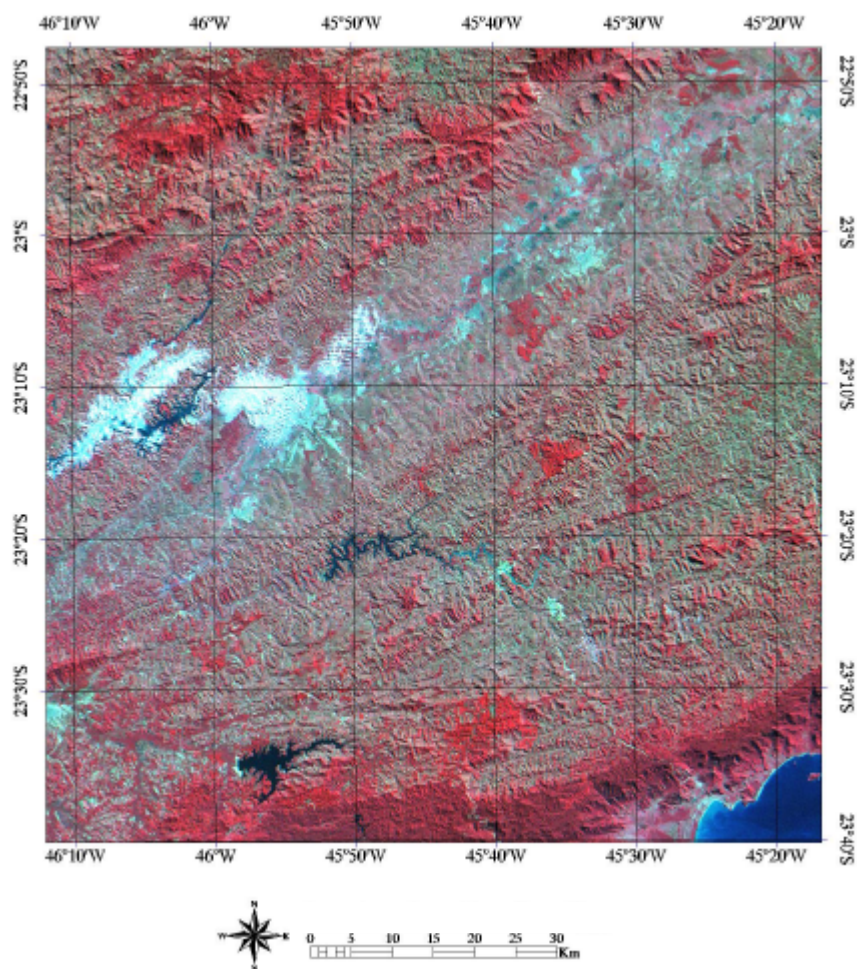


FIGURA 3.2 – Imagem LANDSAT-1 (MSS), de 11/7/1973.

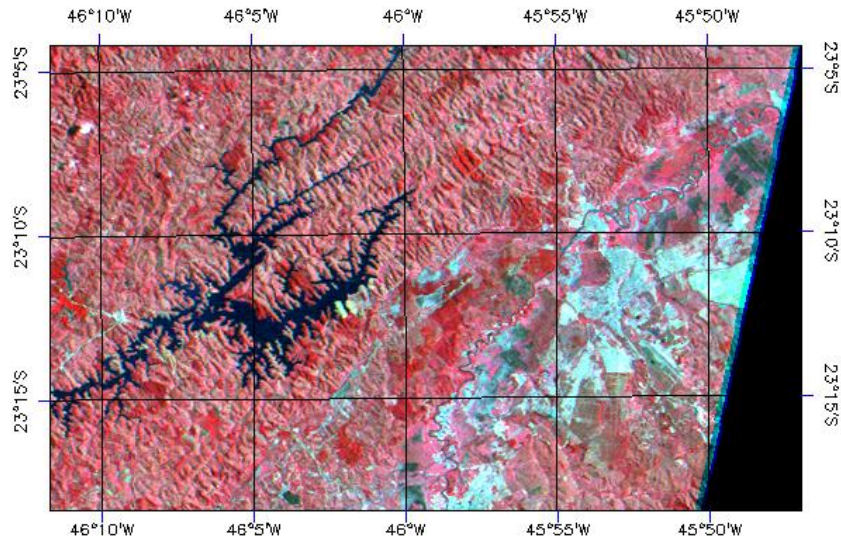


FIGURA 3.3 – Imagem LANDSAT-1 (MSS), de 12/10/1976.

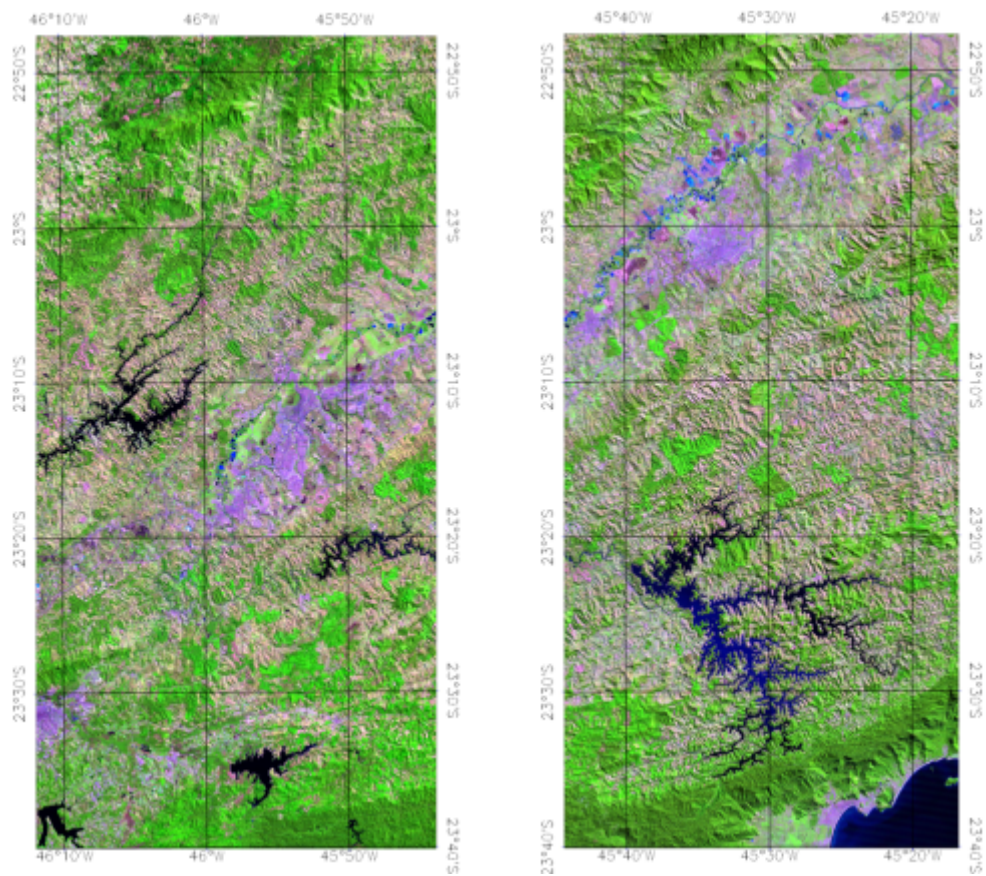


FIGURA 3.4 – Imagens LANDSAT-5 (TM) de 8/9/2004 (à esquerda) e 31/7/2004 (à direita).

No que se refere à escolha das bandas, como diferentes alvos se comportam de formas variadas em cada uma delas, foram escolhidas as que melhor os destacassem, tanto individualmente quanto em composições coloridas. Sendo assim, foram utilizadas neste trabalho, principalmente, as bandas 4, 5 e 7 do sensor MSS e 3, 4 e 5 do TM (FIGURAS 3.5 e 3.6), cujas resoluções espectrais e espaciais encontram-se na TABELA 3.3.

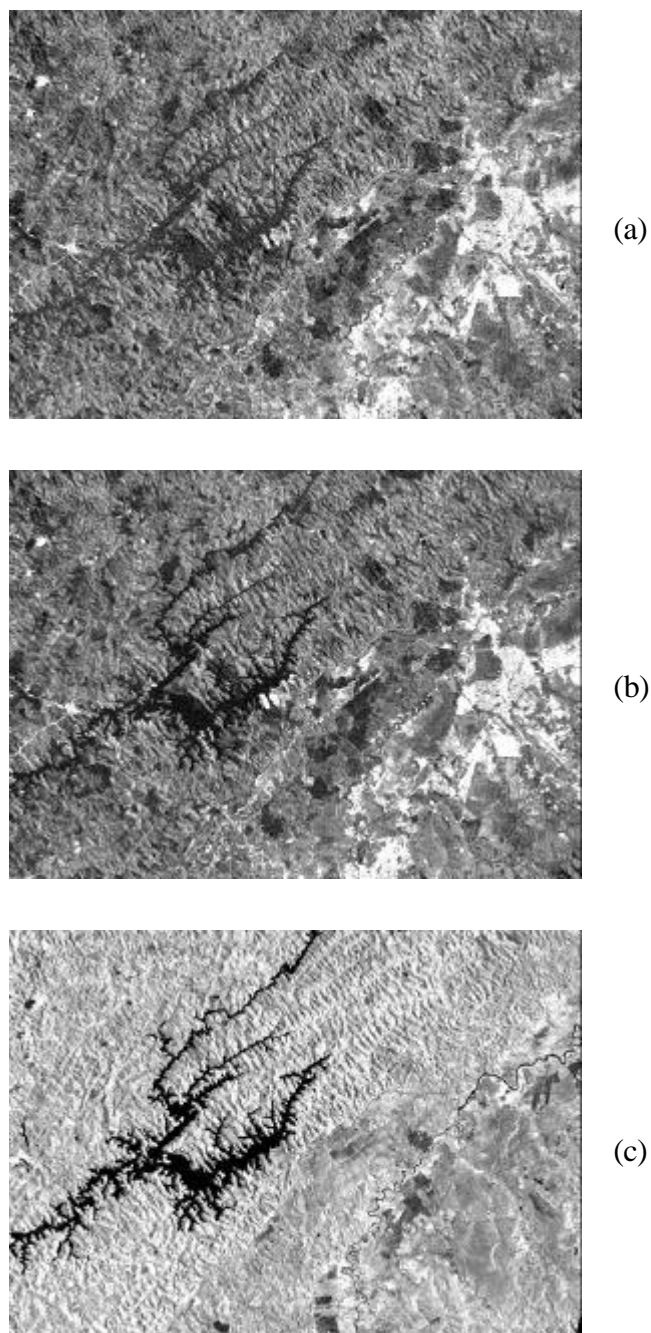
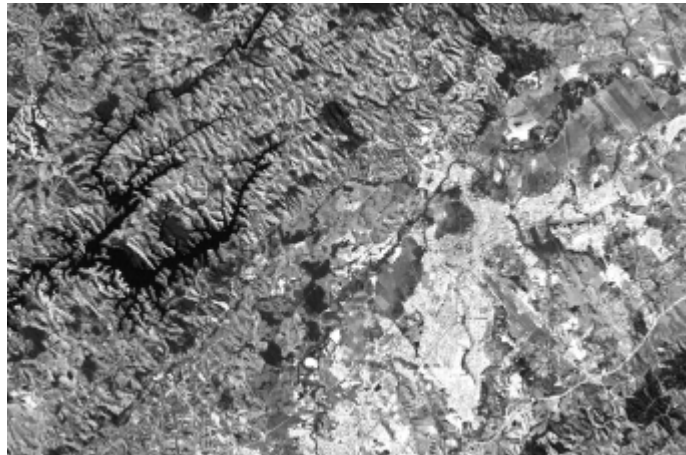
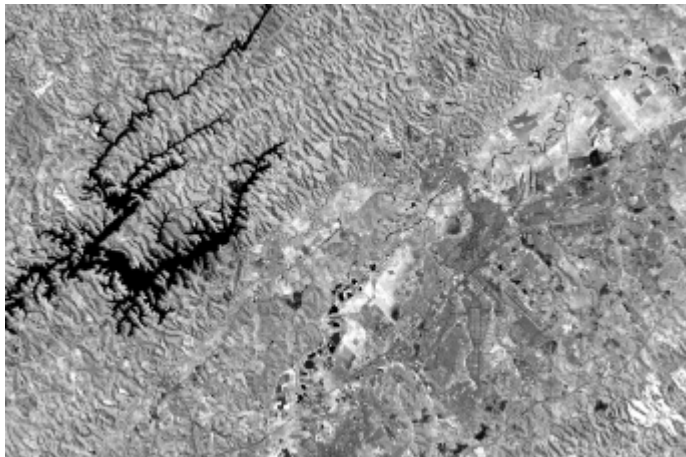


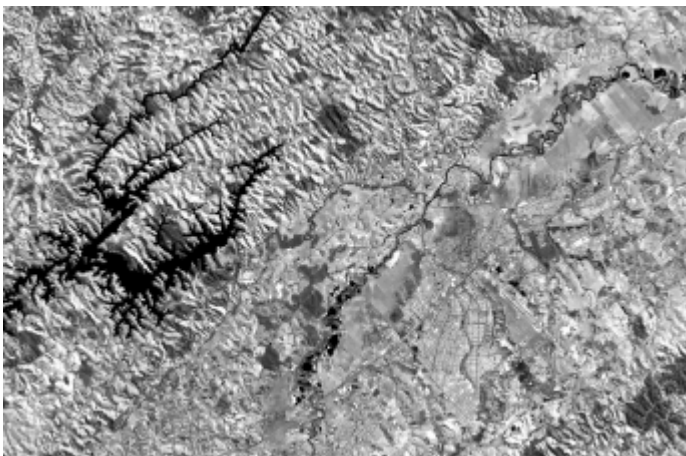
FIGURA 3.5 – Bandas 4 (a), 5 (b) e 7(c) do sensor MSS, de 12/10/1976.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 3.6 – Bandas 3 (a), 4 (b) e 5 (c) do sensor TM, de 8/9/2004.

TABELA 3.3 – Características das bandas dos sensores MSS e TM.

Sensor	Banda	Resolução espectral ( $\mu\text{m}$ )	Região do espectro	Resolução espacial (m)
MSS	4	0,5 – 0,6	Verde	80
	5	0,6 – 0,7	Vermelho	80
	7	0,8 – 1,1	IV próximo	80
TM	3	0,63 – 0,69	Vermelho	30
	4	0,76 – 0,90	IV próximo	30
	5	1,55 – 1,75	IV médio	30

FONTE: Moreira (2003).

Como suporte à interpretação visual das imagens orbitais durante a etapa de classificação, utilizaram-se: cartas topográficas de São José dos Campos e municípios vizinhos na escala 1:50.000, confeccionadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo (IGGSP), cobrindo toda a área de estudo (TABELA 3.4); carta topográfica de São José dos Campos de 1978 na escala 1:10.000, elaborada pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo; mapa de uso da terra do município de São José dos Campos de 1987 na escala 1:100.000, confeccionado pelo INPE; e dados originais do mapeamento da cobertura vegetal, de 2000, fornecidos pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, e das manchas urbanas, do trabalho realizado por Pereira et al. (2005). Também foram usadas imagens TM-LANDSAT (banda 4), de 29/2/2004 (órbita/ponto: 219/76) e 9/3/2004 (órbita/ponto: 218/76), e do satélite *Quickbird* de São José dos Campos, do dia 26/10/2003.

TABELA 3.4 – Cartas topográficas utilizadas na etapa de classificação.

<b>Fonte</b>	<b>Cartas Topográficas</b>	<b>Folhas</b>	<b>Data</b>
IBGE	Camanducaia	SF-23-Y-B-VI-4	1972
	Monteiro Lobato	SF-23-Y-B-V-3	1973
	Tremembé	SF-23-Y-B-V-4	1974
	Pindamonhangaba	SF-23-Y-B-VI-3	1974
	Igaratá	SF-23-Y-D-I-2	1984
	São José dos Campos	SF-23-Y-D-II-1	1973
	Taubaté	SF-23-Y-D-II-2	1973
	São Luís do Paraitinga	SF-23-Y-D-III-1	1974
	Santa Isabel	SF-23-Y-D-I-4	1984
	Jacareí	SF-23-Y-D-II-3	1974
	Paraibuna	SF-23-Y-D-II-4	1973
	Natividade da Serra	SF-23-Y-D-III-3	1974
	Pico do Papagaio	SF-23-Y-D-V-2	1974
	Caraguatatuba	SF-23-Y-D-VI-1	1974
IGGSP	Moji das Cruzes	SF-23-Y-D-IV-2	1972
	Salesópolis	SF-23-Y-D-V-1 e SF-23-Y-D-V-3	1971
	Igaratá	SF-23-Y-D-I-2	1971
	Santa Isabel	SF-23-Y-D-I-4	1971

### 3.3 Métodos

A avaliação da variabilidade da cobertura da terra na região de São José dos Campos e de suas implicações climáticas foi feita por meio do procedimento metodológico apresentado a seguir e esquematizado na FIGURA 3.7.

Todo o processamento digital das imagens utilizadas neste estudo (referente ao preparo destas e às etapas de classificação e detecção de mudanças) foi realizado no *software* ENVI (*Environment for Visualizing Images*), versão 4.0.



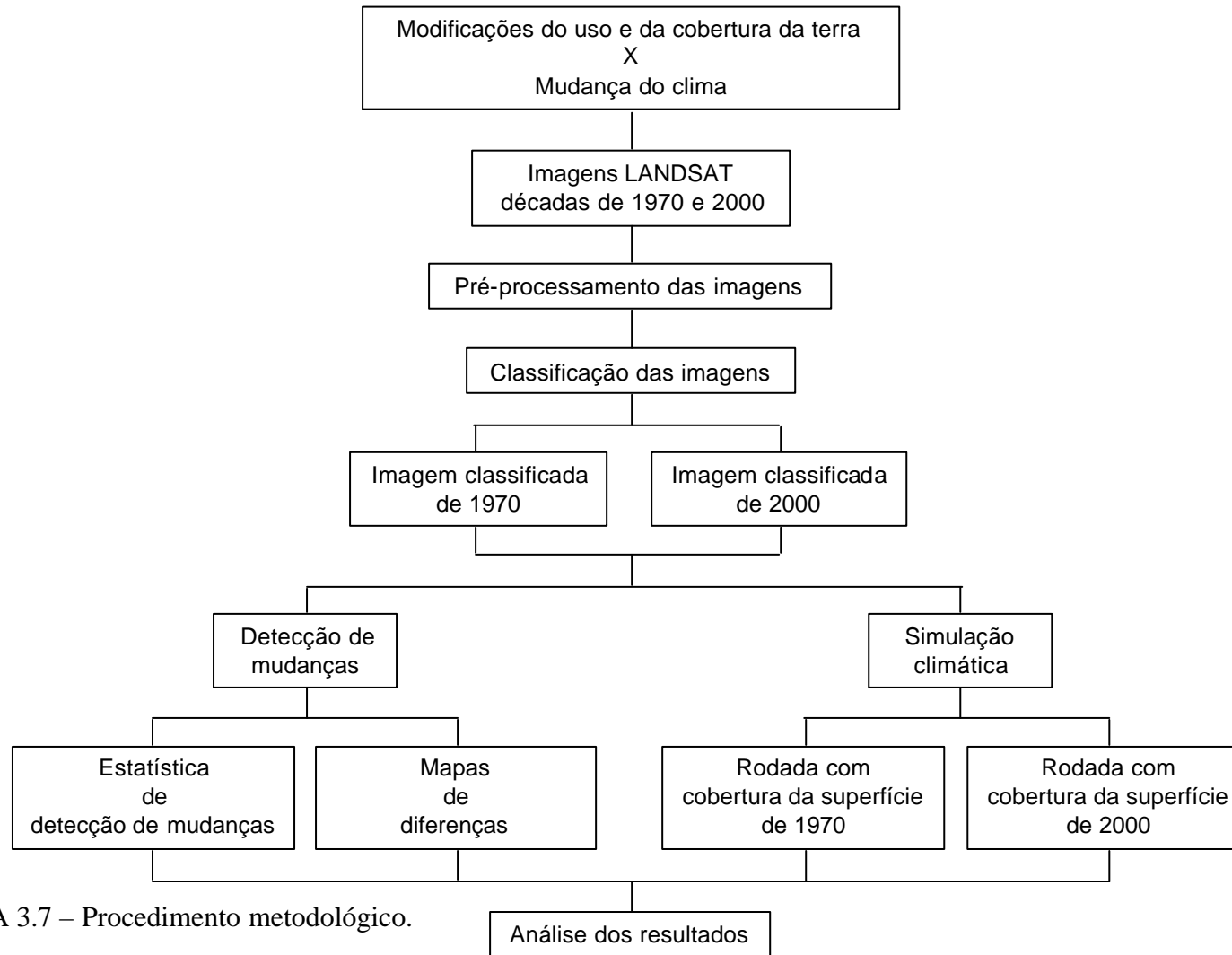


FIGURA 3.7 – Procedimento metodológico.

### 3.3.1 Pré-processamento

Inicialmente, realizou-se o pré-processamento das imagens MSS e TM, no qual estão incluídos a correção atmosférica, o registro e o recorte das imagens.

A correção dos efeitos atmosféricos se faz necessária ao realizar combinações lineares entre bandas e em estudos multitemporais. Deste modo, a correção atmosférica foi realizada no presente trabalho através do método da subtração do pixel escuro, que consiste na subtração dos valores digitais dos pixels da imagem pelo valor do pixel com valor de brilho mais baixo, a fim de minimizar a contribuição aditiva da atmosfera na resposta dos alvos.

As imagens foram registradas com erros menores do que 0,5 pixel, pois o registro deve ser feito com o máximo de precisão possível antes da utilização de técnicas de comparação de imagens, a fim de evitar conclusões errôneas em virtude de diferenças no registro de duas imagens (Jensen, 1983). Porém, mesmo com um nível mínimo de erro de pontos de controle, deve-se ter muita atenção durante a avaliação dos resultados da etapa de detecção de mudanças. Sousa (2001) encontrou nos resultados de seu trabalho pequenas áreas de mudança, principalmente nas bordas de alvos como as estradas e o rio Paraíba do Sul. Ele mostrou que mesmo havendo boa precisão no registro é possível que os pixels não possuam a mesma localização geográfica e, devido a isto, uma determinada feição numa imagem não estaria inteiramente sobreposta à outra.

Para o registro das imagens TM-LANDSAT de 2004, utilizou-se como base um recorte do mosaico ortorretificado do satélite LANDSAT-5, elaborado pela NASA, que foi adquirido no site: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Anteriormente ao registro destas imagens, a resolução espacial deste recorte foi degradada para 30m. O registro das imagens MSS-LANDSAT foi feito com base nas imagens de 2004, já registradas, as quais tiveram sua resolução espacial degradada para 80m. Este procedimento foi executado a fim de tornar comparáveis estas imagens geradas por diferentes sensores, para a realização do estudo multitemporal sobre uma mesma área.

Após terem sido registradas, as imagens de 11/7/1973, 8/9/2004 e 31/7/2004 foram recortadas segundo os limites da área de estudo, estipulados anteriormente. Enquanto que a de 12/10/1976 foi recortada de modo que cobrisse a área coberta por nuvens existente na imagem de 1973.

### **3.3.2 Classificação**

Esta etapa envolveu a classificação das imagens das décadas de 1970 e de 2000, realizada através do algoritmo de classificação automática pixel a pixel MAXVER (método estatístico de Máxima Verossimilhança). Neste método, supervisionado, associa-se o pixel à classe a qual ele tem a maior probabilidade de pertencer, considerando-se suas características e atributos, tendendo a minimizar as chances dele ser associado a uma classe a qual ele não pertença (Costa, 1990).

Na classificação supervisionada, existe a necessidade de se definir amostras de treinamento que representem cada classe. Buscou-se fazer a sua escolha com todo cuidado possível, de modo que fossem evitados erros na classificação. Dessa forma, elas foram selecionadas através da interpretação visual da imagem a ser classificada e de sua comparação com as cartas topográficas, mapa de uso da terra e dados de mapeamento da cobertura vegetal, além de idas a campo – essenciais a uma melhor identificação dos alvos e, em especial, daquelas áreas que apresentaram maiores dificuldades de interpretação por meio apenas das imagens.

A interpretação visual das imagens orbitais, realizada para auxiliar na identificação dos diversos alvos e feições existentes na área de estudo, foi feita com base na observação dos elementos de interpretação: tonalidade/cor, textura, forma, tamanho, sombra, padrão, localização, associação e contexto. As bandas 4, 5 e 7 do sensor MSS e 3, 4 e 5 do TM foram interpretadas individualmente, bem como nas seguintes composições coloridas, obtidas a partir da sua associação com as cores primárias vermelho, verde e azul, respectivamente: 754 e 574 (bandas do MSS) e 543 e 453 (do TM).

O canal 3 do sensor TM e o 5 do MSS foram usados, em especial, para a observação do uso urbano e do solo exposto. Para melhor diferenciar a vegetação dos demais alvos,

utilizaram-se os canais 5 e 7 do MSS e 4 e 5 do TM. Enquanto que os corpos d'água e as áreas com solo úmido foram mais bem visualizados nas bandas 7 do MSS e 4 do TM. Esta última também foi usada para a identificação das áreas com marcas de queimadas nas imagens de 2004, pois a faixa espectral do infravermelho próximo (de 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) é a mais indicada para a identificação e mapeamento de cicatrizes feitas pelas queimadas. Neste intervalo, a vegetação possui alta reflectância, em virtude da predominância do espalhamento interno da radiação na folha, a qual é reduzida pela ocorrência de incêndios, havendo elevado contraste entre a vegetação queimada e a não queimada (França e Ferreira, 2005). Devido à possibilidade de se confundir as marcas deixadas pelas queimadas com alvos como corpos d'água e determinados tipos de solo, foi feita a comparação desta banda com imagens TM-LANDSAT da mesma faixa espectral, obtidas no período mais chuvoso.

A princípio, geraram-se quatro imagens classificadas (duas da década de 1970 e duas pertencentes ao ano de 2004), as quais foram mosaicadas, em seguida. A decisão de efetuar os mosaicos após classificar cada uma das imagens foi tomada a fim de reduzir a confusão de alvos durante a etapa de classificação, diante da possibilidade de os mesmos elementos na superfície virem a ter diferentes respostas espectrais em imagens obtidas em épocas distintas.

Dois tipos de mosaico foram realizados. O primeiro diz respeito às cenas geradas pelo sensor MSS na década de setenta, para a qual não foi encontrada uma única imagem da área de interesse sem a presença de nuvens, que impedem que a superfície terrestre seja observada por este tipo de sensor. Fez-se, então, um mosaico com as imagens de 11/7/1973 e 12/10/1976, a fim de minimizar as áreas com cobertura de nuvens na imagem representativa deste período. A imagem de outubro de 1976 foi utilizada devido à inexistência de imagem livre de nuvens desta área, que tivesse sido obtida em um período mais próximo ao da anterior. Enquanto que o segundo compreendeu as imagens mais recentes (de 8/9/2004 e 31/7/2004). Nas imagens TM do satélite LANDSAT-5, partes diferentes da área de estudo encontram-se em cenas vizinhas (no sentido leste-oeste), o que tornou necessário uní-las. Sendo assim, ao final obtiveram-se duas imagens classificadas: uma representativa da década de 1970 e outra para 2004.

Inicialmente, foram adotadas as seguintes classes temáticas: corpos d'água, uso urbano, reflorestamento, cultura/pastagem, mata, cerrado/outros, áreas úmidas, solo exposto e nuvem, na imagem mais antiga, e as mesmas (exceto nuvem), com acréscimo de capoeira e queimada, para a data mais recente. Para a implantação destas imagens no modelo BRAMS, eliminaram-se as classes nuvem, da imagem classificada da década de 1970, e queimada, da mais atual, devido à inexistência de classes correspondentes a estas no modelo. Finalmente, as classes temáticas adotadas para a etapa de detecção de mudanças, em ambas as imagens, foram: corpos d'água, uso urbano, reflorestamento, cultura/pastagem, mata, cerrado/outros, áreas úmidas e solo exposto.

A classificação das imagens mais antigas foi feita com base nas cartas topográficas do IBGE e do IGGSP, consideradas como verdade terrestre para aquele período. Como estas fontes de informação não foram atualizadas, optou-se pela consulta de dados mais recentes da cobertura da superfície para a classificação das imagens orbitais de 2004. Dentre eles, estão aqueles disponibilizados pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo sobre a cobertura vegetal, os de uso urbano do trabalho realizado por Pereira et al. (2005) e o mapa de uso da terra do município de São José dos Campos. Houve, também, a necessidade de comparação visual com imagens de alta resolução espacial do satélite Quickbird e idas a campo. Deste modo, utilizaram-se diferentes fontes de informação para a classificação das imagens representativas das décadas de 1970 e 2000. No entanto, é importante ressaltar que as mesmas correspondem a fontes confiáveis, na medida em que foram produzidas por instituições capacitadas para este fim.

Após a classificação automática, realizou-se a edição das imagens classificadas, a fim de corrigir os erros resultantes de confusões ocorridas durante as classificações, devido às semelhanças quanto às respostas espectrais de determinados elementos nas imagens e à existência de uma topografia acidentada na área estudada – uma vez que áreas sombreadas e iluminadas causam efeitos distintos com relação à energia radiante que é refletida ou emitida pela superfície. Este procedimento também foi empregado para eliminar os pixels isolados (comumente deixados pelo método pixel a pixel), tornando as classes mais homogêneas e reduzindo, assim, a aparência de ruído nestas imagens.

As imagens classificadas foram usadas, posteriormente, na etapa de detecção de mudanças e para definir as condições do uso e cobertura da terra da área de estudo no modelo de simulação climática. Como os dados originais de cobertura da superfície do modelo BRAMS foram gerados numa outra época, com resolução espacial de 1km, optou-se pelo emprego destas imagens nesta etapa do trabalho a fim de tornar a cobertura da terra mais próxima da realidade, pois seus dados correspondem aos períodos de interesse e possuem uma melhor resolução espacial.

Visando tornar possível a comparação das duas imagens multitemporais, na etapa de detecção de mudanças, foi feita a degradação da imagem TM quanto a sua resolução espacial, passando esta a obter uma resolução de 80m, como a MSS. Ela havia sido classificada com a sua resolução original de 30m, devido à possibilidade de se alcançar um maior detalhamento e, assim, um resultado mais próximo da realidade. Do mesmo modo, as imagens classificadas de ambos os períodos tiveram suas resoluções espaciais degradadas para 1000m, para que fossem utilizadas no modelo BRAMS.

Por fim, as imagens classificadas dos dois períodos foram convertidas em arquivos no formato ASCII, para a sua inserção no modelo numérico. Estes arquivos continham informações a respeito das imagens, como número de linhas e de colunas, tamanho do pixel em metros e em graus e coordenadas do pixel superior esquerdo, além da representação de cada classe pelo seu valor, o qual foi substituído pelo correspondente no modelo.

### **3.3.3 Detecção de Mudanças**

A detecção de mudanças existentes entre as imagens multitemporais foi feita através da técnica de comparação pós-classificação, na qual as duas imagens classificadas foram comparadas, visando diagnosticar possíveis mudanças na configuração da paisagem da área em estudo. Esta etapa foi realizada por meio da estatística de detecção de mudanças e da elaboração de mapas de diferenças, a fim de possibilitar uma melhor identificação, descrição e quantificação das variações observadas entre as imagens dos dois períodos enfocados neste trabalho.

### **3.3.3.1 Estatística de Detecção de Mudanças**

Este procedimento foi executado com o uso da imagem classificada que representa o estado inicial da área em estudo e da imagem classificada que representa o estado final, combinando-se as classes pertencentes a cada uma delas, para gerar relatórios estatísticos que descrevessem as diferenças encontradas entre as duas imagens. Estes relatórios apresentam os valores dos estados inicial e final classe por classe, podendo as mudanças detectadas serem visualizadas através de porcentagem, áreas e contagem de pixels.

Adicionalmente, foram construídas máscaras referentes a estes relatórios, que fornecem um contexto espacial das informações contidas neles. Por terem sido elaboradas a partir da combinação das classes das imagens classificadas da década de 1970 e de 2004, utilizando suas cores, permitem a identificação da localização das mudanças e das classes dentro das quais os pixels mudaram.

Embora as imagens de 1970 e 2004 tenham apresentado uma diferença mínima quanto a sua área de abrangência (da ordem de segundos), foi necessário deixar a imagem de 1970 com as mesmas dimensões (número de linhas e de colunas) da imagem de 2004, a fim de possibilitar a combinação das imagens dos dois períodos para a obtenção destes relatórios e máscaras de detecção de mudanças.

### **3.3.3.2 Elaboração de Mapas de Diferenças**

Por fim, na detecção de mudanças, também foram produzidos mapas de diferenças para cada uma das classes definidas na etapa de classificação, que representassem as transformações sofridas por estas entre as duas épocas. Optou-se por gerar um mapa de diferenças para cada classe, separadamente, ao invés de um único mapa de alterações ocorridas, a fim de obter um produto visualmente mais claro, em virtude do elevado número de classes existentes nas imagens classificadas.

A confecção destes mapas foi feita a partir das máscaras binárias que foram construídas anteriormente para cada classe e período, com base nas imagens classificadas de 1970 e

2004. Neles, são apresentadas as mudanças positivas (caracterizadas por pixels de coloração mais brilhante) e as negativas (identificadas pelos de menor brilho), as quais foram obtidas através da subtração entre as imagens representativas dos estados final e inicial, de cada classe. As mudanças positivas se referem às áreas que passaram a pertencer à determinada classe. Por outro lado, as mudanças negativas correspondem àquelas áreas que deixaram de pertencer à mesma.

### 3.3.4 Simulação Atmosférica

A etapa que diz respeito à simulação climática foi realizada através da utilização do modelo BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*, [www.cptec.inpe.br/brams](http://www.cptec.inpe.br/brams)), versão 3.2, disponível no CPTEC, para desempenhar simulações em alta resolução sobre o vale do Paraíba e vizinhanças, a fim de analisar com maior detalhamento o impacto climático destas mudanças. Uma visão geral do uso deste modelo é apresentada a seguir, na FIGURA 3.8.

