

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Camila Tavares Homann

**Avaliação dos efeitos urbanos sobre circulações de mesoescala em função
da expansão territorial da Região Metropolitana de São Paulo**

São Paulo
2014

CAMILA TAVARES HOMANN

**Avaliação dos efeitos urbanos sobre circulações de mesoescala em função
da expansão territorial da Região Metropolitana de São Paulo**

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas como condição parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Meteorologia
Orientador: Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas

Versão corrigida. A original encontra-se disponível na unidade.

São Paulo

2014

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina feche e a peça termine sem aplausos.”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Ao meu computador, por nunca ter me deixado na mão! ☺

Ao meu orientador e amigo Edi, por ter me ajudado sempre ao longo da pesquisa e, principalmente, fora dela.

Aos colegas do MASTER (Jean, Bruno, Enzo, Andréia) e todos os outros que de alguma forma me ajudaram, seja científica ou psicologicamente.

Aos meus pais que apesar dos pesares muito se sacrificaram para que eu chegasse até aqui. Sou grata.

Aos meus amigos – extenso à minha irmã e sobrinha, que compreenderam com todo carinho meu afastamento e ausência.

Às amigas do Adote um Orelhudo SP por entenderem minha ausência muitas vezes.

Aos meus irmãos de quatro patas por me obrigarem a levantar nas muitas vezes que não tive vontade ao longo do processo.

Ao CNPQ por financiar essa pesquisa e me possibilitar essa grande experiência!

Gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIV
RESUMO.....	XVI
ABSTRACT	XVII
1. INTRODUÇÃO	18
1.1. RMSP	21
1.2. ILHA DE CALOR.....	24
1.3. BRISA MARÍTIMA	26
1.4. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	29
2. CONSTRUÇÃO DOS ARQUIVOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ..	30
2.1. LANDSAT.....	30
2.2. SPRING E ARCGIS	31
2.3. MANCHAS URBANAS UTILIZADAS.....	34
3. O MODELO WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (WRF)	37
3.1. DESCRIÇÃO DO MODELO	37
3.2. CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS.....	38
3.3. MÓDULO DE INTERAÇÃO SOLO-SUPERFÍCIE-ATMOSFERA	42
3.4. O MODELO DE DOSSEL URBANO UCM.....	43
4. CASOS SELECIONADOS.....	46
4.1. VERÃO	46
4.2. INVERNO.....	47
5. VALIDAÇÃO DO MODELO	50
5.1. INVERNO.....	52
5.1.1. RESULTADOS QUALITATIVOS	52
5.1.2. RESULTADOS QUANTITATIVOS	56
5.2. VERÃO	60
5.2.1. RESULTADOS QUALITATIVOS.....	60
5.2.2. RESULTADOS QUANTITATIVOS	64
6. TESTES DE SENSIBILIDADE SOBRE O IMPACTO DA URBANIZAÇÃO.....	67

6.1. URBANIZAÇÃO PASSADA	68
6.1.1. <i>INVERNO</i>	68
6.1.2. <i>VERÃO</i>	87
6.1.3. <i>CONCLUSÕES COMPARATIVAS DAS ESTAÇÕES - PASSADO</i>	105
6.2. CENÁRIO FUTURO	106
6.2.1. <i>INVERNO</i>	106
6.2.1.1 <i>CONCLUSÕES INVERNO - FUTURO</i>	114
6.2.2. <i>VERÃO</i>	115
6.2.2.1 <i>CONCLUSÕES VERÃO - FUTURO</i>	123
7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
ANEXOS.....	137
ANEXO A – LEGENDA IGBP 17 CATEGORIAS	138
ANEXO B – LEGENDA USGS 24 CATEGORIAS	139
ANEXO C – LEGENDA USGS 33 CATEGORIAS	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 População mundial de 1950-2100 de acordo com diferentes projeções. Fonte: World Popular Prospects: The 2012 Revision (2013).	18
Figura 1-2 Imagem do satélite Landsat destacando a porção urbanizada (rosa) de 2007 e os limites dos municípios que compõe a RMSP.	21
Figura 1-3. Precipitação mensal acumulada nos anos de 2007 (cinza) e 2008 (verde), normais (linhas preta e azul), e média climatológica (laranja). Fonte: Boletim Climatológico IAG (2008).	22
Figura 1-4 Temperatura média mensal acumulada nos anos de 2007 (cinza) e 2008 (verde), normais (linhas preta e azul), e média climatológica (laranja). Fonte: Boletim Climatológico IAG (2008).	22
Figura 1-5. Previsão da expansão da mancha urbana da RMSP para 2030 em amarelo. Fonte: adaptada de NOBRE et al. (2011)	23
Figura 1-6 Diferença de temperatura obtida de simulações com e sem cidade, demonstrando a semelhança entre os contornos de temperatura e aqueles geralmente observados em uma ilha oceânica. Fonte: Freitas e Silva Dias (2005).	24
Figura 1-7 Espacialização da temperatura de superfície e perfil térmico para RMSP. Fonte: adaptada de Teza e Batista (2005).	25
Figura 1-8 Esquema da circulação local gerada pela ilha de calor e linha de temperatura para diferentes ocupações do solo. Fonte: adaptada de Heat Island Group – Lawrence Berkley National Laboratory (http://heatland.lbl.gov).	26
Figura 1-9 Ilustração de Brisa marítima (a) e terrestre (b). Fonte: MetEd (www.meted.ucar.edu)	27
Figura 2-1 Banda 1 da imagem do satélite Landsat 5 realçada referente ao dia 16 de agosto de 2007.	31
Figura 2-2 Composição das bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat 5.	32

Figura 2-3 Imagem de satélite classificada de acordo com as categorias escolhidas (vermelho: urbano, azul: corpos hídricos, verde: vegetação, amarelo: solo exposto).....	33
Figura 2-4 Mesma figura anterior reamostrada de 30 m para 927 m.....	33
Figura 2-5 Seleção da categoria urbana.....	34
Figura 2-6 Arquivos de uso do solo inseridos no WRF sendo (a) def, (b) m07td, (c) m07, (d) 52, (e) SU, (f) m07tdu33 - a paleta de cores indica a classificação do USGS 24 classes (Anexo B) e não serve para (f).	36
Figura 3-1 Demonstração da coordenada vertical σ do modelo. Fonte: MetED (www.meted.ucar.edu)	38
Figura 3-2 Domínio de integração utilizado nas simulações ($D1=18\text{ km}$, $D2=6\text{ km}$, $D3=2\text{ km}$).	39
Figura 3-3 (a) Relação entre sigma/altura - nível/altura e (b) zoom nos 25 primeiros níveis verticais.....	40
Figura 3-4 Representação esquemática do modelo de uso do solo OSULSM. Fonte: Adaptada de Chen e Dudhia, 2001.	43
Figura 3-5 Esquema das considerações utilizadas no modelo de dossel urbano UCM. Fonte: Chen et al., 2004	44
Figura 4-1. Imagens do canal visível do satélite GOES-12 do dia 07 de março de 2007 às (a) 13:39Z, (b) 15:40Z, (c) 17:45Z, (d)19:40Z (Fonte: Laboratório MASTER, http://www.master.iag.usp.br)	46
Figura 4-2. (a) T, UR, PI,CO observados na estação Ibirapuera. (b) Direção e magnitude do vento observados na estação IAG-AF, para o dia 18/08/07 em UTC.....	48
Figura 4-3. Imagens do canal visível do satélite GOES-12 do dia 18 de agosto de 2007 às (a) 13:40Z, (b) 15:39Z, (c) 17:45Z, (d)19:10Z (Fonte: Laboratório MASTER, http://www.master.iag.usp.br)	49

- Figura 5-1. Localização das estações meteorológicas utilizadas nos diferentes tipos urbanos de m07tdu33 (comercial - 33, alta intensidade residencial - 32 e baixa intensidade residencial - 31).51
- Figura 5-2. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável temperatura, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07tdu24” e amarela à “m07tdu33”, para o inverno, em UTC.....53
- Figura 5-3. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável umidade relativa, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07tdu24” e amarela à “m07tdu33”, para o inverno, em UTC.....55
- Figura 5-4. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável temperatura, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07tdu24” e amarela à “m07tdu33”, para o verão.....61
- Figura 5-5. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável umidade relativa, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07tdu24” e amarela à “m07tdu33”, para o verão.....63
- Figura 6-1. (a) Manchas urbanas de 1952 e 2007, corte perpendicular e pontos de referência e (b) altura do relevo no corte em metros (a barra de cores indica as regiões do corte: azul para oceano, verde para vegetação, amarelo claro para a mancha de 1952 e amarelo escuro para 2007. O ponto central (p22) é demarcado pela cor vermelha).67
- Figura 6-2. Composição do vento horizontal no D3 às 19Z do dia 18/08 para a simulação sem urbanização (SU).....69

Figura 6-3. Mesmo que Figura 6-2 para a simulação 1952.....	70
Figura 6-4. Mesmo que Figura 6-2 para a simulação 2007.....	70
Figura 6-5. Do lado esquerdo, uma composição de razão de mistura (colorido) e vento a 10m (vetores) para as 19Z em SU (a), 1952 (c) e 2007 (e) e do lado direito somente a razão de mistura para as 20Z em cada uma das simulações (SU –b, 1952 – d, 2007 –f), para 18/08.....	71
Figura 6-6. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2007-SU, das 17 às 22Z do dia 18/08.	73
Figura 6-7. Campo de diferença de temperatura à 2m no D3 às (a) 16Z e às (b)22Z para 18/08.	74
Figura 6-8. Temperatura a 2m para cada simulação (SU, 1952 e 2007), no lado esquerdo às 15Z e no lado direito às 22Z para 18/08.	75
Figura 6-9. Diferença de precipitação acumulada entre (a) 1952 e SU e (b) 2007 e 1952 para o inverno.....	76
Figura 6-10. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa às 10Z para as simulações (a) SU, (b) 52 e (c) 07 para o inverno.	77
Figura 6-11. Mesmo que a Figura 6-10 para as 14Z.	79
Figura 6-12. Mesmo que a Figura 6-10 para às 17Z.	81
Figura 6-13. Mesmo que a Figura 6-10 para às 20Z.	83
Figura 6-14. Mesmo que a Figura 6-10 para às 21Z.	85
Figura 6-15. Composição do vento horizontal no D3 às 16Z do dia 07/03 para a simulação sem urbanização.	88
Figura 6-16. Mesmo que Figura 6-15 para a simulação de 1952.....	89
Figura 6-17. Mesmo que Figura 6-15 para a simulação de 2007.....	89
Figura 6-18. Do lado esquerdo, uma composição de razão de mistura (colorido) e vento a 10m (vetores) para as 19Z em SU (a), 1952 (c) e 2007 (e) e do lado direito a razão de mistura somente para as 20Z em cada uma das simulações (SU –b, 1952 – d, 2007 –f), para 07/03.....	90

Figura 6-19. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2007-SU, das 16 às 21Z do dia 07/03.	92
Figura 6-20. Campo de diferença de temperatura à 2m no D3 às (a) 14Z e (b) 01Z.	93
Figura 6-21. Temperatura a 2m para cada simulação (SU, 1952 e 2007), no lado esquerdo às 14Z e no lado direito às 01Z para 07/03.	94
Figura 6-22. Diferença de precipitação acumulada entre (a) 1952 e SU e (b) 2007 e 1952 para o verão.	95
Figura 6-23. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa às 11Z para as simulações (a) SU, (b) 52 e (c) 07 para o verão.....	96
Figura 6-24. Mesmo que a Figura 6-23 para às 14Z.	98
Figura 6-25. Mesmo que a Figura 6-23 para as 17Z.	100
Figura 6-26. Mesmo que a Figura 6-23 para as 19Z.	102
Figura 6-27. Projeção da mancha urbana para 2030, corte perpendicular e pontos de referência.	106
Figura 6-28. Composição do vento horizontal no D3 às 19Z do dia 18/08 para (a) simulação de 2030 e (b) 2007.	107
Figura 6-29. Razão de mistura as 20Z para as simulações (a) 2007 e (b) 2030 para 18/08.....	108
Figura 6-30. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2030-2007, das 19 às 22Z do dia 18/08.	109
Figura 6-31. Diferença de temperatura entre as simulações 2030 e 2007, para 18/08.....	110
Figura 6-32. Diferença de precipitação acumulada em (a)2030-2007, (b)2007-SU para o inverno.....	110
Figura 6-33. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa para a simulação m30 às (a) 10Z, (b) 14Z, (c) 17Z, (d)20Z e (e) 21Z para o inverno.	112

Figura 6-34. Composição do vento horizontal no D3 às 17Z do dia 07/03 para (a) simulação de 2030 e (b) 2007.	115
Figura 6-35. Razão de mistura as 17Z para as simulações (a) 2007 e (b) 2030 para 07/03.....	117
Figura 6-36. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2030-2007, das 16 às 21Z do dia 07/03.	117
Figura 6-37. Diferença de temperatura entre as simulações 2030 e 2007, para 07/03.....	119
Figura 6-38. Diferença de precipitação acumulada em (a)2030-2007, (b)2007-SU para o verão.	120
Figura 6-39. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa para a simulação m30 às (a) 11Z, (b) 14Z, (c) 16Z, (d)19Z para o verão.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parametrizações físicas utilizadas em cada uma das simulações realizadas.....	41
Tabela 2. Parâmetros utilizados pelo modelo de dossel urbano (UCM)	45
Tabela 3. Opções utilizadas em cada simulação teste	50
Tabela 4. Resultados quantitativos para a variável temperatura no inverno.	58
Tabela 5. Resultados quantitativos para a variável umidade relativa no inverno.	59
Tabela 6. Resultados quantitativos para a variável temperatura no verão.....	65
Tabela 7. Resultados quantitativos para a variável umidade relativa no verão. .	66

LISTA DE ABREVIATURAS

AF	Água Funda
ARW	<i>Advanced Research WRF</i>
BM	Brisa Marítima
BT	Brisa Terrestre
CAPS	<i>Center for Analysis and Prediction of Storms</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFSR	<i>Climate and Forecast System Reanalysis</i>
D1,D2,D3	Domínios de integração 1, 2 e 3, respectivamente.
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FSL	<i>Forecast System Laboratory</i>
HL	Hora Local
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Ilha de Calor
IGBP	<i>International Geosphere-Biosphere Programme</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMM	<i>Mesoscale and Microscale Meteorology</i>
MSSA	Modelo de interação solo-superfície-atmosfera
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NE	Nordeste
NMM	<i>Nonhydrostatic Mesoscale Model</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NW	Noroeste
OSULSM	<i>Oregon State University Land Surface Model</i>
PI	Partículas Inaláveis
PNQA	Padrão Nacional de Qualidade do Ar
R	Correlação
RE	Erro Médio

RMSE	Raiz do Erro Médio Quadrático
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
ROC	Radiação de Onda Curta
ROL	Radiação de Onda Longa
RRTM	<i>Rapid Radiative Transfer Model</i>
RRTMG	<i>Rapid Radiative Transfer Model for General circulation models</i>
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SE	Sudeste
SIG	Sistema de Informações Geográficas
T	Temperatura
UCM	<i>Urban Canopy Model</i>
UR	Umidade Relativa
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
USP	Universidade de São Paulo
WRF	<i>Weather Research & Forecasting</i>
WSM3	<i>WRF Single Moment</i>
YSU	<i>Yonsei University</i>

RESUMO

HOMANN, C. T. **Avaliação dos efeitos urbanos sobre circulações de mesoescala em função da expansão territorial da Região Metropolitana de São Paulo**. 2014. 141 f. Dissertação – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) conta com mais de 20 milhões de habitantes em 7958 km², o que a caracteriza como uma megacidade. Este fato ocasiona o efeito de ilha de calor que pode resultar em interações complexas com circulações de mesoescala, tais como a brisa marítima, podendo influenciar nos padrões de circulação local e afetar diretamente o tempo e o clima da região. Dessa forma, através da modelagem numérica com o modelo de mesoescala WRF este trabalho se propôs a analisar e avaliar os possíveis efeitos da expansão da mancha urbana - passada e futura - na modificação destes padrões em duas estações do ano de 2007: inverno (18/08) e verão (07/03). Para isto introduziu-se diferentes manchas urbanas no modelo, supondo nenhuma urbanização, urbanização observada em 1952 e em 2007, bem como uma suposta urbanização prevista para o ano de 2030. O acoplamento de um modelo de dossel urbano junto ao WRF também foi avaliado, e os resultados mostraram que para o inverno a inclusão do mesmo se mostrou dispensável, enquanto para o verão as simulações em que o módulo esteve ativo se mostraram mais coerentes à realidade. Para as duas estações observou-se a influência da expansão da mancha urbana nos eventos de brisa marítima, sendo que quanto maior a área urbanizada maior o tempo de deslocamento da frente de brisa continente adentro, podendo a diferença chegar a 2 horas. Diferenças na temperatura também puderam ser vistas, principalmente à noite no período de inverno, de forma que algumas regiões chegaram a apresentar 6 °C a mais em 2007. Observou-se uma frente de umidade acompanhando a frente de brisa marítima e quanto maior a urbanização, menor a quantidade de umidade associada, chegando a uma redução de 22% durante o inverno e de 33% durante o verão. No inverno não foram observadas grandes diferenças na precipitação, enquanto que no verão foram encontradas diferenças significativas em praticamente todo o domínio de simulação, chegando a 50 mm em determinadas regiões (a mais ou a menos). Tais diferenças na precipitação não se mostraram lineares com a expansão da mancha urbana. Cortes verticais não evidenciaram circulações bem definidas associadas à ilha de calor, nem para o inverno nem para o verão, no entanto, claramente pôde-se observar a influência que a expansão urbana tem sobre os episódios de brisa marítima, em quaisquer das variáveis meteorológicas analisadas.

Palavras chave: RMSP, ilha de calor, brisa marítima, WRF, expansão urbana.

ABSTRACT

HOMANN, C. T. **Evaluation of urban effects on mesoscale circulations due to the territorial expansion of the Metropolitan Area of São Paulo.** 2014. 141 f. Dissertation - Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo.

The Metropolitan Area of São Paulo (MASP) has over 20 million inhabitants over a 7958 km² area, which characterizes a megacity. This fact causes the heat island effect that can result in complex interactions with mesoscale circulations such as the sea breeze and can influence the local circulation and directly affect the weather and climate of the region. Therefore, through numerical modeling of the atmosphere using the WRF mesoscale model this work analyses and evaluates the possible effects of urban expansion - past and future – on the modification of these patterns in two days representatives of the winter and summer (18/08 and 07/03, respectively). For that purpose we introduced different types of urban areas in the model, assuming no urbanization, using the urbanization observed in 1952 and 2007 as well as a hypothetical urbanization numerically predicted for the year of 2030. The coupling of an urban canopy model (UCM) along with WRF was also evaluated and the results showed that the inclusion of UCM proved to be unnecessary during wintertime. However, in the summer, the simulations where the module was activated were more consistent with reality. For the two seasons we observed the influence of urban expansion in the events of sea breeze, and the higher the urbanized area more increased was the travel time of the sea breeze front inland, being the time difference as high as 2 hours. Differences in temperature were also observed, especially at night in the winter, so that some regions were as high as 6 °C hotter in 2007. A moisture front accompanying the sea breeze front and the higher the urbanization the lower the amount of moisture associated, reaching a reduction of 22% during winter and 33% during the summer. During the winter no major differences were observed in precipitation, while in the summer significant differences were found almost over all simulation domain, reaching 50 mm in certain regions (positive or negative). Such differences in precipitation were not linear with the expansion of urban area. Vertical sections did not show well-defined circulations associated with urban heat island, neither for the winter nor for summer, however, we can clearly observe the influence that urban area extension has on episodes of sea breeze in any of the weather variables.