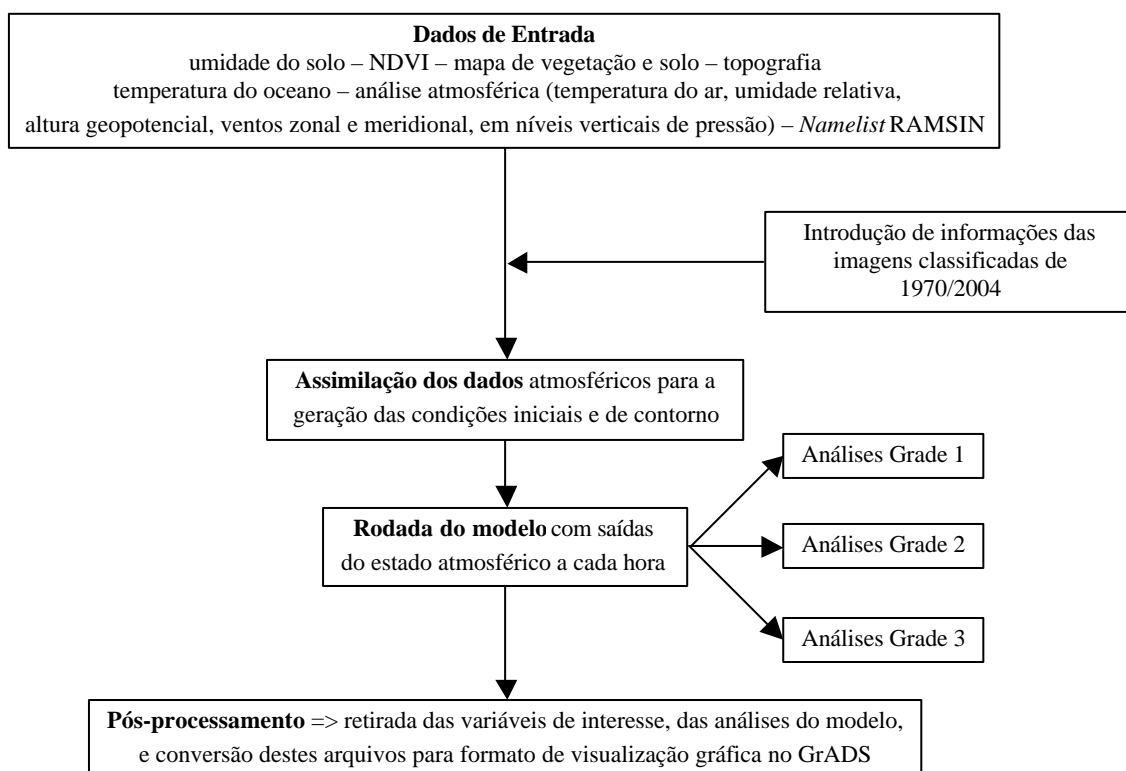


FIGURA 3.8 – Etapas do uso do modelo BRAMS.



Para a obtenção dos campos meteorológicos, este modelo foi configurado com três grades aninhadas. A grade maior, de 50 x 31 pontos em longitude e latitude, possui espaçamento horizontal de 20 km entre os pontos de grade nas duas direções, cobrindo a região situada entre as latitudes de 25,922°S a 20,522°S e longitudes de 52,297°W a 42,693°W. A intermediária, com 62 x 52 pontos, tem resolução de 4 km e compreende a região localizada entre as coordenadas 24,066°S a 22,23°S e 46,932°W a 44,553°W. Enquanto que a de maior resolução, de 126 x 98 pontos, que apresenta um espaçamento da ordem de 1 km entre os pontos de grade, possui dimensões semelhantes às da área de estudo, limitadas pelas coordenadas 23,658°S a 22,785°S e 46,33°W a 45,08°W, conforme ilustrado na FIGURA 3.9.

O uso de grades aninhadas pelo modelo corresponde a uma de suas maiores vantagens, pois este recurso permite a troca de informações sobre a atmosfera em diferentes escalas, entre as grades, e que os fenômenos atmosféricos sejam simulados numa melhor resolução. No presente trabalho, serão expostos os resultados gerados pela terceira grade, com maior resolução.

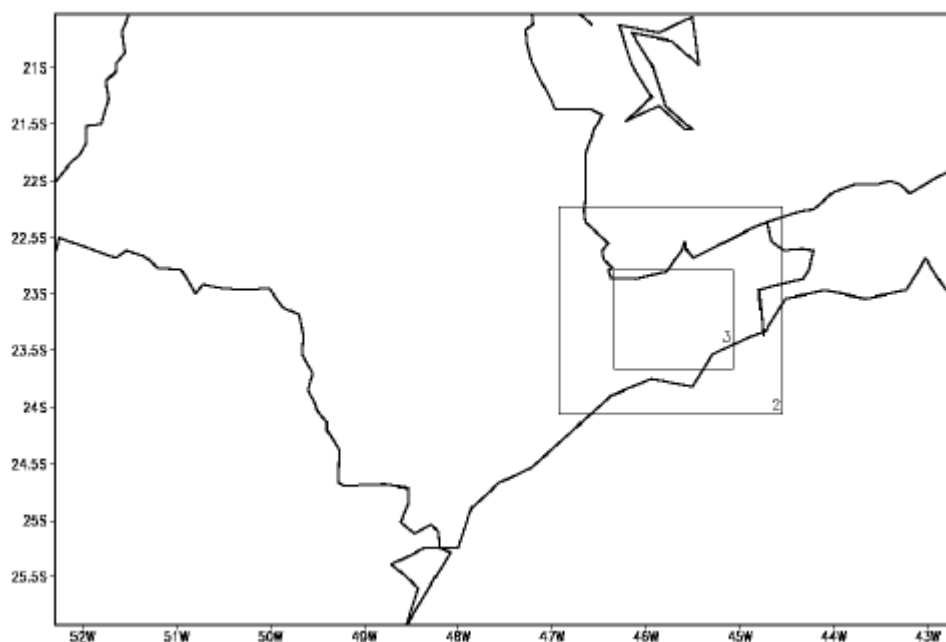


FIGURA 3.9 – Domínios das grades aninhadas do modelo: 1, 2 e 3, com resolução de 20km, 4km e 1km, respectivamente.

Como dados de entrada do modelo, utilizaram-se: as reanálises do modelo de previsão numérica de tempo do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), disponibilizadas pelo *Climate Diagnostics Center* (CDC), com resolução de 2,5° de latitude e longitude; *namelist* RAMSIN, com a configuração dos parâmetros do modelo (especificação das grades, do tempo de simulação, das parametrizações etc.); arquivos de topografia, uso e cobertura da terra e porcentagem de terra e água, fornecidos com o código fonte do modelo, cuja resolução é de aproximadamente 1 km; e as imagens classificadas da década de 1970 e de 2004, com a mesma resolução espacial.

As reanálises do NCEP empregadas no BRAMS possuem as seguintes variáveis: temperatura do ar (K), altura geopotencial (m), umidade relativa (%), vento zonal (m/s) e vento meridional (m/s), em 15 níveis de pressão (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50 e 30 hPa), com exceção da umidade relativa (cujo nível mais alto era equivalente a 300 hPa). Estas reanálises, provenientes de uma área situada entre as coordenadas 45S a 0 e 70W a 25W, correspondem a um período de duas semanas (de 1/8/2004 a 15/8/2004). Optou-se pelo uso de dados que foram analisados de 6 em 6 horas (00Z, 06Z, 12Z e 18Z), numa situação sinótica mais estável, conforme mostrado no APÊNDICE A, visando evitar o predomínio da forçante sinótica.

O modelo foi inicializado às 00:00 UTC do dia 1/8/2004, assimilando-se as reanálises do NCEP como condições iniciais e de contorno nas laterais e topo a cada 6 horas. As condições de contorno são fornecidas nos cinco primeiros pontos das fronteiras do domínio e a partir de 16.000m de altura. O centro do domínio recebeu a influência destas reanálises somente no tempo inicial. A partir de então, ele foi deixado livre para que as características regionais do modelo pudessem atuar.

Os arquivos de topografia, uso da terra, porcentagem de terra e água e as imagens classificadas foram utilizados como condições iniciais de superfície no modelo. As imagens classificadas da década de 1970 e de 2004, usadas em cada Experimento, respectivamente, foram aproveitadas no BRAMS a fim de implementar uma configuração própria a cada período do uso e cobertura da superfície, na área de estudo. Assim, foram determinadas condições de superfície particulares a cada um dos

Experimentos. Alguns dos parâmetros biofísicos das classes temáticas adotadas, descritos em função do tipo de vegetação, são apresentados na TABELA 3.5. Estas características do terreno, como a topografia (FIGURA 3.10), a porcentagem de terra e os tipos de uso e cobertura, por exemplo, mantiveram-se constantes durante todo o período de simulação.

TABELA 3.5 – Parâmetros biofísicos das classes de uso e cobertura da terra.

Classes temáticas	Albedo	Índice de área foliar (LAI) máximo	Fração de vegetação	Rugosidade da vegetação (m)
uso urbano	0,20	3,6	0,74	0,78
reflorestamento	0,14	8,0	0,80	2,6
cultura/pastagem	0,22	5,0	0,85	0,13
mata	0,17	7,0	0,90	4,16
cerrado/outros	0,16	7,0	0,80	2,86
áreas úmidas	0,18	5,0	0,80	0,143
solo exposto	0,24	0	0	0

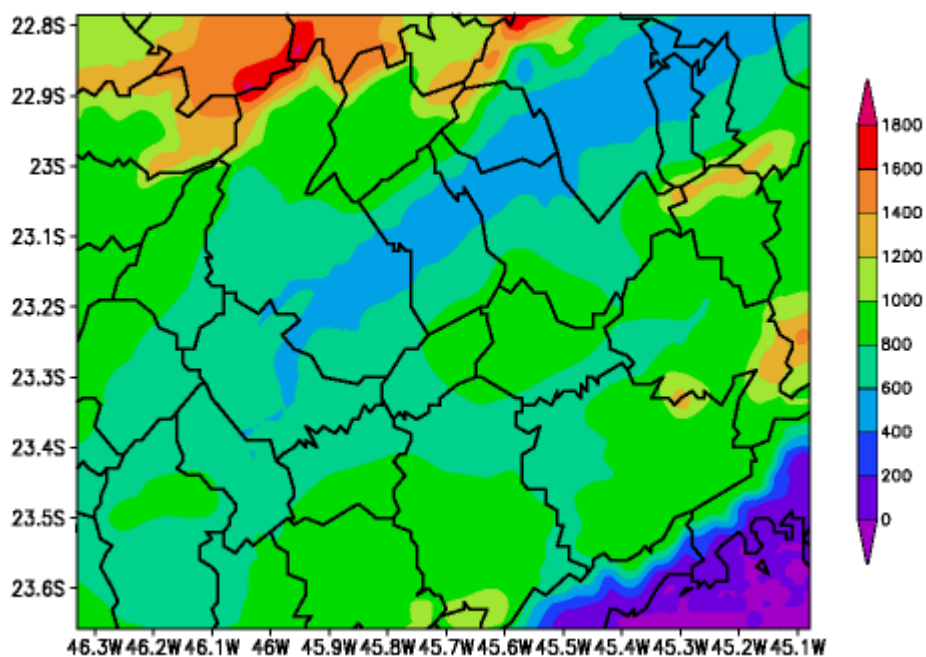


FIGURA 3.10 – Topografia (em metros) do domínio da grade 3, com resolução de 1km.

Após a definição dos dados de entrada do modelo (configuração da superfície e condições de contorno e inicial), foi dado início ao processo de modelagem. Foram

feitas duas simulações distintas, com a primeira rodada correspondendo à década de 1970, feita com os dados de superfície pertencentes a este período, e a segunda à década de 2000, visando verificar os efeitos locais e regionais de fatores como a presença das represas e a expansão da área urbana no clima. Ambos os Experimentos foram rodados com os dados do NCEP de 2004. O fato de terem sido realizados com as mesmas condições atmosféricas permitiu verificar como estaria o clima local, caso não tivessem ocorrido as mudanças de uso e cobertura da terra na área em estudo, avaliando a real influência da cobertura da superfície no clima.

Foram geradas análises por estas simulações a cada uma hora, das 00Z do dia 1/8/2004 até às 00Z de 16/8/2004. Entretanto, descartaram-se os sete primeiros dias (de 1/8/2004 a 7/8/2004) simulados pelo BRAMS, a fim de focar os resultados do período de maior estabilização do modelo. Visando verificar a qualidade destas análises, no início de cada Experimento, era realizada a comparação dos resultados do primeiro horário da grade 1 com as reanálises do NCEP. Foram gerados dados horários para 29 variáveis, em até 30 níveis verticais da atmosfera (de 48,8m a 13.479m). A visualização e análise destes dados foi feita por meio do *software* GrADS (*Grid Analysis and Display System*), versão 1.8SL11.

As variáveis enfocadas neste trabalho correspondem à temperatura do ar a 2 metros acima da superfície (*tempc2m*) e no primeiro nível atmosférico do modelo (*tempc*), umidade específica (*rv*), calor sensível (*h*), calor latente (*le*) e vento (*u;v*). Sua análise foi feita, principalmente, com base nas médias horárias, do período diurno, do período noturno e de todo o período dos resultados do Experimento com a cobertura de 2004 e do Experimento com a cobertura de 1970. Diferenças entre os resultados de ambos também foram realizadas, a fim de avaliar os impactos das transformações ocasionadas pelas atividades humanas sobre o clima de São José dos Campos e vizinhanças.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS**

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos nas etapas de classificação das imagens orbitais, detecção de mudanças e simulação climática.

#### **4.1 Classificação das Imagens**

Nesta etapa do trabalho, foram produzidas uma imagem classificada para a década de 1970 e outra para 2004. Inicialmente, a primeira obtinha as seguintes classes temáticas: corpos d'água, uso urbano, reflorestamento, cultura/pastagem, mata, cerrado/outros, áreas úmidas, solo exposto e nuvem. Enquanto que a mais atual possuía as classes: corpos d'água, uso urbano, reflorestamento, cultura/pastagem, mata, cerrado/outros, áreas úmidas, solo exposto, capoeira e queimada. A inclusão da classe capoeira na imagem do período mais recente foi possibilitada pelo fato desta ter sido apresentada separadamente da classe mata, na fonte de informação consultada para a classificação desta imagem. Ao contrário das cartas topográficas observadas durante a classificação da imagem mais antiga, que apresentavam estes dois tipos de vegetação numa única classe.

Em seguida, gerou-se uma imagem classificada da década de 1970 sem a classe nuvem e uma de 2004 sem a classe queimada, as quais foram substituídas pelo tipo de cobertura que originalmente estaria sobre a superfície, para a sua implantação no modelo BRAMS. Por outro lado, a classe capoeira foi mantida na imagem de 2004, a fim de que fosse obtido um resultado mais próximo da realidade na etapa de simulação climática, devido ao fato de haver diferenças, quanto à atuação climática, entre mata e capoeira.

Finalmente, foram elaboradas imagens classificadas para os dois períodos com as mesmas classes temáticas, para a sua utilização na etapa de detecção de mudanças. Para tal, combinou-se a vegetação do tipo capoeira com a mata, formando uma única classe,

denominada mata. Sendo assim, as imagens passaram a obter as classes: corpos d'água, uso urbano, reflorestamento, cultura/pastagem, mata, cerrado/outros, áreas úmidas e solo exposto, conforme observado nas FIGURAS 4.1 e 4.2.

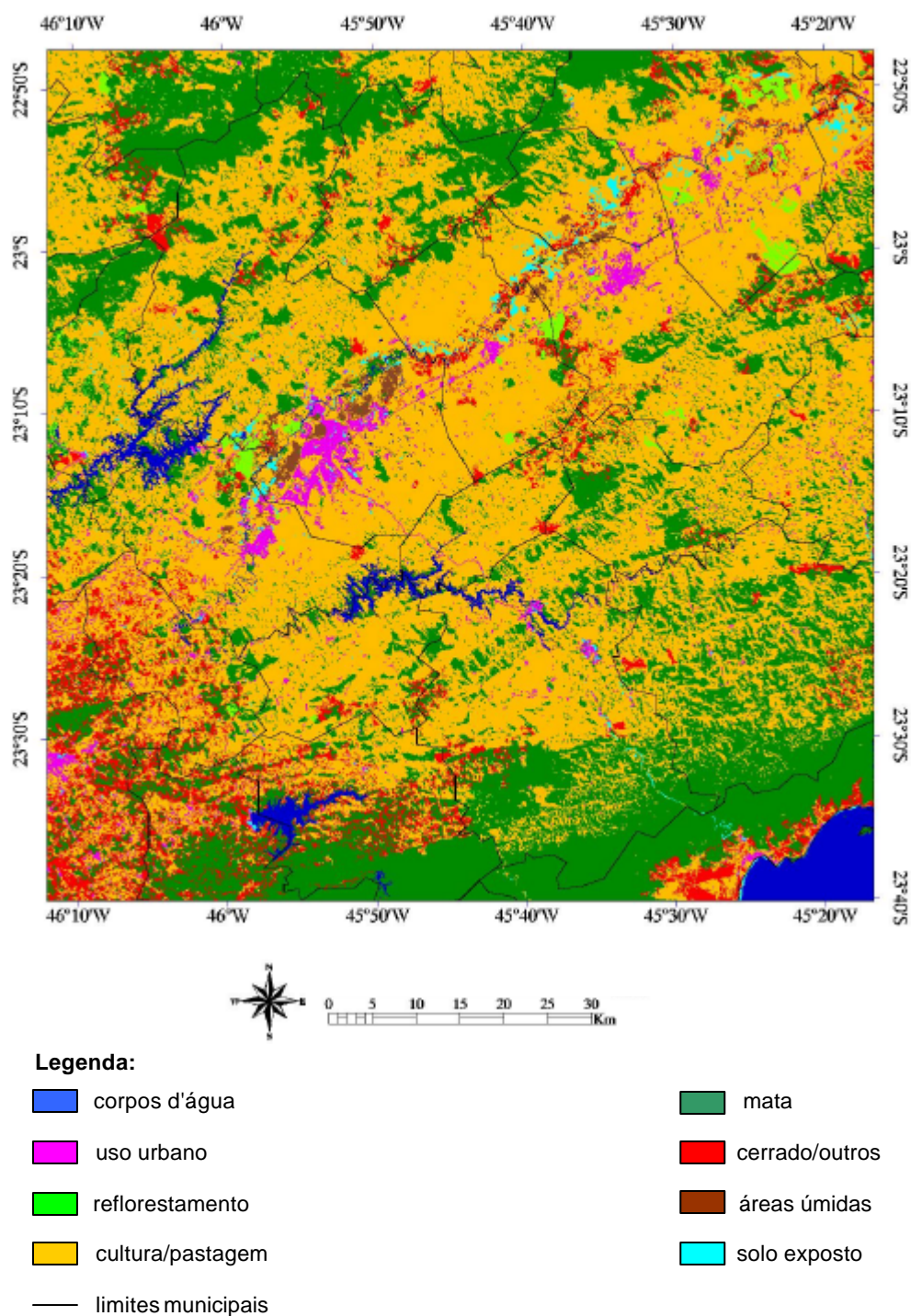
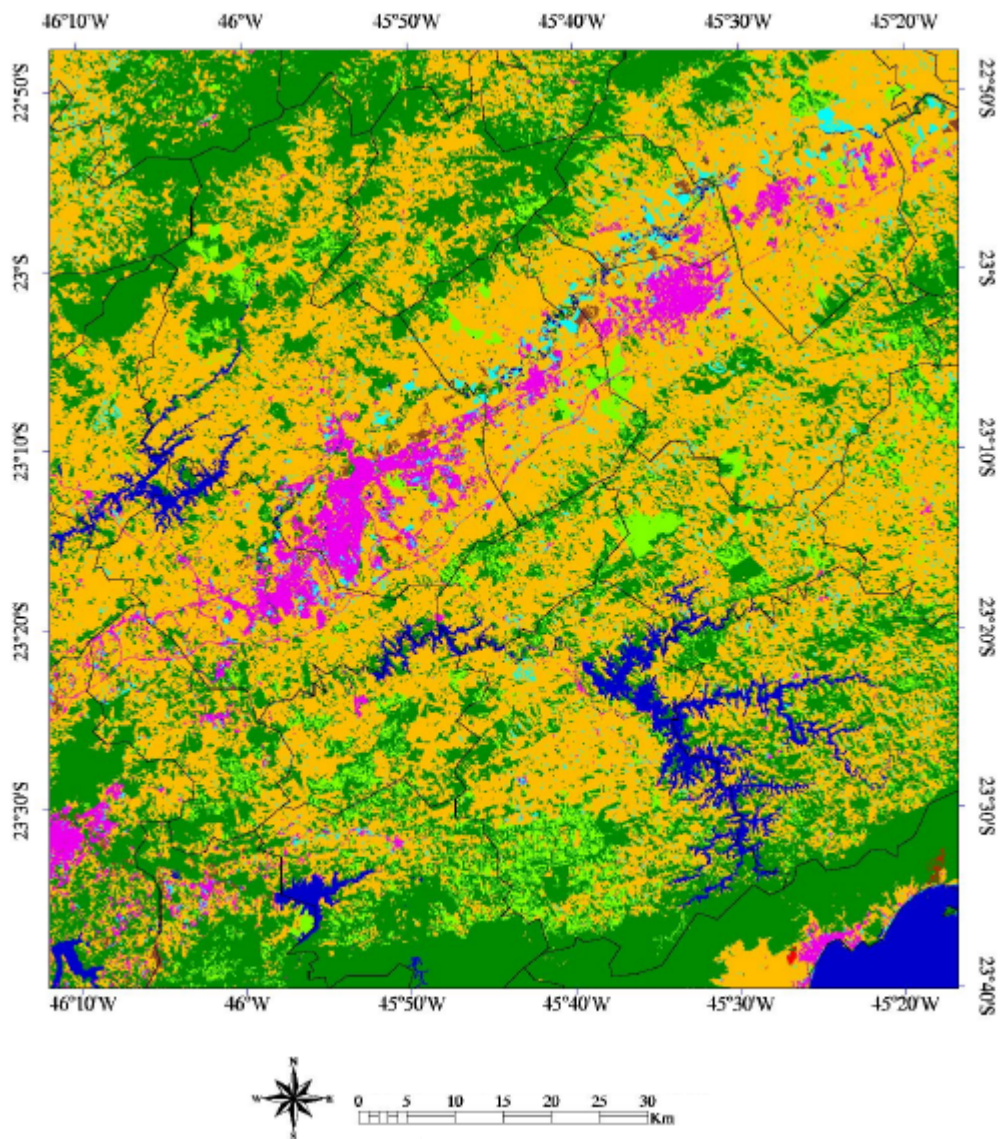


FIGURA 4.1 – Imagem classificada da década de 1970, da região de São José dos Campos, utilizada na etapa de detecção de mudanças.



**Legenda:**

- |                                                                                     |                    |                                                                                       |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|  | corpos d'água      |  | mata           |
|  | uso urbano         |  | cerrado/outros |
|  | reflorestamento    |  | áreas úmidas   |
|  | cultura/pastagem   |  | solo exposto   |
|  | limites municipais |                                                                                       |                |

FIGURA 4.2 – Imagem classificada de 2004, da região de São José dos Campos, utilizada na etapa de detecção de mudanças.

#### 4.1.1 Considerações sobre as Classes Adotadas

Na classe corpos d'água estão representados os rios, os reservatórios e o mar. Vale ressaltar o papel atrativo da hidrografia para o crescimento urbano – com exceção para as áreas de várzea que correspondam a áreas de proteção ambiental ou com grande potencial agrícola – conforme observado nas imagens classificadas da década de 1970 e 2004 (FIGURAS 4.1 e 4.2), que mostram a ocorrência da ocupação antrópica nas proximidades das represas e dos rios, destacada pela existência de núcleos urbanos nestas localidades.

A classe uso urbano corresponde às estradas e áreas de uso residencial, comercial, industrial e institucional. No entanto, também foram incluídas nesta classe aquelas áreas de uso rural, como fazendas, agroindústrias e clubes, cujas coberturas apresentaram resposta espectral semelhante a das urbanas. Observa-se, nas FIGURAS 4.1 e 4.2, o predomínio do uso urbano nas áreas de relevo mais plano, propício para assentamentos, como no caso das cidades localizadas na Bacia de Taubaté – com destaque para o município de São José dos Campos, que possui a maior área urbanizada. A sua concentração ocorre ao longo da rodovia Presidente Dutra, importante via de ligação entre os municípios de Rio de Janeiro e São Paulo, correspondendo a um grande eixo de urbanização na região e atestando o papel das rodovias como eixos polarizadores de núcleos urbanos.

A classe denominada reflorestamento compreende as áreas ocupadas pelas espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Foram colocadas na mesma classe em virtude das dificuldades de se identificar qual a espécie utilizada no reflorestamento, nesta escala de análise.

Na classe cultura/pastagem estão incluídas as áreas de culturas agrícolas (cíclicas e permanentes), pastos (naturais e plantados), campos (antrópicos e naturais) e Campo Cerrado. O pasto natural e o campo antrópico – que sucede uma área desmatada ou um pasto abandonado, por exemplo – podem estar relacionados ou não à atividade da pecuária e são ocupados predominantemente por gramíneas, contendo indivíduos de porte herbáceo, arbustivo e até mesmo arbóreo esparso. Enquanto que os campos



naturais encontram-se em altitudes mais elevadas e caracterizam-se por possuir uma vegetação graminóide e herbácea (Kurkdjian, 1992; Kronka et al., 2005). As áreas de Campo Cerrado foram inseridas nesta classe, conforme metodologia adotada pelo IBGE, que o denominou como campo nas cartas topográficas utilizadas como referência para a classificação da imagem da década de 1970. Permanecendo assim na imagem de 2004, para a comparação. De origem natural ou antrópica, apresentam fisionomia herbácea e graminóide contínua, sujeita ao fogo anual, com plantas de pequeno porte, raquíticas e esparsas (IBGE, 1992).

Algumas áreas com cultura permanente de médio porte, mais desenvolvidas, foram incluídas em outras classes, como capoeira ou reflorestamento, devido às dificuldades em separá-las deste tipo de vegetação nas imagens orbitais, sendo necessária a verificação terrestre para diferenciá-los com maior garantia (IBGE, 1992), além de ter-se buscado incluir nesta classe as áreas com predomínio de vegetação de pequeno porte.

A área agrícola, incorporada a esta classe, encontra-se localizada principalmente na várzea do rio Paraíba do Sul, que possui características favoráveis ao desenvolvimento da agricultura (Kurkdjian, 1992). Foram verificadas respostas espectrais bem distintas nesta área, devido à existência de culturas diversificadas e em diferentes estágios fenológicos localizadas próximas umas às outras (FIGURA 4.3). Nos terrenos com culturas na fase inicial de desenvolvimento, por exemplo, a resposta espectral foi resultante da contribuição conjunta do solo e da vegetação, contrastando com as áreas de cultura em estágio fenológico mais desenvolvido. Do mesmo modo, foram observadas respostas espectrais bem diversificadas nas áreas de pastagem, também em virtude dos tipos variados de cobertura.

Por outro lado, a classe mata corresponde às áreas com predominância de vegetação primária de porte arbóreo, que apresentam estrutura complexa e grande riqueza de espécies, em três estratos distintos – superior (menos denso, com indivíduos de 15 a 20m de altura), intermediário (mais denso, com indivíduos de 10 a 15m) e inferior (constituído por vegetação herbácea e arbustiva), conforme Kronka et al. (2005).



FIGURA 4.3 – Culturas diversificadas e em diferentes estágios fenológicos localizadas uma ao lado da outra. Fotos de campo, obtidas em 5/10/2005.

Já a classe cerrado/outros compreende as áreas com a presença de Cerrado e outros tipos de vegetação de baixo porte. A inclusão desta classe foi feita a fim de separar a vegetação de menor porte, menos densa, da vegetação arbórea densa.

Visando torná-la compatível com a legenda adotada nas cartas topográficas do IBGE e IGG, na imagem classificada da década de 1970 esta classe incorporou as áreas com vegetação intermediária/ arbustiva, como aquelas de Cerrado, Restinga e outras formações vegetais com porte e arranjo espacial semelhantes aos destes, na medida em que as mesmas não se encontravam discriminadas (pois havia uma única legenda para representá-las) nestas cartas usadas como referência para a classificação das imagens deste período. Por outro lado, na imagem classificada de 2004, foram incluídas nesta classe apenas as vegetações de Cerrado e de Restinga, em virtude de não terem sido encontradas informações a respeito daqueles tipos de formações vegetais incluídos nesta categoria, na imagem do período mais antigo.

O Cerrado, comum nas regiões com solos pobres em nutrientes, corresponde ao tipo de vegetação no qual predominam arbustos e árvores que atingem no máximo 6m de altura, com caules tortuosos recobertos por uma casca grossa e folhas espessas. A Restinga, encontrada nas áreas costeiras, se refere a uma vegetação de primeira ocupação, pois

habita locais onde ocorre a renovação da cobertura de areia (Kronka et al., 2005). Apesar de ocupar solos arenosos, pobres em matéria orgânica, possui uma flora diversificada, abrangendo tanto espécies rasteiras quanto de porte arbustivo e arbóreo. Devido à proximidade com a Mata Atlântica, apresenta flora similar à da mesma – porém, menos exuberante – além de alguns elementos característicos do Cerrado (Montandon, 2006).

Devido à pequena abrangência em termos de área, alguns dos remanescentes de Cerrado não foram apresentados nas imagens de ambos os períodos, devido as suas escalas. Enquanto outros puderam ser mapeados na imagem classificada do período mais recente, por terem sido identificados nas idas a campo – principalmente, ao sul de São José dos Campos e nas proximidades de Taubaté, ao lado da rodovia Presidente Dutra.

A classe áreas úmidas corresponde àquelas áreas com maior quantidade de água no solo, como as lavouras irrigadas, as áreas inundáveis, os solos hidromórficos e a turfa, encontrados, predominantemente, em áreas como o Banhado e ao longo da planície aluvial do rio Paraíba do Sul. O maior teor de umidade no solo possibilitou a identificação destas áreas devido ao seu contraste com as áreas vizinhas ocupadas por culturas ou pastagem, por exemplo, conforme pode ser observado na FIGURA 4.4.

O tom mais escuro observado em algumas áreas irrigadas pode ser explicado pela maior atuação do solo, quanto à resposta espectral, nas áreas com cultura em estágio de desenvolvimento, em virtude do pequeno vigor da sua biomassa verde (Valério Filho et al., 1986), que resulta na baixa reflectância da vegetação (FIGURA 4.4). Deste modo, observou-se também nas áreas irrigadas sem cultura, a presença de padrões diversificados de tonalidade, os quais, segundo Pinto et al. (1985), podem estar associados às condições locais de solo. Do mesmo modo, os solos hidromórficos, mal drenados e com o nível do lençol freático elevado, também se caracterizam pela aparência mais escura, em virtude da absorção da energia radiante pela hidroxila.

Assim como a turfa (FIGURA 4.4), cuja estrutura e coloração são variáveis, conforme o grau de deterioração biológica e presença de sedimentos: de pastosa e preta (com alto nível de decomposição), nas camadas mais profundas, a fibrosa e marrom clara (por

causa da presença de musgos), nos estratos superficiais. Ela corresponde a qualquer matéria vegetal em decomposição, acumulada em ambiente subaquático. Deste modo, pode ser encontrada em áreas alagadiças como várzeas de rios, planícies costeiras e regiões lacustres. Sendo assim, as planícies de inundação – como a do rio Paraíba do Sul, com dificuldades de rebaixamento natural do nível freático, além de 1m, devido à proximidade do rio – são um ambiente propício ao desenvolvimento de turfeiras. Desde há muito utilizada como fonte energética, tem sido amplamente empregada como insumo agrícola, nos últimos anos (Franchi, 2000; Oliveira, 2001).

De forma semelhante à turfa, as áreas inundáveis também se encontram localizadas, principalmente, junto a rios, ou seja, em áreas de planície aluvial ao longo de canais fluviais.



FIGURA 4.4 – 1- Contraste entre o talhão irrigado (mais escuro) e as demais culturas, devido à maior atuação do solo. Fonte: Morelli (2002). 2- Área de extração de turfa. 3- Contraste entre a turfa, mais escura, e a pastagem (em primeiro plano). Fotos 2 e 3 obtidas em 5/10/2005.

A classe solo exposto, em ambas as datas analisadas, foi encontrada em áreas agrícolas (sem cultura, possivelmente pós-colheita ou com o solo preparado para o plantio) e de pastagem, nas praias e em áreas de uso urbano, com resposta espectral muito semelhante à de solo exposto, ou naquelas com a presença de loteamentos. Também nesta classe foram observadas diferentes respostas espectrais, em virtude da existência de tipos variados de solos expostos, com tonalidades distintas.

A ocorrência de um elevado número de solos expostos nas áreas de pastagem, especialmente em 2004, pode ser explicada pelo fato das imagens pertencerem ao período de inverno que, por ser mais seco, faz com que a cobertura vegetal destas áreas

– com sistema radicular pouco profundo – apresente uma redução da biomassa verde, devido ao efeito da deficiência hídrica (Pinto et al., 1985), havendo assim maior influência do solo seco. Além disso, as áreas com cultura semeada podem ter sido classificadas como solo exposto, pois conforme afirmaram Epiphanyo e Vitorello (1983), elas têm comportamento espectral idêntico ao deste tipo de solo.

É possível que algumas áreas de cultura/pastagem tenham sido classificadas como uso urbano ou solo exposto, devido ao fato destes terrenos terem uma resposta espectral semelhante a das áreas urbanas ou dos solos puros, após a colheita. Foi observado também o aparecimento de alguns pixels das classes uso urbano e solo exposto nas margens de rios, represas ou mar. No caso dos rios e das represas, este fato pode ser explicado, principalmente, em função de o seu nível ter estado mais baixo no período mais seco, o que acarretou no aparecimento de solo exposto em suas margens. Enquanto que no mar, isto pode ter ocorrido devido à existência de alto conteúdo de material em suspensão, próximo à faixa de areia, que fornece uma informação espectral semelhante a destas classes.

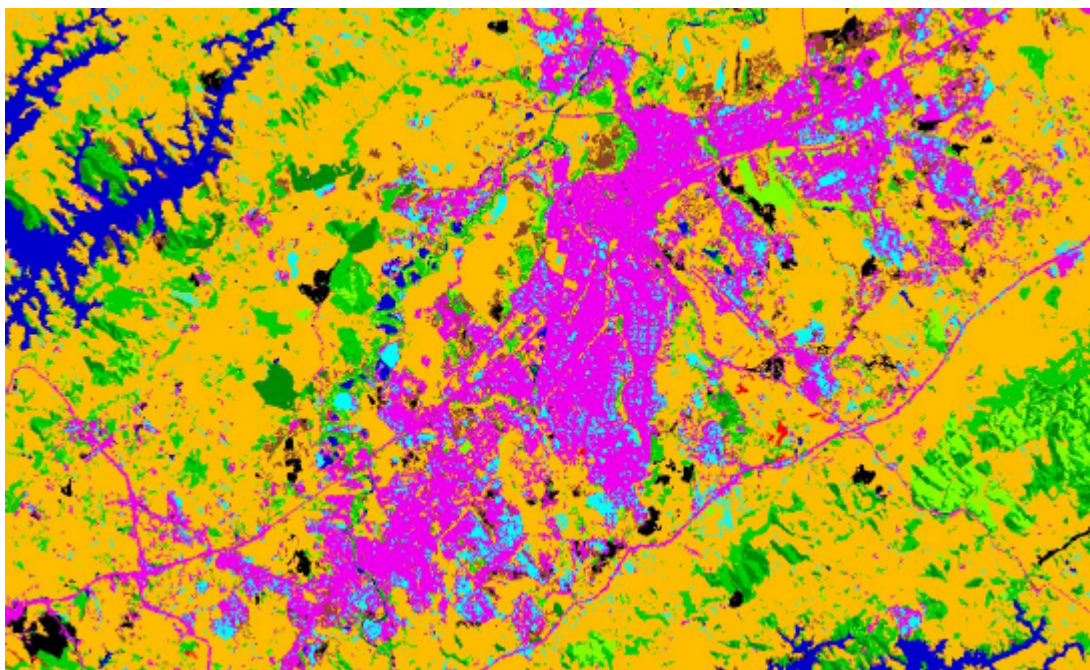
Observou-se na imagem de 2004, um número expressivo de portos de areia – localizados nas margens do rio Paraíba do Sul – que foram classificados ora como solo exposto, ora como corpos d’água, conforme a presença predominante de areia ou de água dentro dos seus limites.

A classe capoeira refere-se às áreas de vegetação secundária, que sobrevivem à derrubada das florestas primárias. Possui indivíduos da floresta original e espécies pertencentes a um estágio sucessional mais desenvolvido, com porte desde arbustivo até arbóreo. No entanto, apresenta menor porte e menos diversidade em relação à floresta original (IBGE, 1992; Kronka et al., 2005).

As áreas de mata ciliar, encontradas ao longo de cursos d’água, foram incluídas tanto na classe mata (vegetação primária, mais densa) como na capoeira (vegetação secundária, menos densa e diversificada).

A melhor resolução espacial das imagens TM-LANDSAT possibilitou a observação de várias marcas de queimadas nas imagens obtidas no inverno de 2004, evidenciando a sua ocorrência neste período, que possui o menor índice de chuvas. Pois, conforme Justice et al. (1993), este fenômeno é controlado principalmente pelos seguintes fatores: clima, condições da vegetação e atividade humana, os quais estão intimamente ligados.

Verificou-se que as áreas atingidas pelas queimadas permaneceram com marcas escuras. Estas cicatrizes estavam localizadas, predominantemente, em áreas pertencentes à classe cultura/pastagem, sendo também identificada a sua ocorrência numa área de remanescentes de Cerrado, inserida na classe cerrado/outros, conforme mostra a FIGURA 4.5, ocupando uma área de aproximadamente 26km<sup>2</sup>.



**Legenda:**

■ marcas de queimadas

FIGURA 4.5 – Recorte da imagem classificada de 2004, que mostra um exemplo de área com ocorrência de queimadas, na altura de São José dos Campos.

Verifica-se, então, que a região escolhida para a realização do presente trabalho corresponde a uma área com aspectos complexos de relevo, ocupação humana e geologia. Possui características morfológicas bem diversificadas, pois apresenta áreas de relevo plano (com declives inferiores a 2,5%), suave ondulado (declives entre 2,5% e 12%), ondulado (com declividade entre 10-12% e 20-25%), forte ondulado

(declividades de 20-25% a 50%) e montanhoso (com declividade acima de 50%), conforme Valério Filho et al. (1979). Nas últimas, observou-se que as tonalidades dos padrões de uso e cobertura da terra foram muito influenciadas pela topografia acidentada, que ocasiona sombreamentos e, por outro lado, vertentes mais expostas à iluminação, fazendo com que os mesmos alvos apresentem respostas espectrais distintas em cada vertente. Ao contrário do que ocorre nas áreas de topografia plana e suavemente ondulada, que favorecem a iluminação homogênea da superfície, aumentando o contraste espectral entre alvos diferentes.

Como o relevo montanhoso interferiu na identificação dos diferentes alvos, através do sombreamento, classificaram-se as áreas sombreadas por este tipo de relevo segundo o contexto no qual estavam inseridas. Sendo assim, por exemplo, as áreas sombreadas na mata foram classificadas como tal, do mesmo modo em que se incluíram aquelas localizadas em áreas de pastagem na classe cultura/pastagem.

Deste modo, foi notável a atuação de diferentes fatores no comportamento espectral dos diferentes alvos encontrados na área de estudo. Entre eles, destacam-se o tipo de relevo, a quantidade de água no solo e o ângulo de elevação solar.

#### 4.1.2 Níveis de Ocorrência das Classes

A TABELA 4.1 mostra o percentual de área ocupada pelas classes apresentadas nestas imagens classificadas em relação ao total da área de estudo. Esta relação encontra-se ilustrada graficamente nas FIGURAS 4.6, 4.7 e 4.8.

TABELA 4.1 – Percentual de área ocupada pelas classes temáticas apresentadas nas imagens classificadas da década de 1970 e de 2004.

<b>Classes temáticas</b>	<b>Área em 1970</b>	<b>Área em 2004</b>
corpos d'água	2,76%	4,00%
uso urbano	2,25%	3,84%
reflorestamento	0,88%	5,34%
cultura/pastagem	55,77%	50,15%
mata	30,09%	34,14%
cerrado/outros	6,70%	0,05%
áreas úmidas	0,92%	0,49%
solo exposto	0,63%	1,99%

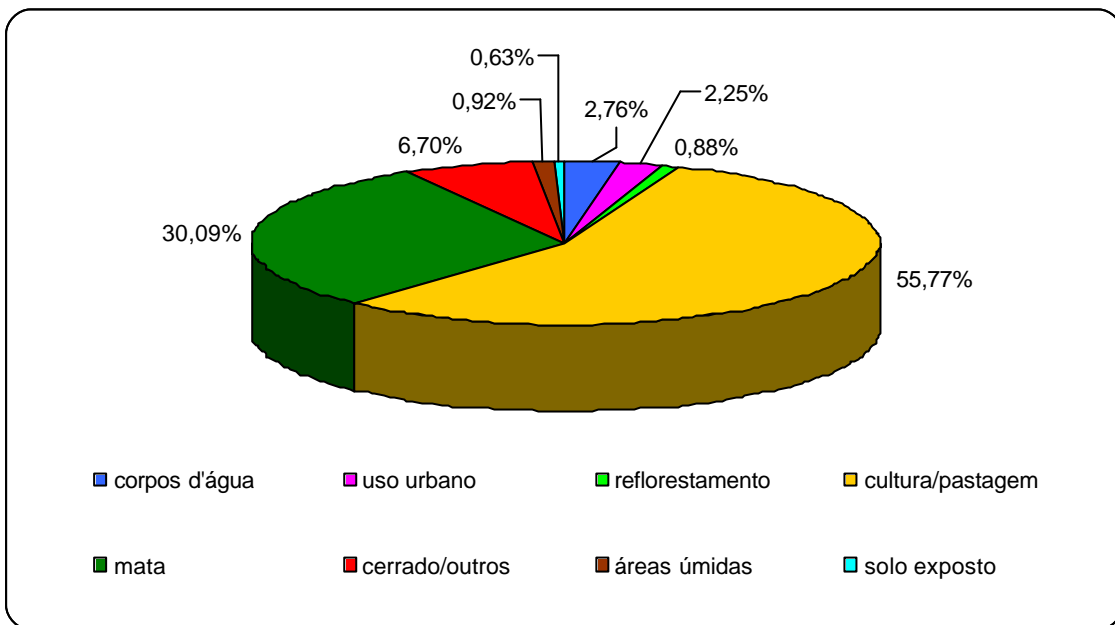


FIGURA 4.6 – Percentual de área ocupada pelas classes temáticas apresentadas na imagem classificada da década de 1970.

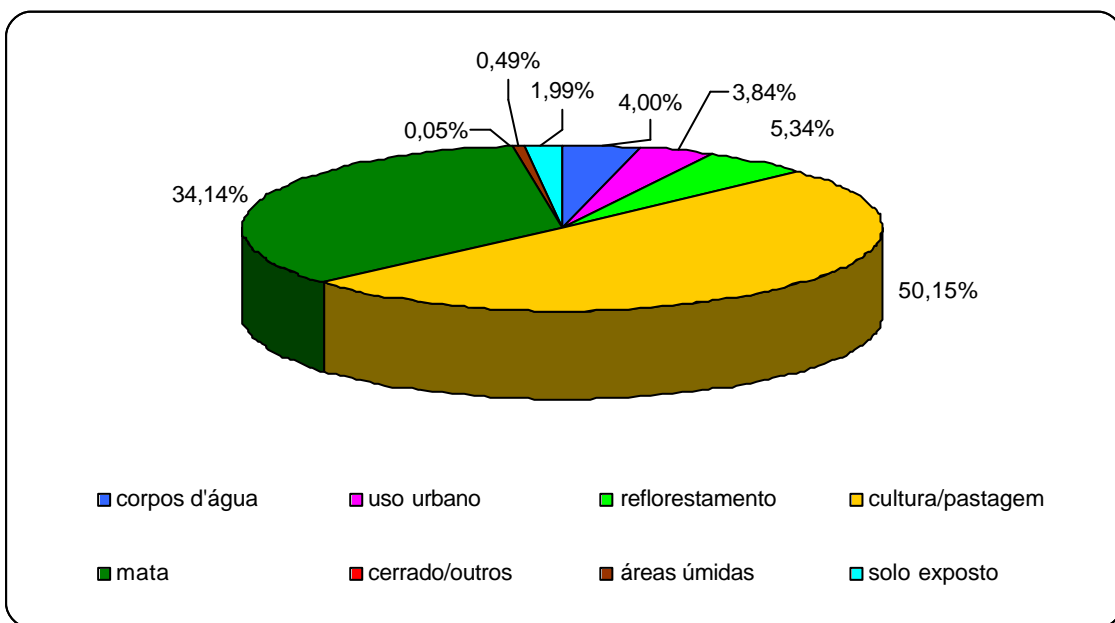


FIGURA 4.7 – Percentual de área ocupada pelas classes temáticas apresentadas na imagem classificada de 2004.



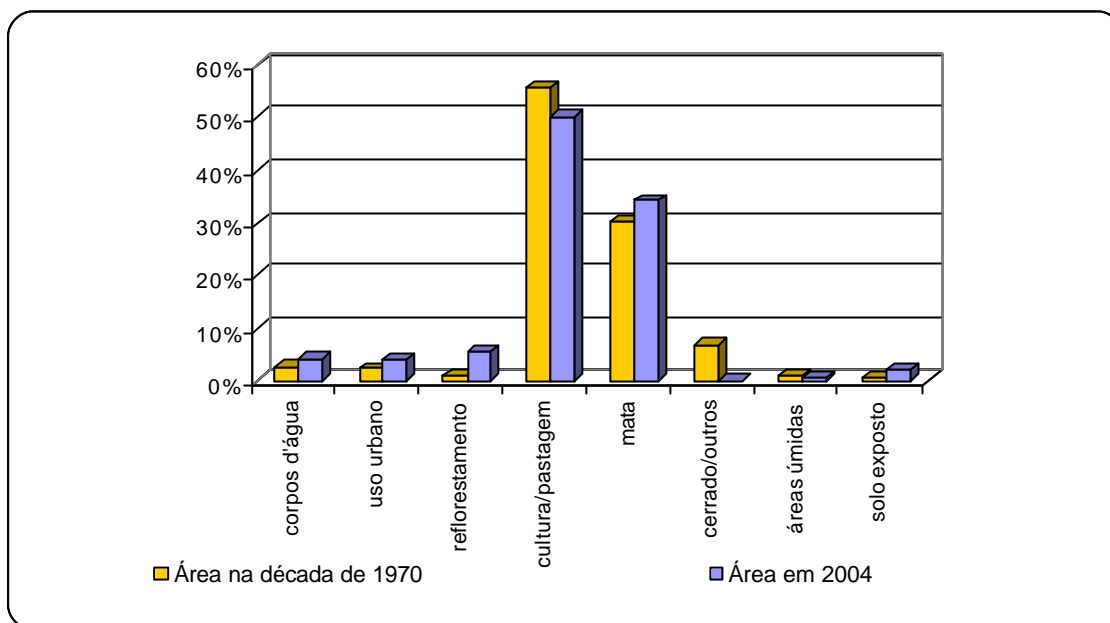


FIGURA 4.8 – Variação do percentual de área ocupada pelas classes, na década de 1970 e em 2004.

A TABELA 4.1 e as FIGURAS 4.6 a 4.8 mostram a predominância da classe cultura/pastagem nos dois períodos, a qual ocupava 55,77% da área de estudo na década de 1970 e 50,15% em 2004. Enquanto que a segunda classe mais abrangente correspondeu à mata, que ocupava 30,09% da região em 1970 e 34,14% na época mais recente. As principais áreas de ocorrência desta classe correspondem às Serras do Mar e da Mantiqueira.

Por outro lado, as menores porcentagens de ocorrência foram encontradas para as classes solo exposto e reflorestamento (com 0,63% e 0,88% da área total, respectivamente), na década de 1970, e cerrado/outros e áreas úmidas – que representavam 0,05% e 0,49% do total da região, respectivamente – no ano de 2004.

#### 4.2 Detecção de Mudanças

A análise multitemporal foi feita por meio da comparação das imagens classificadas da década de 1970 e de 2004, que possibilitou observar a transformação da paisagem ao longo destes trinta anos.

A fim de se alcançar uma análise mais completa, foram gerados relatórios de detecção de mudanças, representados por contagem de porcentagem, pixels e área (em km<sup>2</sup>) – este último mostrado na TABELA 4.2. Nestes relatórios, são apresentados os valores correspondentes a todas as classes presentes nas imagens classificadas de 1970 e de 2004, nas colunas e nas linhas, respectivamente. Também são apresentadas as mudanças de classe, que se referem àquelas áreas que pertenciam a uma determinada classe na imagem de 1970 e passaram a fazer parte de outras na imagem mais recente, e a imagem diferença (mostrada também na FIGURA 4.9), que corresponde à diferença entre o valor total de uma classe no estado final e o seu total no estado inicial, ou seja, o quanto uma classe aumentou ou diminuiu de uma data para a outra. Deste modo, através deles pode-se observar a dinâmica das mudanças que ocorreram durante o período analisado.

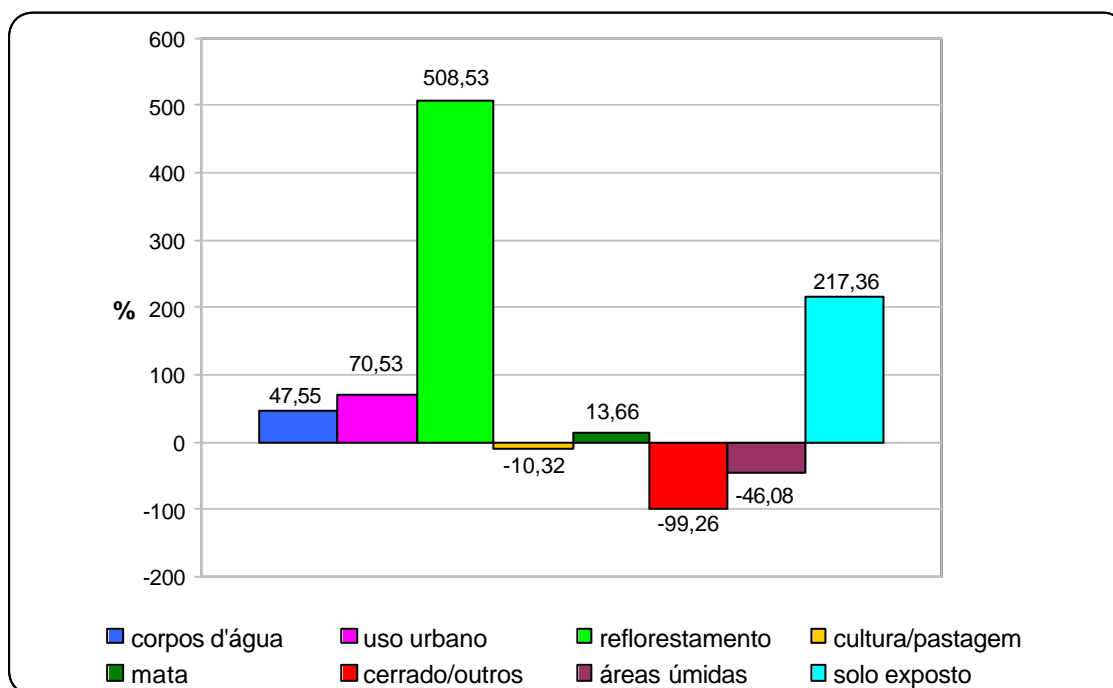


FIGURA 4.9 – Gráfico da Imagem Diferença em (%), mostrando as taxas de crescimento e redução das classes de um período para o outro.

TABELA 4.2 – Relatório da detecção de mudanças por área (em km<sup>2</sup>)

Estado Inicial (década de 1970)										
	Classes	corpos d'água	uso urbano	reflorestamento	cultura/pastagem	mata	cerrado/outros	áreas úmidas	solo exposto	Total da classe
Estado Final (2004)	corpos d'água	168,36	4,92	0,21	114,29	53,09	12,86	3,45	4,90	362,09
	uso urbano	3,18	86,82	3,26	209,17	11,38	21,39	6,50	5,75	347,46
	reflorestamento	1,48	3,39	8,51	260,40	164,39	42,05	1,95	1,60	483,76
	cultura/pastagem	50,27	87,44	42,34	3413,66	629,57	232,71	49,40	34,54	4539,94
	mata	18,39	12,07	22,62	909,88	1841,56	272,16	9,61	3,90	3090,20
	cerrado/outros	0,01	0,09	0,00	1,56	0,92	1,91	0,01	0,00	4,49
	áreas úmidas	1,78	2,48	0,26	19,81	3,92	8,31	7,33	0,83	44,72
	solo exposto	1,92	6,55	2,28	133,68	14,02	11,78	4,69	5,26	180,20
	Total da classe	245,41	203,76	79,50	5062,45	2718,85	603,17	82,95	56,78	0,00
	Mudanças de classe	77,05	116,94	70,99	1648,79	877,30	601,26	75,62	51,52	0,00
Imagem diferença	116,68	143,71	404,27	-522,51	371,35	-598,68	-38,23	123,42	0,00	

Concomitantemente, foram geradas máscaras referentes a estes relatórios de detecção de mudanças, nas quais são apresentadas as áreas onde houve mudança de classe, pois mostram as classes que atualmente ocupam espaços ocupados por outras na década de 1970, como exemplificado nas FIGURAS 4.10 a 4.14. Sendo assim, fornecem informações importantes sobre a natureza destas mudanças.

Visando possibilitar que as classes fossem comparadas e analisadas individualmente, foram produzidos mapas de diferenças para cada uma delas (alguns destes ilustrados nas FIGURAS 4.15 a 4.19), a partir das suas máscaras, os quais mostram as mudanças positivas e negativas que ocorreram durante o período analisado. Nas máscaras, as respectivas classes estão representadas na cor preta. Enquanto que nos mapas de diferenças, as alterações positivas são visualizadas em vermelho e as negativas na cor azul.

Assim sendo, as mudanças ocorridas na área de estudo foram verificadas com relação a cada classe e no que se refere a suas transformações em outros tipos de uso/cobertura da terra. Foram detectadas alterações significativas, por meio da comparação pós-classificação, as quais podem ser observadas no relatório e nas máscaras de detecção de mudanças, bem como nos mapas de diferenças.

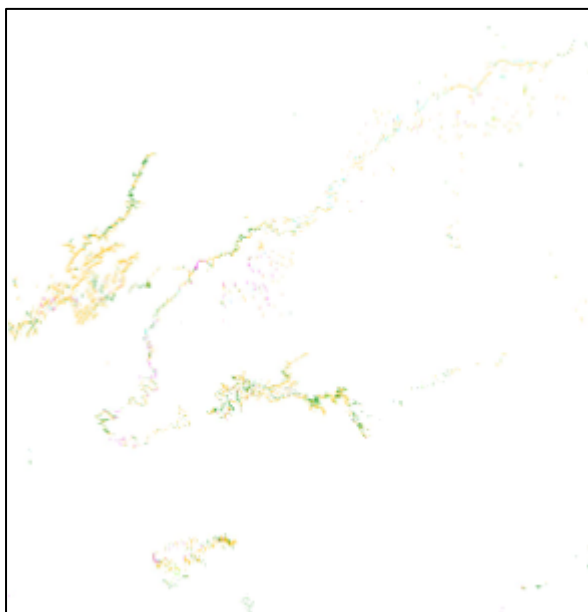


FIGURA 4.10 – Máscara de detecção de mudanças da classe corpos d'água.

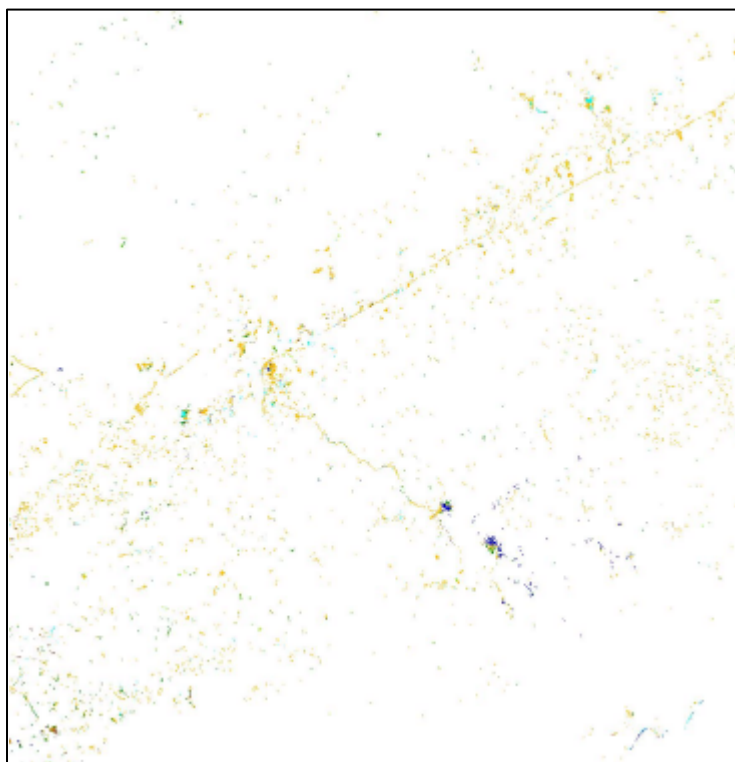


FIGURA 4.11 – Máscara de detecção de mudanças da classe uso urbano.

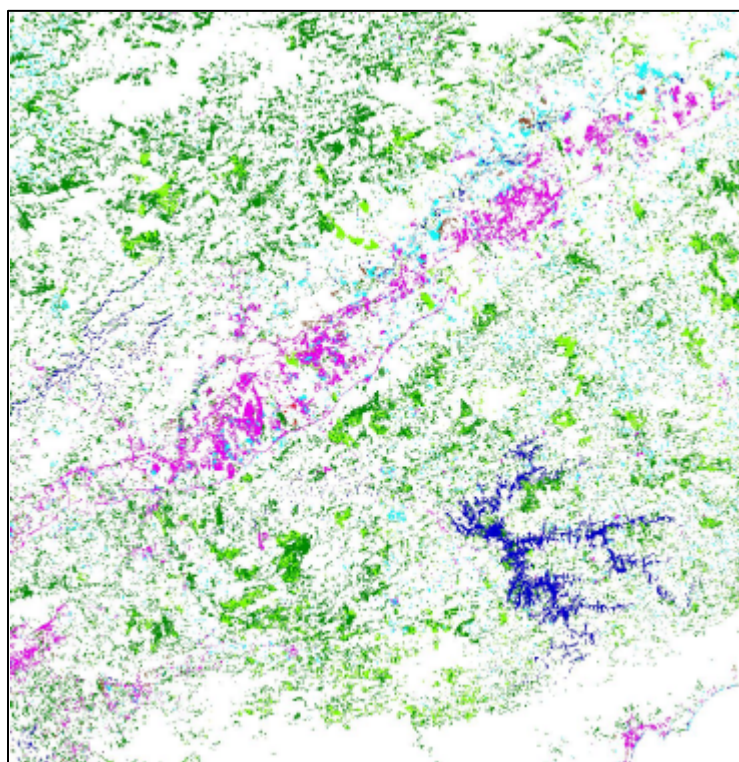


FIGURA 4.12 – Máscara de detecção de mudanças da classe cultura/pastagem.

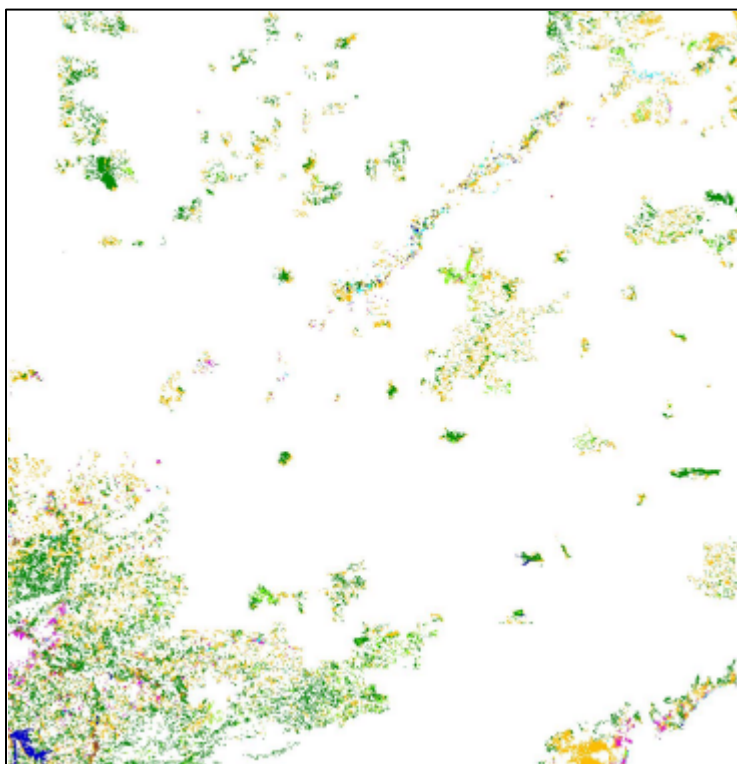


FIGURA 4.13 – Máscara de detecção de mudanças da classe cerrado/outros.

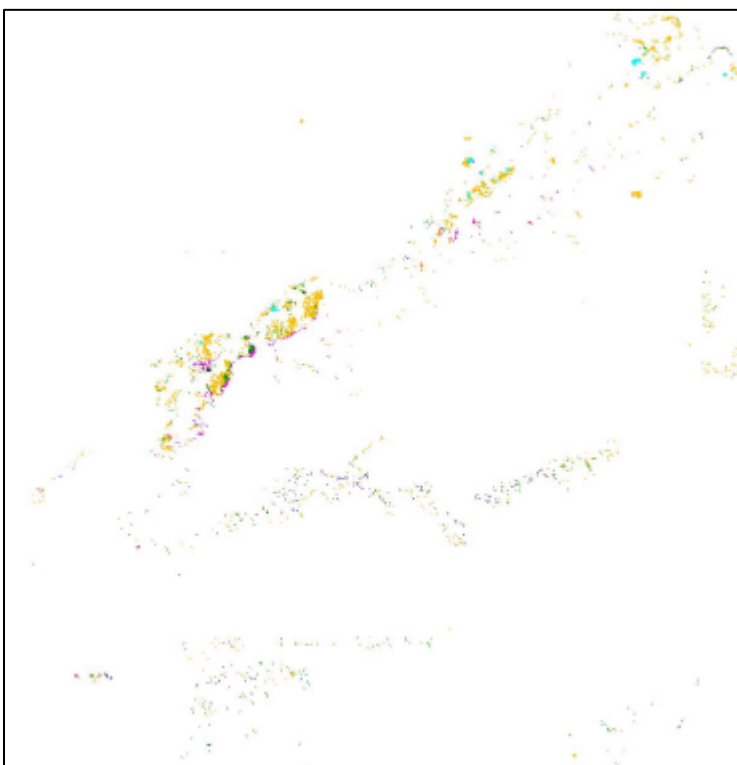
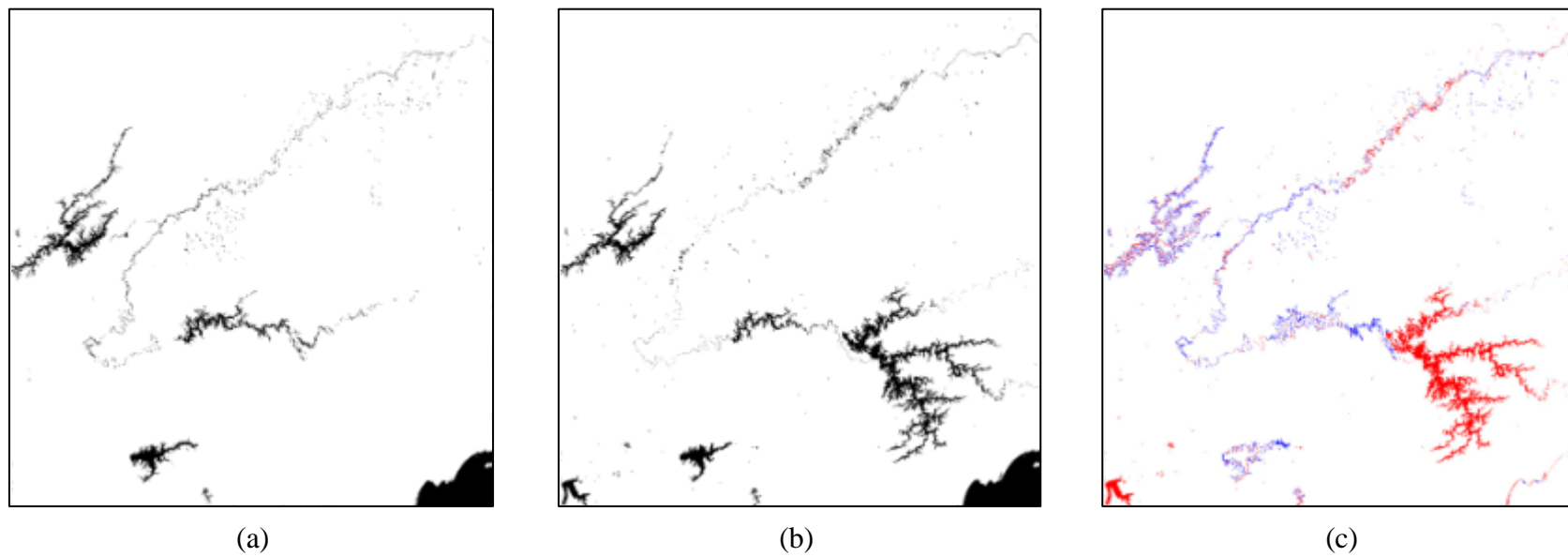


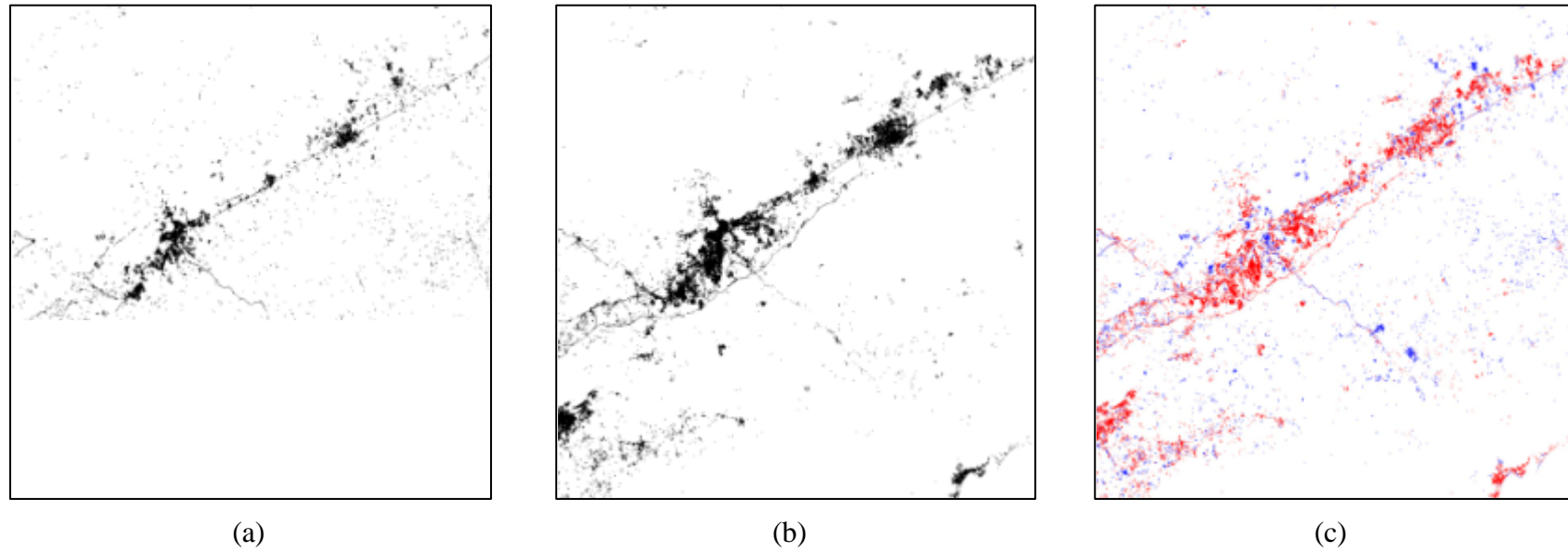
FIGURA 4.14 – Máscara de detecção de mudanças da classe áreas úmidas.