Keywords: MASP, urban heat island, sea breeze, WRF, urban expansion.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que nas últimas décadas houve o intenso crescimento populacional em todo o mundo, ocasionando que o número aproximado de 2,5 bilhões de habitantes nos anos de 1950 aumentasse para 7,2 bilhões em meados de 2012, conforme pode ser visto na Figura 1-1, divulgada pelas Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2013). Uma porcentagem progressivamente maior dessa população global vive em grandes aglomerados urbanos, denominados "megacidades" e, apesar de apresentar diferentes definições conforme o autor em questão, este termo "megacidade" vem sendo amplamente utilizado para denotar os grandes complexos urbanos.

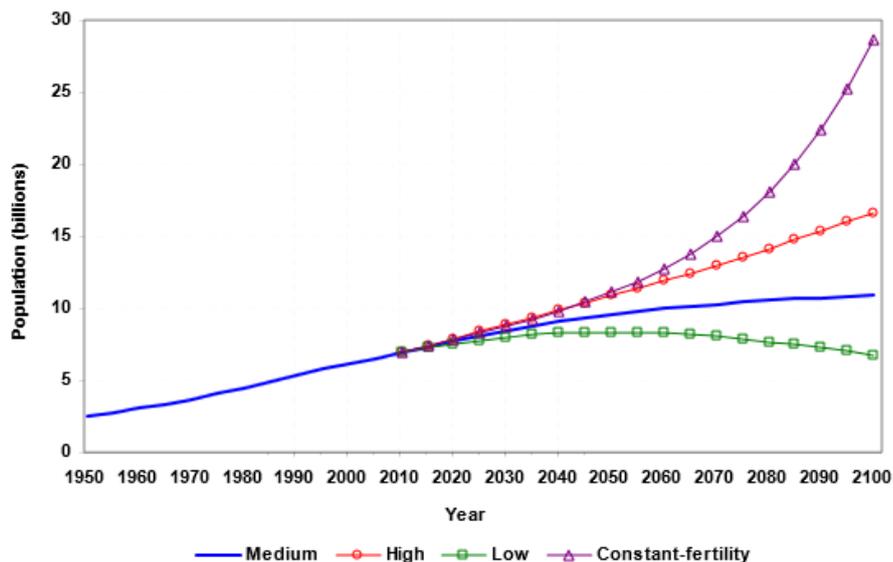


Figura 1-1 População mundial de 1950-2100 de acordo com diferentes projeções.
Fonte: World Popular Prospects: The 2012 Revision (2013).

Mazzoli (2013) adota o conceito de que megacidades podem ser definidas como áreas metropolitanas com uma população maior que 10 milhões de habitantes. Mertins (1992, citado em KRAAS, 2003) também se utilizava desta definição, e para outros autores o termo já seria utilizado para metrópoles com cerca de 8 milhões de habitantes (CHEN e HELIGMAN, 1994), ou ainda pela densidade populacional, como é o caso de Bronger (1996 a, 1996 b, citado em KRAAS, 2003) que estabelece um valor mínimo de 2000 pessoas/km².

No caso do Brasil, o censo do IBGE de 2010 (IBGE, 2010), apontou uma população formada por 190.732.694 pessoas, sendo que mais de 20% dessa população está concentrada no Estado de São Paulo (41.262.199 habitantes) e destes são estimados 19.700.000 na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), que possui uma área de aproximadamente 7958 km², ou seja, independentemente da definição escolhida para o termo, a RMSP é considerada uma megacidade.

De uma maneira geral as megacidades acabam de expandindo intensamente na vertical ao redor do maior centro urbano gerando um aprisionamento do ar no dossel urbano. Além disso, áreas verdes que seriam importantes para a regulação de temperatura e umidade na região são quase que inexistentes, e são nestas áreas mais urbanizadas que se encontram as grandes fontes poluidoras do ar que influenciam na qualidade do ar local (LAWRENCE et al., 2007), como por exemplo, o elevado número de indústrias e veículos. Todos estes fatores fazem com que o contraste de temperatura do grande centro urbano com as regiões adjacentes a este aumente, o que caracterizaria então uma Ilha de Calor Urbana.

Ilhas de Calor Urbana, ou simplesmente Ilha de Calor (IC), constituem um importante fator sobre as condições atmosféricas de uma região, já que as circulações locais geradas por estas podem interagir com outras circulações de mesoescala e modificar circulações de escala maior. Como exemplo, podemos citar as interações entre a IC e a Brisa Marítima (BM) em diferentes regiões do planeta (YOSHIKADO, 1992, 1994; HALLAK et al., 2004, FREITAS et al., 2007) e as condições observadas em escala sinótica durante eventos de forte precipitação ocasionados por sistemas frontais ou zonas de convergência, principalmente, durante o período de verão (COTTON E PIELKE, 1995; PEREIRA FILHO et al., 2002, 2004; FREITAS et al., 2009).

No caso da RMSP, essa interação entre a IC e a BM faz com que o período do verão, seja marcado pela ocorrência de diversas e severas tempestades. Pereira Filho et al. (2004) mostra que aproximadamente 67% dos casos de enchentes ocorridos entre 2002 e 2004 na RMSP, estão justamente associadas com esta

interação, já que estes sistemas ocorreriam em função do grande aquecimento gerado pela estrutura urbana e pelas emissões antropogênicas de calor (LOMBARDO, 1984; FREITAS, 2003; MARCIOTTO, 2008; MARCIOTTO et al., 2010; FREITAS et al., 2007, 2009; MORAIS, 2010; FERREIRA et al., 2011) associados com a umidade que acompanha a frente de brisa marítima (PEREIRA FILHO et al., 2002; FREITAS, 2003; FREITAS et al., 2007, 2009).

Durante as primeiras horas do período da manhã, momento em que ainda se observa uma camada de inversão muito próxima à superfície, o grande número de veículos que circula na RMSP, principalmente durante os dias de semana, pode provocar grandes congestionamentos, contribuindo para que as concentrações de poluentes ultrapassem os valores definidos pelo Padrão Nacional de Qualidade do Ar (PNQA). Em períodos do ano em que a energia solar é reduzida, como no inverno, esta situação pode ser ainda mais crítica, pois em geral o desenvolvimento da Camada Limite Planetária ao longo do dia é reduzido e existe pouca atividade convectiva ou influência significativa de sistemas frontais quando se considera o processo de dispersão de poluentes. Sendo assim, conforme apontado em Freitas (2003) e Freitas et al. (2007), circulações como a brisa marítima podem desempenhar papel de extrema importância na melhoria da qualidade do ar da região.

Apesar de vários estudos demonstrarem a interação entre IC e BM na RMSP, seja no período de verão favorecendo eventos severos de tempo, ou no inverno, favorecendo a dispersão de poluentes, ainda não se sabe qual o real efeito das dimensões da área urbana sobre essas interações. Deste modo, entender se estes favorecimentos já ocorriam quando a área urbana era menor, e qual seria o impacto se houvesse um aumento significativo da área urbana atual (conforme esperado para as próximas décadas), são questões que ainda necessitam de maiores esclarecimentos. Sendo assim, estudos observacionais e de modelagem numérica se fazem necessários para entender tais questões, sendo a abordagem numérica o foco principal desta pesquisa.

1.1. RMSP

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) está localizada no sudeste do Brasil, no estado de São Paulo, entre a Serra da Cantareira e a Serra do Mar. Situada a uma altitude média de 720 m e a aproximadamente 60 km de distância do oceano, a RMSP é integrada por 39 municípios, incluindo a cidade de São Paulo e conta com aproximadamente 50% de toda população do estado paulista, confinada em uma área aproximada de 7958 km², constituindo a maior área urbana do país e a sétima do mundo.

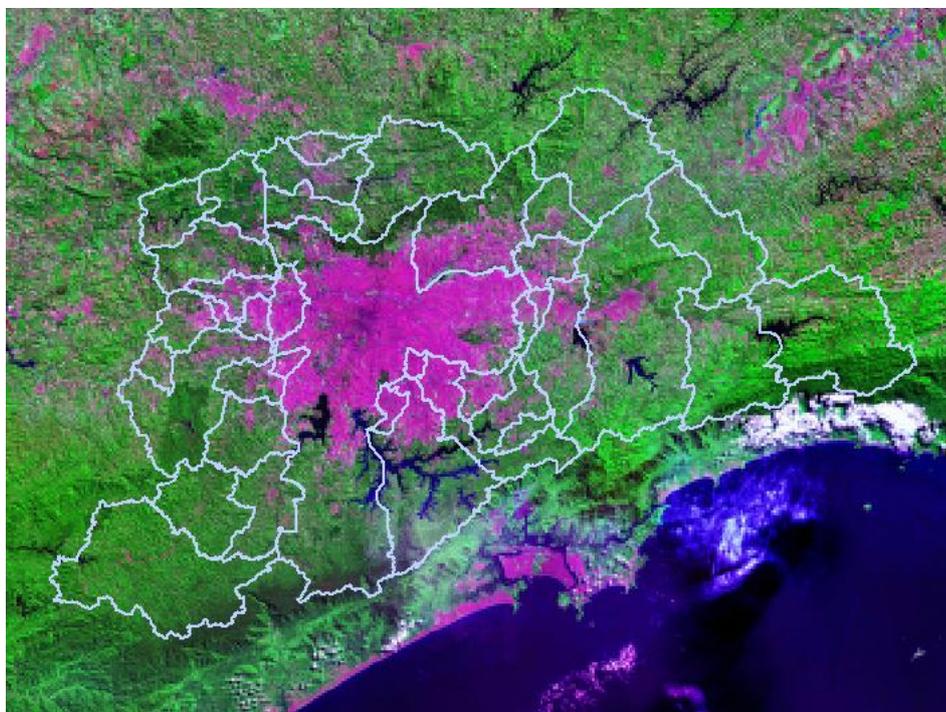


Figura 1-2 Imagem do satélite Landsat destacando a porção urbanizada (rosa) de 2007 e os limites dos municípios que compõe a RMSP.

Quanto às características meteorológicas, a região apresenta intensa sazonalidade no que se refere às estações de verão e inverno, sendo caracterizada por verões chuvosos e invernos tipicamente secos, conforme mostram as médias climatológicas no gráfico de precipitação na Figura 1-3, obtido do boletim climatológico da estação meteorológica da Água Funda do IAG-USP do ano de 2008.

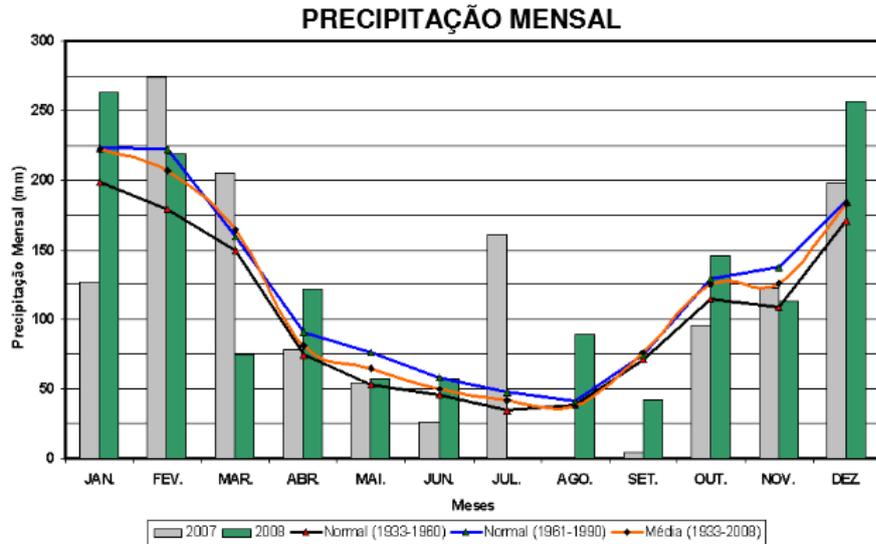


Figura 1-3. Precipitação mensal acumulada nos anos de 2007 (cinza) e 2008 (verde), normais (linhas preta e azul), e média climatológica (laranja). Fonte: Boletim Climatológico IAG (2008).

No caso da temperatura, também se observa o mesmo comportamento, sendo registrados os valores máximos nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, e os mínimos em junho, julho e agosto (Figura 1-4).

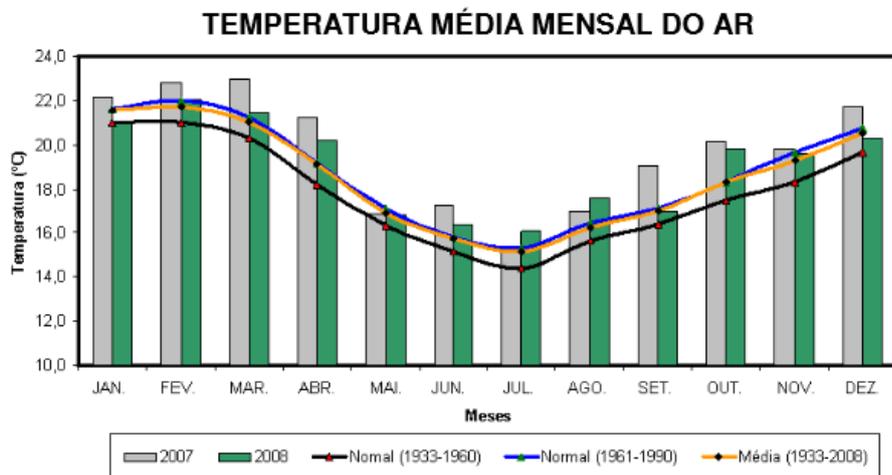


Figura 1-4 Temperatura média mensal acumulada nos anos de 2007 (cinza) e 2008 (verde), normais (linhas preta e azul), e média climatológica (laranja). Fonte: Boletim Climatológico IAG (2008).

Vemado (2012) ressalta que a RMSF é cercada de grandes represas, montanhas e florestas, além de ser uma grande Ilha de Calor. Sendo assim, a enorme diversidade em construções, topografia acidentada, heterogeneidade no uso do solo e a proximidade com o mar, fazem com que a dinâmica de circulação local se

torne extremamente complexa. Todos estes quesitos acabam por afetar os eventos meteorológicos ocorridos na região, de forma que estes acabam interagindo com a IC (HALLAK et al, 2004) no sentido de favorecer o aumento na intensidade dos mesmos, provocando vendavais, precipitação intensa e até granizo, causando frequentemente perdas humanas e materiais (PEREIRA FILHO et al, 2002). Além disso, Vemado (2012) ainda atenta para o fato de que as circulações de Brisa Marítima proporcionam a formação de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) sobre a RMSP, acarretando também enchentes e outros prejuízos.

Tendo em vista o crescimento futuro esperado para a mancha urbana da RMSP nos próximos anos, conforme Figura 1-5, e também cientes que as características da região afetam as circulações locais, torna-se indispensável o melhor conhecimento das mudanças nas interações entre BM e IC nas próximas décadas, pois desta forma é possível estudar maneiras de minimizar os efeitos negativos sobre a população como um todo, seja na melhoria da qualidade do ar, por exemplo, ou até mesmo na prevenção de vários acidentes causados por estes sistemas de tempo mais severos.

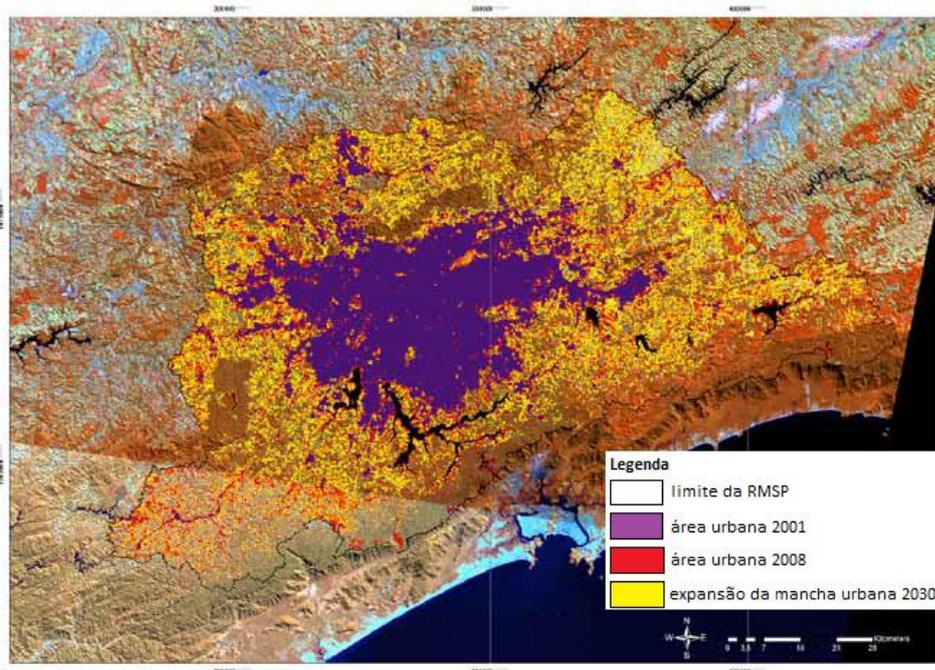


Figura 1-5. Previsão da expansão da mancha urbana da RMSP para 2030 em amarelo. Fonte: adaptada de NOBRE et al. (2011)

1.2. ILHA DE CALOR

Ilha de calor é o nome que se dá a regiões que possuem a temperatura maior que as áreas do entorno e possui este nome “ilha” devido à configuração das isotermas, que quando plotadas lembram as curvas de nível de uma ilha no mar. Na Figura 1-6 pode – se observar esta configuração sobre a RMSP.

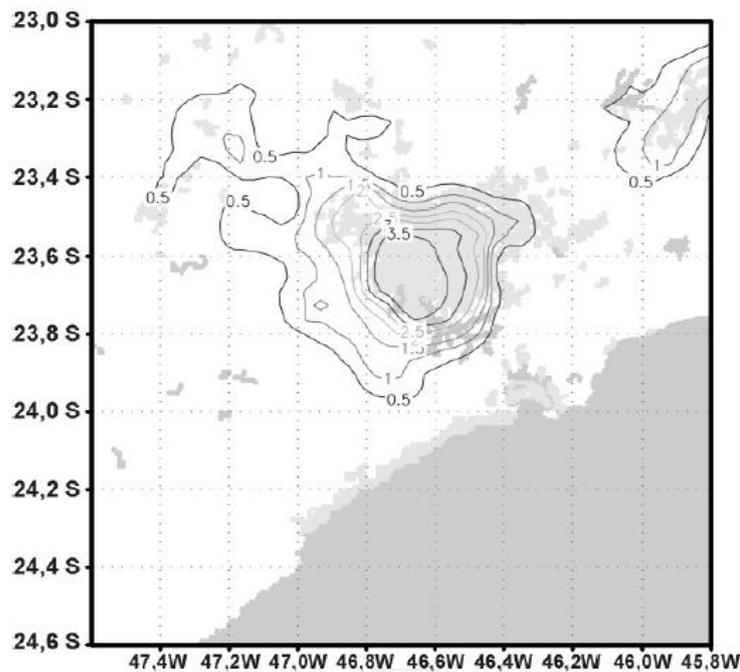


Figura 1-6 Diferença de temperatura obtida de simulações com e sem cidade, demonstrando a semelhança entre os contornos de temperatura e aqueles geralmente observados em uma ilha oceânica. Fonte: Freitas e Silva Dias (2005).

Uma IC está associada principalmente a grandes centros urbanos, pois nestes lugares a quantidade de fontes de calor é relativamente alta, ocasionando um maior contraste de temperatura entre o centro e as regiões adjacentes. No caso específico da Região Metropolitana de São Paulo, Teza e Baptista (2005), através do tratamento de imagens de satélite verificaram que o seu perfil térmico é típico de uma ilha de calor clássica, ou seja, possui as periferias mais frias que o centro, conforme pode ser visto na Figura 1-7.

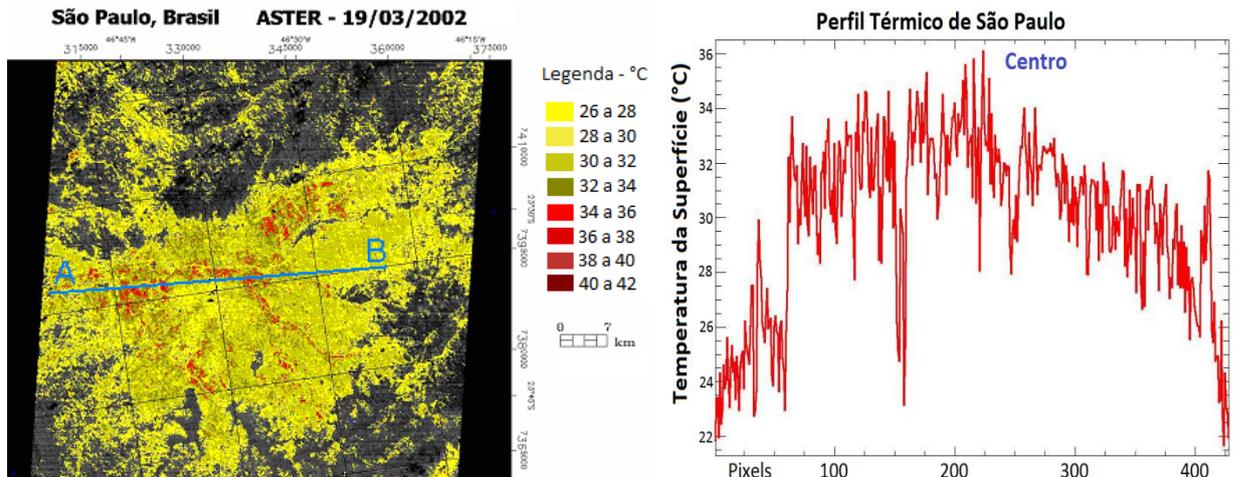


Figura 1-7 Espacialização da temperatura de superfície e perfil térmico para RMSP. Fonte: adaptada de Teza e Batista (2005).

Kim (1992) atribui o rápido aquecimento urbano às construções, ao asfalto, solo nu e pouca vegetação. Por exemplo, Freitas (2003) alega que a construção de altos edifícios em ruas estreitas facilita o aprisionamento da energia solar através das múltiplas reflexões dos raios solares e, além disso, os materiais utilizados nestas construções, tais como asfalto e concreto, por exemplo, facilitam a condução deste calor, quando comparados a regiões mais vegetadas - os diferentes valores de albedo fazem com que determinados materiais absorvam mais ou menos a radiação incidente. Ainda segundo Freitas, a taxa de evapotranspiração nas grandes cidades é mais baixa ao comparar com as redondezas, aumentando mais ainda este contraste de temperatura, podendo ser superiores a 5° C.

Além disso, a poluição atmosférica gerada pela emissão veicular e industrial interage com a radiação, provocando alterações locais no balanço de energia, dando suporte a formação da ilha de calor. Esta situação especificamente acaba se retroalimentando, já que a formação de uma ilha de calor é facilitada quando ventos de escala sinótica são fracos, não havendo então a dispersão do calor, isto é, a poluição esquento o ar e dessa forma auxilia na formação da ilha de calor, que por sua vez auxilia no aprisionamento destes poluentes.

Dessa forma, por vezes pode-se observar uma circulação local, referente à IC onde, no grande centro urbano o ar quente e menos denso ascende dando lugar ao ar mais frio e denso vindo das áreas adjacentes (FREITAS, 2003). A coluna de ar ascendente acumula aerossóis sobre a cidade, formando uma nuvem de poluentes. Na Figura 1-8 pode-se observar tanto a circulação local gerada pela ilha de calor quanto às temperaturas geradas pelas diferentes ocupações do solo, através da linha vermelha.

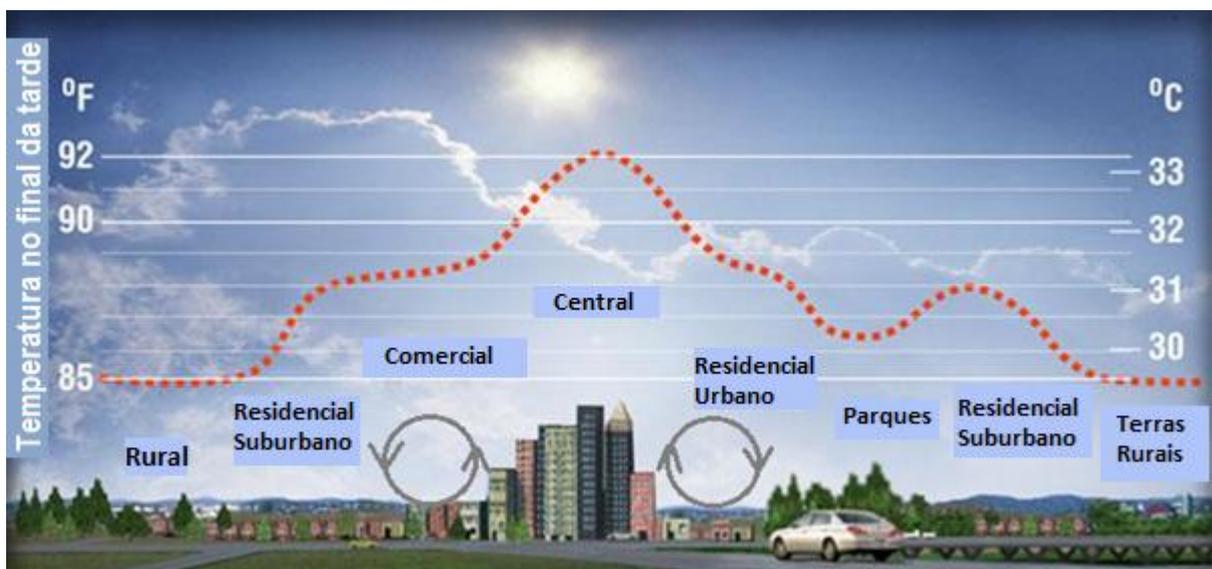


Figura 1-8 Esquema da circulação local gerada pela ilha de calor e linha de temperatura para diferentes ocupações do solo. Fonte: adaptada de Heat Island Group – Lawrence Berkley National Laboratory (<http://heatisland.lbl.gov>).

1.3. BRISA MARÍTIMA

A brisa marítima (BM) é uma circulação local termicamente induzida, o que quer dizer que a sua existência depende do contraste de temperatura entre determinadas superfícies, neste caso, entre o continente e o oceano (SIMPSON, 1994). Esta disparidade acontece devido à diferença entre as capacidades térmicas da água e da terra, fazendo com que o aquecimento em cada uma delas ocorra distintamente.

A terra possui uma capacidade térmica menor do que a água. Isto corresponde a dizer que ao compararmos com o oceano, a temperatura do continente varia mais com uma menor quantidade de energia e, portanto, com a presença dos raios solares (período diurno) a terra aquece mais rapidamente do que a água. Este ar menos denso ascende sobre o continente, ocasionando uma baixa pressão relativa à água. Este gradiente de pressão faz com que o ar frio se desloque em direção ao continente em níveis mais baixos, e em níveis mais altos em direção ao oceano, fechando a circulação com movimento ascendente no continente e descendente no oceano. Neste caso a circulação é dita “brisa marítima”, pois em baixos níveis nota-se um vento do mar em direção a terra.

À noite esta circulação se inverte, pois o resfriamento radiativo é maior sobre a terra, gerando uma baixa pressão relativa sobre a água e conseqüente movimento do ar em direção ao oceano (brisa terrestre - BT).

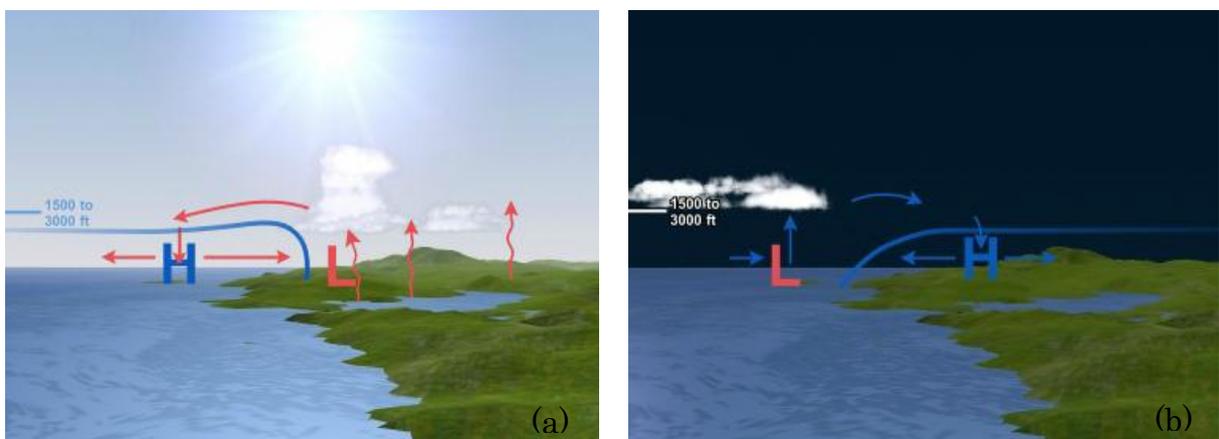


Figura 1-9 Ilustração de Brisa marítima (a) e terrestre (b). Fonte: MetEd (www.meted.ucar.edu)

Segundo Freitas (2003) a BM é um sistema confinado geralmente nos primeiros quilômetros da troposfera e sua extensão horizontal pode variar de poucas centenas de metros, a muitas dezenas, ou mesmo centenas de quilômetros. Simpson (1994) diz que este avanço pode chegar a mais de 200 km continente adentro.

Para a cidade de São Paulo, Oliveira e Silva Dias (1982) analisaram dados de pressão, vento, temperatura, umidade, insolação e cobertura de nuvens para caracterizar a penetração da BM. No estudo foram definidos três tipos distintos de brisa marítima: a brisa padrão, a brisa com escoamento de noroeste e a brisa com intensificação de sudeste.

A brisa padrão tem por características ocorrer em situações sinóticas favoráveis (caso em que não existe nenhuma perturbação pré ou pós-frontal), apresentando o vento de NE fraco durante a madrugada e todo período da manhã, intensificando nas primeiras horas da tarde, passando a SE. No caso da brisa com escoamento de noroeste, ocorre o vento de NE relativamente fraco durante a madrugada, passando para NO no começo da manhã, intensificando ao longo da tarde, quando acontece o giro para SE. É comum acontecer em situações pré-frontais. Já a brisa com intensificação de sudeste acontece após a passagem de uma frente fria, onde o escoamento predominante já seria de SE, ocorrendo então uma intensificação no período da tarde. Neste mesmo estudo também foi concluído que a maioria dos eventos analisados (aproximadamente 60%) penetrou na cidade entre 13 e 14 HL, enquanto que Jorgetti et al. (2002) encontra que o horário de entrada da BM pode variar entre 14 e 17:30 HL.

Yoshikado (1992) sugere a interação entre a IC e a BM, e em 1994 mostra que a força desta interação depende de três fatores: intensidade da BM, intensidade da circulação da IC e da velocidade de penetração da BM, e que estes fatores seriam controlados pelas características da área urbana (tamanho ou largura da área, distância do mar e intensidade da IC). Quando a cidade é localizada ao longo da costa, estas circulações acabam sendo mais intensas, e conforme o afastamento, menos intensas. No entanto, se a área urbanizada for suficientemente distante de forma que a IC forme uma circulação independente, com a penetração da BM, valores intensos de velocidade vertical serão observados. Além disso, Ohashi e Kida (2002) e Freitas (2003) confirmam que uma área urbanizada faz com que a circulação da BM se intensifique e que esta interação é mantida por mais tempo,

ou seja, a presença da cidade faz com que a passagem da frente de brisa sobre a área urbana seja mais lenta.

1.4. OBJETIVOS DA PESQUISA

Dada a importância das circulações de mesoescala antes mencionadas para o clima da Região Metropolitana de São Paulo (principalmente nos períodos de inverno e verão), os padrões atmosféricos destas circulações (BM e IC) foram avaliados, através de simulações numéricas, conforme a evolução da mancha urbana da região, de forma a tentar se compreender qual a contribuição deste aumento urbano para a modificação destes padrões. Além disso, tendo em vista o crescimento significativo dessa mancha esperado para as próximas décadas, analisar possíveis alterações nas circulações de brisa marítima e ilha de calor, bem como a tendência de interação entre elas, também são objetivos da pesquisa.

Para isto será utilizada a modelagem numérica da atmosfera, através do modelo de mesoescala WRF-ARW (*Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF*) alimentado com a base de dados mais recente de reanálises do NCEP, denominada CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*), e para se estudar os efeitos do aumento da porção urbanizada foram introduzidas no modelo diferentes manchas urbanas, supondo nenhuma urbanização, mancha real de 1952 e de 2007, e também uma suposta mancha urbana para o ano de 2030.

Nas seções a seguir será apresentada a descrição de toda a metodologia utilizada no presente estudo, bem como os resultados obtidos a partir dos experimentos numéricos realizados.

2. CONSTRUÇÃO DOS ARQUIVOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Com a finalidade de se obter um melhor entendimento de como o aumento da dimensão da área urbana da RMSP influencia nas circulações de mesoescala e suas interações, foi necessário incluir diferentes manchas urbanas no modelo, no caso, sem urbanização, mancha real de 1952 e mancha urbana de 2007 (ano escolhido com base no trabalho de Silva Dias et al., 2013). Para isto, se fez necessária uma série de procedimentos para se elaborar os mapas digitais de uso e ocupação do solo, e acoplá-los ao modelo.

2.1. LANDSAT

O projeto Landsat foi desenvolvido em conjunto pelo USGS (*United States Geological Survey*) e pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) sendo iniciado em 1972, e hoje em dia, apesar de não ser o único satélite ambiental, as imagens fornecidas pelo Landsat estão entre as mais comuns e difundidas em todo o mundo (PARANHOS FILHO et al., 2008), sendo utilizadas em diversas áreas do conhecimento, incluindo geologia, geomorfologia, mapeamentos de cobertura florestal, solo, agricultura, entre outros.

A primeira etapa consta em fazer o download das diferentes bandas da imagem de satélite do Landsat (obtidas em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Neste caso, a escolhida foi a de 16/08/2007, do satélite Landsat 5, cobrindo toda a RMSP, por conter nenhuma nebulosidade. No total são sete (7) bandas em que a resolução das bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 são de 30 m e a banda 6, 120 m, compreendendo cada uma, uma parte diferente do intervalo espectral (http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php). A Figura 2-1 mostra o domínio das bandas utilizadas sendo, neste caso, apresentada a banda 1.

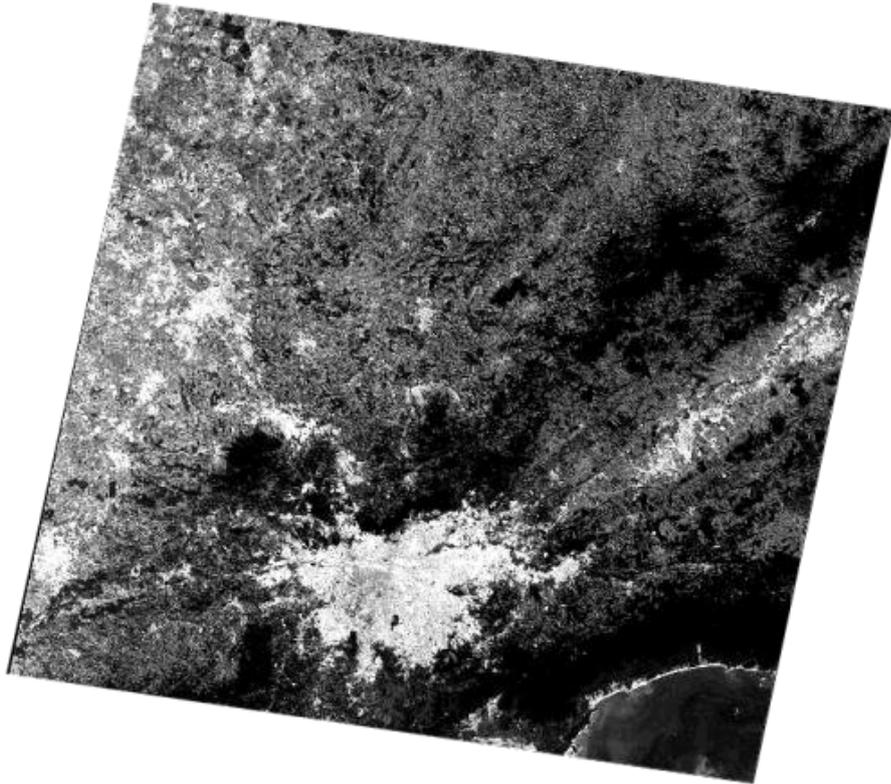


Figura 2-1 Banda 1 da imagem do satélite Landsat 5 realçada referente ao dia 16 de agosto de 2007.

2.2. SPRING E ARCGIS

Após o *download* das imagens de satélite nas suas diferentes bandas, utilizou-se o software Spring para tratamento e classificação das áreas homogêneas da imagem, de modo a se classificar os diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

O Spring é um Sistema de Informações Geográficas (SIG), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens – DPI/INPE, com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a banco de dados espaciais (CAMARA et al., 1996), e, dessa forma, pode ser utilizado para edição, armazenamento e gerência dos dados espaciais, bem como para exploração, análise geográfica e posterior visualização dos dados (SANTOS et al., 2010).

Para o tratamento das imagens, não é utilizada a banda seis (6) devido a sua resolução ser diferente das demais. Define-se o RGB nas outras bandas e ajusta-se o contraste de forma a valorizar as partes urbanas na cidade. Neste caso a área urbana aparece em tons mais arroxeados na Figura 2-2.