**Legenda:**

- mudanças positivas
- mudanças negativas

FIGURA 4.15 – Classe corpos d'água em 1970 (a) e em 2004 (b) e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas (c).

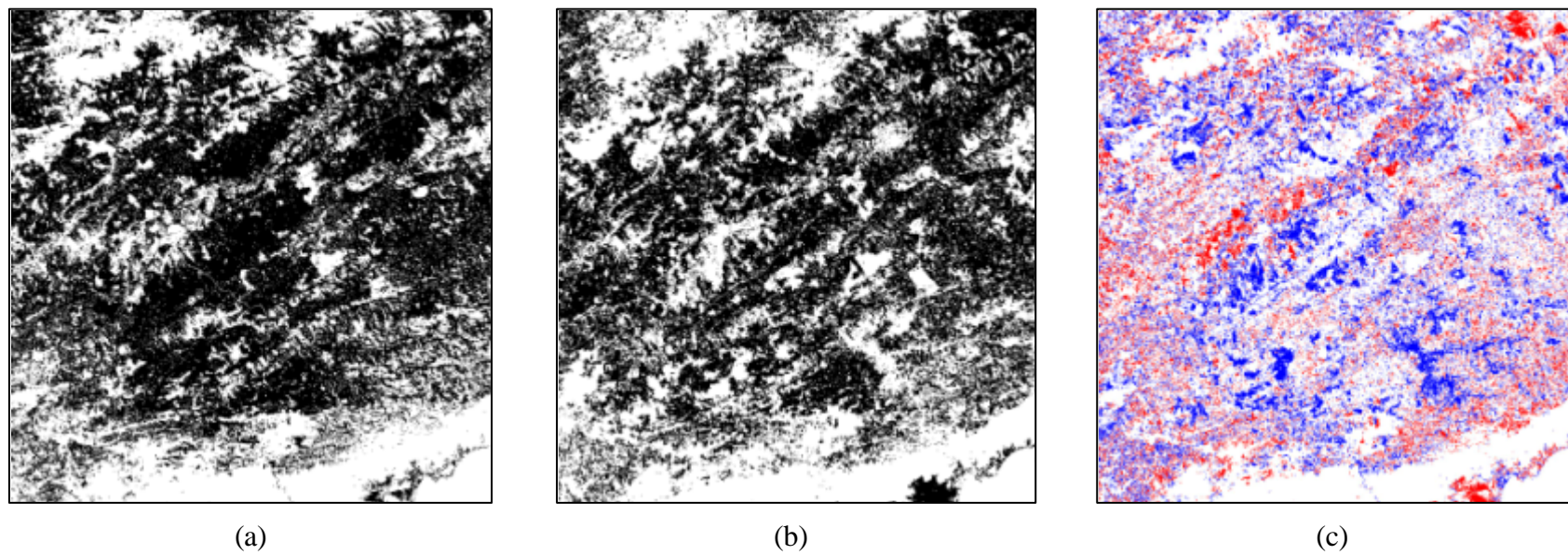


**Legenda:**

- mudanças positivas
- mudanças negativas

FIGURA 4.16 – Classe uso urbano em 1970 (a) e em 2004 (b) e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas (c).

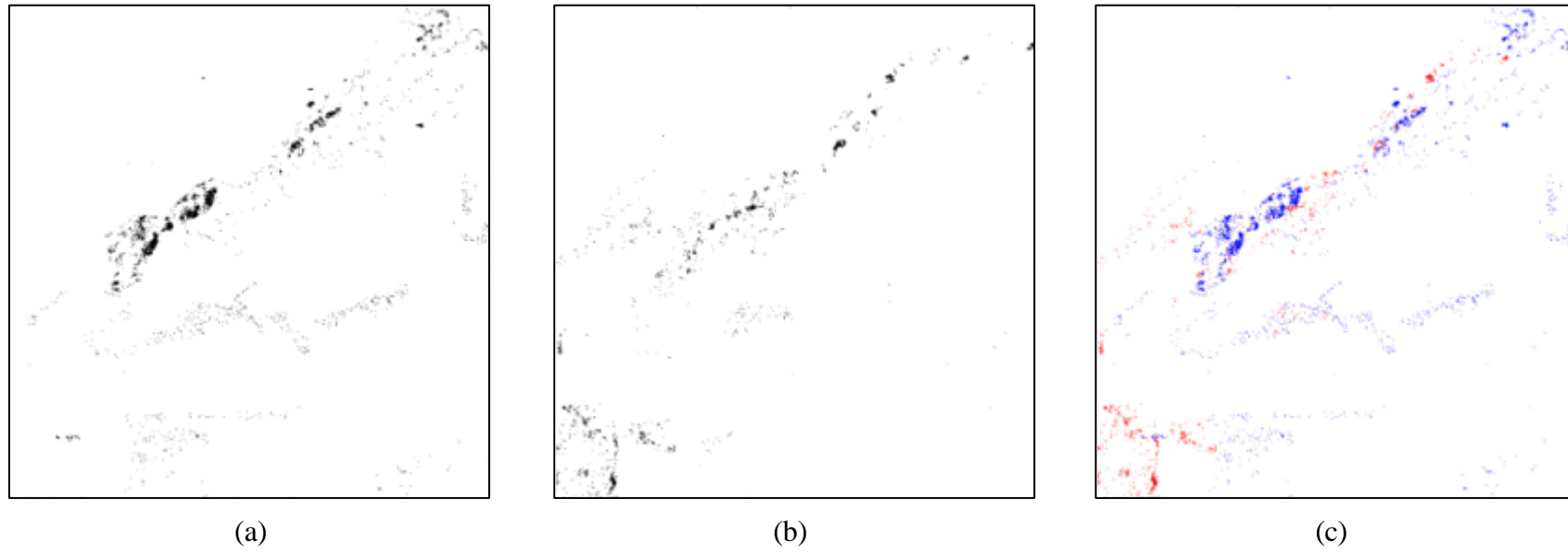




**Legenda:**

- mudanças positivas
- mudanças negativas

FIGURA 4.17 – Classe cultura/pastagem em 1970 (a) e em 2004 (b) e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas (c).



**Legenda:**

- mudanças positivas
- mudanças negativas

FIGURA 4.18 – Classe áreas úmidas em 1970 (a) e em 2004 (b) e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas (c).

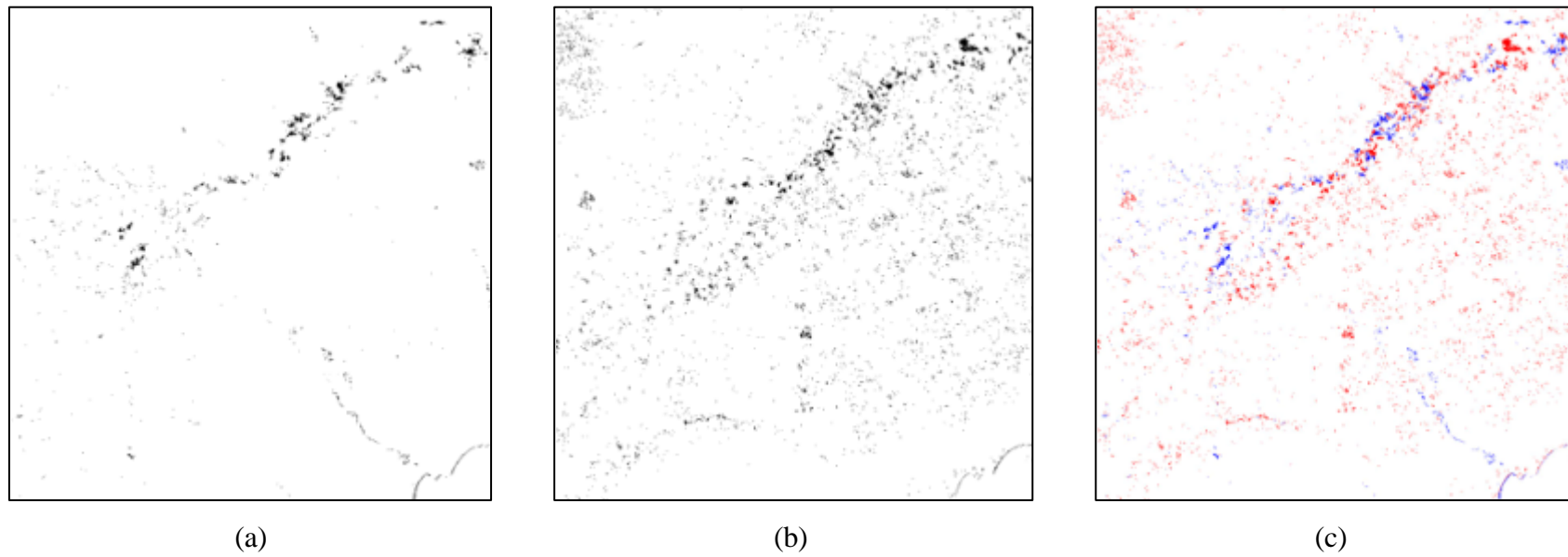


FIGURA 4.19 – Classe solo exposto em 1970 (a) e em 2004 (b) e mapa de diferenças com as mudanças positivas e negativas (c).

Conforme mostrado na TABELA 4.2 e na FIGURA 4.9, a classe corpos d'água, que ocupava uma área de 245,41 km<sup>2</sup> na década de 1970, sofreu um incremento de 116,68 km<sup>2</sup> (47,55%), tendo em 2004 uma área correspondente a 362,09 km<sup>2</sup>. Este aumento se deve, principalmente, à construção de novos reservatórios na região, como mostra a FIGURA 4.15. O reservatório de Paraibuna, encontrado na imagem de 2004, corresponde ao maior da região. Apesar das obras da sua Usina Hidrelétrica terem sido concluídas em 1978, seu aparecimento ocorreu apenas na imagem do período mais recente, pelo fato das imagens da década de 1970 empregadas neste trabalho corresponderem aos anos de 1973 e 1976. Outro reservatório detectado foi o de Jundiá, possuidor de uma área inundada de 17,42 km<sup>2</sup> (DAEE, 2006) e que teve sua barragem concluída em 1998.

No entanto, observa-se através da máscara de detecção de mudanças desta classe (FIGURA 4.10) que a área total desta classe é, na verdade, um pouco maior, uma vez que é possível que algumas áreas de mudança desta classe para outra, detectadas nas bordas das represas e ao longo dos rios, tenham sido causadas por pequenas diferenças quanto ao registro das imagens ou, ainda, devido à degradação da resolução espacial da imagem de 2004, após a sua classificação.

A FIGURA 4.15 mostra, também, a ocorrência de mudanças positivas nas proximidades do rio Paraíba do Sul, principalmente no trecho de São José dos Campos a Taubaté. Estas se referem aos portos de areia existentes ali, que foram classificados como corpos d'água, em virtude da predominância de água dentro dos seus limites.

Do mesmo modo, a classe uso urbano apresentou, em 2004, valor superior em relação ao que tinha em 1970 – passando de 203,76 km<sup>2</sup> para 347,46 km<sup>2</sup> – como consequência de um aumento de 70,53% (equivalente a uma área de cerca de 143,71 km<sup>2</sup>) sofrido por esta classe durante o período analisado, como observado na TABELA 4.2 e na FIGURA 4.9. Este incremento está relacionado ao processo de industrialização da região e ocorreu, principalmente, ao longo da rodovia Presidente Dutra, além das áreas litorâneas, conforme mostrado na FIGURA 4.16.

Com relação ao município de São José dos Campos, por exemplo, as regiões Leste (em torno da Dutra) e Sul (em direção à rodovia Carvalho Pinto) obtiveram um maior crescimento, em relação à zona Norte, que apresentou um pequeno crescimento, devido a sua proximidade da Serra da Mantiqueira, cujo terreno acidentado atua como um fator inibidor para a ocupação desta área. Observou-se, também, a presença de um vazão urbano no Banhado, por ser esta uma área de proteção ambiental (FIGURA 4.16).

Na máscara de detecção de mudanças desta classe (FIGURA 4.11) também foram observadas áreas com a ocorrência de alterações para outras classes ao longo das estradas. Provavelmente, este fato deve ter sido causado pelo mesmo motivo que resultou na ocorrência de áreas de mudanças ao longo dos rios, por exemplo, na classe corpos d'água.

Já a classe reflorestamento foi a que apresentou o maior crescimento no período, dentre todas as classes, pois teve a sua área aumentada em 508,53% (404,27 km<sup>2</sup>). Na década de 1970, ocupava uma área de 79,50 km<sup>2</sup>, enquanto que em 2004 já possuía 483,76km<sup>2</sup> (TABELA 4.2 e FIGURA 4.9), uma vez que equivale a áreas que podem ser modificadas fortemente pela interferência antrópica, entre outros fatores (Lee et al.,1991).

Conforme mostram a TABELA 4.2 e a FIGURA 4.9, a classe mata igualmente apresentou um incremento significativo de um período para o outro (equivalente a 13,66%). Em 1970, ocupava uma área de 2718,85 km<sup>2</sup>, passando a obter uma área de 3090,20 km<sup>2</sup>, em 2004. Este acréscimo tem também ligação com o fato de que muitas áreas que pertenciam à classe cerrado/outras, na imagem classificada da década de 1970, foram classificadas na imagem de 2004 como capoeira, incorporada à classe mata, conforme ilustrado na FIGURA 4.13.

Devido à dificuldade de se separar, em alguns casos, mata e capoeira de áreas reflorestadas, pode-se fazer, ainda, uma verificação conjunta das mudanças com relação às áreas florestadas. Sendo assim, um aumento no total de áreas verdes (somando-se as classes mata, capoeira e reflorestamento) que na década de 1970 era equivalente a 2798,35 km<sup>2</sup>, ocupando 3573,96 km<sup>2</sup> em 2004, também foi observado, como mostrado

na TABELA 4.2. Este acontecimento mostra a estabilização em relação aos índices referentes ao desmatamento e até mesmo o aumento das áreas de vegetação natural no estado de São Paulo, que têm ocorrido nos últimos anos (Kronka et al., 2005).

A classe cerrado/outros foi a que apresentou as maiores diminuições percentuais de uma época para a outra, com uma perda de 99,26% (598,68 km<sup>2</sup>) de sua área inicial (FIGURA 4.9 e TABELA 4.2). Este fato foi causado devido às mudanças no seu conteúdo de um período para o outro, pois não foram incluídas algumas formações vegetais intermediárias, denominadas Macega, presentes nesta classe na imagem classificada da década de 1970. Além da diminuição efetiva das áreas de Cerrado, conforme constatado por Kronka et al. (2005), e de Restinga. Esta última observada, principalmente, nas áreas litorâneas, devido à ocupação antrópica.

A análise da TABELA 4.2 permite verificar que a classe cultura/pastagem foi submetida a alterações significativas entre os dois períodos analisados, possuindo em 2004 área inferior do que a registrada na década de 1970. Sua diminuição está relacionada à intensificação das atividades antrópicas na região, caracterizada pela expansão de outros elementos na paisagem, tais como represas e áreas urbanizadas, juntamente com o aumento das áreas reflorestadas, conforme mostrado nas FIGURAS 4.12 e 4.17. Foi constatada a perda de 10,32% desta classe entre uma época e outra (equivalente a uma área de 522,51 km<sup>2</sup>). Apesar disso, nota-se nos relatórios a predominância desta classe em relação às demais, nos dois períodos.

Observou-se através da TABELA 4.2 e da FIGURA 4.9, que a classe áreas úmidas também teve sua área diminuída (em 46,08%) de um período para o outro. Em 1970, ocupava uma área de 82,95 km<sup>2</sup>, enquanto que em 2004 possuía 44,72 km<sup>2</sup>. A FIGURA 4.18 aponta a maior redução desta classe na várzea do rio Paraíba do Sul. Sendo que a classe cultura/pastagem foi a que incorporou mais pixels (7916) que deixaram de pertencer àquela classe (FIGURA 4.14). Possivelmente, este fato tem relação com a diminuição das inundações do Paraíba, devido à construção de reservatórios. Por outro lado, foi possível visualizar, também, na FIGURA 4.18 o aparecimento de novas áreas

nesta classe na imagem de 2004, como o reservatório de Biritiba (localizado a leste do de Jundiá), que estava em fase de enchimento.

Ao contrário da anterior, a classe solo exposto teve sua área aumentada, de uma época para a outra, passando de 56,78 km<sup>2</sup> para 180,20 km<sup>2</sup>, segundo a TABELA 4.2. O acréscimo ocorrido nesta classe pode ter sido causado pelo número expressivo de portos de areia presente nas calhas do rio Paraíba do Sul, em 2004, como observado na FIGURA 4.19. Soma-se a este fato, a utilização da imagem TM, de melhor resolução espacial, para a caracterização do uso e cobertura da terra nas imagens deste período, que possibilitou, também, a identificação de alguns terrenos com características de solo exposto (devido a sua maior reflectância espectral) nas áreas com pastagem seca ou vegetação em estágio fenológico inicial, por exemplo.

Foi verificada a ocorrência de áreas de mudança nas bordas de diversos elementos da paisagem, como ao longo de rios e estradas, em várias classes. Este fato pode estar relacionado às diferenças existentes entre os registros das imagens, pois apesar destes terem sido efetuados com erros de pontos de controle inferiores à metade de um pixel, é possível que os pixels não tenham a mesma localização. Além disso, a degradação da imagem de 2004 (de 30m para 80m) após a sua classificação, também pode ter contribuído para a ocorrência de algumas destas mudanças.

### **4.3 Simulação Atmosférica**

As simulações realizadas disponibilizaram informações importantes acerca da circulação atmosférica na região em questão, bem como das mudanças ocorridas no clima, em virtude das transformações da paisagem ao longo dos trinta anos enfocados neste trabalho, como mostrado a seguir.

#### **4.3.1 Características da Circulação Atmosférica no Vale do Paraíba e Arredores**

A fim de possibilitar uma melhor compreensão da circulação atmosférica regional, foram produzidos mapas caracterizando o comportamento e a variabilidade espacial dos diferentes elementos meteorológicos simulados pelo modelo, ao longo de 24hs, do período diurno e do noturno, por meio de médias calculadas para o caso de 2004, considerado mais representativo das condições atuais. A variabilidade diurna da circulação no vale do rio Paraíba e na sua vizinhança será mostrada, em seguida, enfocando a temperatura do ar, a umidade específica e o vento. Observam-se os campos destas variáveis que foram gerados na grade 3, com resolução espacial de 1km.

##### **4.3.1.1 Temperatura do Ar**

Para a análise da variabilidade diurna da temperatura, foram analisadas, principalmente, as médias horárias da variável tempc2m, mostrando o seu comportamento a 2m da superfície, como exemplificado nas FIGURAS 4.20 a 4.23.

Os campos gerados para as médias horárias sugerem que a temperatura mínima ocorre nas primeiras horas do dia, devido ao resfriamento da superfície provocado pela emissão de radiação de onda longa para o espaço à noite, principalmente em situação de céu claro. Assim, as temperaturas mínimas acontecem por volta das 9Z e 10Z, horários em que são observados valores inferiores a 2°C na Serra da Mantiqueira, no município mineiro de Camanducaia, conforme indica a FIGURA 4.24, e em torno de 10°C, na maior parte do vale.



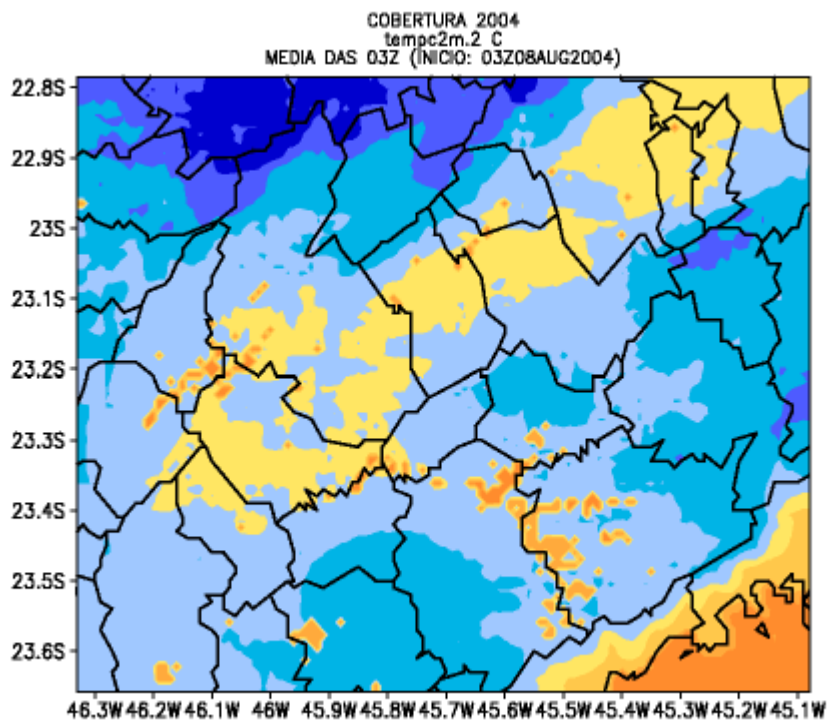
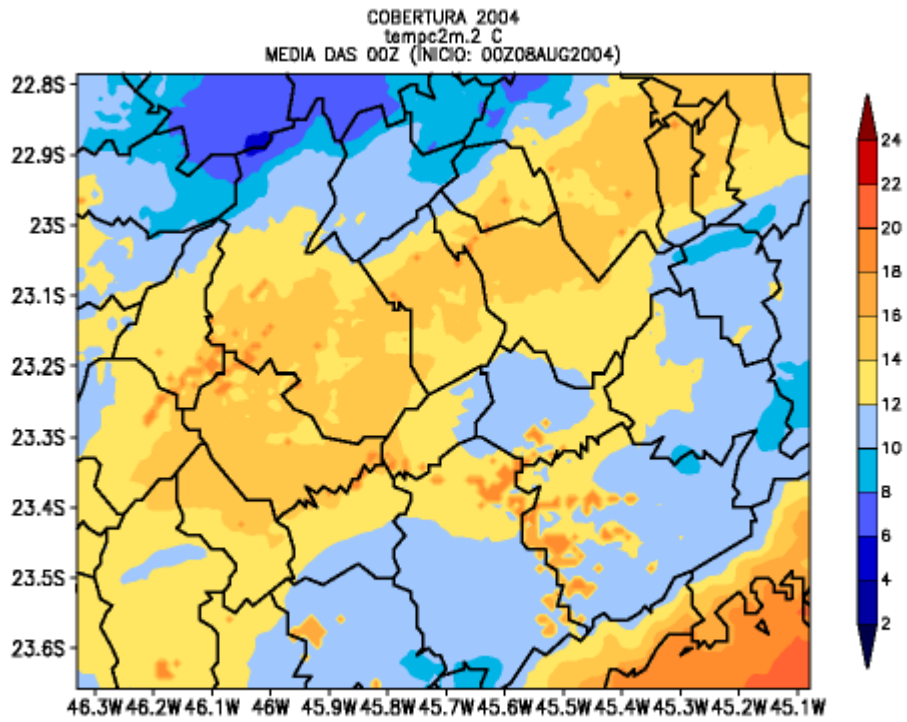


FIGURA 4.20 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 00Z e 03Z (obs.: hora local= hora Z - 3 horas).

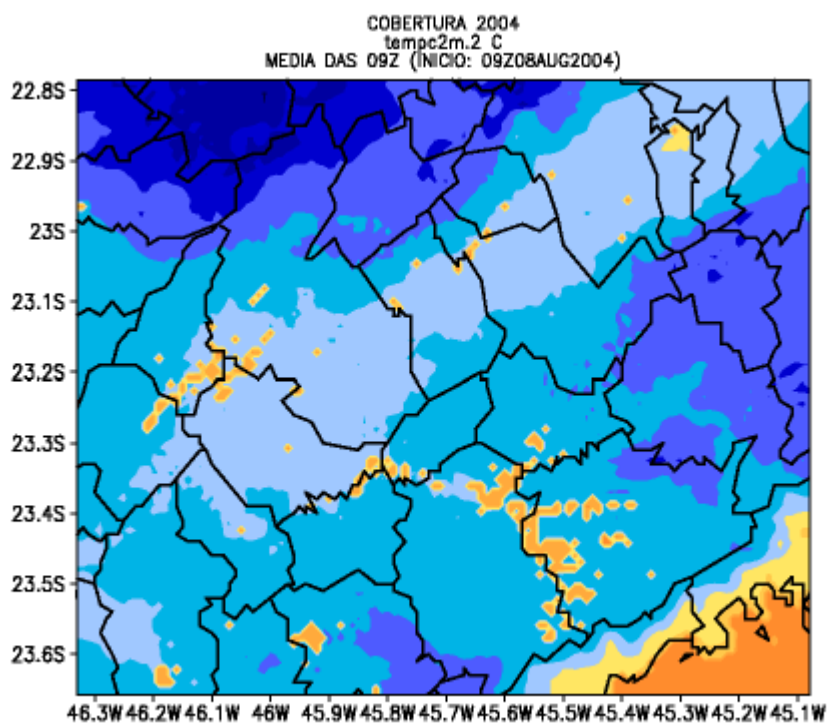
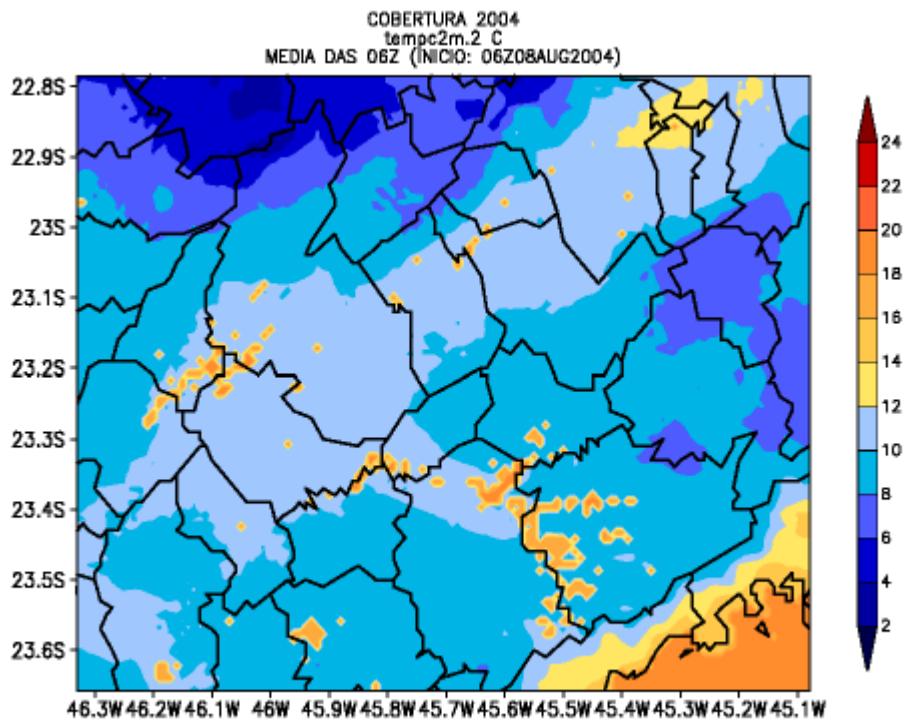


FIGURA 4.21 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 06Z e 09Z (obs.: hora local= hora Z - 3 horas).

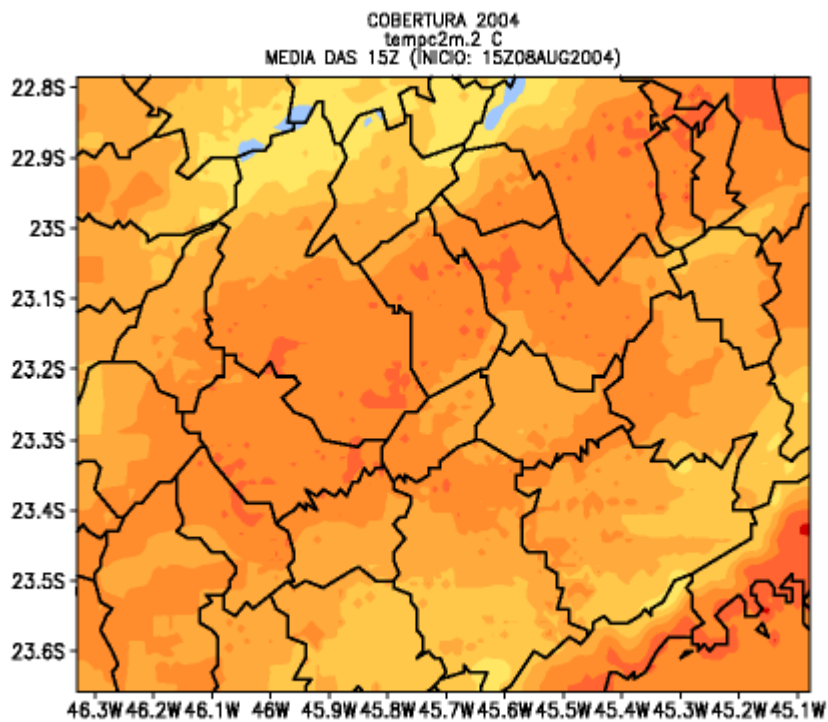
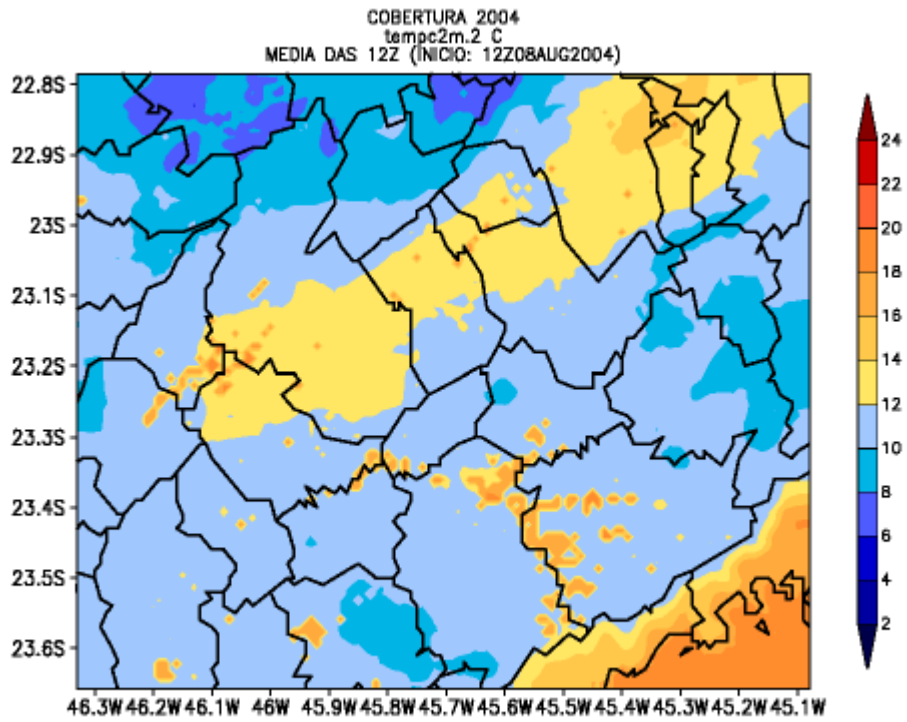


FIGURA 4.22 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 12Z e 15Z (obs.: hora local= hora Z - 3 horas).