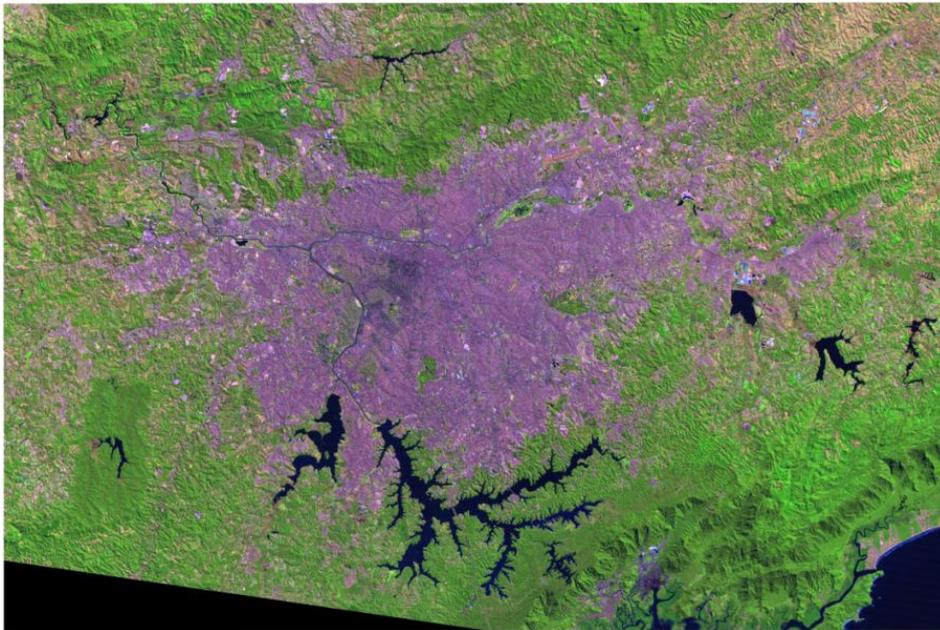


Figura 2-2 Composição das bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat 5.

Feito isto, o usuário coleta algumas amostras de pixels da imagem que irão definir as categorias a serem reconhecidas pelo programa. Esta etapa é chamada de treinamento e as classes (categorias) utilizadas neste caso foram urbano, corpo hídrico, vegetação e solo exposto. Neste momento, o *software* executa um agrupamento de *pixels*, conforme suas semelhanças de tons (0-255), e é feita a análise das amostras onde é mostrado o “grau de confusão” que o *software* encontrou entre estas classes. Ou seja, quanto maior o grau de confusão, maior foi a dificuldade que o *software* encontrou para reconhecer a diferença entre uma classe ou outra, por conta da semelhança nos tons de *pixel*.

Após a fase de treinamento e a verificação das amostras, a etapa real de classificação para toda a imagem ocorre baseada nestas amostras colhidas. Com a imagem já corretamente classificada, basta exportar para o formato desejado, para posterior modelagem (no caso, o formato TIFF). O resultado pode ser visto na Figura 2-3.

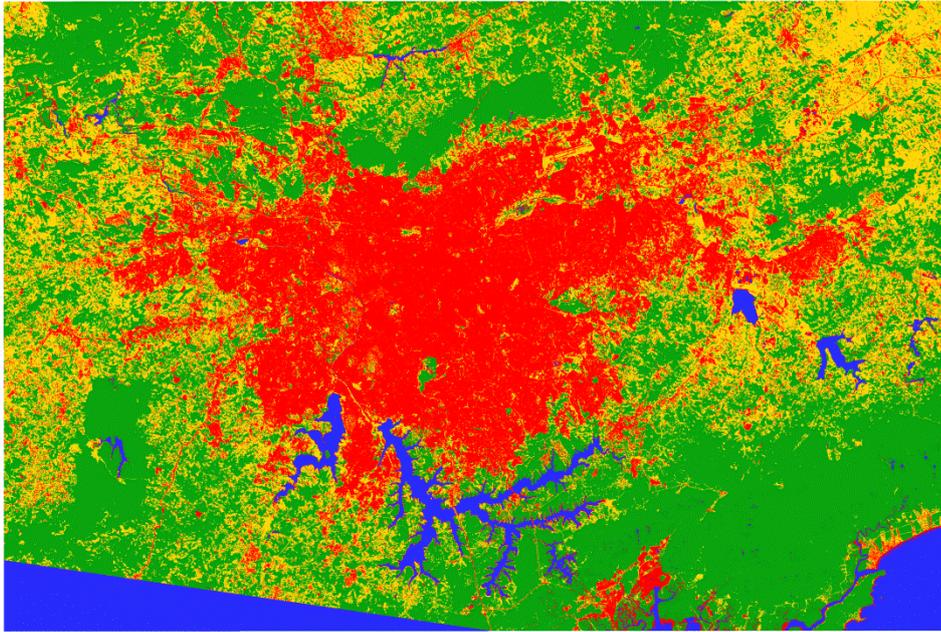


Figura 2-3 Imagem de satélite classificada de acordo com as categorias escolhidas (vermelho: urbano, azul: corpos hídricos, verde: vegetação, amarelo: solo exposto).

A partir deste ponto, o *software* ArcGis foi utilizado com a finalidade de selecionarmos somente a categoria urbana, na RMSP. Além disso, foi necessário reamostrar de 30 m (resolução original do landsat) para 927 m (0.083333°) que é a resolução original do arquivo de uso do solo do WRF. As figuras seguintes (Figura 2-4 e Figura 2-5) mostram os resultados destes passos até a mancha urbana finalizada.

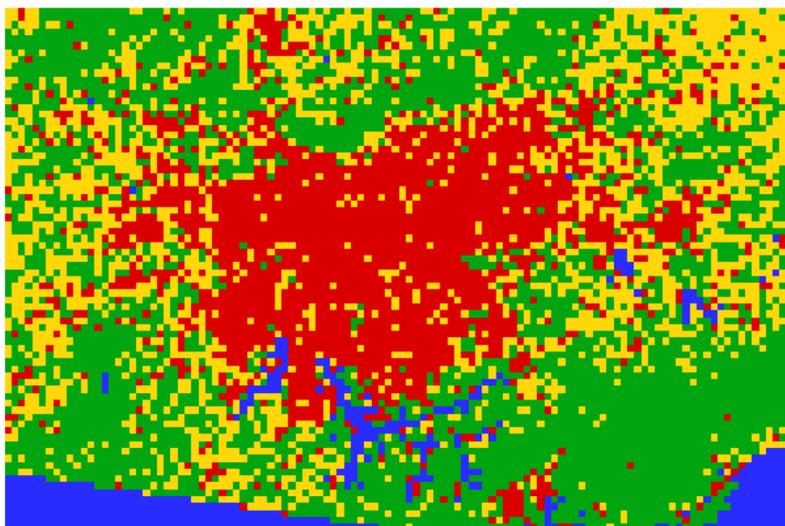


Figura 2-4 Mesma figura anterior reamostrada de 30 m para 927 m.

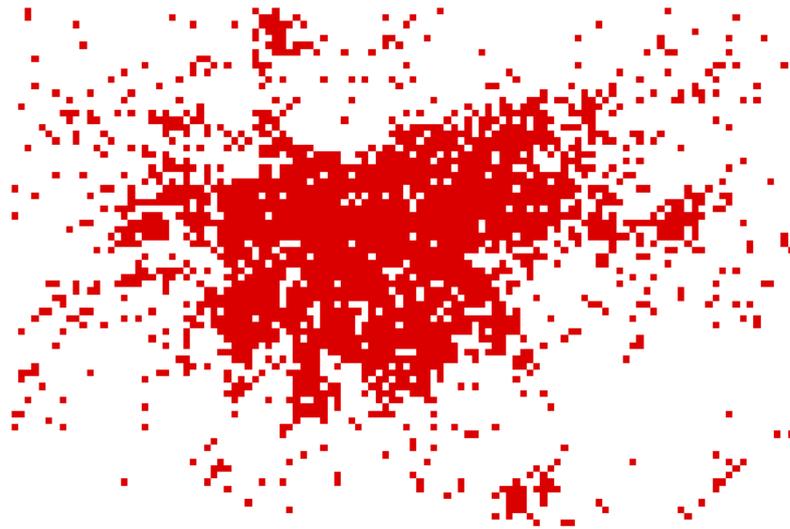


Figura 2-5 Seleção da categoria urbana.

A partir deste ponto, já tendo a mancha urbana finalizada, é necessária a criação de um arquivo no formato *ascii* que será utilizado para inserção no modelo.

2.3. MANCHAS URBANAS UTILIZADAS

O procedimento para inclusão das manchas no modelo WRF pôde ser dividido em algumas etapas: obtenção do arquivo de uso do solo original do IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme), substituição no arquivo original de toda classificação urbana por vegetação, mescla do arquivo original sem urbanização com os novos arquivos de manchas, alteração do código fonte do modelo e conseqüente recompilação do mesmo para a geração do novo arquivo na mesma linguagem do modelo, a geração de um índice que descreva este novo dado, e por fim, a mudança em uma das tabelas do modelo em que se altere o arquivo de uso do solo que deve ser utilizado.

O arquivo de uso de solo original utilizado foi o *do International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) com resolução de 927m (0.008333°) e composto de 17 classificações diferentes o uso do solo, descritas no Anexo A. Como o WRF

reconhece 24 tipos distintos de solo, foi feita a conversão de 17 para estas 24 classes (Anexo B).

Após este procedimento, se desenvolveu um programa em linguagem Fortran que foi utilizado para mesclar o arquivo sem área urbana com cada arquivo das novas manchas da RMSP, gerando assim, os novos arquivos de uso do solo a serem utilizados no modelo WRF. No total foram gerados cinco (5) diferentes arquivos de uso de solo além do original, denominando previamente as simulações realizadas: “def” (default), “m07td”, “m07”, “m07tdu33”, “SU” (sem urbanização), “52”.

Para a simulação “def” não foi alterado o arquivo de uso do solo no modelo, utilizando então o original do software, do ano de 1993 (TEWARI et al., 2007), como pode ser visto na Figura 2-6 (a). Já o arquivo da simulação “m07td” foi gerado com o intuito de melhorar a representação da RMSP no modelo e pode ser visto na Figura 2-6 (b). As simulações “m07” e “52” utilizam arquivos de uso do solo em que não existe nenhuma área urbanizada além da RMSP, dos anos de 2007 (Figura 2-6 c) e 1952 (Figura 2-6 d) e no caso “SU”, no arquivo utilizado não existe absolutamente nenhuma urbanização (Figura 2-6 (e)), sendo toda ela substituída por área florestada para caracterização da vegetação natural da mata atlântica (*evergreen broadleaf forest*), conforme Negron-Juárez (2004). Por último, na simulação “m07u33” a porção urbanizada da RMSP foi subdividida em três (3) diferentes categorias urbanas, segundo a classificação do USGS 33 classes (Anexo C). No caso, este arquivo (Figura 2-6 (f)) foi criado partindo do princípio que as primeiras áreas a serem urbanizadas seriam as mais urbanas de hoje em dia, portanto, a região que já era urbanizada em 1952 foi classificada no modelo como área comercial/industrial (em azul). A região em roxo é a região urbanizada de 1972 - classificada como alta intensidade residencial - e em vermelho como baixa intensidade residencial.

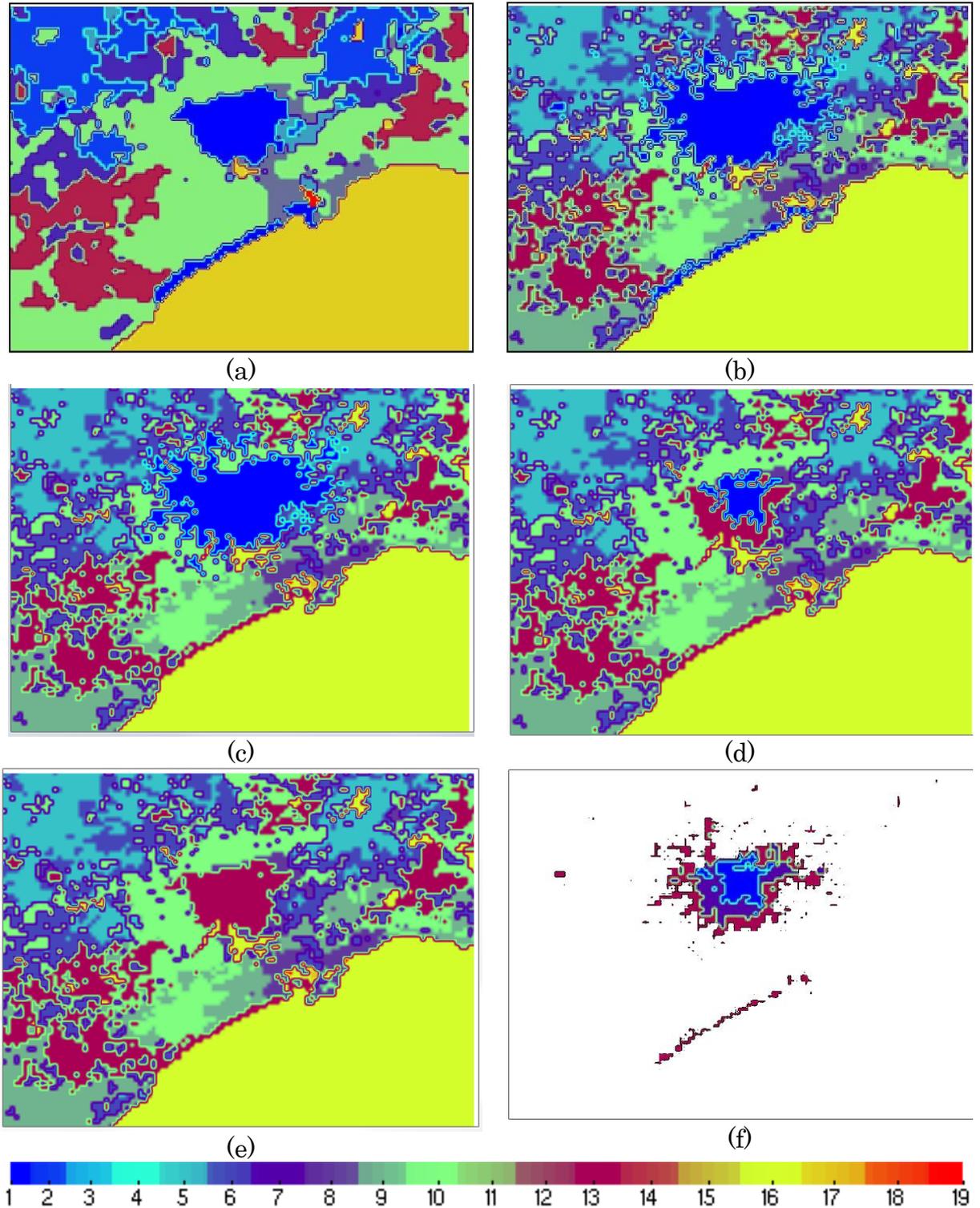


Figura 2-6 Arquivos de uso do solo inseridos no WRF sendo (a) def, (b) m07td, (c) m07, (d) 52, (e) SU, (f) m07tdu33 - a paleta de cores indica a classificação do USGS 24 classes (Anexo B) e não serve para (f).

3. O MODELO WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (WRF)

3.1. DESCRIÇÃO DO MODELO

O WRF (Weather Research and Forecasting) é um modelo de previsão numérica de tempo que foi desenvolvido com a colaboração de várias agências, entre elas a divisão MMM (Meso-scale and Micro-scale Meteorology) do NCAR (National Center for Atmospheric Research), o NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), o NCEP (National Centers for Environmental Prediction), o FSL (Forecast System Laboratory), o CAPS (Center for Analysis and Prediction of Storms) e a FAA (Federal Aviation Administration), além da participação de inúmeros cientistas do mundo inteiro (SKAMAROCK et al., 2008).

O WRF possui dois núcleos de processamento: o NMM e o ARW, sendo o NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) desenvolvido pelo NCEP a partir do modelo operacional hidrostático ETA e o ARW (Advanced Research WRF) uma “evolução” do até então conhecido MM5, sendo mantido pelo NCAR.

Algumas das principais características do modelo WRF-ARW são:

- Equações totalmente compressíveis e não-hidrostáticas;
- Grade horizontal Arakawa tipo C;
- Esquema de integração no tempo Runge-Kutta com opções de 2^a e 3^a ordem;
- Discretização espacial de advecção com opções de 2^a à 6^a ordem, tanto na horizontal como na vertical;
- Condições iniciais em três (3) dimensões para dados reais;
- Termo de Coriolis incluso nas equações;
- 4 tipos de projeções de mapa: Estereográfica polar, Conforme de Lambert, Mercator e latitude-longitude;
- Aninhamento de grade disponível em todos os domínios;

- Coordenada vertical de pressão hidrostática σ que varia de zero (no topo) a um (superfície) e é definida por $\sigma = \frac{P-P_t}{P_s-P_t}$ onde P é a pressão do nível, P_t é a pressão no topo e P_s , a pressão em superfície, e pode ser vista na Figura 3-1;

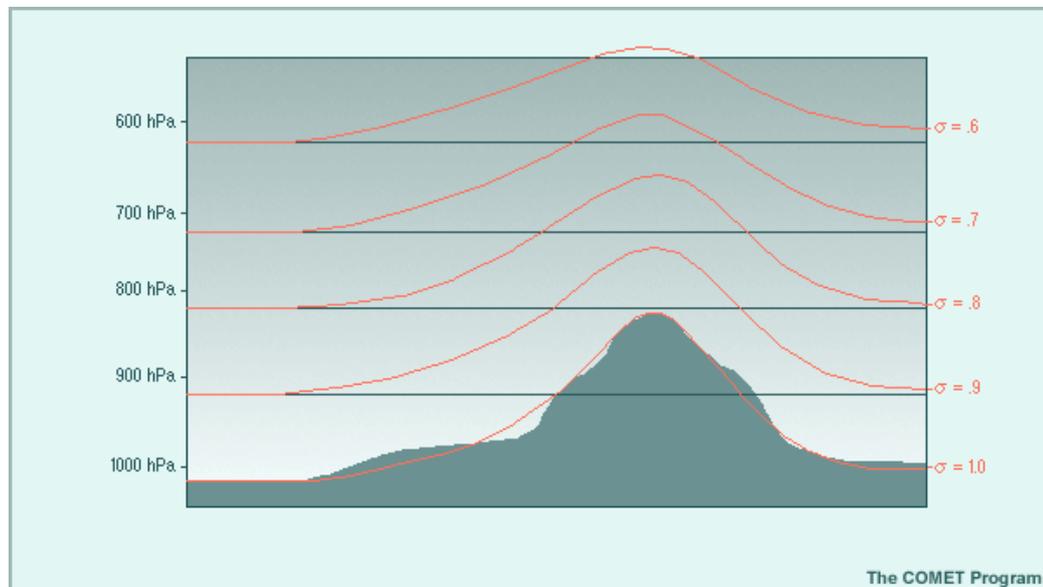


Figura 3-1 Demonstração da coordenada vertical σ do modelo. Fonte: MetED (www.meted.ucar.edu)

Com relação à física do modelo, pode-se contar com os esquemas de microfísica, parametrização de cumulus, camada superficial, cobertura de solo, física da camada limite planetária e física da radiação atmosférica. As opções escolhidas de cada um destes esquemas estão citadas abaixo, e uma breve descrição é apresentada. Todas estão disponíveis em Skamarock et al. (2008), bem como uma exposição mais detalhada de cada uma delas.

3.2. CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS

Para todas as simulações realizadas as configurações do modelo foram as mesmas e utilizou-se como condições iniciais e de fronteira o novo conjunto de reanálises do NCEP, denominada *Climate and Forecast System Reanalysis* (CFSR, SAHA et al, 2010). O WRF foi simulado por um período de 48 horas compreendidas entre

12Z do dia 06 de março de 2007 e 12Z do dia 08 de março de 2007, no caso do verão, e 12Z do dia 17 de agosto de 2007 e 12Z de 19 de agosto de 2007 no inverno, com três (3) domínios de grade aninhados (Figura 3-2). O domínio 1 (D1) possui 103 pontos em X e 147 em Y e 18 km de espaçamento entre cada ponto de grade; o domínio 2 (D2) possui 166 pontos em X e 133 em Y com 6 km de espaçamento, e o domínio 3 (D3, de maior resolução) com 2 km de espaçamento, 112 pontos em X e 85 em Y. O terceiro domínio, D3, centrado na região de interesse ($23,53639^{\circ}$ S; $46,6292^{\circ}$ O) foi utilizado para fazer as análises, com saídas geradas de hora em hora.

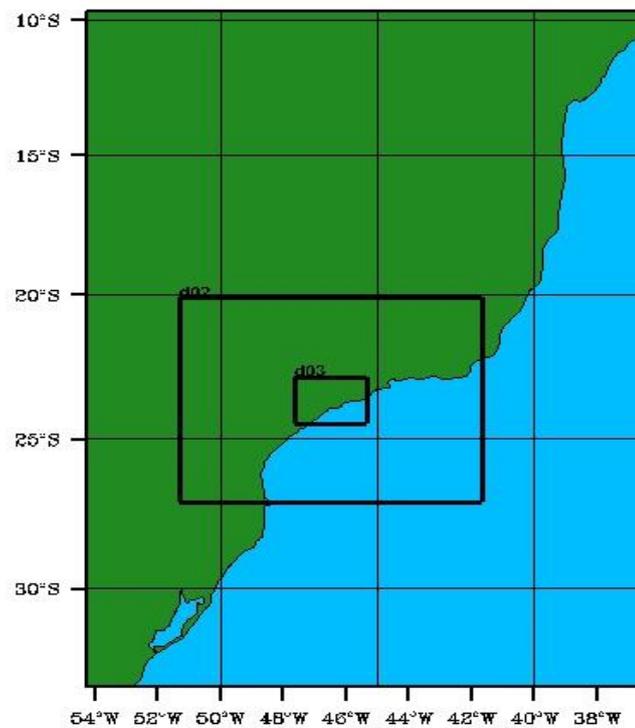


Figura 3-2 Domínio de integração utilizado nas simulações ($D1=18$ km, $D2=6$ km, $D3=2$ km).

Com a finalidade de caracterizar melhor a estratificação da atmosfera, foram utilizados 40 níveis na vertical, com topo em 50 hPa, correspondentes a aproximadamente 25 km de altitude, sendo que parte destes níveis esteve localizada na baixa troposfera para melhor caracterização da mesma. Tais níveis podem ser vistos na Figura 3-3 (a e b).

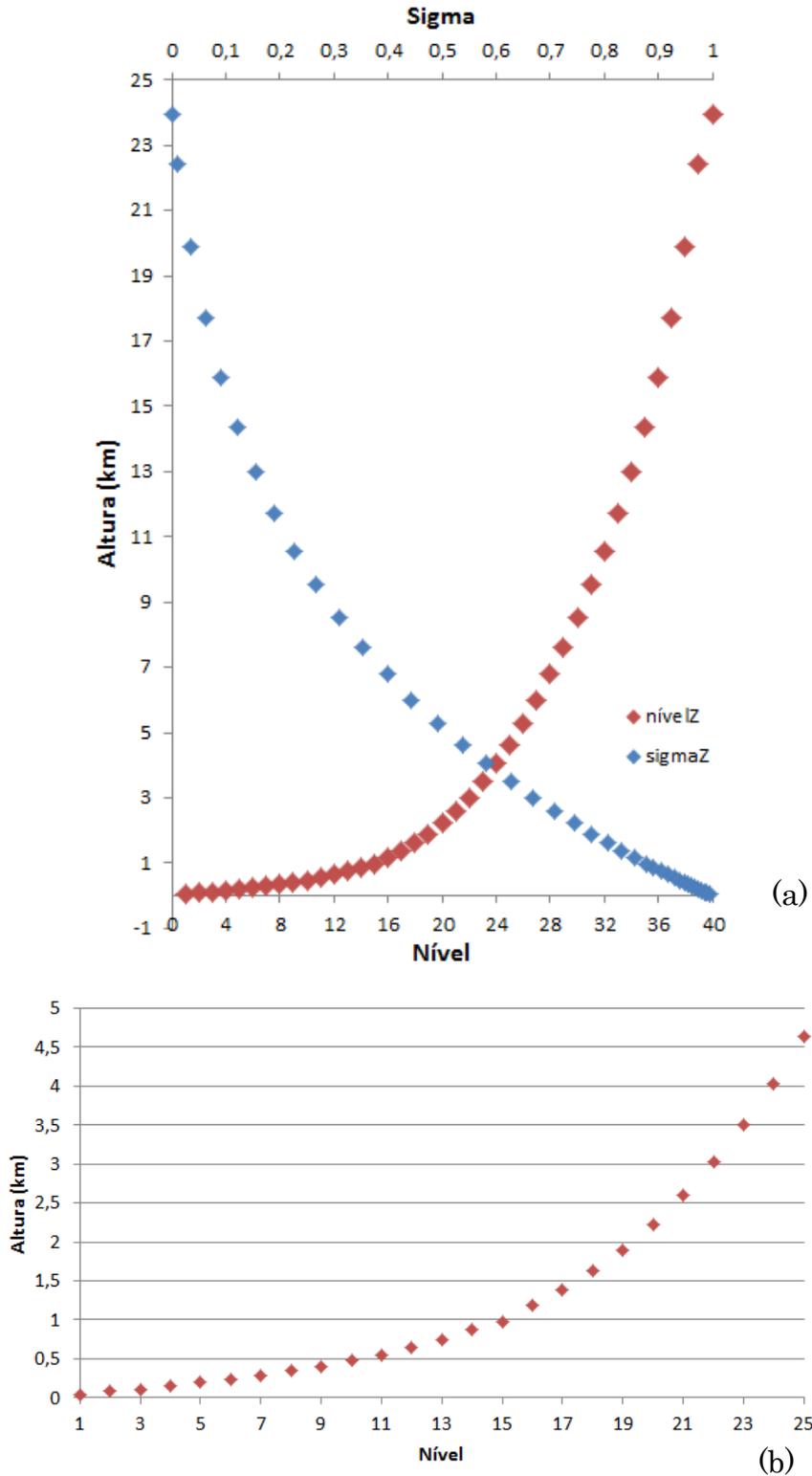


Figura 3-3 (a) Relação entre sigma/altura - nível/altura e (b) zoom nos 25 primeiros níveis verticais.

Quanto às condições iniciais e de fronteira utilizou-se a reanálise CFSR (*Climate and Forecast System Reanalysis*), pois conforme Homann e Freitas (2012) este é

um conjunto de dados que define melhor a entrada de sistemas meteorológicos e permite a simulação da atmosfera com valores das variáveis simuladas mais coerentes com os valores observados, quando comparados à reanálise 2 (KANAMITSU et al, 2002).

Das várias opções de parametrizações físicas que o modelo disponibiliza, foram estudadas e selecionadas as que seriam utilizadas em cada um dos domínios das simulações. Tais opções são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Parametrizações físicas utilizadas em cada uma das simulações realizadas

Cumulus	Kain-Fritsch
Radiação de Onda Longa	RRTM
Radiação de Onda Curta	Dudhia
Camada Limite Planetária	YSU
Microfísica	WSM3
Modelo de superfície	NOAH

No caso dos esquemas de parametrização de cumulus, responsáveis pela formação de convecção e/ou nuvens rasas das sub-grades, Santos (2012) observou que Kain-Fritsch foi a parametrização que melhor correspondeu as expectativas, apresentando menor erro de falso alarme e ocorrência de chuva.

Foram feitos testes alterando as parametrizações de Radiação de Onda Longa (ROL) e Onda Curta (ROC) em que foi analisado o RRTMG (*Rapid Radiative Transfer Model for General circulations models*), indicado por Hackerott (2013), porém não se observou diferença significativa nos resultados (não mostrados), optando-se então pelas parametrizações utilizadas por Santos (2012) e Mazzoli (2013), RRTM (*Rapid Radiative Transfer Model*) e Dudhia, para ROL e ROC, respectivamente.

Como parametrização da camada limite planetária, o esquema YSU (Younsei University) descrito em Hong et al., (2006) foi o escolhido, pois Arellano Rojas (2013) realizou testes de sensibilidade que demonstraram que este esquema foi o que melhor representou a altura da camada limite e as variáveis atmosféricas nesta camada.

Para a microfísica, o esquema utilizado foi WSM3 (WRF Single Moment), que é computacionalmente eficiente e possui três categorias de hidrometeoros: vapor, nuvem de água/gelo, e chuva/neve (SKAMAROCK et al., 2008).

Com relação ao modelo de superfície, a parametrização escolhida foi a Noah (CHEN E DUDHIA, 2001), a qual possui quatro camadas de temperatura e umidade do solo, abaixo da superfície. Inclui evapotranspiração, drenagem do solo e escoamento, levando em conta as diferentes categorias de vegetação. Tem um tratamento urbano melhorado e considera as emissividades de cada superfície. Mais detalhes sobre este módulo, especificamente, poderão ser vistos no subitem a seguir.

3.3. MÓDULO DE INTERAÇÃO SOLO-SUPERFÍCIE-ATMOSFERA

A parametrização de interação entre solo-superfície-atmosfera (MSSA) é responsável por resolver os processos e fluxos em escala de subgrade, lidando com propagação térmica e de umidade nas várias camadas do solo e também através da vegetação, raízes, cobertura de neve, entre outros (SKAMAROCK et al, 2008). Como algumas circulações de mesoescala são forçadas pela variabilidade no uso do solo e albedos, por exemplo, torna-se imprescindível uma boa caracterização e inicialização destes parâmetros.

No caso, o MSSA utilizado foi o Noah (CHEN E DUDHIA, 2001) que conta com quatro camadas de solo, com valores de temperatura e umidade, a 10, 40, 100 e

200 cm de profundidade. Estas camadas possibilitam o cálculo de temperatura e quantidade de água ou gelo no solo, levando em consideração a vegetação e os processos envolvidos, tais como drenagem do solo, escoamento superficial e evapotranspiração. A Figura 3-4 mostra um esquema descritivo do modelo de uso do solo OSULSM (*Oregon State University Land Surface Model*), que foi utilizado como base e aprimorado para a parametrização Noah (EK et al., 2003).

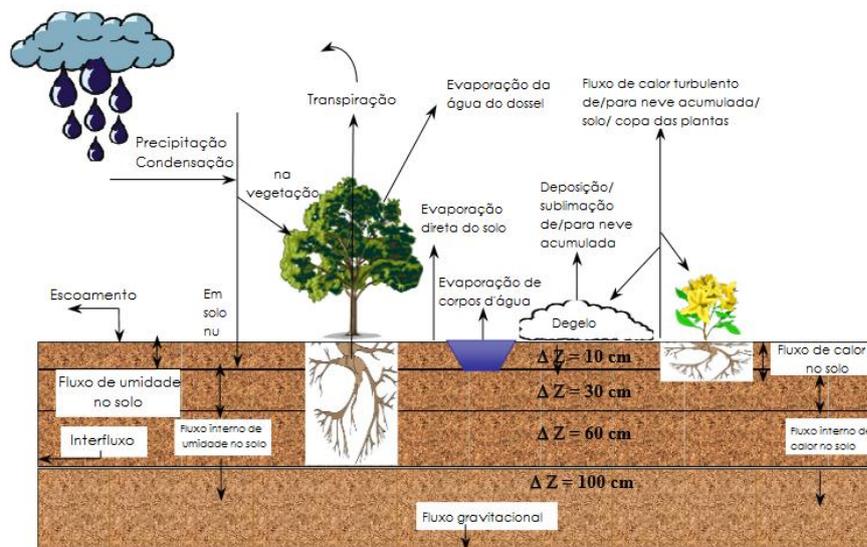


Figura 3-4 Representação esquemática do modelo de uso do solo OSULSM. Fonte: Adaptada de Chen e Dudhia, 2001.

Além disso, a parametrização Noah conta com a opção do acoplamento de um modelo de dossel urbano, que pode ser utilizado com o objetivo de melhorar a descrição da representação da área urbana. Este modelo acoplado de uma camada é conhecido como UCM (*Urban Canopy Model*) e inclui os efeitos térmicos e mecânicos gerados por áreas urbanas (KUSAKA et al, 2000).

3.4. O MODELO DE DOSSEL URBANO UCM

O UCM é utilizado para fins de melhorar a representação dos processos físicos que envolvem troca de calor, momento e vapor d'água em um ambiente urbano, dentro de um modelo de mesoescala. Tewari et al., (2007) destacam que ao

acoplá-lo no WRF espera-se um melhoramento na descrição das condições da camada limite em baixos níveis, de modo a melhorar a acurácia das previsões de tempo para as áreas urbanas.

Este modelo considera uma geometria urbana, e algumas das características consideradas e que podem ser citadas são a altura dos prédios e largura das ruas, que por sua vez ocasionam sombra, reflexões de onda curta e longa e transferência de calor. Fluxos de calor sensível são estimados a partir dos telhados, paredes, construções, e que posteriormente são agregados como energia e momentum entre a área urbana e a atmosfera (Figura 3-5).

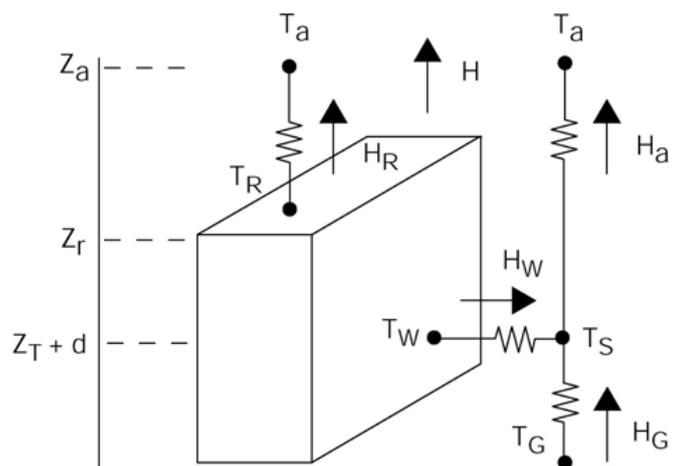


Figura 3-5 Esquema das considerações utilizadas no modelo de dossel urbano UCM. Fonte: Chen et al., 2004

Uma tabela (urbparm.tbl) é utilizada para definir alguns valores típicos, tais como largura de rua e altura de prédios, por exemplo, e ela também pode ser adaptada tanto para a classificação do USGS-24 que conta com um tipo de área urbana, quanto para USGS-33 com três tipos distintos de urbanização (baixa densidade residencial, alta densidade residencial e área comercial/industrial).

Para a baixa intensidade residencial são consideradas áreas mistas de construções materiais e vegetação, podendo ser compostas de 20-70% de vegetação e casas com poucos indivíduos. A alta intensidade inclui áreas

altamente desenvolvidas, casas com um grande número de habitantes e menos de 20% de área vegetada. Já a área comercial está amplamente desenvolvida, com infraestrutura (estradas, ferrovias) e praticamente toda área é considerada construção material (TEWARI et al., 2007).

Os valores utilizados nos parâmetros da `urbparm.tbl` estão dispostos na Tabela 2, e no caso de classificação única, ou seja, quando só houver um tipo de área urbana na mancha, toda ela seria considerada como alta intensidade residencial (referentes ao código 32).

Tabela 2. Parâmetros utilizados pelo modelo de dossel urbano (UCM)

	Comercial (33)	AI Res(32)	BI Res (31)
Altura das construções (m)	40	10	5
Altura do telhado (m)	4	3	1
Largura da construção (m)	10	9,4	8,3
Largura das estradas (m)	10	9,4	8,3
Calor antropogênico (W/m ²)	90	50	20
Fração urbana	0,95	0,90	0,5
Capacidade térmica do telhado (J/m ³ K)	1,0E6	1,0E6	1,0E6
Capacidade térmica da parede (J/m ³ K)	1,0E6	1,0E6	1,0E6
Capacidade térmica da estrada (J/m ³ K)	1,4E6	1,4E6	1,4E6
Condutividade do telhado (J/msK)	0,67	0,67	0,67
Condutividade da parede (J/msK)	0,67	0,67	0,67
Condutividade da estrada (J/msK)	0,4004	0,4004	0,4004
Albedo do telhado	0,20	0,20	0,20
Albedo da parede	0,20	0,20	0,20
Albedo da estrada	0,20	0,20	0,20
Emissividade do telhado	0,90	0,90	0,90
Emissividade da parede	0,90	0,90	0,90
Emissividade da estrada	0,95	0,95	0,95

No próximo capítulo são apresentadas as justificativas e os casos selecionados para estudo.

4. CASOS SELECIONADOS

4.1. VERÃO

O período de verão é marcado pela ocorrência de diversas tempestades. Grande parte destes sistemas ocorre em função do grande aquecimento gerado pela estrutura urbana e pelas emissões antropogênicas de calor em combinação com a umidade que acompanha a frente de brisa marítima. Dessa forma, a ilha de calor urbana da RMSP atua no sentido de favorecer os sistemas de tempo severos sobre a região e, portanto, para escolha do caso de verão a ser estudado, utilizou-se das imagens do satélite GOES-12 do canal visível. O caso escolhido refere-se ao dia 07 de março de 2007.

A Figura 4-1 mostra uma sequência de imagens de satélite do dia em questão, onde pode-se observar o aumento da nebulosidade na região próxima ao litoral que se intensifica com o passar do tempo. Esta banda de nebulosidade confinada na região litorânea e se expandindo em direção ao continente é um primeiro indicativo característico da entrada de brisa marítima.