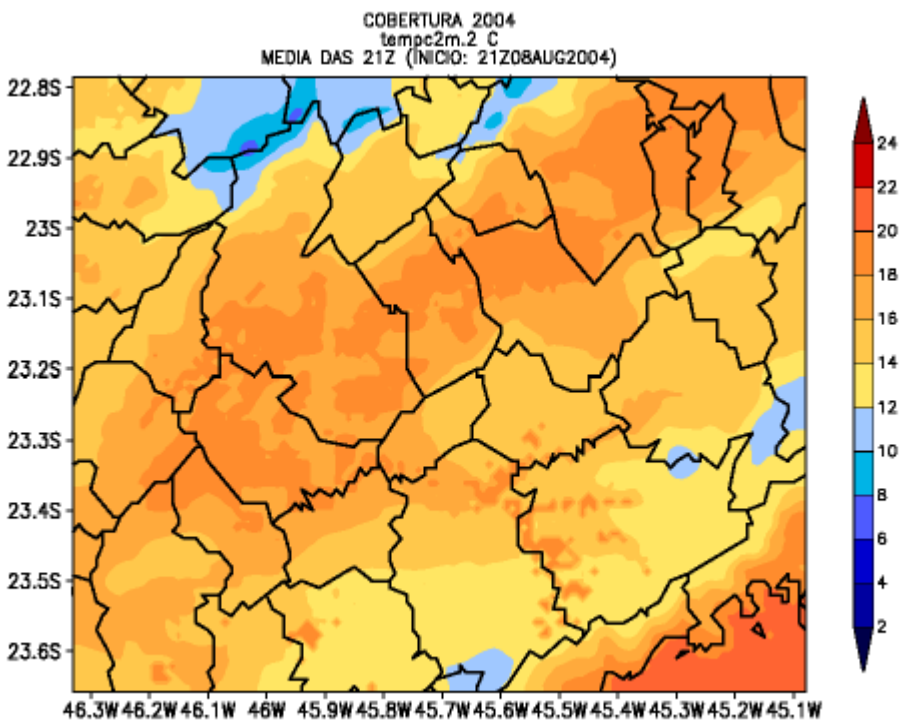
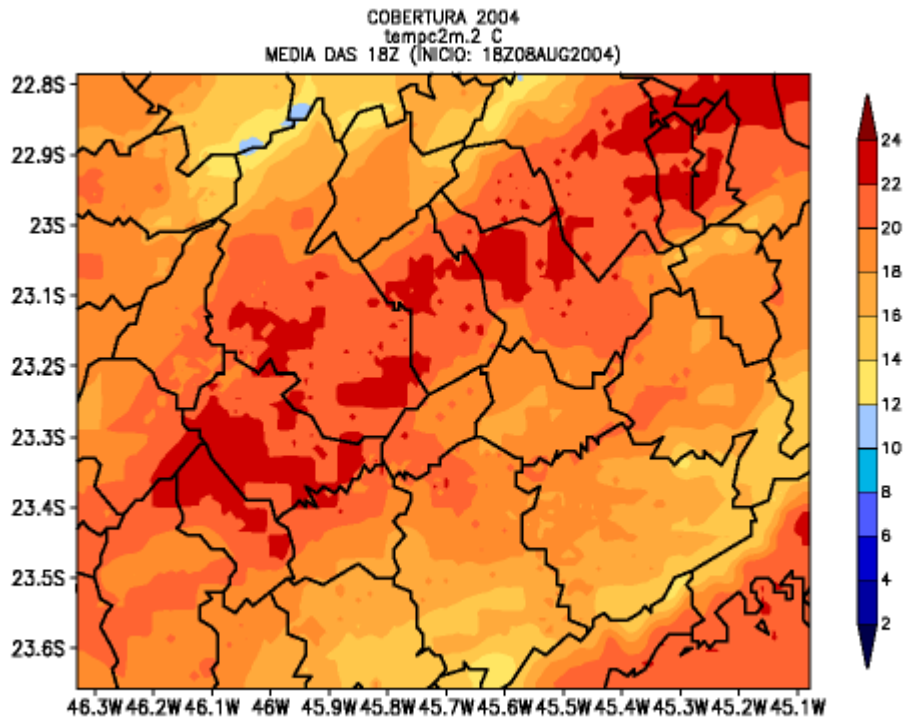


FIGURA 4.23 – Campos da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, correspondentes às médias horárias das 18Z e 21Z (obs.: hora local= hora Z - 3 horas).

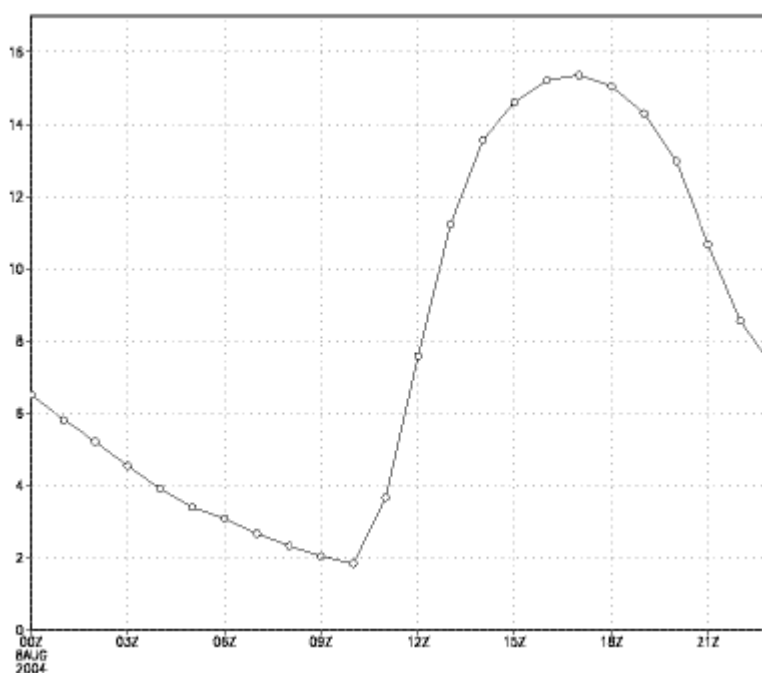


FIGURA 4.24 – Ciclo diurno da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, no município de Camanducaia, na latitude 22,82S e longitude 46,02W.

No decorrer do dia, como esperado, a temperatura do ar se eleva, por causa do aquecimento da superfície. Os valores mais altos desta variável são observados das 15Z às 19Z, no vale do rio Paraíba e no litoral, com a temperatura máxima, superior a 24°C, registrada no município de Roseira, às 17Z e 18Z. Nas áreas montanhosas, chegam a ocorrer valores em torno de 18°C neste horário. A partir das 20Z, a temperatura decresce, em virtude do resfriamento da superfície, como mostrado nas FIGURAS 4.22 e 4.23.

Dessa forma, a ocorrência das temperaturas mais elevadas predomina nas áreas com menor altitude, ou seja, ao longo do vale do rio Paraíba do Sul e na faixa litorânea. Por outro lado, as temperaturas mínimas são observadas nas áreas com maiores altitudes, principalmente, nas Serras do Mar e da Mantiqueira.

A FIGURA 4.25 ilustra o ciclo diurno da temperatura em pontos representativos das cidades de São José dos Campos e Pindamonhangaba. Observa-se que, de um modo geral, as temperaturas da segunda são superiores às de São José. No entanto, em ambos

os casos, as máximas atingem valores em torno de 21°C, às 18Z, enquanto que as mínimas, entre 10°C e 11°C, ocorrem às 9Z e 10Z, respectivamente.

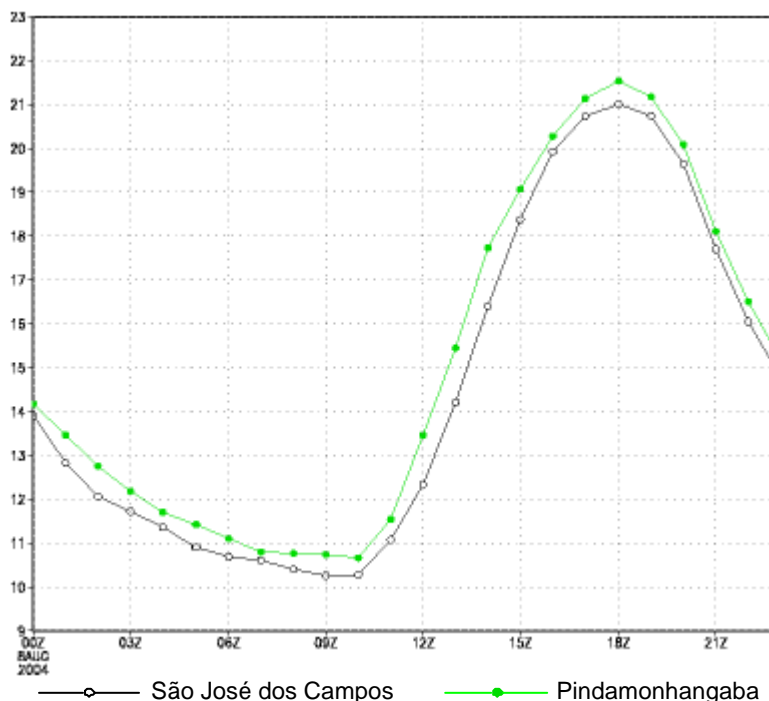


FIGURA 4.25 – Ciclo diurno da temperatura do ar (em °C), a 2m da superfície, nas cidades de São José dos Campos (na latitude 23,2S e longitude 45,9W) e Pindamonhangaba (na latitude 22,92S e longitude 45,42W).

Nota-se, assim, que o Vale do Paraíba é um pouco mais quente de Caçapava a Guaratinguetá, em relação às demais áreas pertencentes a ele – sobretudo ao observar a variável tempc, que corresponde à temperatura a 48,8m da superfície, como mostrado na FIGURA 4.26. Segundo Setzer (1946), isto ocorre devido à parte baixa e plana do vale ser mais larga nesta localidade. Além disso, as temperaturas são ainda maiores nas proximidades de Guaratinguetá, em virtude da predominância de terrenos do Complexo Cristalino, ou seja, de solos enxutos e arenosos, que se aquecem com maior facilidade, conforme mostrado por Setzer.

Os campos das médias das 14Z às 19Z (FIGURAS 4.22 e 4.23) salientam a presença de áreas mais quentes no vale do rio Paraíba, ocasionadas pelos solos expostos e pelas superfícies urbanas (como observado em Pindamonhangaba, Tremembé, Taubaté,

Caçapava, São José dos Campos e Jacareí), devido à maior capacidade de armazenamento de calor destas coberturas, em relação às áreas circundantes.

Os corpos d'água, por sua vez, apresentam pouca variação diurna da temperatura, pois estes se resfriam mais lentamente do que o solo, devido as suas características físicas (calor específico), que interferem na distribuição de energia da superfície para o interior da massa d'água e para a atmosfera, fazendo com que o armazenamento de energia interna se prolongue por mais tempo. Nesse sentido, na área de estudo destaca-se a presença das represas de Igaratá, Santa Branca, Paraibuna, Ponte Nova e Jundiá com temperaturas médias variando de 16°C a 20°C, ao longo do dia.

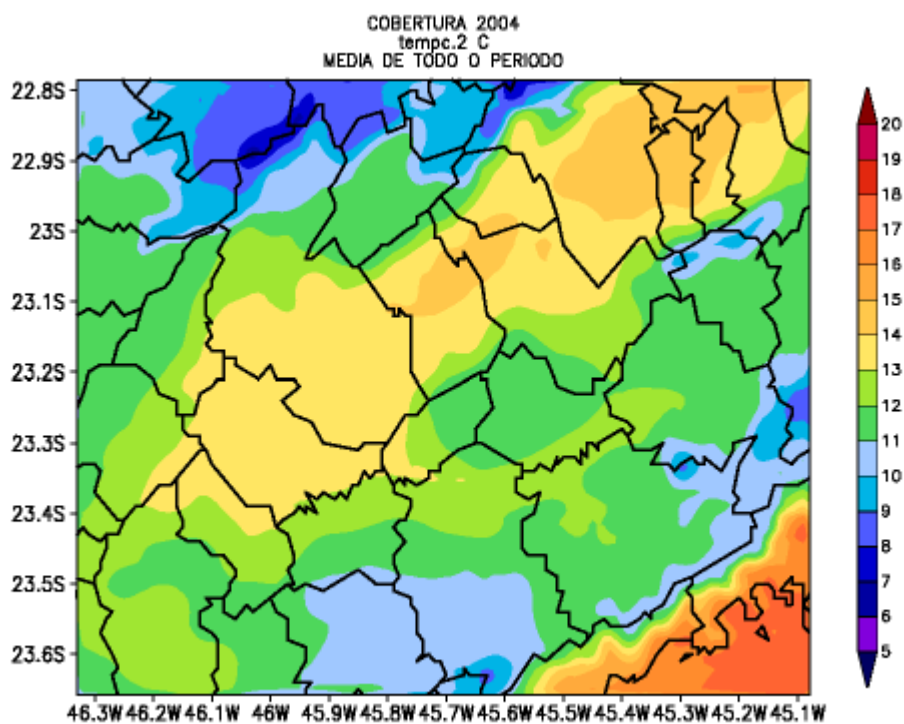


FIGURA 4.26 – Campo da temperatura do ar (em °C), a 48,8m da superfície, correspondente à média de todo o período.

Deste modo, verifica-se que o ciclo diurno da temperatura depende, especialmente, da atuação de fatores tais como a topografia, tipo de cobertura (características do solo e da vegetação e presença de corpos d'água, por exemplo) e de uso da terra, além da natureza do clima, os quais estão intimamente ligados.

#### 4.3.1.2 Umidade Específica

A umidade específica ( $r_v$ ) é a relação entre a massa de vapor d'água e a massa total de ar, correspondendo, assim, a uma medida do conteúdo de umidade de uma determinada parcela de ar. Como próximo à superfície, esta variável é modulada pelas trocas entre a atmosfera e esta, os campos gerados para as médias horárias, a 48,8m da superfície, mostram que a menor umidade específica ocorre também nas primeiras horas do dia, das 9Z às 13Z, quando são encontrados valores inferiores a 5g/kg na Serra da Mantiqueira, na divisa entre os municípios de Camanducaia e São José dos Campos.

Com relação ao vale do rio Paraíba do Sul, em geral, as maiores médias são notadas durante a madrugada e na parte da manhã (período no qual são atingidos valores em torno de 8,5g/kg). Isto se dá em consequência da entrada da brisa marítima proveniente do Oceano Atlântico, que carrega consigo umidade para o continente, além do avanço dessa massa de ar úmido para o seu interior durante as horas subseqüentes (fato este favorecido pela brisa de montanha oriunda da Serra do Mar e pela configuração do relevo, que permite a sua passagem através das áreas com menores altitudes, de 600m a 800m de altura), até ficar retida no vale, como mostrado nas FIGURAS 4.27 e 4.28. Nota-se, também, a permanência destes valores por mais tempo de Caçapava a Guaratinguetá, porção um pouco mais quente deste vale, em relação às demais áreas pertencentes a ele, conforme apontado anteriormente.

Durante o dia, as médias mais altas da umidade são observadas sobre o mar. Sendo que os valores máximos (acima de 11g/kg) ocorrem nos horários das 21Z às 23Z. Este correspondeu ao local sobre o qual a umidade específica apresentou os valores mais elevados, durante todo o dia. No Vale do Paraíba, as médias mais elevadas são observadas à jusante de Caçapava, em relação a outras áreas pertencentes a ele, especialmente das 10Z às 14Z, da mesma forma que a temperatura.

Dessa forma, os campos gerados para a umidade específica indicam que seu comportamento no decorrer do dia é similar ao da temperatura, em alguns aspectos, e que também é fortemente influenciado pela topografia, tipo de cobertura da superfície e circulação local.



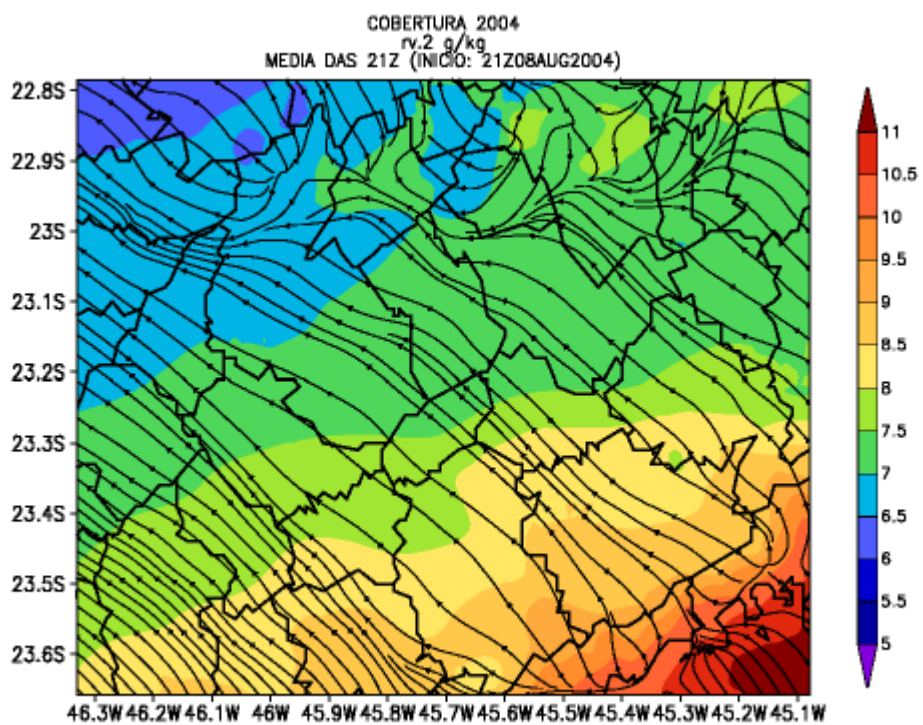
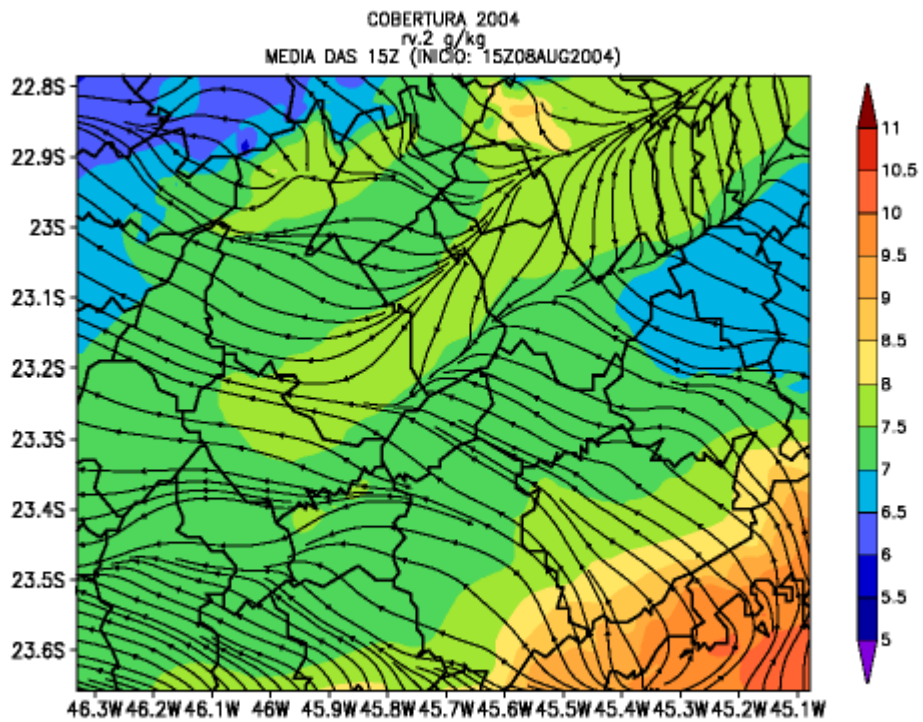


FIGURA 4.27 – Campos da umidade específica (g/kg) e vento, a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 15Z e 21Z (obs.: hora local = hora Z - 3 horas).

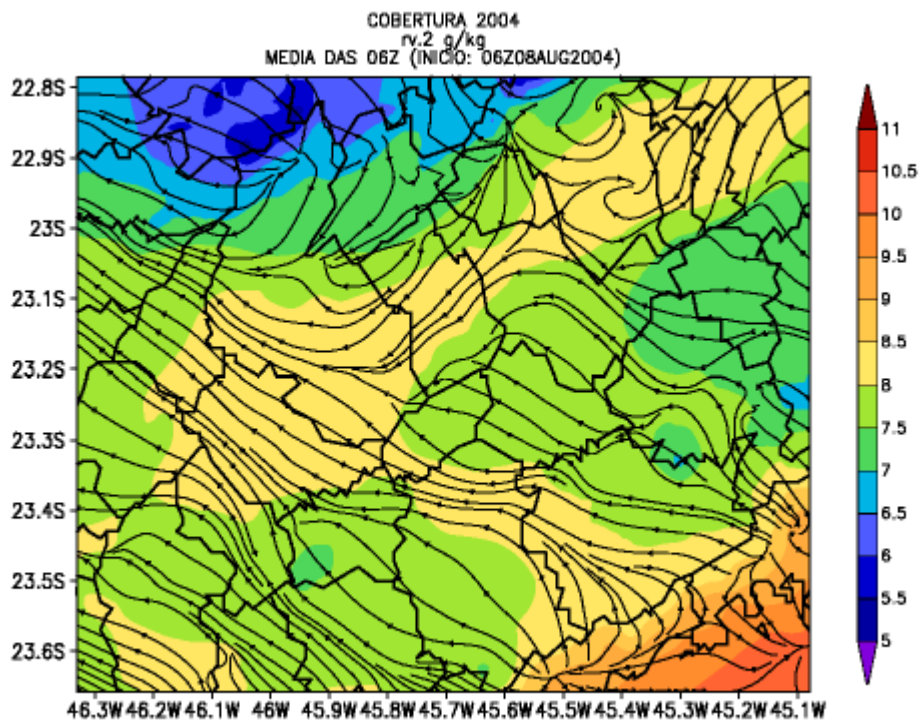
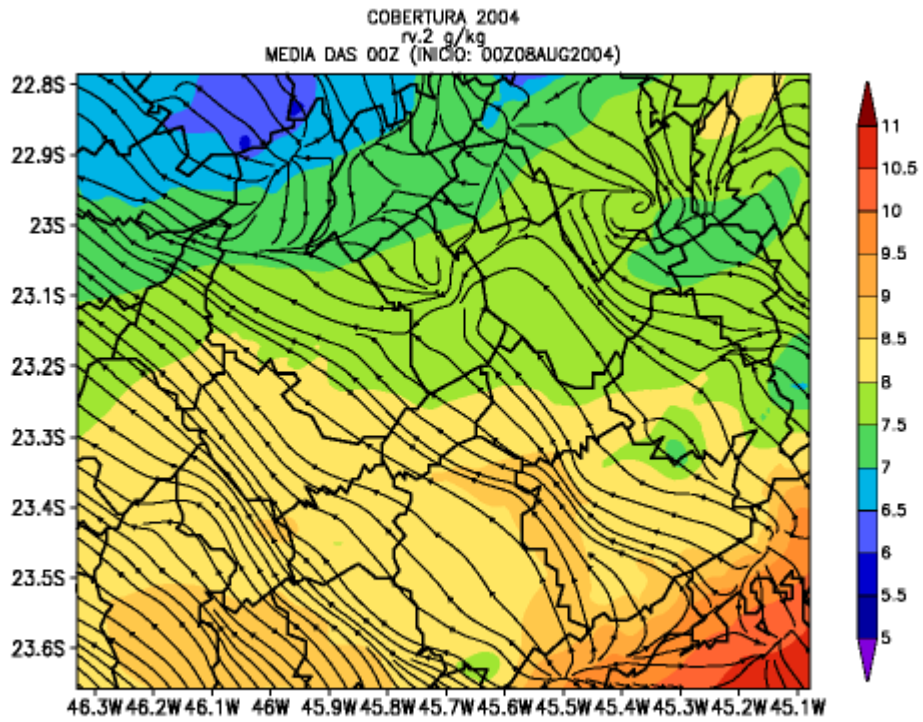


FIGURA 4.28 – Campos da umidade específica (g/kg) e vento, a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 00Z e 06Z (obs.: hora local = hora Z - 3 horas).

### 4.3.1.3 Vento

Os campos de vento gerados para as médias horárias ao longo do dia, a 48,8m da superfície, indicam a existência de um ciclo diurno na área em questão. No início da manhã, predominam os ventos mais fracos do quadrante NE-SE, especialmente das 8Z às 12Z. Nas horas subsequentes, ocorre o aumento da sua intensidade e a mudança da sua direção. Sendo, assim, observados ventos mais intensos de SE, na parte da tarde e à noite, como mostrado nas FIGURAS 4.29 a 4.33.

É possível observar os sistemas locais de vento, que ocorrem numa camada atmosférica pouco profunda, próximo à superfície, como as brisas marítima e terrestre e as de vale e montanha. Estes sistemas são ocasionados pelo aquecimento diferencial da superfície, que acontece entre o mar e o continente, assim como entre os vales e as encostas das montanhas, no decorrer do dia.

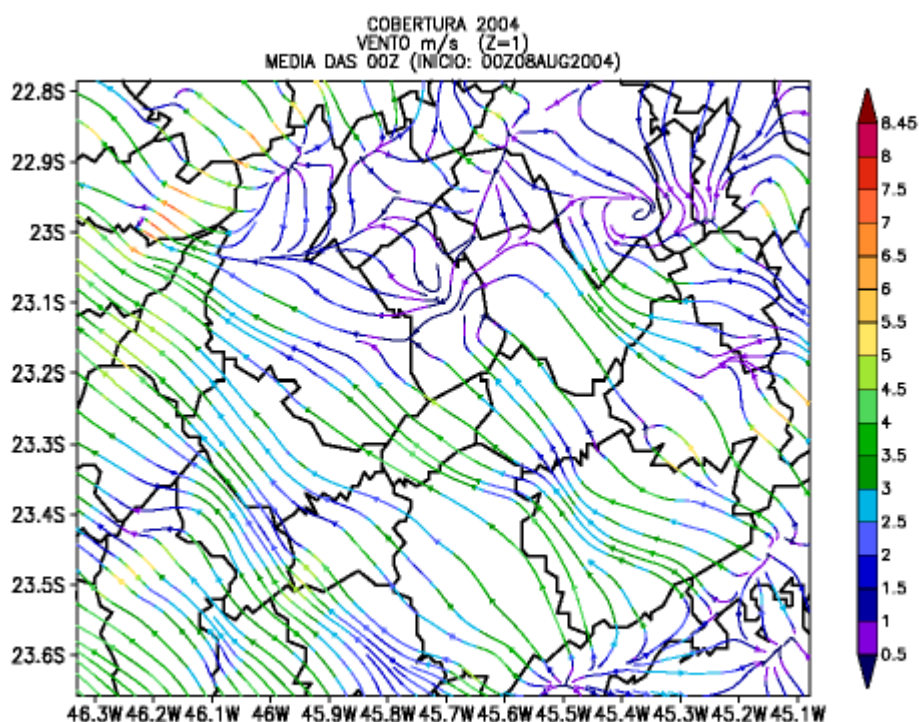


FIGURA 4.29 – Campo do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondente à média das 00Z (obs.: hora local = hora Z - 3 horas).

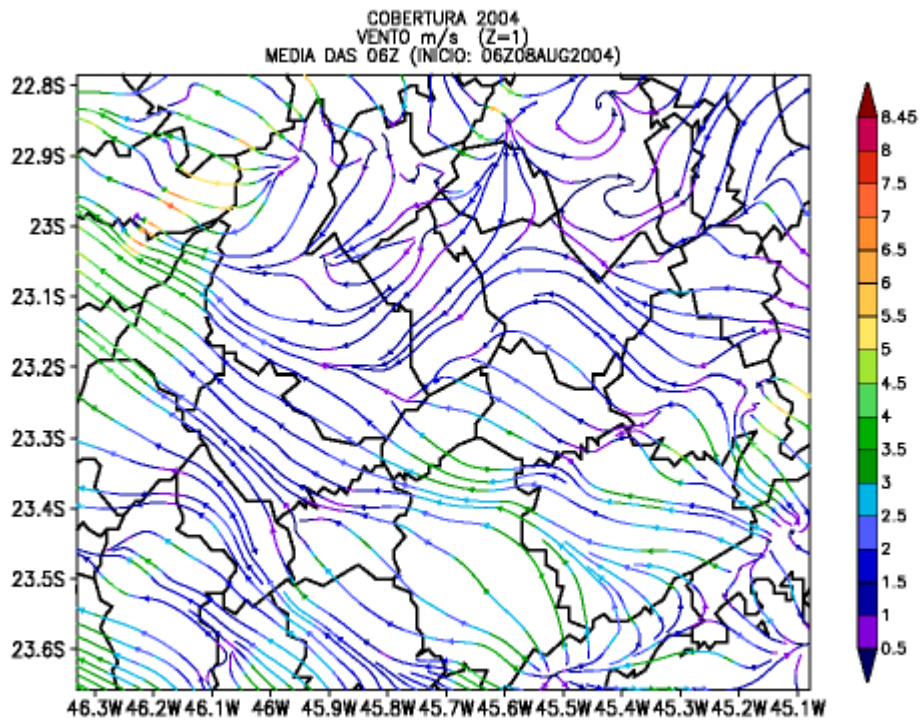
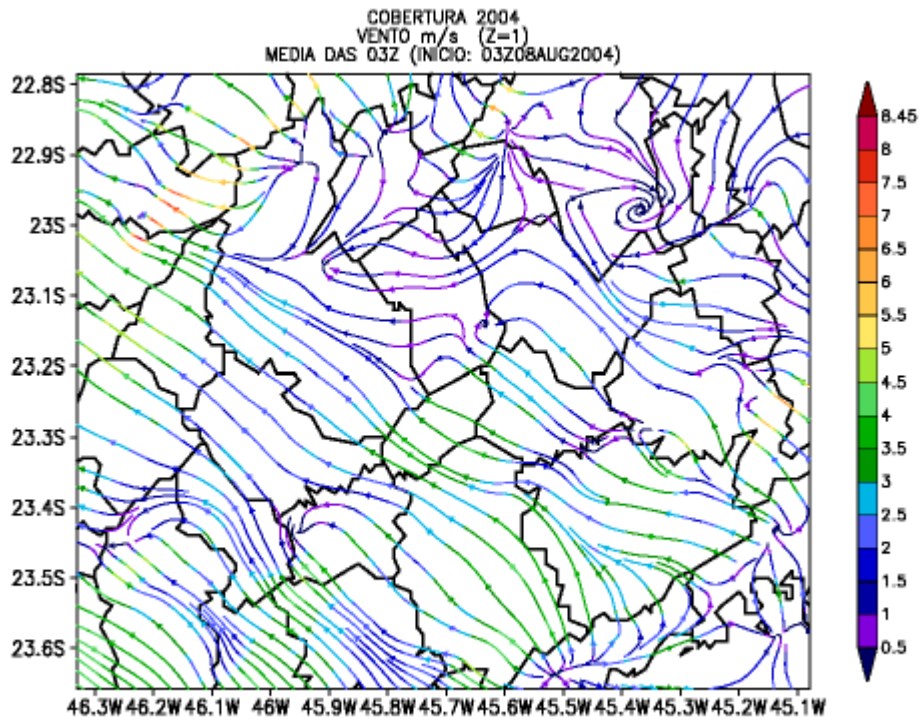


FIGURA 4.30 – Campos do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 03Z e 06Z (obs.: hora local = hora Z - 3 horas).

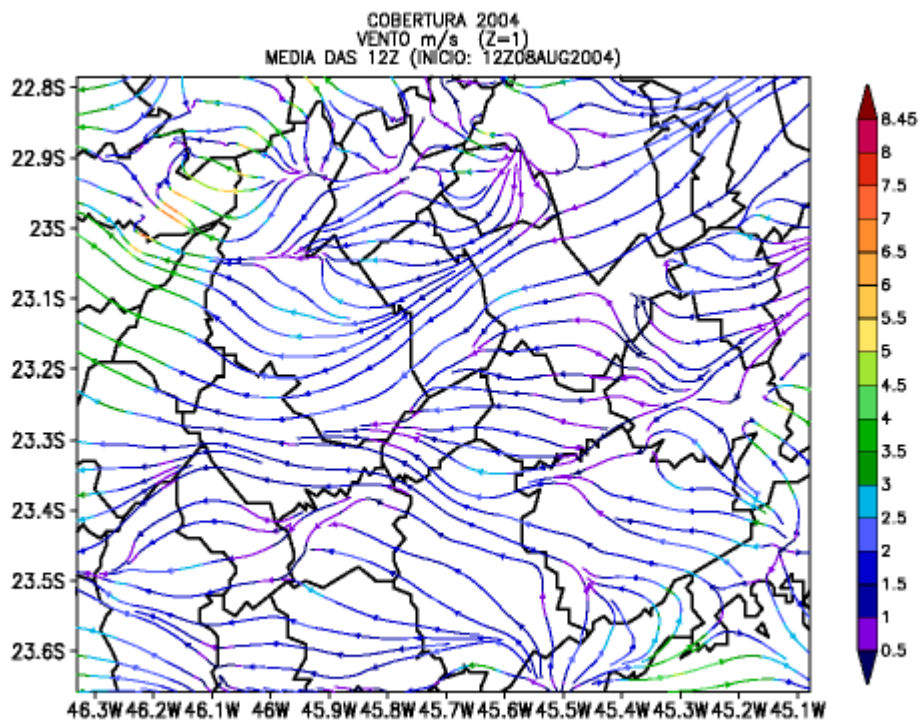
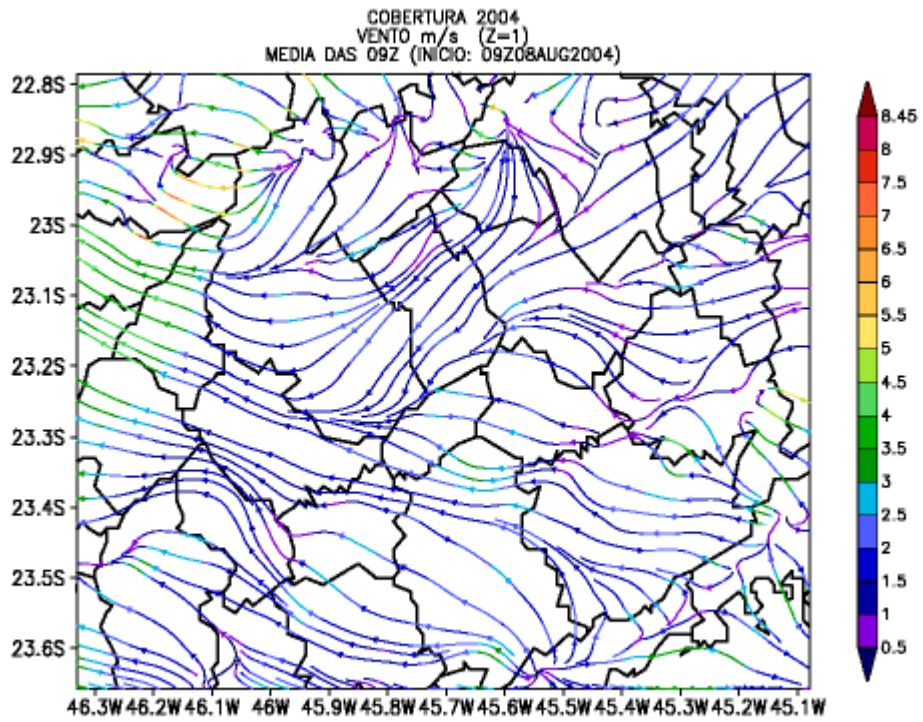


FIGURA 4.31 – Campos do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 09Z e 12Z (obs.: hora local = hora Z - 3 horas).