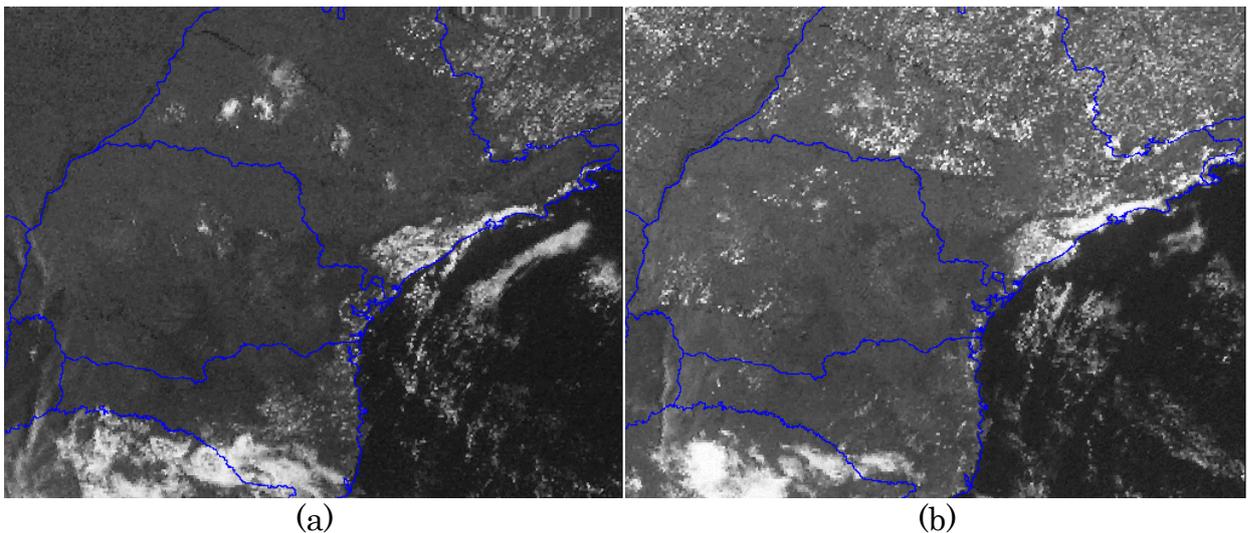


Figura 4-1. Imagens do canal visível do satélite GOES-12 do dia 07 de março de 2007 às (a) 13:39Z, (b) 15:40Z, (c) 17:45Z, (d) 19:40Z (Fonte: Laboratório MASTER, <http://www.master.iag.usp.br>)

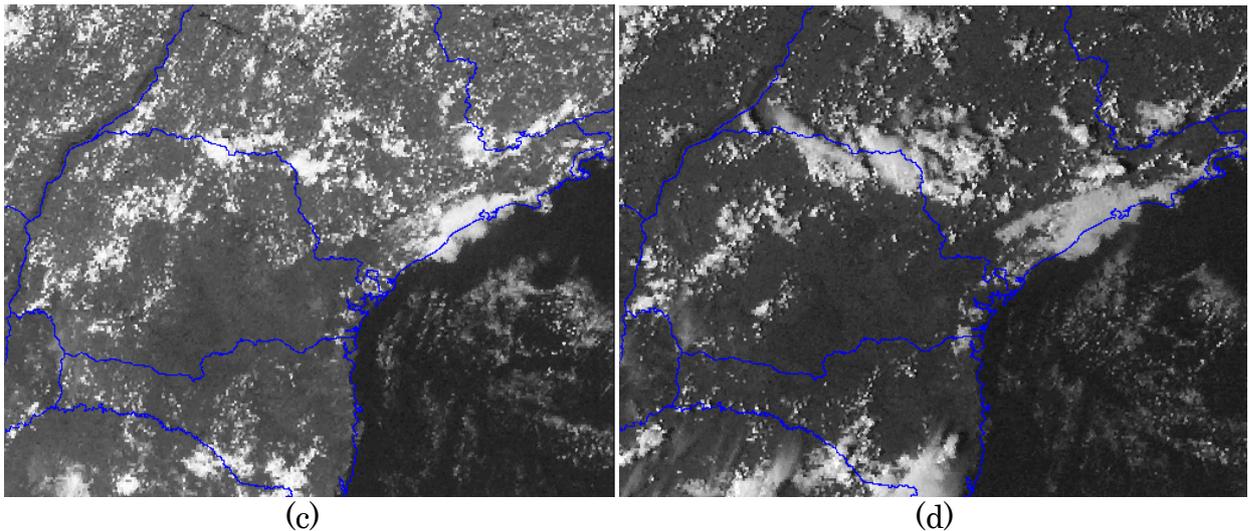


Figura 4-1. Continuação.

4.2. INVERNO

O procedimento para seleção dos eventos de brisa ocorridos no inverno de 2007 levou em consideração a dispersão de poluentes, temperatura, umidade e vento na região, onde foram gerados gráficos das concentrações de material particulado inalável (PI), monóxido de carbono (CO), temperatura (T) e umidade relativa (UR) na estação Ibirapuera (23,583°S; 46,659°O) da CETESB e também de magnitude e direção do vento na estação do IAG - Água Funda (23,651°S; 46,622°O). O caso selecionado foi o do dia 18 de agosto de 2007.

Os gráficos abaixo (Figura 4-2) mostram a temperatura (T), umidade relativa (UR), monóxido de carbono (CO) e partículas inaláveis (PI) observadas na estação Ibirapuera da CETESB (a) e também a direção e magnitude do vento, observados na estação do IAG - Água Funda (b), das 03Z do dia 18/08/2007 às 02Z do dia 19/08/2007.

Na Figura 4-2 (a) pode-se observar que por volta das 19Z houve uma queda na temperatura acompanhada de aumento da umidade relativa. No gráfico de CO,

nota-se uma tendência de aumento ao longo da tarde com uma quebra nessa tendência, no mesmo horário, indicando que com a entrada da brisa houve uma dispersão desse poluente. Já com relação ao PI, observa-se um pico maior logo na entrada da brisa, que pode ser devido à ressuspensão de poeira do solo em função do aumento na intensidade do vento. Todas estas características associadas ao mesmo horário são indicativos de entrada de brisa marítima na região, e, a Figura 4-2 (b) confirma a entrada da brisa ao mostrar o giro do vento do quadrante NE para SE aproximadamente às 17Z.

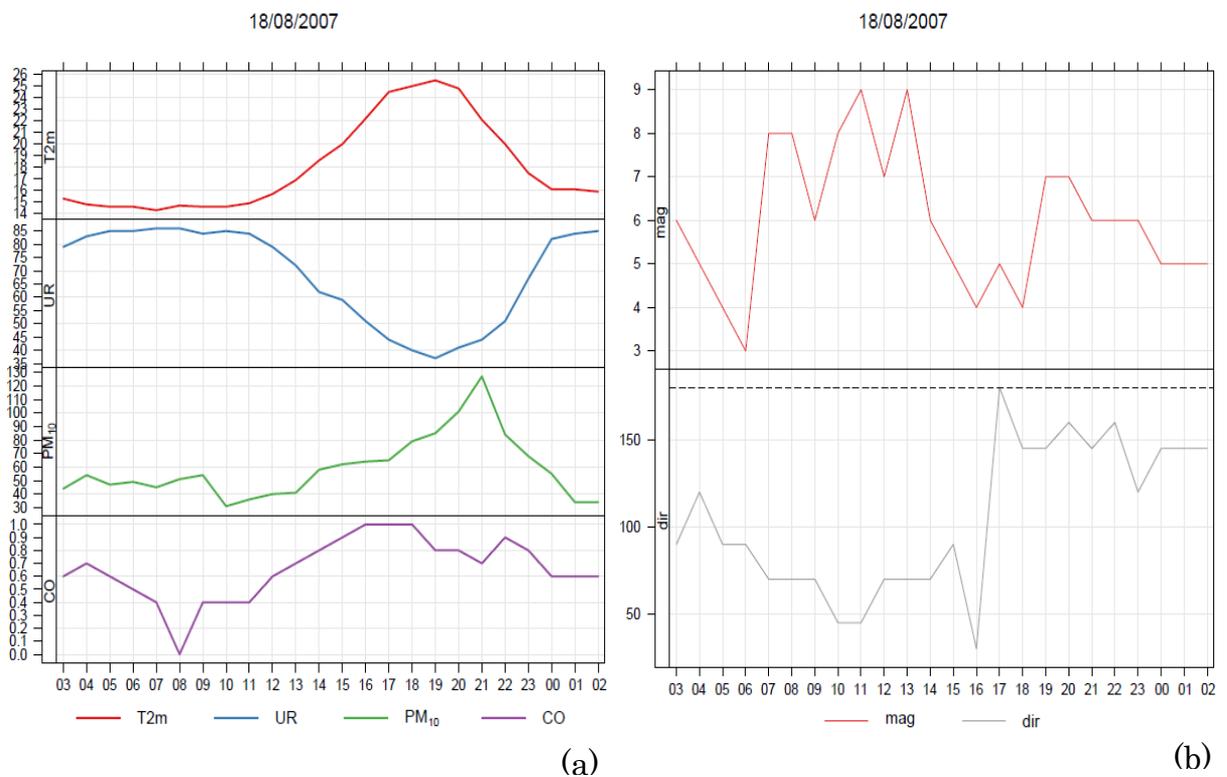


Figura 4-2. (a) T, UR, PI,CO observados na estação Ibirapuera. (b) Direção e magnitude do vento observados na estação IAG-AF, para o dia 18/08/07 em UTC.

Na Figura 4-3 as imagens de satélite do dia em questão, mostram a nebulosidade confinada no litoral, associada a brisa marítima.

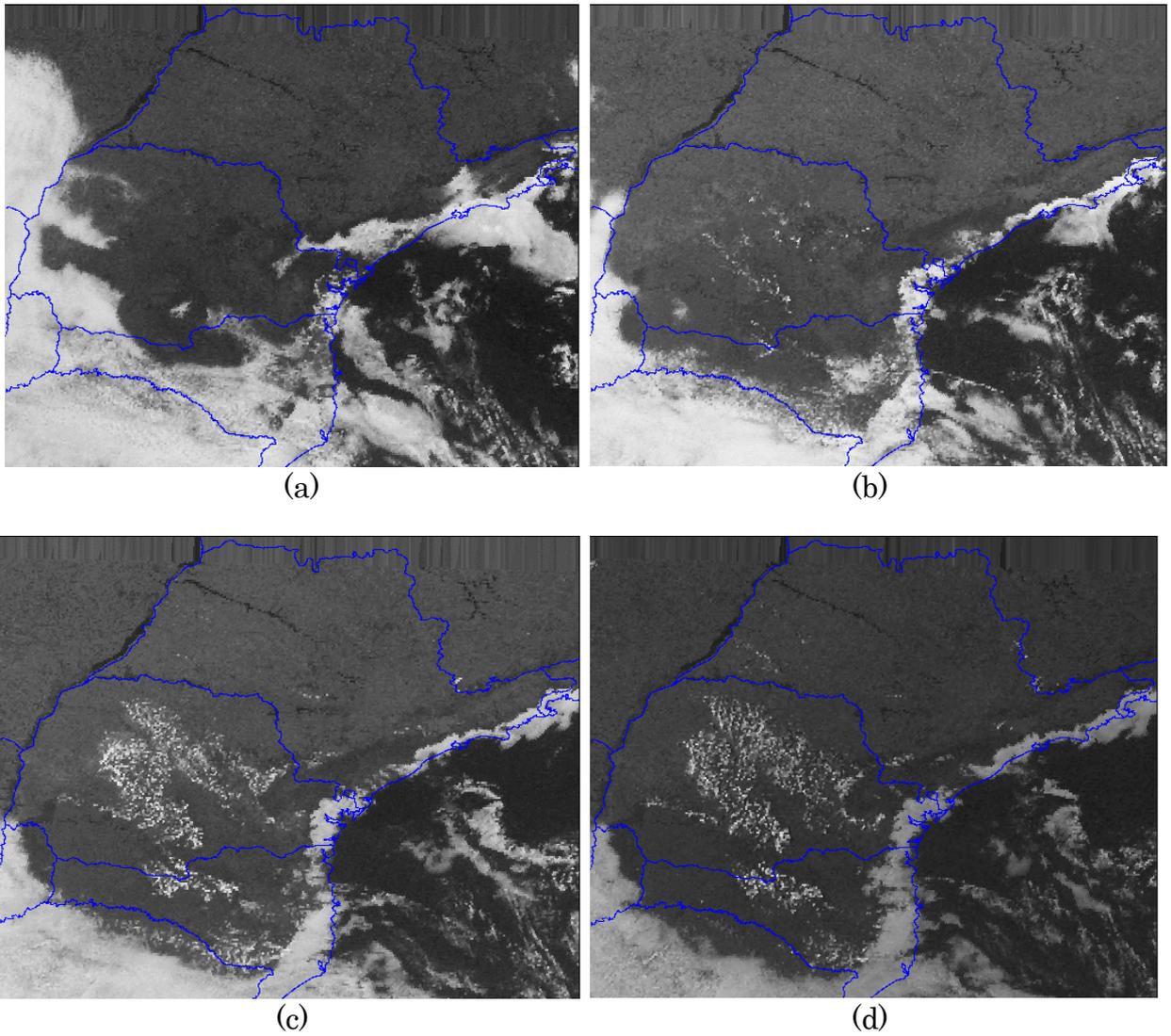


Figura 4-3. Imagens do canal visível do satélite GOES-12 do dia 18 de agosto de 2007 às (a) 13:40Z, (b) 15:39Z, (c) 17:45Z, (d) 19:10Z (Fonte: Laboratório MASTER, <http://www.master.iag.usp.br>)

5. VALIDAÇÃO DO MODELO

Para analisar a destreza do modelo na previsibilidade dos eventos de interesse deste trabalho foram feitas algumas simulações para comparação com dados observados, com a finalidade de simular o caso mais real possível e analisar qualitativa e quantitativamente as alterações ocasionadas em cada uma das simulações. O computador utilizado para tal foi o cluster “SVANTE” no Laboratório MASTER do IAG-USP, e foram utilizados 12 processadores para cada simulação com tempo variando entre 140 e 200 minutos, dependendo das configurações utilizadas. Alterações na mancha urbana, classificação de diferentes tipos de áreas urbanas e também a inclusão do modelo de dossel urbano ou não, foram consideradas e estudadas.

Desta forma foram feitas 5 simulações comparativas entre si: “def”, realizada com as opções default do modelo (mancha original de 1993 e UCM desligado); “u24” com a mancha original de 1993, mas dessa vez com o UCM ativo e 24 classificações do USGS (um tipo urbano); “m07td”, com a mancha da RMSP de 2007 e UCM desligado; “m07tdu24” usando a mancha da RMSP de 2007 e ativou-se o UCM, e por fim, a “m07tdu33” com a mancha da RMSP de 2007 e UCM ativo com 33 classificações (três tipos urbanos). A Tabela 3 mostra um esquema das opções que foram ou não utilizadas em cada uma das simulações.

Tabela 3. Opções utilizadas em cada simulação teste

	Mancha1993-24c	Mancha 2007td-24c	Mancha 2007td-33c	UCM
def	Sim	Não	Não	Não
u24	Sim	Não	Não	Sim
m07	Não	Sim	Não	Não
m07u24	Não	Sim	Não	Sim
m07u33	Não	Não	Sim	Sim

Cada simulação foi avaliada quantitativamente utilizando alguns métodos estatísticos, tais como a correlação (R), o erro médio (ME), a raiz do erro médio quadrático (RMSE) e o desvio padrão (σ), para as variáveis de temperatura e umidade nas estações Água Funda, Ibirapuera e Pinheiros. Para todas as análises foram descartadas as seis (6) primeiras horas de simulação devido ao tempo de *spin-up* do modelo. A Figura 5-1 mostra a localização de cada uma das estações consideradas frente aos diferentes tipos de área urbana no “m07tdu33”.

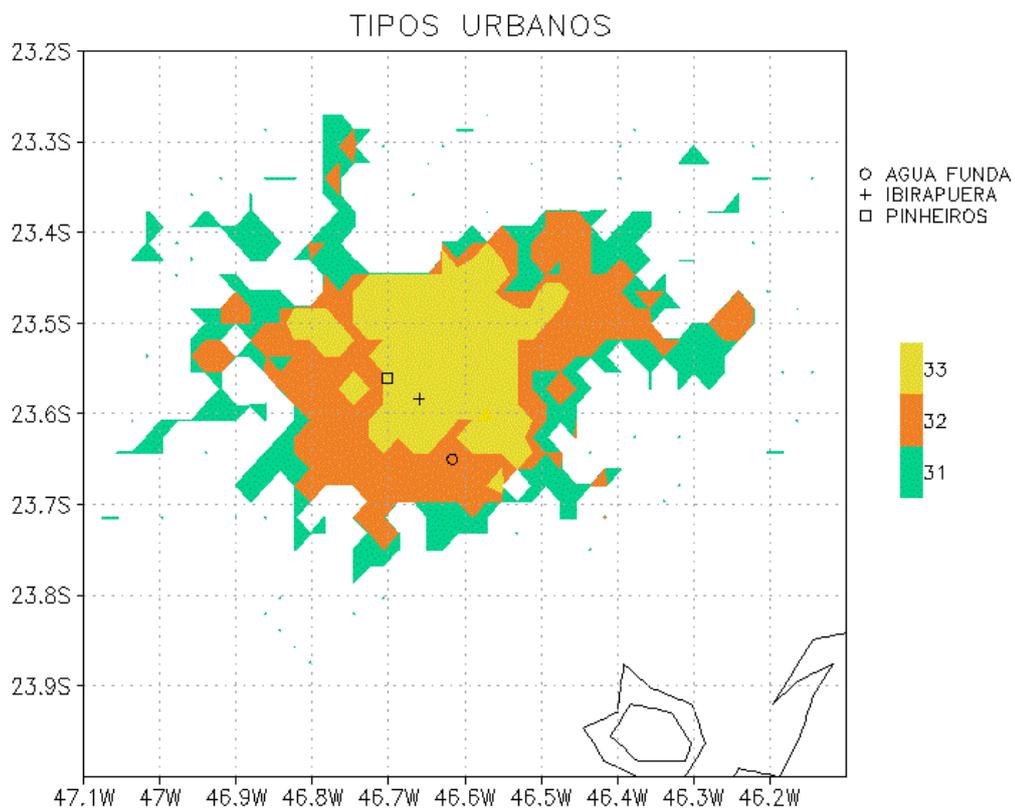


Figura 5-1. Localização das estações meteorológicas utilizadas nos diferentes tipos urbanos de m07tdu33 (comercial - 33, alta intensidade residencial - 32 e baixa intensidade residencial - 31).

A correlação dá uma ideia de quanto estão relacionadas duas medidas aleatórias, neste caso, valores observados e simulados. Desta forma, quanto maior a correlação (mais próxima de 1) melhor o acordo entre os mesmos. O RMSE tem a mesma unidade da variável analisada, podendo então ser entendido como a própria magnitude dos erros. Já o erro médio é a diferença entre a média da

observação e a média das simulações, possibilitando termos uma base dos desvios do conjunto.

5.1. INVERNO

5.1.1. RESULTADOS QUALITATIVOS

Os gráficos abaixo (Figura 5-2) são um comparativo entre a temperatura simulada pelo modelo, em todos os testes, e os valores observados em cada uma das estações. De uma forma geral o modelo permite identificar a entrada da brisa (baseada na queda brusca de temperatura) entre 18 e 19 Z que foi aproximadamente o horário real da chegada da frente de brisa.

No caso da estação Água Funda os dados observados de temperatura mostram o pico máximo de aproximadamente 24,5 °C por volta de 17-18 Z, enquanto as simulações se aproximam das observações às 18 Z. No entanto, as simulações “def” e “m07td” foram as que mais se aproximaram dos valores reais ao longo de todo o período analisado. Nas simulações em que o UCM foi ativado praticamente todos os valores da série foram subestimados. Importante notar, que todos os testes simularam um segundo pico de temperatura entre as 03 e 04 Z, sendo que nas simulações em que a mancha real de 2007 foi utilizada (“m07td”, “m07tdu24” e “m07tdu33”) este pico foi maior, chegando até a 15,5 °C - não correspondente com a observação.

Para a estação do Ibirapuera a observação mostra o pico máximo de temperatura (próximo de 25,5 °C) às 19 Z, e a única simulação que concorda com as observações para este horário é a “m07td”, enquanto todas as outras adiantam o valor máximo em uma hora. Esta, junto com a “def”, simula o valor do pico bem aproximado, e apesar da maior parte do período comparado estar subestimado,

ainda assim, são as duas simulações com os valores mais próximos ao real. O segundo máximo da madrugada também é observado neste caso, porém com menos intensidade que na estação anteriormente analisada.

Os dados observacionais da variável temperatura para a estação de Pinheiros mostram o pico em torno de 27 °C ocorrendo entre 18 e 19 Z, que conferem com o horário aproximado de todos os testes. Nota-se que nesta estação acontece o oposto do que é observado na estação do Ibirapuera no sentido de que o viés maior está justamente no horário de pico, onde todas as simulações subestimam os máximos. Entretanto, o que se repete é justamente o fato de “def” e “m07td” ainda assim se apresentarem melhor do que as simulações em que o modelo de dossel urbano UCM esteve ativo.

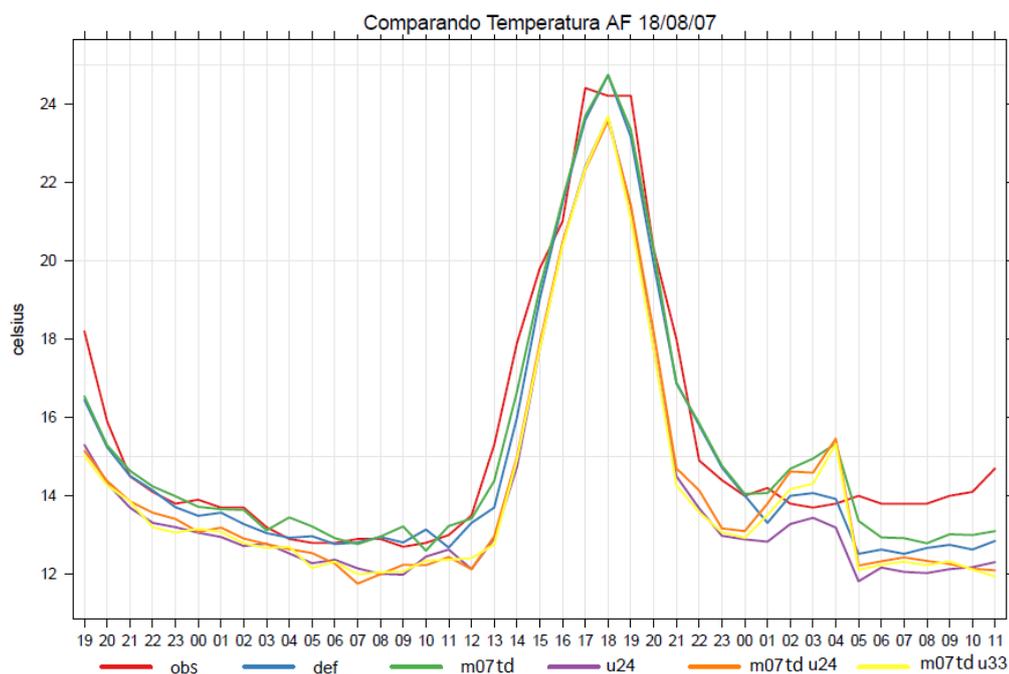


Figura 5-2. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável temperatura, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07td u24” e amarela à “m07td u33”, para o inverno, em UTC.

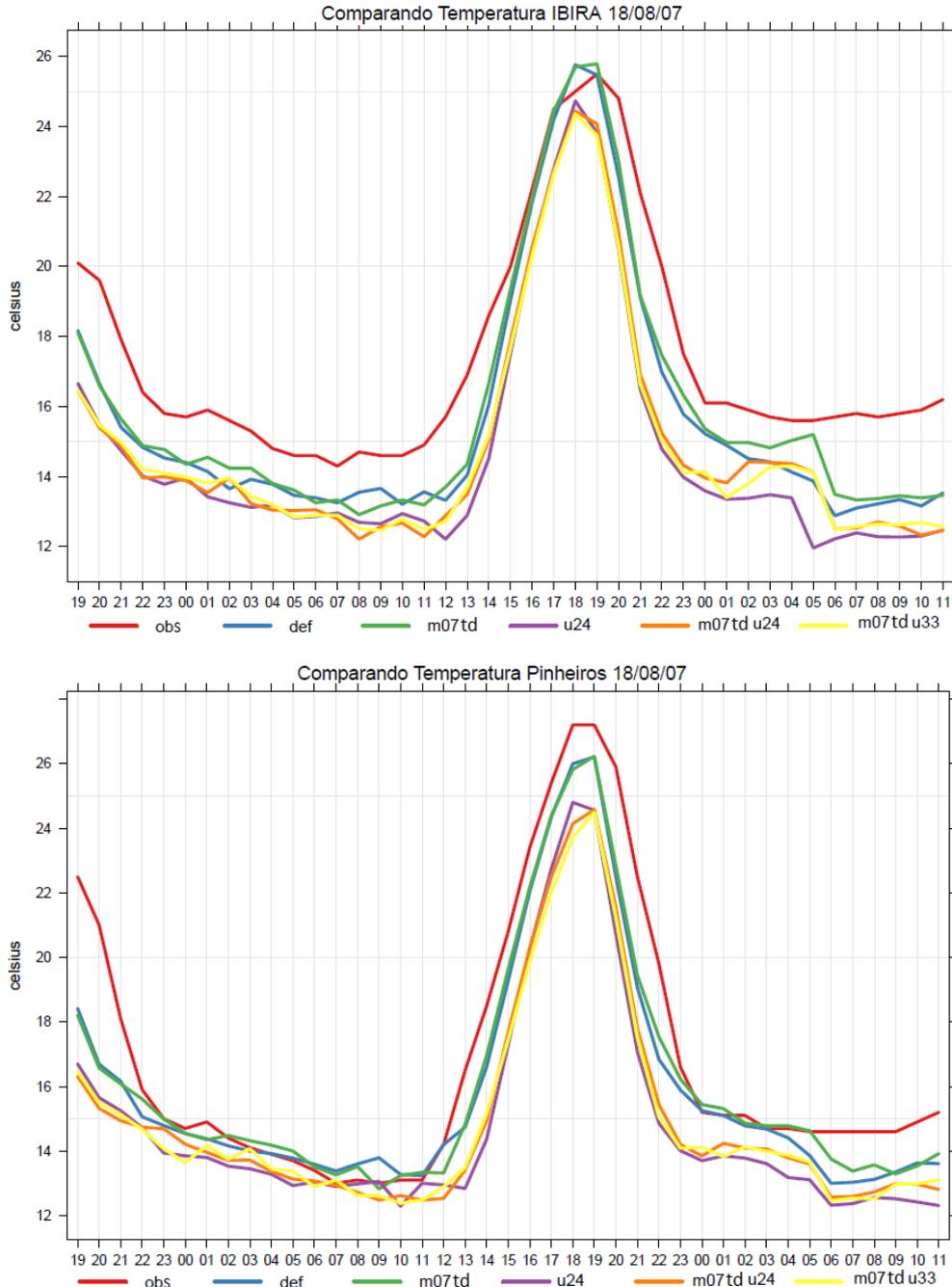


Figura 5-2. Continuação

Foi feita a mesma avaliação para a variável umidade relativa que pode ser vista nos gráficos da Figura 5-3, e o que pode-se observar em geral é o mesmo comportamento da análise anterior, em que, apesar de as simulações não estarem 100% de acordo com a observação, as que o UCM está desativado foram as mais coerentes e próximas à realidade.

No caso da estação AF todas as simulações apresentaram boas representações do horário de mínimo da UR, às 18 Z. Ao longo de toda a série as simulações “def” e “m07td” apresentaram o menor viés quando comparados as outras três simulações teste, exceto no pico mínimo em que o comportamento é contrário. O segundo pico na madrugada também foi observado nesta variável, assim como na temperatura, e também foi maior nas simulações com a mancha de 2007 utilizada.

Tanto para a estação Ibirapuera quanto para Pinheiros, o horário observado da mínima UR é às 19 Z. Para o Ibirapuera todas as simulações representaram este mínimo às 18 Z e para Pinheiros a única que apontou o horário correto foi a simulação “m07td”. No mais, novamente, “def” e “m07td” se mostraram mais condizentes aos valores reais, para ambas as estações.

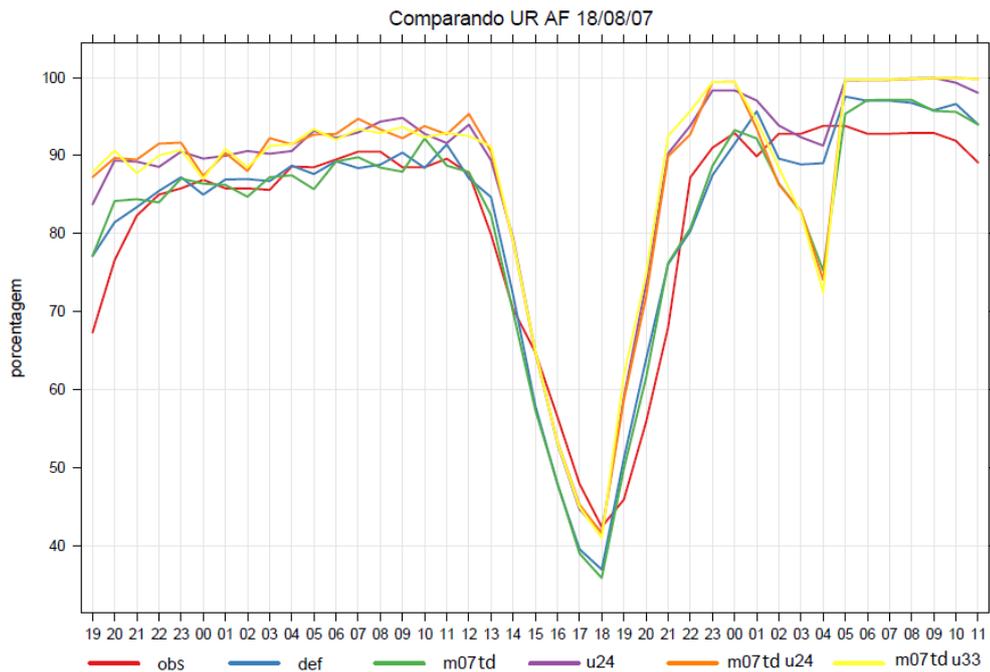


Figura 5-3. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável umidade relativa, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07td u24” e amarela à “m07td u33”, para o inverno, em UTC.

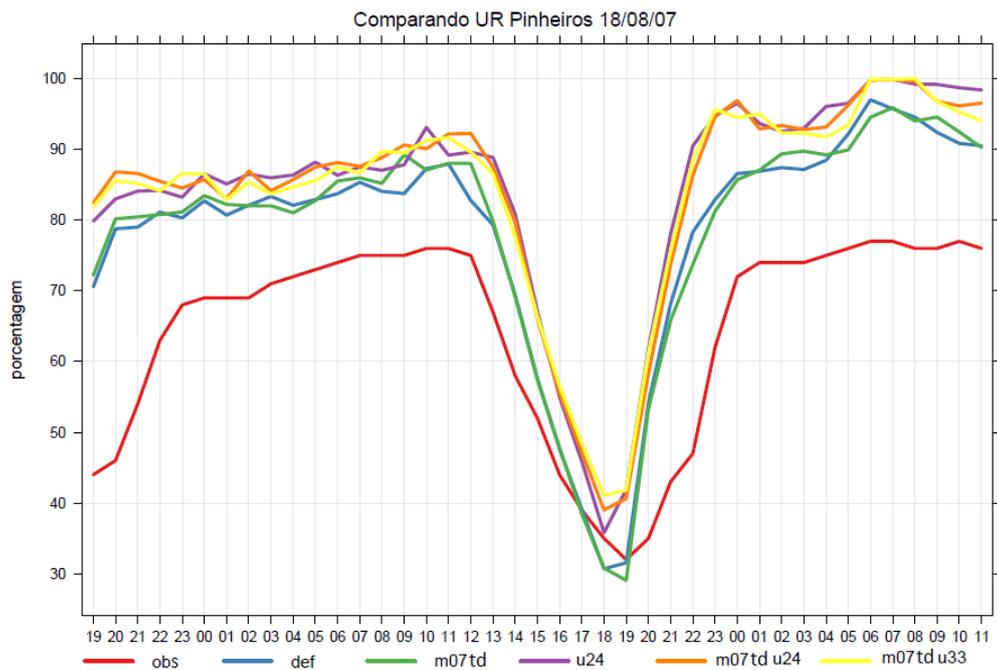
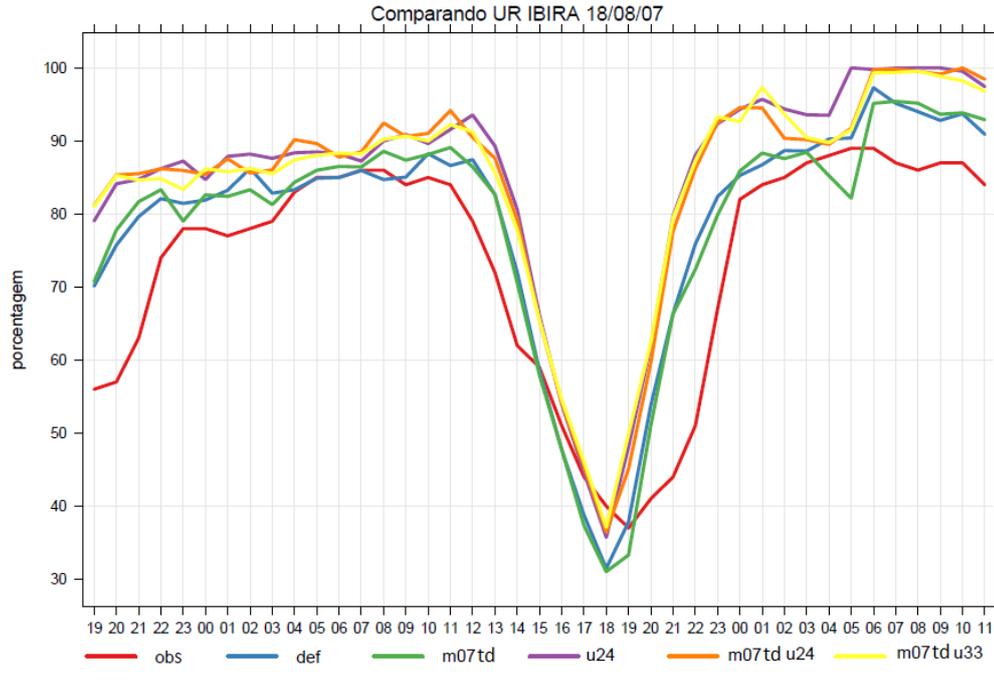


Figura 5-3. Continuação.

5.1.2. RESULTADOS QUANTITATIVOS

A primeira comparação é feita sobre o uso ou não do modelo de dossel urbano, e para isso compara-se as simulações “def” e “u24”, nas quais o mapa de uso do solo

utilizado é o original do modelo, e a única diferença entre elas, é a inclusão do UCM. A Tabela 4 apresenta os resultados da aplicação de parâmetros estatísticos para as simulações realizadas em comparação com as observações em três estações (AF, Ibirapuera e Pinheiros). Nesta tabela os valores em azul são os melhores valores encontrados nesta comparação (sobre a temperatura obtida em “def” e “u24”) e pode-se observar que a simulação default (sem o UCM) foi a que apresentou melhor desempenho em praticamente todos os parâmetros estatísticos (11 melhores resultados para “def” contra apenas 1 de “u24”, ou indicando de maneira mais simples, 11 “def” e 1 “u24”) no caso da variável temperatura.

Ao acrescentarmos na comparação as simulações com a mancha real da RMSP de 2007, a estatística melhora significativamente (marcados com **, 2 melhores resultados para “def”, 9 para “m07td”, 1 para “m07tdu24”), mas também nos casos em que o UCM está desligado, mostrando que para este caso do inverno, em princípio, os detalhes do modelo de dossel urbano praticamente não trazem melhoras na previsão da temperatura, principalmente quando comparados ao acréscimo da mancha real (de 2007). Além disso, a subdivisão de diferentes tipos de áreas urbanas, também não se mostrou relevante.

No caso da umidade relativa (Tabela 5) observa-se o mesmo comportamento. Ao compararmos o uso ou não de UCM (“def” e “u24”) as simulações em que este estava desligado apresentaram os melhores valores em toda a estatística das três estações.

Tabela 4. Resultados quantitativos para a variável temperatura no inverno.

Taf	R	ME	RMSE	DPsim (σ_s)	DPobs(σ_o)
def	0,975**	-0,456	0,857	3,229**	3,285
m07td	0,974	-0,175**	0,754**	3,203	3,285
u24	0,966	-1,342	1,597	3,075	3,285
m07tdu24	0,948	-1,112	1,525	3,037	3,285
m07tdu33	0,947	-1,238	1,627	3,025	3,285
Tibira	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,969	-1,667	1,882	3,305	3,207
m07td	0,971**	-1,454**	1,692**	3,317	3,207
u24	0,942	-2,763	2,969	3,141**	3,207
m07tdu24	0,948	-2,505	2,706	3,123	3,207
m07tdu33	0,946	-2,527	2,729	3,078	3,207
Tpinheiros	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,963	-0,988	1,577	3,789	4,206
m07td	0,966**	-0,856**	1,468**	3,797**	4,206
u24	0,939	-2,103	2,63	3,59	4,206
m07tdu24	0,947	-1,928	2,469	3,568	4,206
m07tdu33	0,95	-1,982	2,535	3,511	4,206

Ao compararmos com as simulações em que o uso do solo foi alterado, novamente observa-se não só que os melhores valores estatísticos estão nas simulações em que o UCM encontra-se desligado, como também que as diferenças nos valores de ME e RMSE são muito maiores. Além disso, a inclusão da mancha real da RMSP de 2007 se mostrou indiferente neste caso (6 “def”, 6 “m07td”).

Tabela 5. Resultados quantitativos para a variável umidade relativa no inverno.

URaf	R	ME	RMSE	DPsim(σ_s)	DPobs(σ_o)
def	0,958**	0,653	4,457**	14,543	14,336
m07td	0,936	-0,269**	5,427	14,435**	14,336
u24	0,933	5,724	7,762	13,959	14,336
m07tdu24	0,877	5,054	8,746	13,627	14,336
m07tdu33	0,856	5,193	9,274	13,417	14,336
URibira	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,905**	5,753	9,036	15,362	16,194
m07td	0,902	5,346**	8,981**	15,599**	16,194
u24	0,847	11,869	14,702	14,587	16,194
m07tdu24	0,849	11,237	14,162	14,565	16,194
m07tdu33	0,835	11,118	14,227	14,14	16,194
URpinheiros	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,884	13,787**	15,722**	14,375**	14,314
m07td	0,895**	14,02	15,866	14,678	14,314
u24	0,841	19,899	21,607	13,702	14,314
m07tdu24	0,851	19,745	21,332	13,695	14,314
m07tdu33	0,841	19,533	21,147	13,31	14,314

Tanto a análise qualitativa quanto a quantitativa mostraram que para o inverno, neste caso, o modelo se mostrou mais sensível à melhor caracterização do uso do solo (mancha urbana real da RMSP de 2007) do que pelo maior detalhamento apresentado pelo UCM, e, portanto, para as próximas simulações no caso do inverno, o modelo de dossel urbano estará desativado.