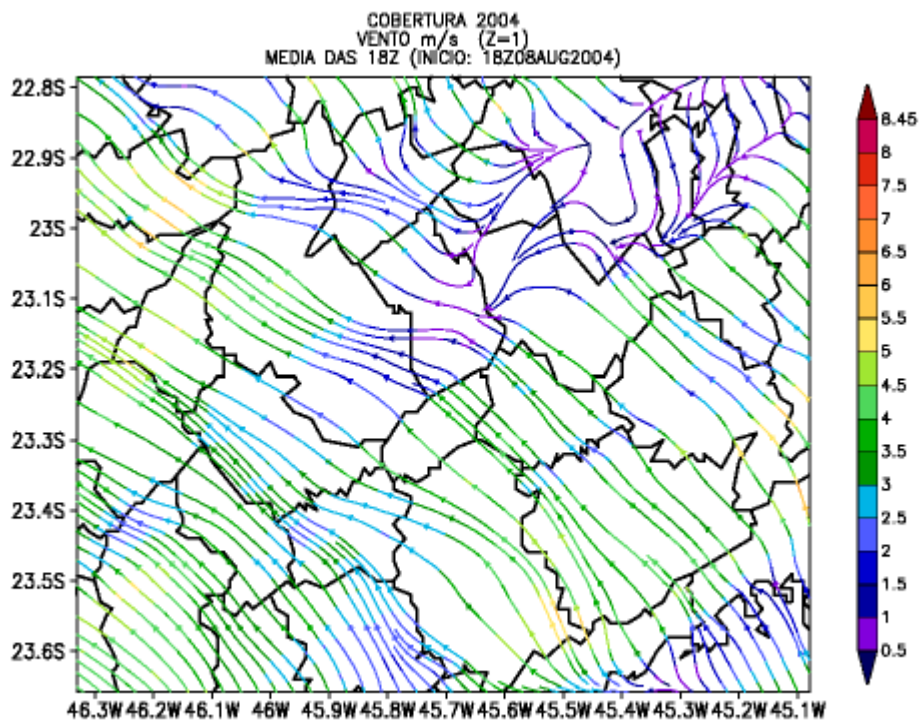
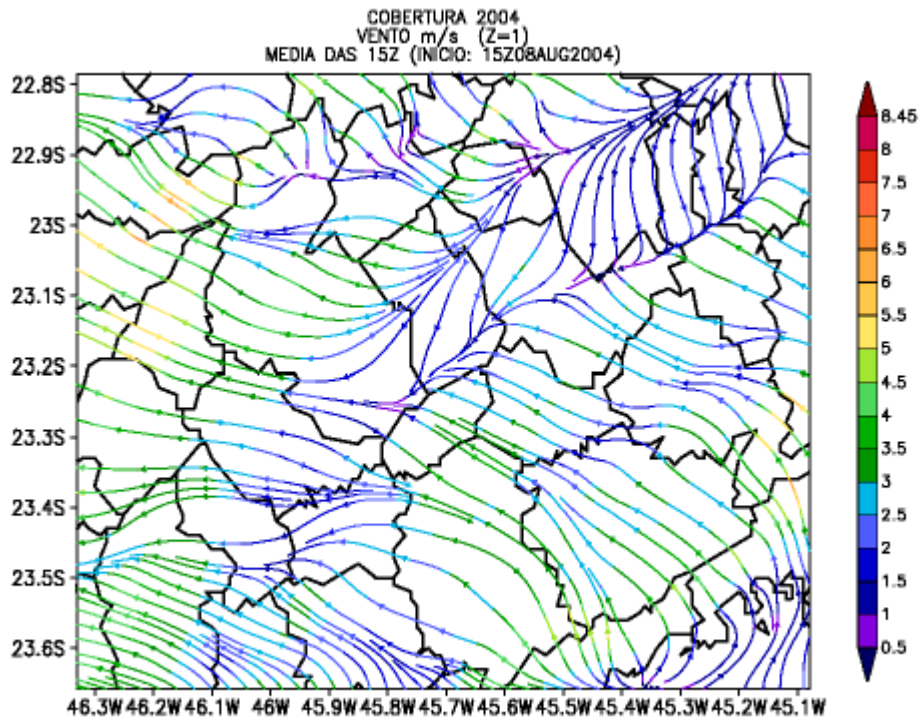


FIGURA 4.32 – Campos do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondentes às médias das 15Z e 18Z (obs.: hora local = hora Z - 3 horas).

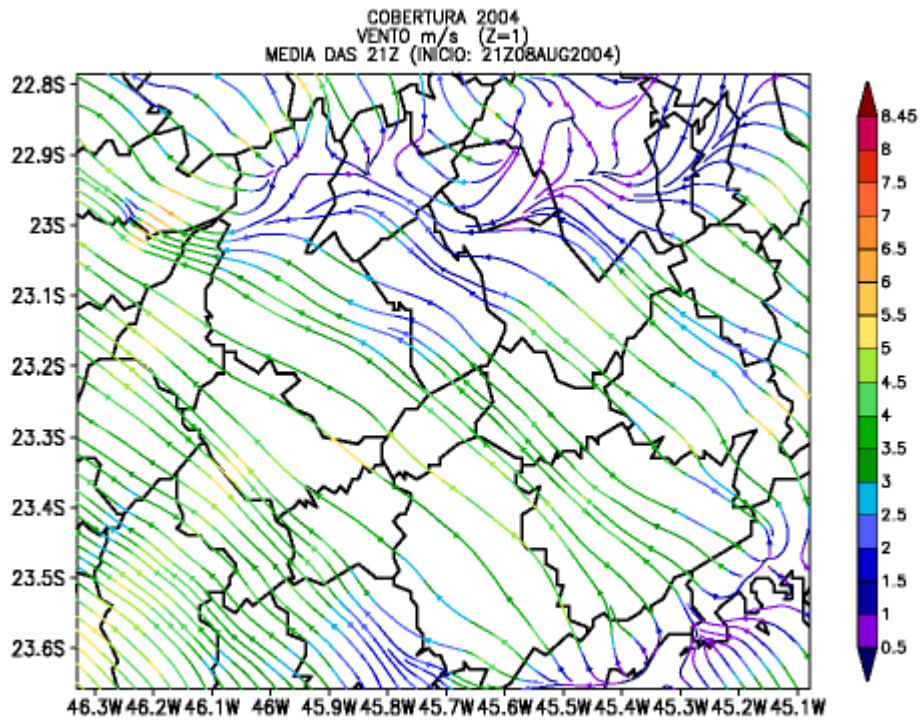


FIGURA 4.33 – Campo do vento (m/s), a 48,8m da superfície, correspondente à média das 21Z (obs.: hora local = hora Z - 3 horas).

Na parte da manhã, as terras continentais se aquecem mais rapidamente do que o mar, o que faz com que o ar sobre elas se torne mais quente e leve, formando uma área de baixa pressão neste local. Esta diferença de pressão existente entre a terra e o mar provoca o deslocamento dos ventos marítimos à superfície em direção ao continente – fenômeno denominado brisa marítima. Sobre a terra aquecida, ocorre um movimento ascendente do ar, que se desloca para o oceano nas camadas mais altas da atmosfera e desce fechando uma célula de circulação, conforme esquematizado na FIGURA 4.34.

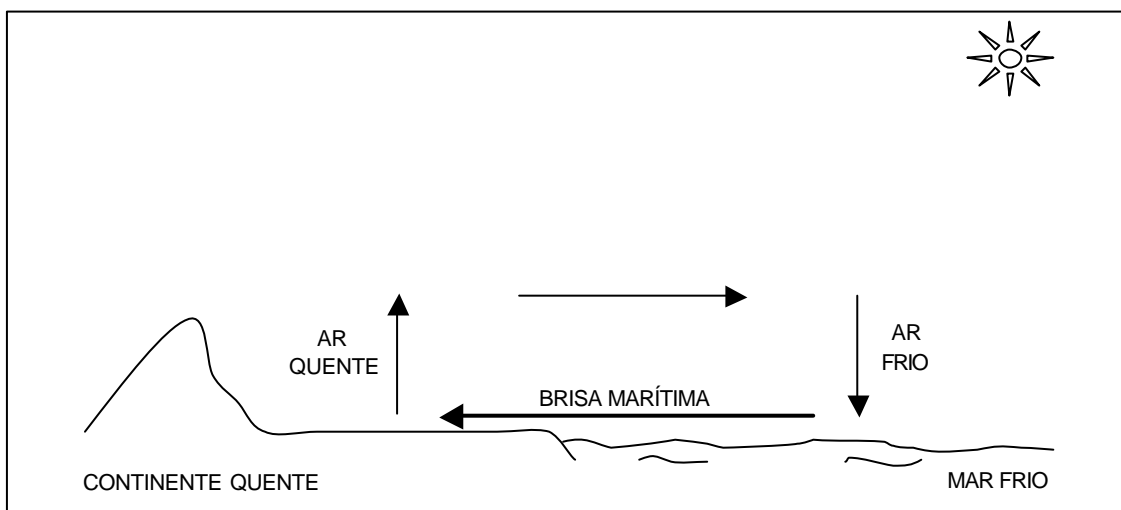


FIGURA 4.34 – Circulação idealizada da brisa marítima.

Por ser proveniente do oceano Atlântico, a brisa marítima transporta consigo umidade para o interior do continente. Ela se estabelece na parte da tarde, como observado nos campos das médias das 15Z às 21Z (FIGURAS 4.32 e 4.33), que mostram a sua passagem pela linha de costa, com a predominância de ventos de SE, a partir das 17Z.

À noite, por outro lado, o continente se resfria de forma mais acelerada do que o mar, revertendo os gradientes de temperatura e de pressão, que prevaleceram na parte da manhã e à tarde. Sendo assim, o ar em contato com o mar, mais aquecido, se torna mais quente e menos denso, originando uma área de baixa pressão neste local, que força o movimento do ar das terras continentais na sua direção, denominado como brisa terrestre. Este ar frio que escoia sobre o mar, em baixos níveis, se aquece e ascende, retornando por camadas mais altas da atmosfera para o continente, onde se resfria e desce, fechando a circulação (Stull, 1994), conforme mostrado na FIGURA 4.35. Nota-se a ocorrência desta brisa nos campos do período noturno e início da manhã, como mostram as FIGURAS 4.29, 4.30 e 4.31.



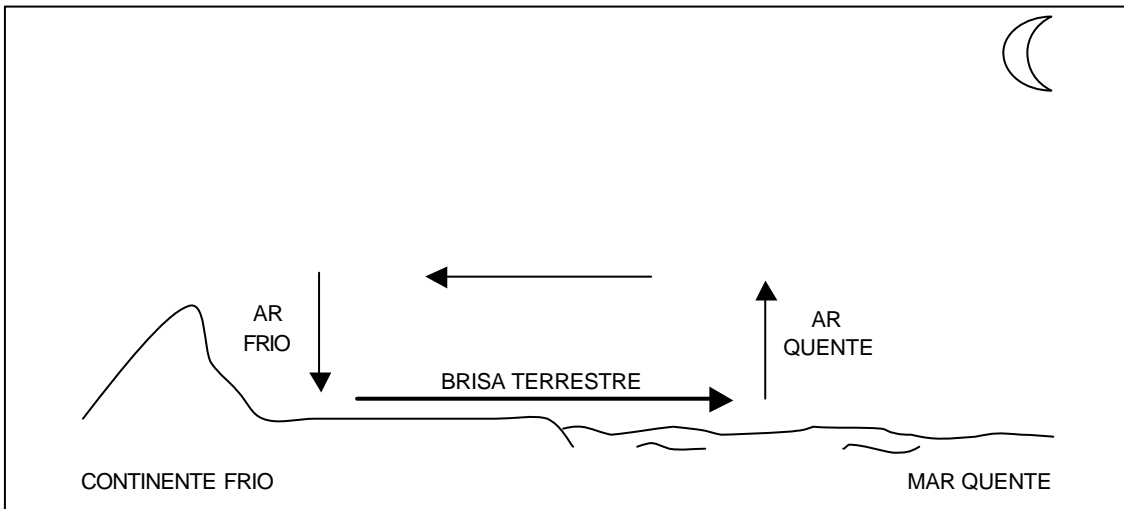


FIGURA 4.35 – Circulação idealizada da brisa terrestre.

Analogamente, ocorrem as brisas de vale e de montanha, que também são causadas por um contraste térmico e barométrico, existente entre o vale e a parte alta das montanhas. Pela manhã, as áreas mais elevadas das encostas são aquecidas pela radiação solar mais rapidamente do que o vale. Isto faz com que o ar em contato com elas se torne quente e menos denso, em relação ao situado sobre o vale, resultando numa área de baixa pressão que provoca a subida do ar adjacente às encostas. Este movimento do ar encosta acima – conhecido como brisa de vale – força, ainda, o desenvolvimento de um outro, descendente, sobre o centro do vale (Molion, 1980), como ilustrado na FIGURA 4.36.

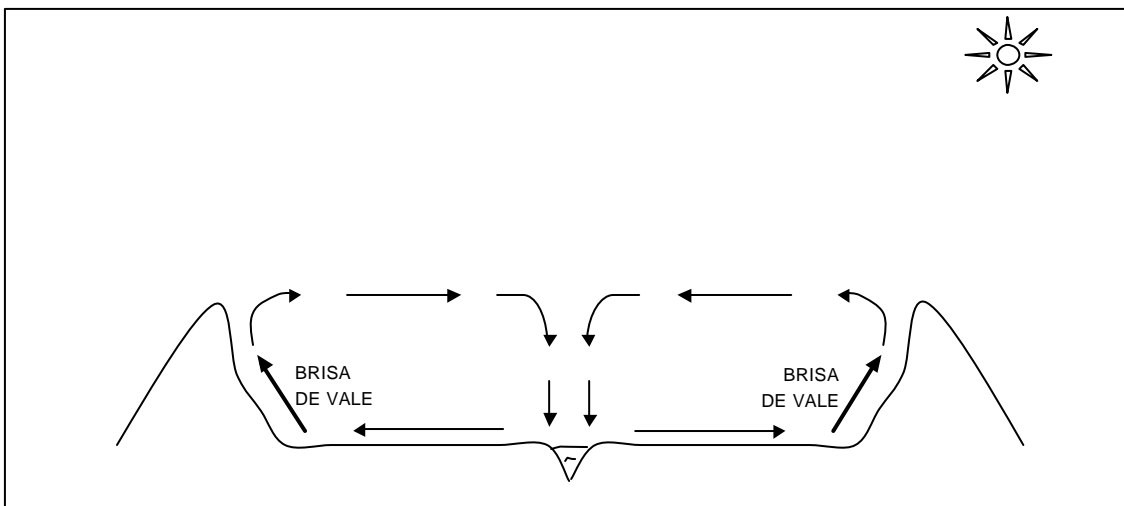


FIGURA 4.36 – Circulação idealizada da brisa de vale.

Esta brisa pode ser observada principalmente nos campos das 15Z às 20Z. A sua ocorrência no vale do rio Paraíba do Sul, em especial, é evidenciada no período das 15Z às 17Z, se enfraquecendo logo após com o aumento da intensidade dos ventos predominantes de SE, como mostra a FIGURA 4.32.

Por outro lado, a brisa de montanha (FIGURA 4.37) advém ao entardecer, em virtude do resfriamento radiativo das encostas das montanhas, que se dá de forma mais rápida do que no fundo do vale, fazendo com que o ar próximo à superfície destas encostas se torne mais frio e denso e a circulação se inverta. Ocorrem, assim, ventos descendentes em direção ao vale, que podem ser visualizados principalmente nos campos das 22Z às 10Z (FIGURAS 4.34 a 4.36). Enquanto que sobre o vale há uma circulação de retorno, que movimenta o ar em níveis mais altos da atmosfera em direção às encostas das montanhas (Stull, 1994).

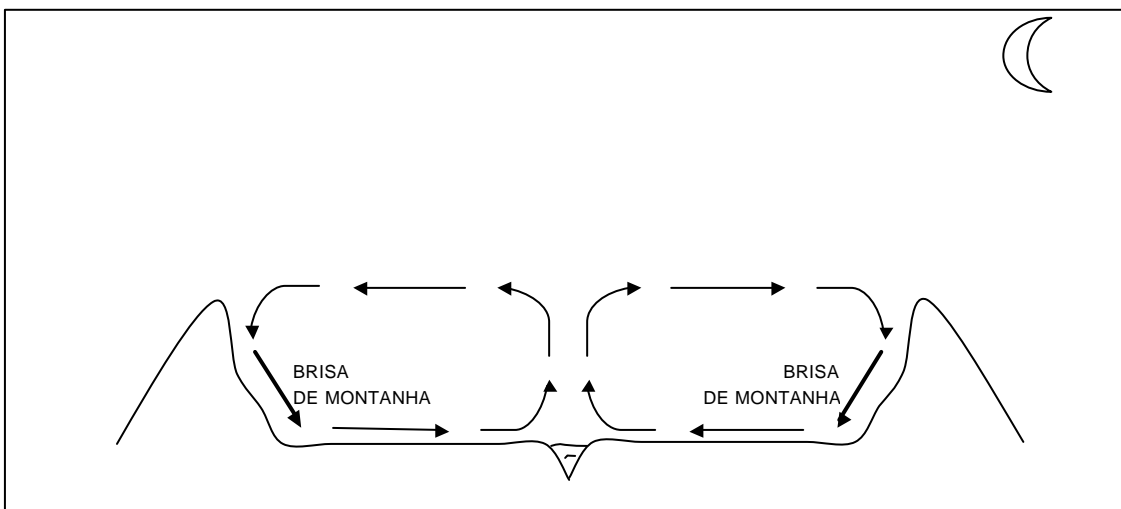


FIGURA 4.37 – Circulação idealizada da brisa de montanha.

O movimento dos ventos encosta abaixo provoca um acúmulo de ar mais frio e denso nas camadas atmosféricas inferiores do vale, ao mesmo tempo em que o ar mais quente é transportado para níveis superiores. Isto favorece o aumento da estabilidade, a qual tende a inibir os movimentos verticais na atmosfera, causando uma inversão, que pode dificultar a dispersão de poluentes e elevar a sua concentração nesta localidade (Molion, 1980; Stull, 1994). Este fenômeno acontece principalmente no inverno, quando

predominam as situações de ventos fracos e calmaria, ideais para a ocorrência de circulações locais como esta.

Além disso, a ocorrência constante de nevoeiros densos no início da manhã, nesta época do ano, é capaz de agravar esta situação, na medida em que seu topo pode coincidir com o topo da inversão noturna, fazendo refletir boa parte da radiação solar que contribuiria para o enfraquecimento desta inversão, retardando este processo.

Observa-se, também, a aceleração do escoamento dos ventos sobre o topo das montanhas, evidenciada na Serra da Mantiqueira (FIGURAS 4.29 a 4.33). Conforme mostrado por Finnigan (2003), os ventos desaceleram ao se aproximarem da base da montanha, voltando a acelerar no topo, onde atingem a sua velocidade máxima, e desaceleram, posteriormente, na região localizada atrás da montanha. No período noturno e início da manhã, a sua velocidade é ainda maior em virtude do enfraquecimento da mistura turbulenta, responsável pela diminuição da sua intensidade. A mistura turbulenta ocorre devido ao aquecimento da superfície e conseqüente movimento ascendente do ar mais quente, das proximidades do solo em direção às camadas atmosféricas superiores, que causa turbilhões na atmosfera.

Os campos mostram, ainda, o escoamento dos ventos seguindo a orientação NE-SW do vale do rio Paraíba do Sul nas primeiras horas da manhã, sobretudo das 8Z às 12Z (FIGURA 4.31), também comprovando que a sua configuração está intimamente relacionada à topografia desta região.

Sendo assim, os campos de vento gerados a 48,8m da superfície mostram o importante papel da topografia da região na definição da circulação local, devido à boa parte do ciclo diurno do vento estar relacionada aos seus efeitos térmicos (associados às brisas de vale e de montanha) e mecânicos (dentre os quais se destacam a canalização dos ventos e a aceleração do escoamento sobre o cume das montanhas).

Vale destacar que as circulações locais também são reguladas pela circulação geral da atmosfera, que interage com elas e corresponde, assim, a um dos principais fatores formadores do clima de uma região. Nesse sentido, a sua manifestação foi possibilitada

essencialmente pela escolha de um período estável, com a predominância de dias claros, para a realização das simulações.

### **4.3.2 Contrastes entre as Décadas de 1970 e 2000**

Visando verificar as mudanças climáticas provocadas pelas modificações do uso e da cobertura da superfície na região de São José dos Campos, ao longo de trinta anos, observaram-se os gráficos das médias horárias, dos períodos diurno e noturno e de todo o período, elaborados a partir dos dados gerados pelas simulações com a cobertura da superfície da década de 1970 e a de 2004, além dos resultados das diferenças efetuadas entre estas médias. Para a discussão dos resultados foram enfocados os períodos compreendidos entre as 12:00 e 18:00 e 00:00 e 06:00 (hora local), por mostrarem melhor os contrastes que ocorrem entre o dia e a noite.

#### **4.3.2.1 Temperatura do Ar**

Para acompanhar as mudanças ocorridas com a temperatura, foram observadas as variáveis tempc, que mostra o seu comportamento a 48,8m da superfície, e tempc2m, representante desta a 2m da superfície.

A principal diferença observada, quando comparados os resultados dos dois Experimentos, corresponde à alteração da temperatura a 48,8m da superfície, de um período para o outro, sobre a área onde foi implantado o reservatório de Paraibuna e na sua redondeza, conforme mostram os campos das diferenças entre as médias das 12:00 às 18:00 e das 00:00 às 06:00 (hora local) e de todo o período (FIGURAS 4.38 e 4.39). No período da tarde, destaca-se o resfriamento sobre esta área. Enquanto que à noite ocorre o seu aquecimento. Nota-se também que as áreas vizinhas são influenciadas, sobretudo aquelas localizadas ao norte e a oeste desta represa. Isto ocorre porque os ventos dominantes que se deslocam sobre esta represa nestas direções captam dela calor e umidade, transportando-os para estas localidades.

De forma semelhante, acontece o resfriamento e aquecimento nos períodos vespertino e noturno, respectivamente, da área inundada pertencente à represa de Jundiáí e em seus arredores, como indicado nestes campos.

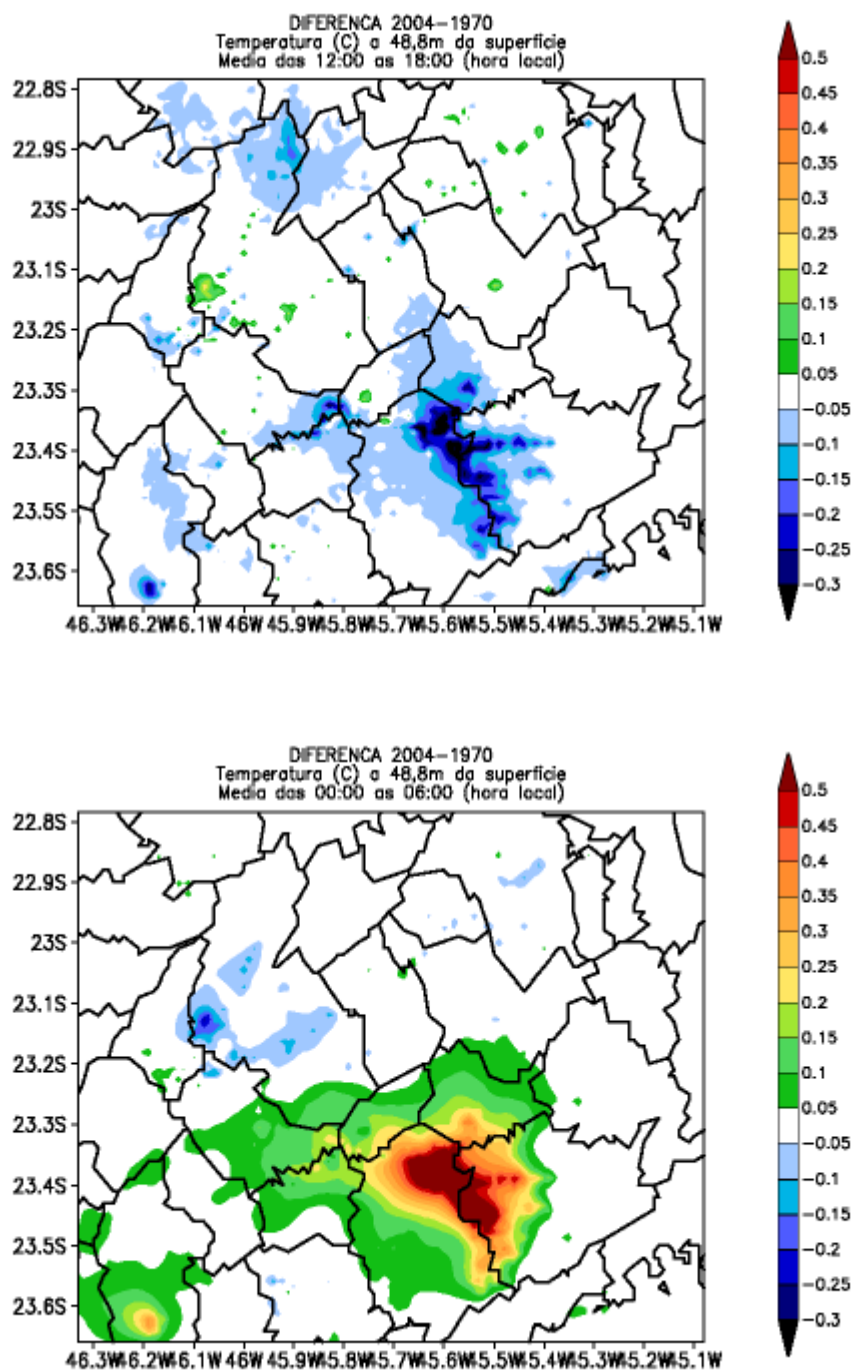


FIGURA 4.38 – Campos das diferenças entre as médias das 12:00 às 18:00 e das 00:00 às 06:00 (hora local) da temperatura, a 48,8m da superfície.

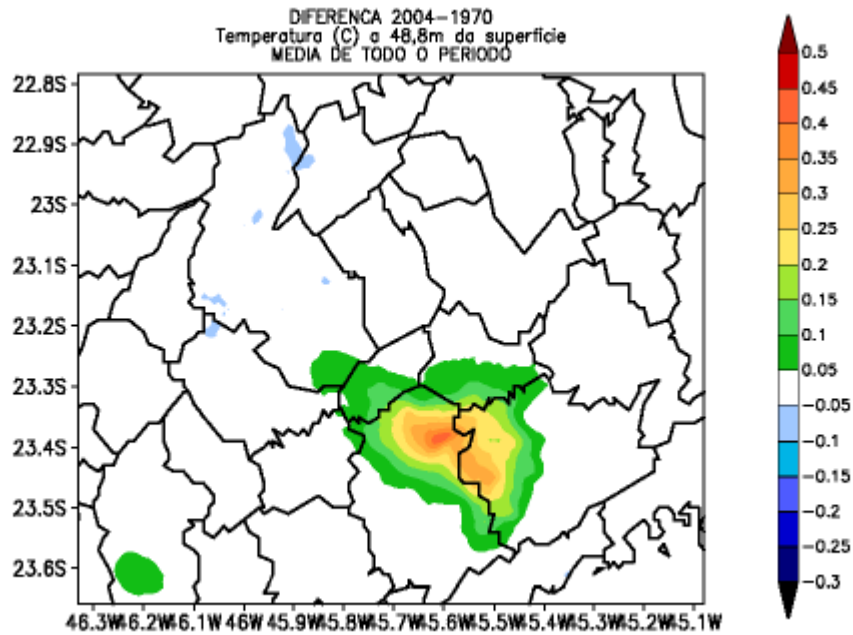


FIGURA 4.39 – Campo da diferença entre as médias de todo o período da temperatura, a 48,8m da superfície.

No município de São José dos Campos, em especial, estes campos apontam a ocorrência de um resfriamento no centro e a nordeste e de aquecimento na sua porção sul, de uma época para a outra. A diminuição dos valores da temperatura, no período diurno, está relacionada ao aumento da cobertura florestal nas proximidades da sua divisa com Monteiro Lobato, pois neste tipo de superfície grande parte da energia solar absorvida é utilizada nos processos de evaporação da água do solo e evapotranspiração da cobertura vegetal, causando um efeito de resfriamento (Cotton e Pielke, 1995). Enquanto que o resfriamento na várzea do rio Paraíba do Sul, no período noturno, se deve à diminuição de áreas úmidas neste local, pois na década de 1970, a quantidade de radiação absorvida na superfície era maior do que em 2004 por causa do albedo mais baixo do solo úmido, fazendo com que esta área se mantivesse aquecida por mais tempo. Esta mudança de cobertura resulta também na alteração do calor específico da superfície, o qual regula a sua amplitude térmica. O calor específico, ou a capacidade de calor específico, é a medida de energia necessária para aumentar a temperatura de uma quantidade específica de uma substância, sendo dependente de suas propriedades físicas. Assim, como o solo úmido possui maior quantidade de água e, conseqüentemente, maior calor específico, permanece mais aquecido à noite, ao contrário dos tipos de cobertura que o substituíram

(cultura/pastagem e urbana), que têm menor calor específico, favorecendo a ocorrência de alta amplitude térmica.

Observa-se, ainda, a influência do reservatório de Paraibuna no aquecimento do extremo sul do município, devido ao deslocamento do ar mais quente da represa pelos ventos, em direção a esta área.

Além disso, o crescimento da área urbana em São José dos Campos, que foi predominante em direção às zonas sul e leste, acarretou num incremento da temperatura do ar próximo à superfície na parte sul deste município, conforme exemplificado na FIGURA 4.40. A substituição de uma cobertura do tipo pastagem pela superfície urbanizada casou a elevação do fluxo de calor sensível nestas localidades e, conseqüentemente, da temperatura (FIGURA 4.41).

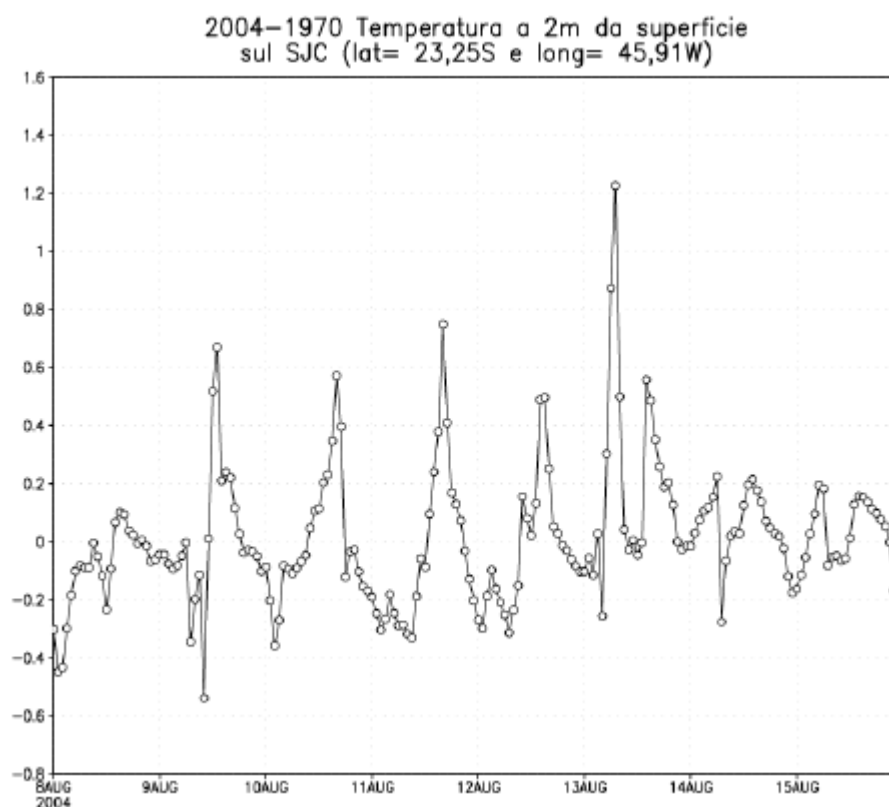


FIGURA 4.40 – Diferença entre os valores da temperatura (em °C), a 2m da superfície, dos Experimentos com a cobertura de 2004 e 1970, num ponto localizado na parte sul da cidade de São José dos Campos (na latitude 23,25S e longitude 45,91W).

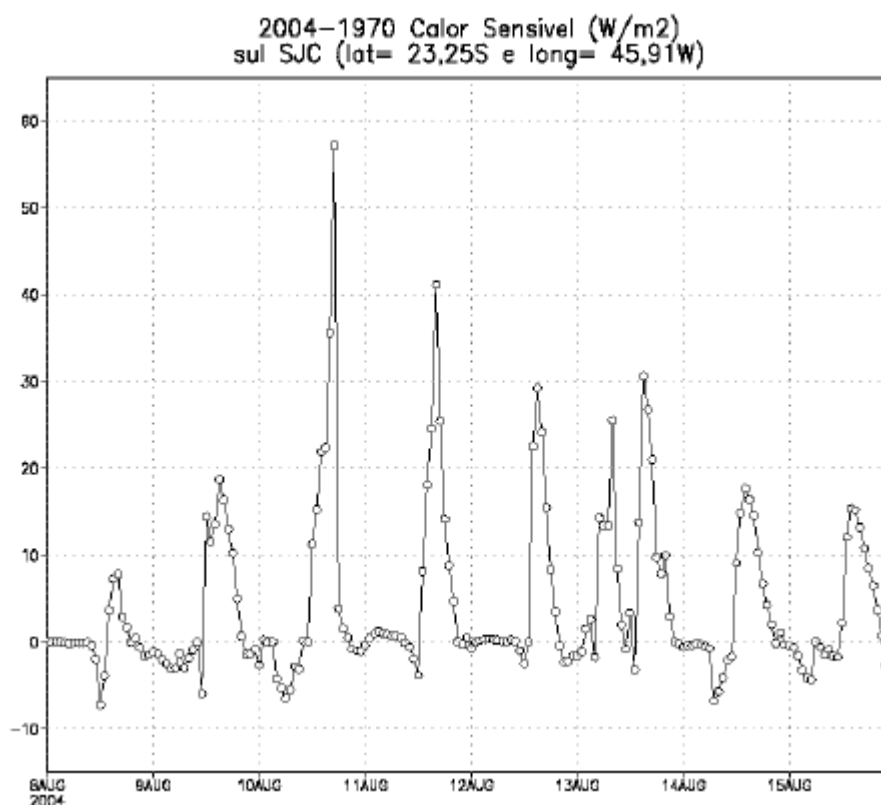


FIGURA 4.41 – Diferença entre os valores do fluxo de calor sensível ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), dos Experimentos com a cobertura de 2004 e 1970, num ponto localizado na parte sul da cidade de São José dos Campos (na latitude 23,25S e longitude 45,91W).

As diferenças entre os campos dos dois Experimentos da temperatura a 2m da superfície mostram, além da sua elevação nas áreas urbanas do vale do rio Paraíba do Sul de uma época para a outra, em virtude da sua expansão no decorrer destes trinta anos, o seu aumento em locais que se encontravam cobertos por solo exposto em 2004, como pode ser observado na FIGURA 4.42.

Estes gráficos mostram que ocorreu uma maior elevação da temperatura, de uma época para a outra, em áreas nas quais houve a substituição de cultura/pastagem ou terrenos úmidos por solo exposto (cujos acréscimos chegaram a quase  $3^\circ\text{C}$  e  $3,5^\circ\text{C}$ , respectivamente), em Pindamonhangaba, em relação à área onde a cobertura do tipo pastagem foi substituída pela superfície urbana, ao sul da cidade de São José dos Campos. Isto se deve ao fato de que a mudança das propriedades físicas da cobertura foi mais abrupta no primeiro caso, havendo uma modificação maior dos fluxos de energia em superfície, além de este ter ocorrido numa área mais quente do que São José.



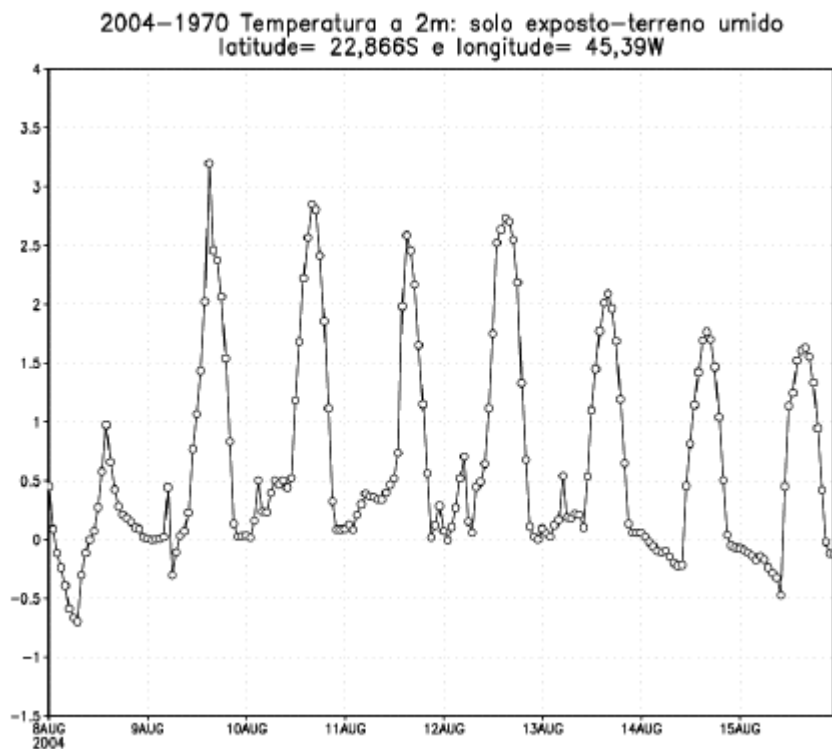
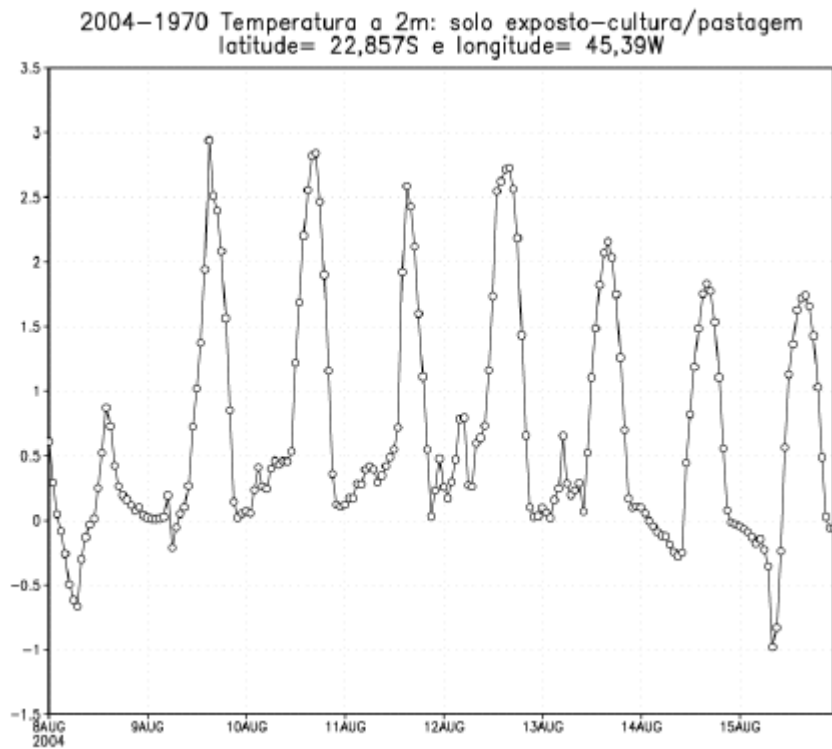


FIGURA 4.42 – Diferença entre os valores da temperatura (°C), a 2m da superfície, dos Experimentos com a cobertura de 2004 e 1970, em locais onde houve a substituição de cultura/pastagem e de terreno úmido por solo exposto, em Pindamonhangaba.

Sendo assim, verifica-se que a temperatura é, de fato, alterada por mudanças do uso e cobertura da superfície, como o aumento da área urbanizada, a construção de reservatórios e a alteração do tipo de cobertura vegetal, por exemplo.

Vale destacar, também, que a alteração nos valores desta variável resulta na modificação do comportamento de outras variáveis, como o vento e a energia cinética turbulenta, por exemplo. Assim, na parte da tarde, quando ocorreu o decréscimo da temperatura do ar sobre a área onde foi inserido o reservatório de Paraibuna, devido ao maior resfriamento do corpo d'água neste período, houve diminuição da turbulência do ar próximo à superfície, bem como subsidência dos ventos sobre a represa, conforme ilustrado nas FIGURAS 4.43 a 4.46.

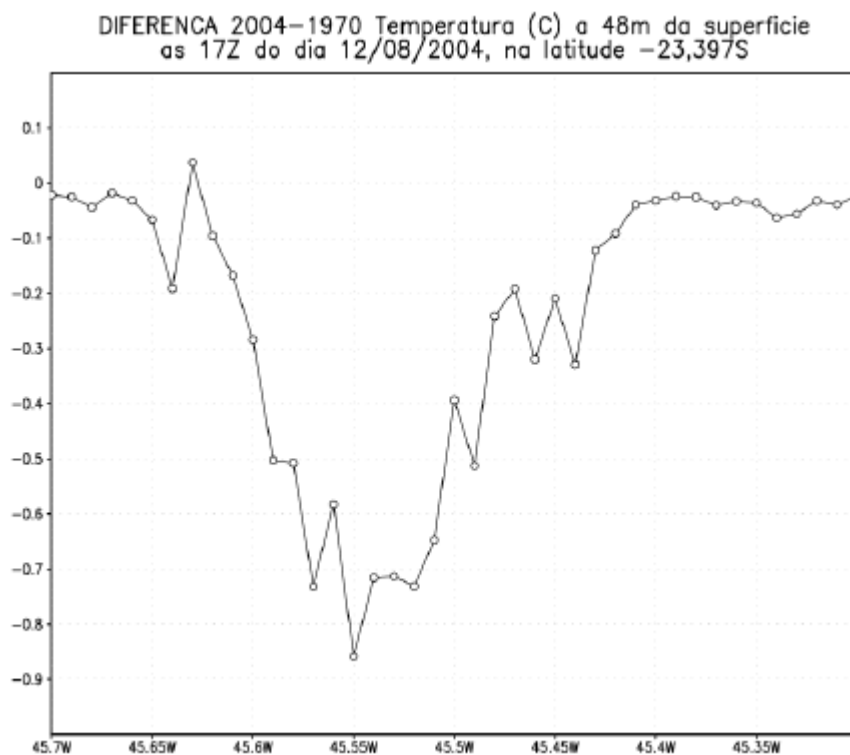


FIGURA 4.43 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando o decréscimo da temperatura (em °C), a 48,8m da superfície, na altura do reservatório de Paraibuna, às 17Z.

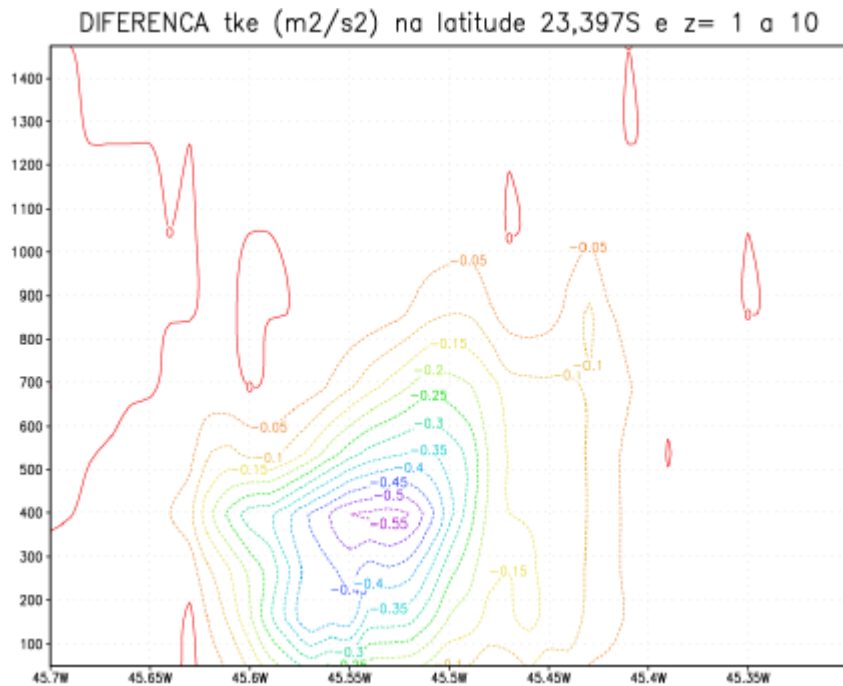


FIGURA 4.44 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando a diminuição dos valores da energia cinética turbulenta ( $m^2/s^2$ ), acima do reservatório de Paraibuna, às 17Z, sobretudo nos primeiros 1000 metros da atmosfera.

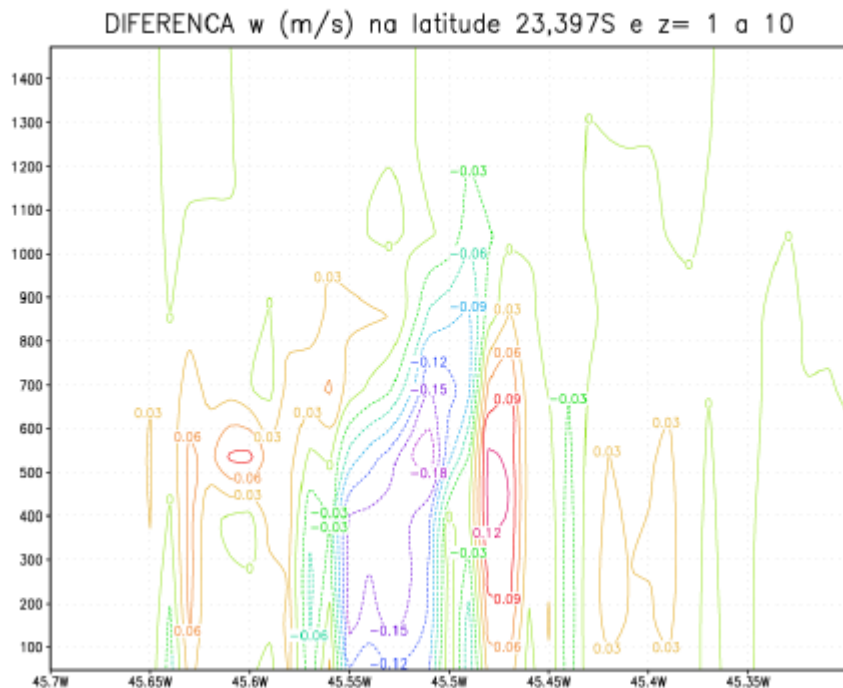


FIGURA 4.45 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando a diminuição dos valores do vento vertical (m/s), sobre o reservatório de Paraibuna, às 17Z, ou seja, a ocorrência de ventos descendentes neste local.

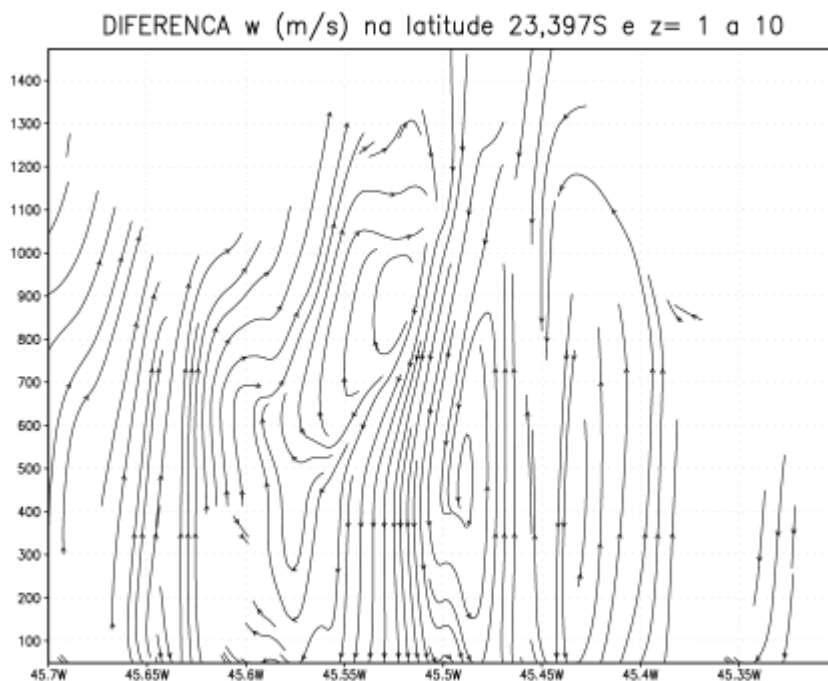


FIGURA 4.46 – Recorte na latitude 23,397S, mostrando a subsidência do vento vertical, sobre o reservatório de Paraibuna, às 17Z. Nota-se que este fenômeno foi mais intenso nos primeiros 1000 metros da atmosfera.

#### 4.3.2.2 Umidade Específica

Do mesmo modo, observa-se o aumento dos valores da umidade específica, de um período para o outro, nas próprias áreas onde houve a elevação de temperatura, relacionada à construção das represas de Jundiá e Paraibuna, como mostrado nos campos das diferenças entre as médias do período diurno, noturno e de todo o período desta variável, correspondentes à cobertura de cada período (FIGURAS 4.47 e 4.48). Este incremento é igualmente mais intenso no período noturno, durante o qual são apresentados valores superiores a 0,3 g/kg sobre área do reservatório de Paraibuna. Os campos também mostram o aumento de umidade na vizinhança à noroeste desta represa, inclusive no extremo sul do município de São José dos Campos, devido ao deslocamento de calor e umidade pelos ventos nesta direção.

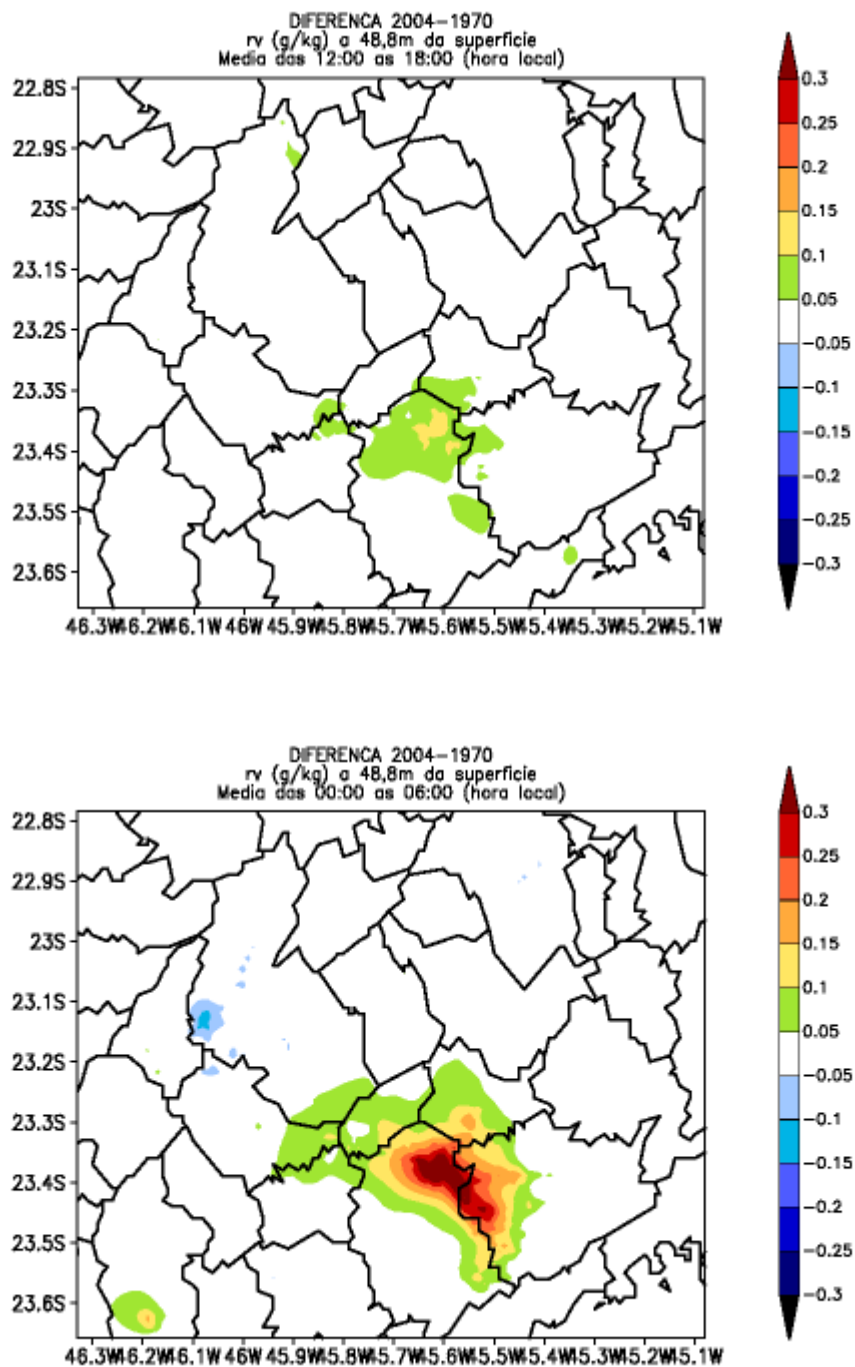


FIGURA 4.47 – Campos das diferenças entre as médias dos períodos da tarde e da noite da umidade específica, a 48,8m da superfície.

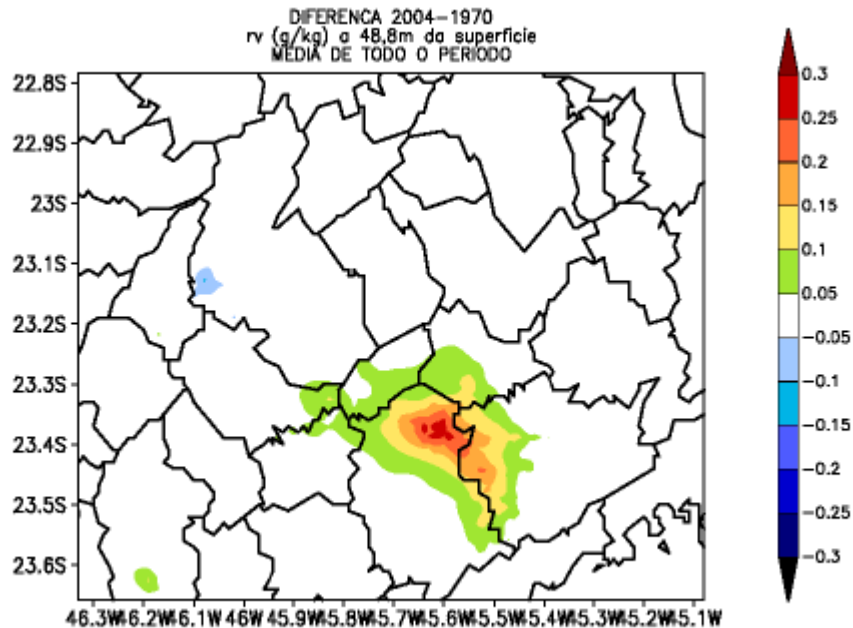


FIGURA 4.48 – Campo da diferença entre as médias de todo o período da umidade específica, a 48,8m da superfície.

Os campos das médias horárias evidenciam, ainda, seu aumento no período noturno e início da manhã nestas áreas, como ocorrido com a temperatura, no Experimento em que foi realizada a substituição da cobertura da superfície da década de 1970 pela de 2004. Isto explica a sua elevação ter sido mais marcante na diferença entre as médias do período noturno.

Além disso, nota-se nestes campos um incremento nos valores da umidade específica no interior do continente, em locais um pouco mais afastados das represas, na simulação com a cobertura do período mais recente, em relação à outra. Provavelmente, isto foi causado pela implantação dos reservatórios nas proximidades destas áreas, especialmente o de Paraibuna.

Dessa forma, os campos gerados para a umidade específica a 48,8m da superfície mostram, principalmente, alterações similares às aquelas ocorridas com a temperatura, também em decorrência da construção de novas represas na região.

### 4.3.2.3 Fluxo de Calor Sensível

O calor sensível ( $h$ ) é a parte da energia transferida quando há diferença de temperatura entre a superfície e o ar adjacente e transmitida para as camadas atmosféricas superiores por processo de convecção. Os maiores contrastes observados com relação a esta variável, comparando-se especialmente as médias dos períodos da tarde, da noite e de todo o período das duas simulações (FIGURAS 4.49 e 4.50), se referem ao aumento dos seus valores de uma época para a outra nas áreas onde houve aumento da urbanização e naquelas com solo exposto em 2004 e à diminuição destes nos terrenos cobertos pelos novos reservatórios.

Ao contrário do que ocorre durante o período diurno, no qual há um decréscimo dos seus valores em torno de  $-150\text{W/m}^2$  nos reservatórios de uma época para a outra (FIGURA 4.49), no período noturno o maior aumento dos valores de calor sensível é observado nestas superfícies inundadas (nas quais há um incremento de até  $60\text{W/m}^2$ ). Isto ocorre porque à noite e nas primeiras horas do dia são encontradas as médias mais altas desta variável sobre os corpos d'água, em virtude de seu resfriamento ocorrer de forma mais lenta em relação ao solo vizinho, conforme mostrado na FIGURA 4.50.

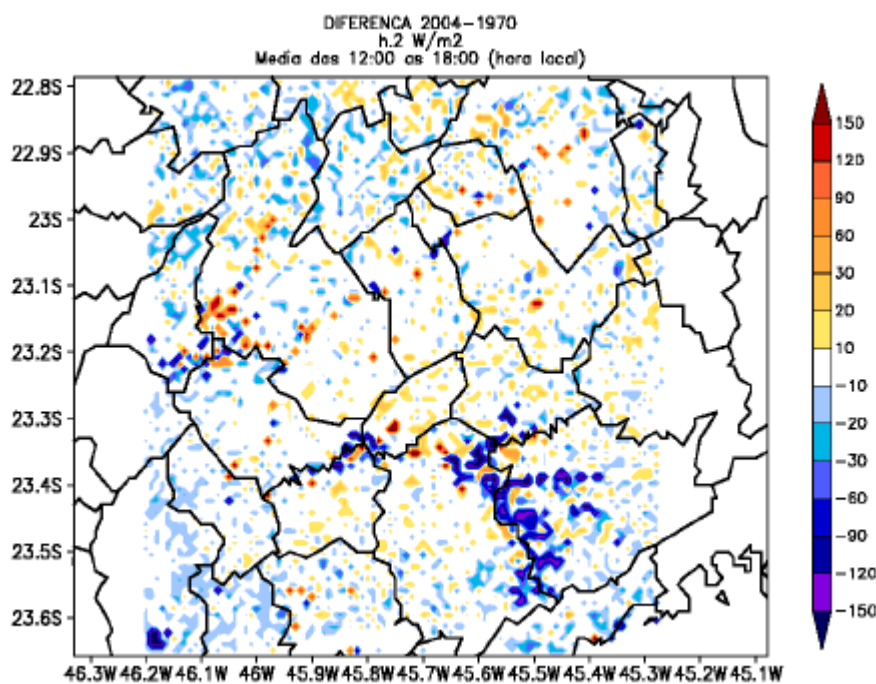


FIGURA 4.49 – Campo da diferença entre as médias do período vespertino do fluxo de calor sensível ( $\text{W/m}^2$ ).

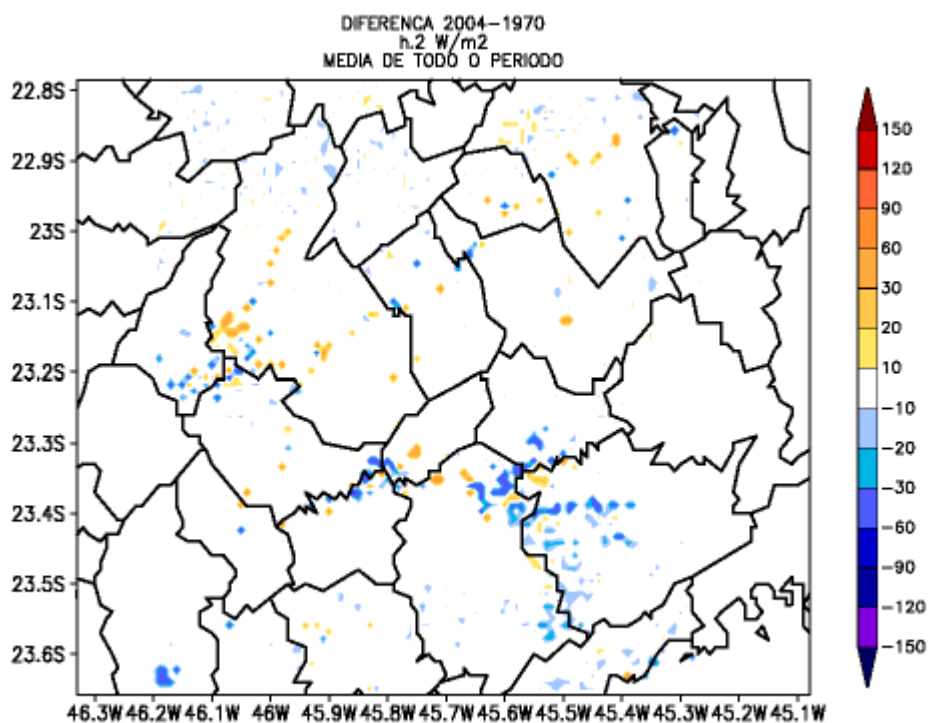
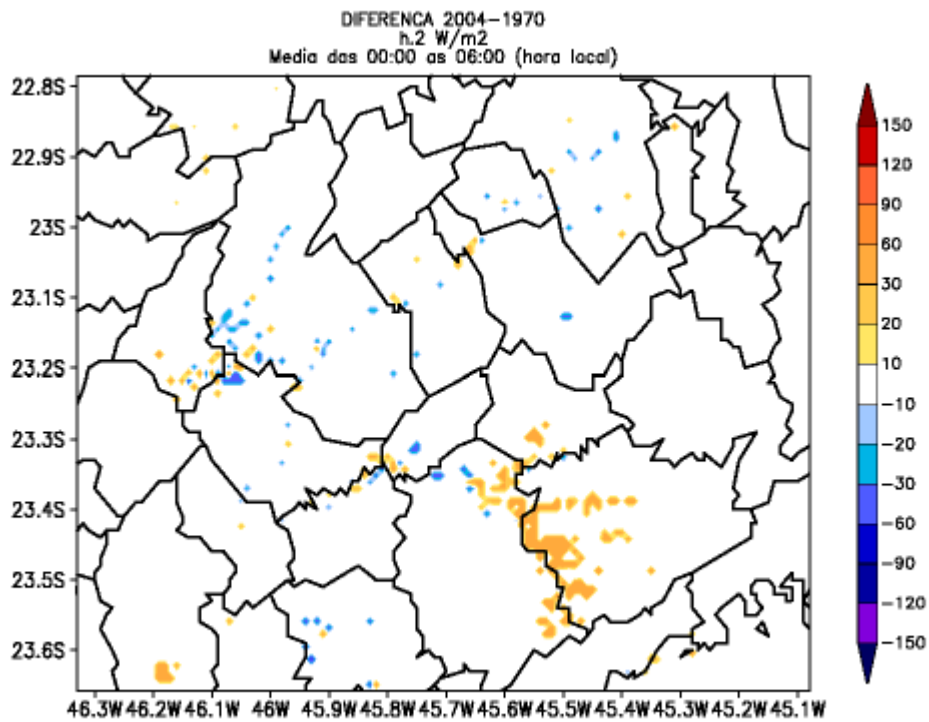


FIGURA 4.50 – Campos das diferenças entre as médias do período noturno e de todo o período do fluxo de calor sensível ( $W/m^2$ ).



Sendo assim, verifica-se que o calor sensível pode ser, também, alterado pelas modificações no uso e na cobertura da superfície, como o crescimento da área urbana, a implantação de reservatórios e a retirada da cobertura vegetal do solo, por exemplo.

#### 4.3.2.4 Fluxo de Calor Latente

Com relação às diferenças entre as médias dos dois Experimentos dos períodos diurno, noturno e do dia todo do calor latente ( $le$ ), que corresponde ao fluxo de energia gasto na evaporação e armazenado no vapor d'água das parcelas de ar, a principal delas diz respeito ao aumento dos seus valores nas áreas onde foram inseridos os novos reservatórios, sobretudo no período noturno. Isto ocorre porque sobre uma superfície líquida estes valores se apresentam elevados em virtude da alta disponibilidade hídrica para evaporação (FIGURAS 4.51 e 4.52).

Vale lembrar que o mesmo comportamento é verificado com relação à temperatura e à umidade específica, por exemplo. Como o calor latente pode ser influenciado pela temperatura, o aumento nos valores desta variável acarreta num incremento dos valores dele e, conseqüentemente, das médias da umidade específica neste local.

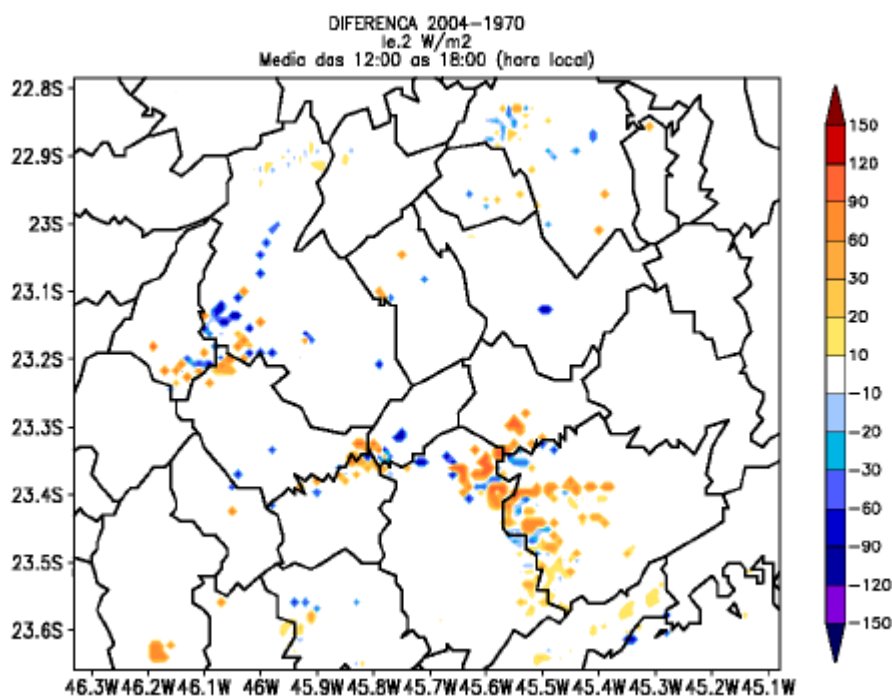


FIGURA 4.51 – Campo da diferença entre as médias do período vespertino do fluxo de calor latente ( $\text{W/m}^2$ ).

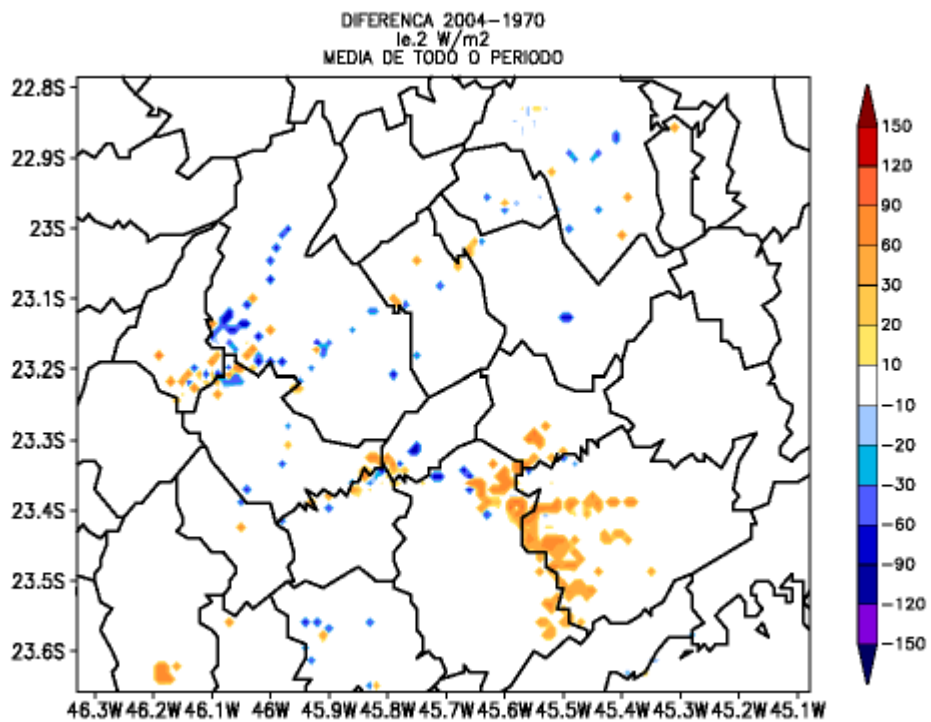
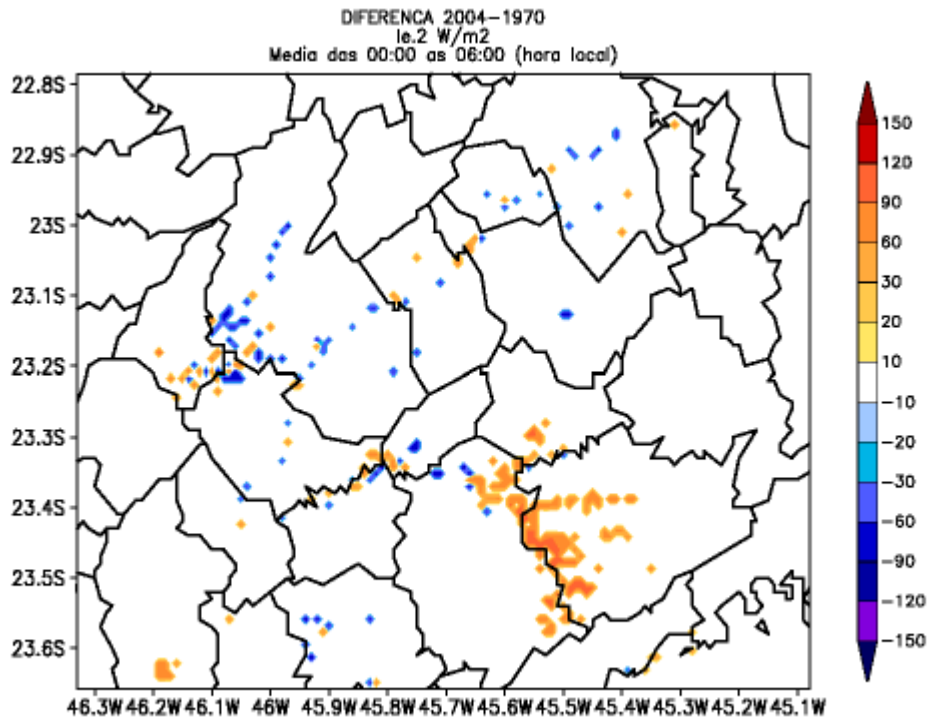


FIGURA 4.52 – Campos das diferenças entre as médias do período noturno e de todo o período do fluxo de calor latente (W/m<sup>2</sup>).

Nota-se, também, a sua elevação em áreas onde a cobertura florestal foi aumentada. Isto ocorre porque neste tipo de vegetação as plantas transpiram efetivamente, o que faz com que a maior parte da energia absorvida na superfície seja redistribuída através do fluxo de calor latente (Correia, 2001). Em contrapartida, é observada a diminuição dos seus valores nas áreas que passaram a ser cobertas com solo exposto em 2004, nas quais houve aumento de calor sensível.

Deste modo, os campos gerados para o calor latente mostram que mudanças no tipo de vegetação ou de solo, bem como a construção de reservatórios, podem causar alterações também no seu comportamento.

#### **4.3.2.5 Vento**

Com relação aos contrastes existentes entre os Experimentos realizados com a cobertura da década de 1970 e a de 2004, o principal deles refere-se ao aumento da velocidade do vento na área do reservatório de Paraibuna, especialmente à tarde, na simulação com a cobertura de 2004, conforme indicam os campos das diferenças entre as médias das 12:00 às 18:00 e das 00:00 às 06:00 (hora local) e de todo o período, ilustrados nas FIGURAS 4.53 e 4.54.

Uma das conseqüências do alagamento de uma extensão como esta é a alteração da rugosidade do solo. Esta mudança suaviza o terreno no qual foi implantado o reservatório, resultando no aumento da velocidade do vento próximo à superfície.

Além disso, a inundação desta área modifica a distribuição dos fluxos de energia em superfície, em virtude de alterações no albedo, na capacidade calorífica e na rugosidade do solo, por exemplo. A modificação da cobertura da terra faz com que as propriedades físicas das superfícies inundadas se tornem distintas daquelas das áreas não-inundadas, resultando em diferenças entre as trocas de energia destas superfícies com a atmosfera e, conseqüentemente, entre a temperatura do ar sobre a água e a temperatura do ar acima do terreno vizinho (Correia, 2001). Este aquecimento diferencial existente entre o corpo d'água e a porção continental no período noturno, causado pela maior capacidade de armazenamento de calor pelo primeiro, gera um gradiente de pressão que origina a uma

circulação forçada termicamente, na qual os ventos próximos à superfície são atraídos em direção à área de baixa pressão sobre o reservatório.

A diminuição da intensidade dos ventos sobre o reservatório, à noite, pode ser explicada pela mistura turbulenta do ar acima deste, provocada pelas maiores temperaturas do corpo d'água neste período. A mistura turbulenta ocorre devido ao movimento ascendente do ar mais quente, próximo à superfície, em direção às camadas atmosféricas superiores, que causa grandes turbilhões na atmosfera. Ela diminui a magnitude do vento nesta localidade por transportar para cima as parcelas de ar com menores velocidades horizontais.

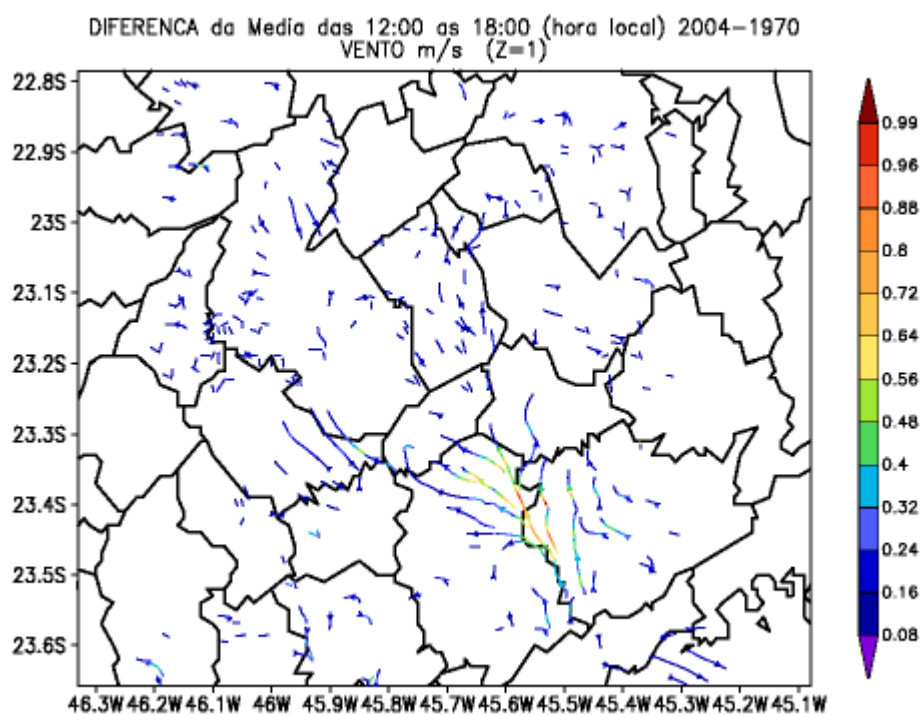


FIGURA 4.53 – Campo da diferença entre as médias das 12:00 às 18:00 (hora local) do vento (m/s), a 48,8m da superfície.

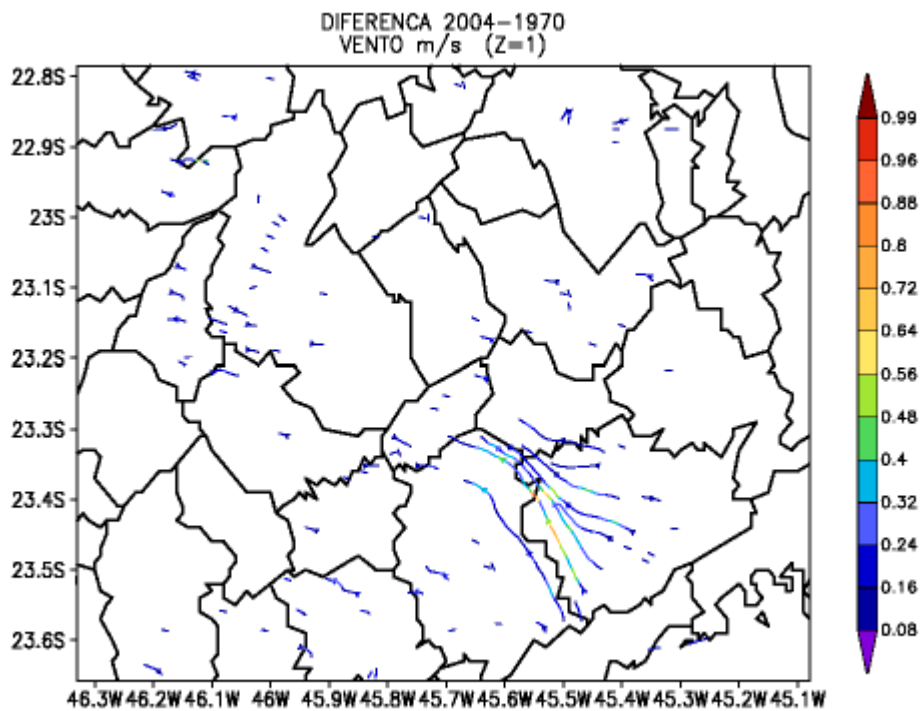
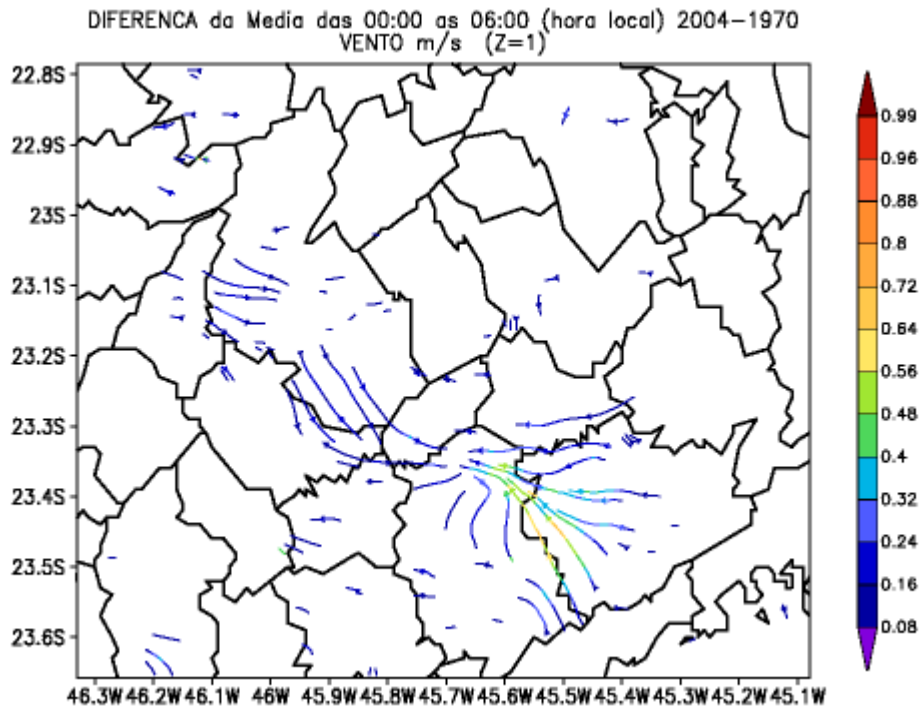


FIGURA 4.54 – Campos das diferenças entre as médias das 00:00 às 06:00 (hora local) e de todo o período do vento (m/s), a 48,8m da superfície.

Dessa forma, a comparação entre os campos de vento a 48,8m da superfície, das duas simulações, permite verificar que a criação de lagos artificiais pelo homem pode resultar, também, em impactos na circulação local.

Sendo assim, verifica-se que os maiores contrastes observados, quando comparados os resultados dos Experimentos com a cobertura da década de 1970 e de 2004, ocorreram nas áreas onde foram introduzidos os novos reservatórios. Isto se deve ao fato de que a inundação de grandes áreas antes cobertas por pastagem ou vegetação de maior porte mudou abruptamente os fluxos de energia, ao contrário do que foi observado em áreas onde houve crescimento urbano, por exemplo, em virtude do tipo de cobertura que havia antes nestas localidades: pastagem, principalmente.

Do mesmo modo que na etapa de detecção de mudanças, verifica-se a ocorrência de áreas de mudança climática em alguns locais nos quais não houve alterações significativas no decorrer destes trinta anos enfocados neste trabalho, como ao longo de rios e reservatórios já existentes na imagem de 1970. Isso pode ser explicado pela degradação das imagens classificadas dos dois períodos, com 80m de resolução espacial, para 1000 metros (sendo que a imagem de 2004 havia sido degradada, anteriormente, de 30m para 80m), que pode ter contribuído para o aparecimento de áreas de mudanças nas bordas de alguns elementos da paisagem.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES**

Os resultados abordados neste trabalho mostraram que as técnicas utilizadas de sensoriamento remoto e de modelagem climática constituíram-se como importantes ferramentas para o acompanhamento das transformações do uso e cobertura da terra, ocorridas na região de São José dos Campos entre as décadas de 1970 e 2000, e para a investigação dos seus impactos climáticos locais.

As imagens multitemporais dos satélites da série LANDSAT foram de grande utilidade para a detecção de mudanças na paisagem provocadas sobretudo pela ação antrópica no decorrer destes trinta anos, tais como o aumento de áreas urbanas, a construção de novos reservatórios e a modificação da cobertura vegetal, por exemplo, uma vez que a sua análise permitiu identificar as áreas que sofreram alterações e os tipos de variações, bem como quantificar a sua extensão.

De um modo geral, a metodologia utilizada para a realização das classificações destas imagens e da detecção de mudanças se mostrou satisfatória, na medida em que os resultados obtidos nesta etapa do trabalho atenderam aos objetivos propostos, pois permitiram identificar e espacializar as principais transformações ocorridas nesta localidade, ao longo do período em questão.

O emprego das imagens classificadas dos dois períodos na etapa de simulações climáticas, como fontes de informação para o modelo a respeito dos tipos de uso e cobertura da terra existentes em cada época na referida área, foi fundamental para a verificação das mudanças climáticas locais decorrentes de alterações na paisagem.

Da mesma forma, o uso do modelo BRAMS foi de grande importância para simular o comportamento da circulação atmosférica na região, nesta escala de análise, já que ele reproduziu bem as circulações locais termicamente induzidas, mostrando as dinâmicas das brisas marítima, terrestre e as de vale e montanha, além de ter permitido a

observação de características climáticas particulares a cada um dos cenários distintos apresentados, um com a cobertura da superfície da década de 1970 e outro com a de 2004.

Os resultados das simulações indicaram a alta sensibilidade do modelo aos diferentes elementos presentes na paisagem, pois o mesmo conseguiu simular a resposta da atmosfera aos vários tipos de superfície e, portanto, às mudanças na cobertura do solo.

As alterações climáticas nas áreas onde foram construídas as novas represas, como o aumento nos valores de temperatura, de umidade específica, de calor latente e na magnitude dos ventos, indicam a contribuição da implantação de reservatórios para a geração de microclimas na região.

Assim sendo, a comparação feita entre os campos gerados para as variáveis de ambos os Experimentos permitiu concluir que mudanças no uso e cobertura da terra, tais como as ocorridas na área analisada ao longo destes trinta anos, como o aumento da área urbanizada, a implantação de reservatórios e a alteração do tipo de cobertura vegetal, por exemplo, são capazes de modificar o clima numa escala local.

Deste modo, verifica-se a aplicabilidade de trabalhos como este, que utilizem conjuntamente produtos de sensoriamento remoto e de modelagem climática, na detecção e avaliação das mudanças de uso e cobertura da terra e análise de seus impactos no clima e, assim, na gestão e no planejamento urbano e regional.

## **5.1 Sugestões**

A fim de melhorar a qualidade das análises acerca das mudanças do uso e cobertura da terra, bem como das suas implicações climáticas, recomendam-se:

- A realização de mais trabalhos de campo, visando possibilitar que toda a paisagem estudada seja verificada *in locu*, para a obtenção de informações importantes a respeito da mesma, que permitam verificar quantitativamente a precisão das classificações;



- O uso de testes estatísticos para validar as classificações e, assim, constatar se as imagens classificadas geradas representam bem a realidade, empregando os dados colhidos nas idas a campo, além de fotografias aéreas e imagens de alta resolução espacial;
- A experimentação de outros métodos para a classificação das imagens multitemporais, a fim de se descobrir uma metodologia na qual este procedimento seja realizado com mais agilidade, através da redução do tempo gasto com a edição pós-classificação, por exemplo;
- A análise de outras variáveis simuladas pelo BRAMS e de suas relações com aquelas enfocadas no presente trabalho, assim como das interrelações entre os resultados obtidos pelas três grades do modelo, visando obter um diagnóstico mais completo das conseqüências climáticas destas transformações na paisagem;
- A realização de experimentos com dados de entrada do CPTEC correspondentes a outra estação do ano, como o verão, por exemplo, a fim de explorar a sensibilidade climática em outras estações e verificar as tendências de comportamento mostradas nos Experimentos realizados;
- O emprego de imagens termais, para a identificação e configuração de ilhas de calor;
- A utilização do modelo BRAMS com melhor resolução espacial, visando analisar com maior detalhamento os impactos climáticos decorrentes das modificações do uso e da cobertura da superfície;
- A aplicação de testes estatísticos com os resultados das simulações climáticas, para averiguar se as diferenças encontradas, quando comparados dois ou mais períodos distintos são significativas;
- E, ainda, a comparação dos resultados das simulações climáticas com dados observacionais coletados em postos de medição dos elementos meteorológicos, a fim de verificar a confiabilidade do produto gerado pelo modelo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, M. L. Uso de modelos de circulação geral da atmosfera para simular o clima e a variabilidade climática. In: Neto, J.L.S.; Zavatini, J. A. (orgs.) **Variabilidade e mudanças climáticas**: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. p. 83-93.

Acharya, R. Comparison of change detection techniques in Chitwan District of Nepal. In: Asian Conference on Remote Sensing, 23. (ACRS), 25 - 29 Nov 2002, Kathmandu, Nepal. **Proceedings...** Kathmandu: AARS/ACRS, 2002. p. 1-12. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/had/index.shtml>>. Acesso em: 10 fev. 2005.

Amarante, O. A. C.; Sá, A. L.; Brower, M.; Zack, J. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: Camargo Schubert e Truwind Solutions, 2001. p. 23-24.

Carrilho, J. M. Z. F. **Deteção de mudanças da cobertura do terreno em uma região de cerrado**. 1996. 110 p. (INPE-5979-TDI/575). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

Chase, T. N.; Pielke, R. A.; Kittel, T. G. F.; Baron, J. S.; Stohlgren, T. J. Potential impacts on Colorado Rocky Mountain weather due to land use changes on the adjacent Great Plains. **Journal of Geophysical Research**, v.104, n.D14, p.16.673-16.690, July 1999.

Conti, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: Neto, J.L.S.; Zavatini, J. A. (orgs.) **Variabilidade e mudanças climáticas**: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. p. 17-28.

Correia, M. F. **Impacto das ações antrópicas no clima do submédio do rio São Francisco: um estudo numérico e observacional**. 2001. 181p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Costa, S. M. F. da. **Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens TM-LANDSAT aplicadas à delimitação de áreas urbanas**. 1990. 110 p. (INPE-5071-TDL/410). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1990.

Cotton, W. R.; Pielke, R. A. **Human impacts on weather and climate**. New York: Cambridge University Press, 1995. 288p.

Cursino, C.; Matta, R. **São José Hoje**. São José dos Campos: JAC Editora, 2003. 74 p.

Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). **Sistema produtor Alto Tietê**. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br/altotiete/index.htm>> Acesso em: 3 abr. 2006.

Epiphanyo, J. C. N.; Vitorello, Í. **Áreas irrigadas: monitoramento por sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 1983. 20 p. (INPE-2852-PRE/392).

Escada, M. I. S. **Evolução de padrões da terra na região centro-norte de Rondônia**. 2003. 264 p. (INPE-10209-TDI/899). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Finnigan, J. J. Boundary Layers/Complex Terrain. In: Holton, J. R.; Curry, J. A.; Pyle J. A. (ed.) **Encyclopedia of Atmospheric Sciences**. London: Academic Press, 2003. p. 234-244.

Fisch, G.; Lean, J.; Wright, I. R.; Nobre, C. A. Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região amazônica: estudo de um caso em Rondônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 12, n. 1, p. 33-48, 1997.

Franchi, J. G. **Aplicação de turfa na recuperação de solos degradados pela mineração de areia**. 2000. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

França, D. A.; Ferreira, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3017-3023. CD-ROM.

Freitas, S. R. **Modelagem numérica do transporte e das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas no cerrado e floresta tropical da América do Sul.** 1999. 204p. Tese (Doutorado em Física Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Freitas, S. R.; Longo, K.; Dias, M. A. S.; Dias, P. S.; Chatfield, R.; Prins, E.; Artaxo, P.; Grell, G.; Recuero, F. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. **Environmental Fluid Mechanics**, v.5, p.135-167, 2005.

Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE). **Memória das estatísticas demográficas.** Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/500anos>> Acesso em: 18 fev 2005.

Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE). **Perfil municipal.** Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil>> Acesso em: 10 jun 2006.

Gandu, A. W.; Cohen, J. C. P. Impacto do desmatamento na região leste da Amazônia: simulações climáticas com o modelo *RAMS* para o período menos chuvoso. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz de Iguaçu. **Anais...** Foz de Iguaçu, 2002. p. 1265-1272. CD-ROM.

Green, K.; Kempka, D.; Lackey, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.60, n.3, p.331-337, Mar. 1994.

Howarth, P. J.; Wickware, G. M. Procedures for change detection using Landsat digital data. **International Journal of Remote Sensing**, v.2, n.3, p.277-291, July-Sept. 1981.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro, 1992. 92p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Mapa de Uso da Terra**: atualização do uso da terra no município de São José dos Campos. SF-23-Y-D-II-1 MI-2769/1. São José dos Campos, 1987. Mapa Temático. Escala 1:100.000.

Jensen, J. R. Urban/suburban land use analysis. In: Colwell, R. N. ed. **Manual of remote sensing**. v. 2, Falls Church, VA: A. S. P., 1983. p. 1571-1666.

Justice, C.; Malingreau, J; Setzer, A. W. Satellite remote sensing of fires: potential and limitations. In: **Ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires**. John Wiley and Sons, 1993. p. 77-88. Publicado como: INPE-7607-PRE/3458.

Kronka, F. J. N. et al. **Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente / Instituto Florestal, 2005. 200 p.

Kurkdjian, M. L. N. O. et al. **Macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992. 176 p. (INPE-5381-PRP/165).

Lee, D. C. L.; Hernandez Filho, P.; Shimabukuro, Y. E. **Técnicas de detecção de mudanças no monitoramento de áreas reflorestadas utilizando dados TM/LANDSAT**. São José dos Campos: INPE, 1991. 33 p. (INPE-5230-RPE/645).

Lorena, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças**. 2001. 116p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

Mas, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.1, p.139-152, Jan. 1999.

Medeiros, J. S. **Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS LANDSAT**. 1987. 127p. (INPE-4123-TDL/262). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

Molion, L. C. B. **Considerações sobre a dispersão de poluentes atmosféricos no Médio Vale do Paraíba, com ênfase a Caçapava.** São José dos Campos: INPE, 1980. 24 p. (INPE-1890-RPE/233).

Montandon, L. V. D. **Vegetação e paisagem do bioma restinga.** Disponível em: <<http://www.casaecia.arq.br/restinga.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2006.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

Morelli, A. F. **Identificação e transformação das unidades da paisagem no município de São José dos Campos (SP) de 1500 a 2000.** 2002. 411p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

Oliveira, C. A. **Turfa de São José dos Campos:** estado de São Paulo. São Paulo: CPRM, 2001. 14 p.

Pereira, M. N.; Gonçalves, C. D. A. B.; Souza, I. M.; Garcia, S.; Portela, A. G.; Almeida, C. M.; Rosemback, R.; Florenzano, T. G. **Uso de imagens de satélite como subsídio ao estudo do processo de urbanização.** São José dos Campos: INPE, 2005. 39 p. (INPE-12912-RPQ/251). Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/rep-/sid.inpe.br/iris@1912/2005/09.29.12.22>>. Acesso em: 26 jan. 2006.

Perrella, A. C. F.; Sakuragi, J. Estudo do nevoeiro em São José dos Campos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 1998, Brasília/DF. **Anais...** Brasília/DF, 1998. CD-ROM.

Pinto, S. A. F.; Novo, E. M. L. M.; Chen, S. C.; Valério Filho, M.; Rosa, R.; Mendes, V. E.; Feitosa, L. C. **Relatório do projeto cadastramento de áreas irrigadas no estado de São Paulo, através de dados de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 1985. 22 p. (INPE-3543-RTR/077).

Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. **São José dos Campos III (SP)**. SF-23-Y-D-II-1-SO-D. São Paulo, 1978. 1 Carta Topográfica. Escala 1: 10.000.

Setzer, J. Zona climática Cwa do Vale do Paraíba. In:\_\_\_\_\_. **Contribuição para o estudo do clima do estado de São Paulo**. São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, 1946. 239 p. cap. 4, p. 71-91.

Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, June 1989.

Sousa, C. J. da S. Detecção de mudanças nas unidades territoriais básicas através da subtração de imagens-proporção de vegetação, solo e sombra. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2001. p. 1007-1015.

Stohlgren, T. J.; Chase, T. N.; Pielke, R. A.; Kittel, T. G. F.; Baron, J. S. Evidence that local land use practices influence regional climate, vegetation, and stream flow patterns in adjacent natural areas. **Global Change Biology**, v.4, n.5, p.495-504, June 1998.

Stull, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. 666p.

Tarifa, J. R. A análise topo e microclimática e o trabalho de campo: o caso de São José dos Campos. **Série Climatologia**. São Paulo: USP/Inst. de Geografia, n. 11, 1981. p. 1-25.

Tripoli, G. J.; Cotton, W. R. The Colorado State University three-dimensional cloud/mesoscale model. Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments, **J. Rech. Atmos.**, v. 16, n. 3, p. 185-219. 1982.

Vale Verde. **Caracterização do ambiente e roteiro histórico da urbanização e transformação da paisagem do Vale do Paraíba Paulista (1500-2000)**. São José dos Campos: Vale Verde, 2004. 124 p.



Valério Filho, M.; Queiroz Neto, J. P.; Koffler, N. F.; Nakashima, P.; Mattos, J. T.; Higa, N. T.; Carvalho, V. C. **Reconhecimento dos grandes domínios pedológicos da Bacia do Paraíba (parte ocidental) através de imagens LANDSAT**. São José dos Campos: INPE, 1979. 53 p. (INPE-1623-RPE/088).

Valério Filho, M.; Pinto, S. A. F.; Novo, E. M. L. M. **Identificação de áreas irrigadas através de imagens digitais TM/LANDSAT**. São José dos Campos: INPE, 1986. 15 p. (INPE-3919-PRE/954).

Walko R.; Band L.; Baron J.; Kittel F.; Lammers R.; Lee T.; Ojima D.; Pielke R.; Taylor C.; Tague C.; Tremback C.; Vidale P. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. **J. Appl. Meteorol.**, v. 39, n. 6, p. 931-944. 2000.



## APÊNDICE A

### CONDIÇÕES SINÓTICAS DO PERÍODO ESCOLHIDO PARA A AQUISIÇÃO DE DADOS DO NCEP DE 2004

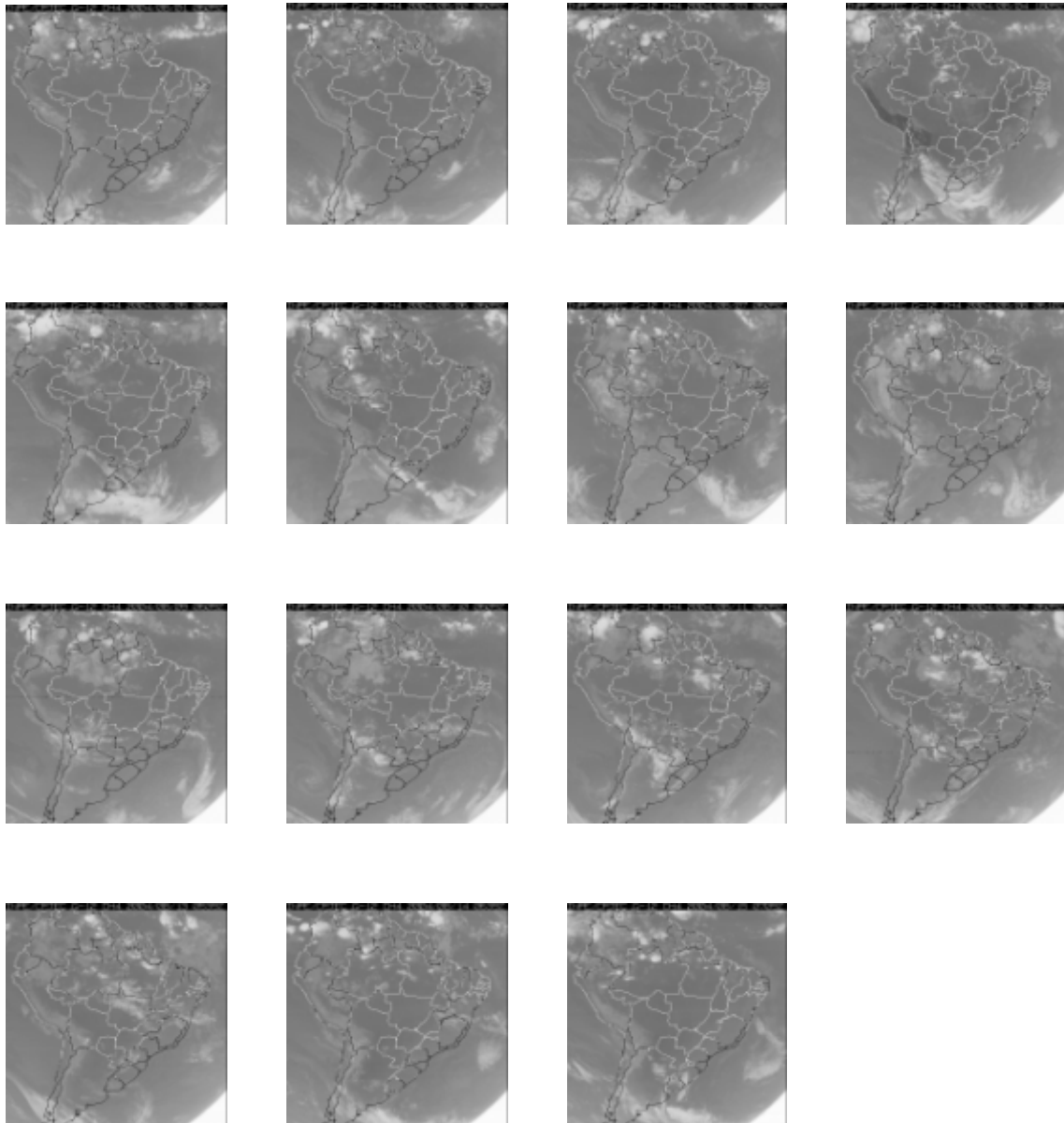


FIGURA A.1 – Imagens GOES-12 de 1/8/2004 a 15/8/2004.