5.2. VERÃO

5.2.1. RESULTADOS QUALITATIVOS

Como no caso anterior, a Figura 5-4 abaixo mostra as comparações de temperatura observadas e simuladas em cada uma das estações e, para este evento, a entrada da brisa marítima acontece cerca de 3h antes do caso no inverno, ou seja, foi observada entre 15 e 16 Z.

Para a estação AF foi observada a queda de temperatura a partir das 15 Z e todas as simulações teste concordam com a hora do pico, porém, pode-se observar que as simulações “u24”, “m07tdu24”, “m07tdu33” (linhas roxa, laranja e amarela, respectivamente), ou seja, testes em que o UCM está ativo, simulam o exato valor máximo de temperatura observada (apesar de superestimar os mínimos noturnos). Também pode-se notar que apesar de pouco diferentes, são estas mesmas que possuem o menor viés associado ao longo de praticamente toda a série.

No caso da estação Ibirapuera, o mesmo horário de pico foi observado (15 Z), porém, nem todos os testes simulam o horário correto, como por exemplo, a simulação “def” que adianta o pico em uma hora e a “m07tdu24” que o atrasa, também em uma hora. Apesar disso, a “m07u24” é a que mais aproxima o pico simulado ao valor real.

Em Pinheiros o pico de temperatura foi observado às 16 Z e pôde ser visto em “def”, “m07td” e “u24”, apesar de também subestimarem o valor. As outras simulações acabam por adiantar a entrada da brisa em uma hora.

Em geral, analisando os gráficos de todas as estações observa-se que no período diurno (entre 11 e 20 Z) os valores de temperatura são melhores simulados do que no período noturno onde pode-se notar os valores superestimados em todos os

testes. Além disso, também é interessante notar a existência de um segundo pico de temperatura, entre as 20 e 21 Z, que também pode ser observado em todos os testes, independente da estação – sem correspondência com a observação.

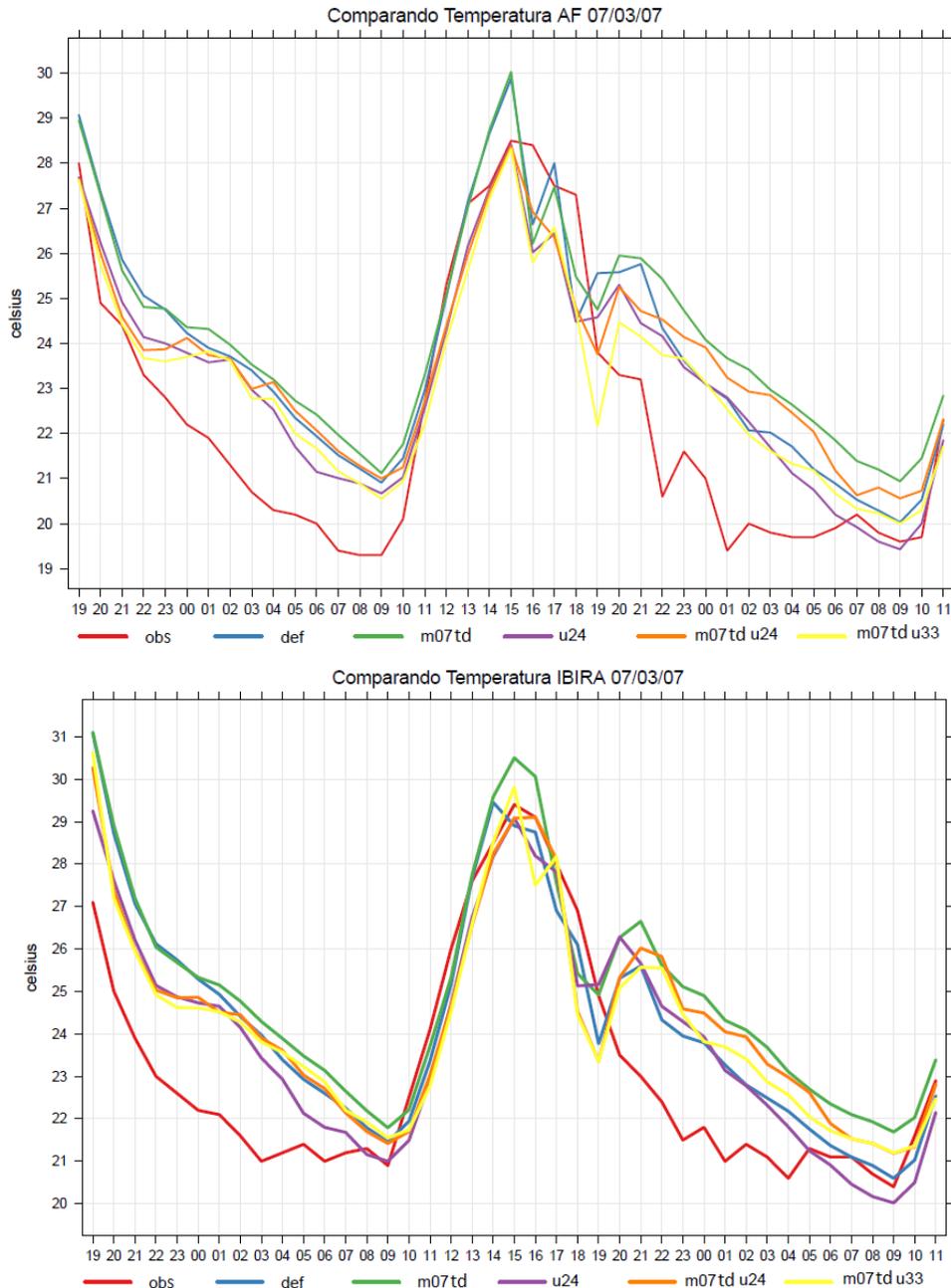


Figura 5-4. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável temperatura, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07td u24” e amarela à “m07td u33”, para o verão.

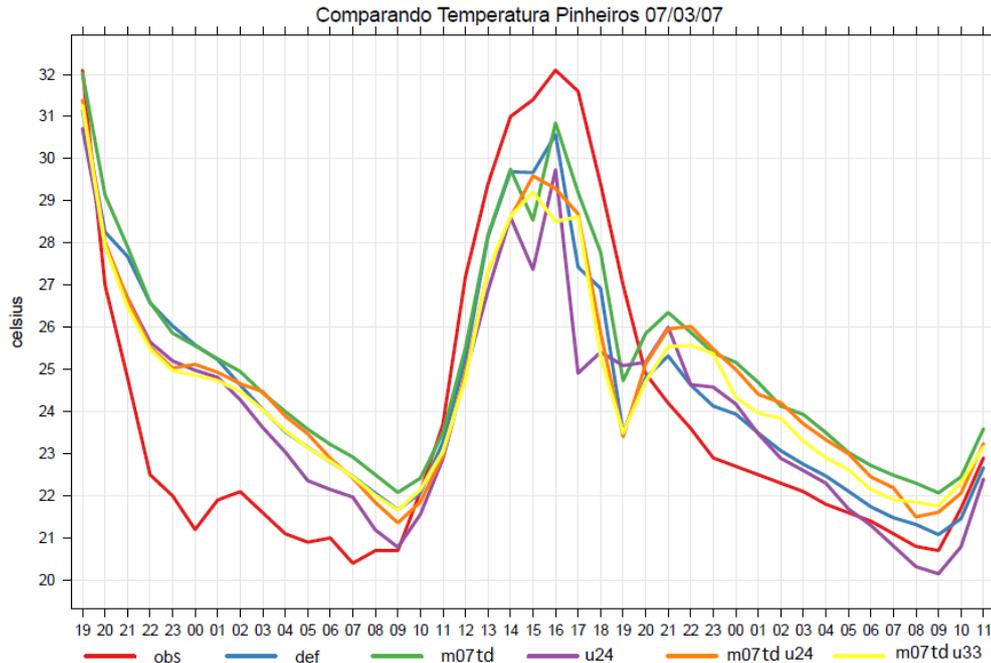


Figura 5-4. Continuação

Para a umidade (Figura 5-5) observa-se o comportamento contrário à temperatura com os extremos acontecendo no mesmo horário, ou seja, nas estações AF e Ibirapuera o mínimo de UR acontece por volta das 15 Z e em Pinheiros, 16 Z. Com relação aos testes na estação AF todos previram o horário correto de aumento súbito da umidade relativa e no caso da estação do Ibirapuera somente a simulação “def” adiantou esse aumento em uma hora. Já em Pinheiros este adiantamento foi visto nos resultados das simulações “m07tdu24” e “m07tdu33”.

Em geral, todos os testes subestimaram a umidade relativa em todas as estações, ao longo de praticamente todo o tempo. Apesar disto nas estações AF e Ibirapuera pode-se observar a sequência mais coerente da simulação “m07tdu24” onde, apesar de os valores não estarem corretos, o aumento e diminuição da UR simulada está em fase com os dados observados.

Pode-se observar também, que no verão qualquer mudança já é bastante significativa, suficiente para mudar relativamente a resposta do modelo, como resultado final.

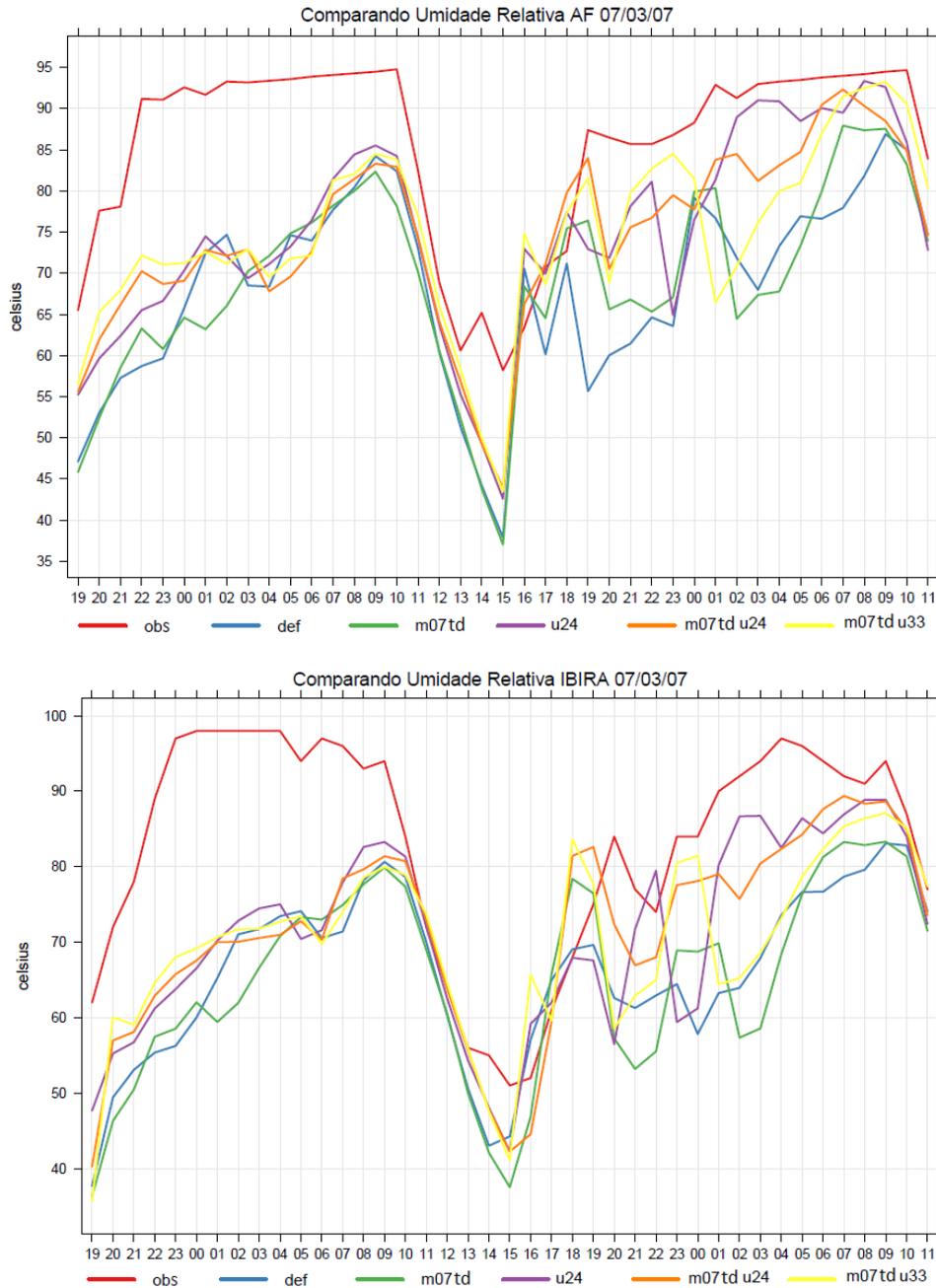


Figura 5-5. Comparação entre as cinco simulações teste realizadas e os dados observados das estações AF, Ibirapuera e Pinheiros para a variável umidade relativa, sendo a linha vermelha dos valores observados, azul referente à simulação “def”, verde à “m07td”, roxa à “u24”, laranja à “m07td u24” e amarela à “m07td u33”, para o verão.

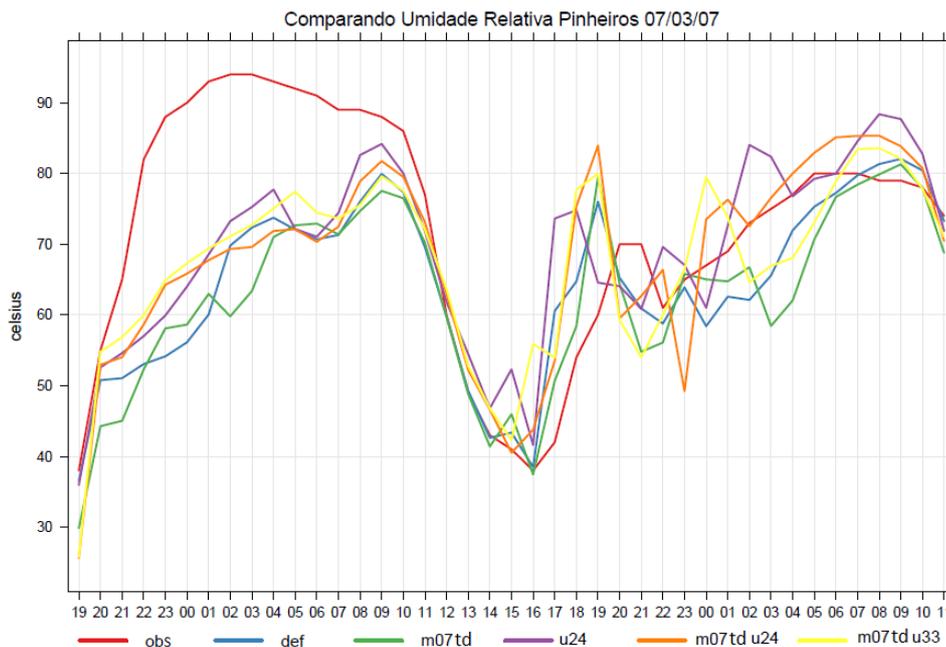


Figura 5-5. Continuação

5.2.2. RESULTADOS QUANTITATIVOS

As comparações para o período de verão foram as mesmas realizadas anteriormente na seção quantitativa para o inverno, em que primeiro analisa-se as simulações “def” e “u24” com a finalidade de observar se há diferenças significativas somente na ativação do modelo de dossel urbano. Para a variável temperatura neste caso de verão, a Tabela 6 mostra que as simulações “def” e “u24” são equiparadas (em azul), apresentando seis melhores valores estatísticos em cada uma delas, e, ao compararmos todas as simulações realizadas, pode-se observar que a inclusão do UCM nesse caso é mais significativa que a mudança da mancha urbana (5 melhores resultados para “def”, 4 para “u24”, 2 para “m07u33”, 1 para “m07”) – melhores resultados marcados com **. Também observa-se nesta estação, alguma mudança com relação aos diferentes tipos de área urbana, quando encontramos dois melhores valores associados à “m07u33”.

Tabela 6. Resultados quantitativos para a variável temperatura no verão.

Taf	R	ME	RMSE	DPsim(σ_s)	DPobs(σ_o)
def	0,908**	1,431	1,89	2,643**	2,973
m07	0,891	1,833	2,296	2,46	2,973
u24	0,893	0,84	1,593	2,495	2,973
m07u24	0,89	1,225	1,915	2,318	2,973
m07u33	0,897	0,749**	1,583**	2,395	2,973
Tibira	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,84	1,192	1,894	2,417**	2,632
m07	0,842	1,821	2,319	2,365	2,632
u24	0,847**	0,794**	1,635**	2,402	2,632
m07u24	0,814	1,21	1,945	2,238	2,632
m07u33	0,821	1,077	1,844	2,253	2,632
Tpinheiros	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,859	0,628	2,005**	2,93**	3,672
m07	0,884**	1,266	2,219	2,887	3,672
u24	0,819	0,095**	2,127	2,783	3,672
m07u24	0,858	0,766	2,132	2,774	3,672
m07u33	0,869	0,59	2,063	2,74	3,672

Para a umidade (Tabela 7), o caso em que o UCM foi ligado apresentou melhores valores estatísticos (10 “u24”, 2 “def”), e ao compararmos todos, a mancha real de 2007 associada com o modelo de dossel urbano mostrou-se a opção mais fidedigna à realidade (7 “m07u24”, 2 “u24”, 2 “m07u33”, 1 “m07”). Apesar de nesta estação do ano (verão) alguns melhores valores estatísticos estarem vinculados ao “m07u33”, a grande maioria ainda se encontra com o “u24” e, portanto, podemos concluir que para este caso a inclusão de diferentes tipos de áreas urbanas (alta/baixa densidade residencial, área comercial) não fazem extrema diferença.

Tendo isto, para este caso do verão de 2007, todas as simulações com o UCM ativo se mostraram melhores estatisticamente, e dessa forma, todas as próximas simulações do verão serão realizadas com o modelo de dossel urbano ativo e área urbana padronizada, ou seja, UCM ativo com 24 classes.

Tabela 7. Resultados quantitativos para a variável umidade relativa no verão.

URaf	R	ME	RMSE	DPsim(σ_s)	DPobs(σ_o)
def	0,739	-17,386	19,183	9,739	11,073
m07	0,726	-16,616	18,594	9,706	11,073
u24	0,744	-10,889	13,679	10,01**	11,073
m07u24	0,762**	-11,202	13,477**	9,591	11,073
m07u33	0,69	-10,839**	13,781	9,076	11,073
URibira	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,638	-17,118	20,505	10,239	14,645
m07	0,595	-17,964	21,797	10,603	14,645
u24	0,692	-12,286	16,293	11,276	14,645
m07u24	0,698**	-11,772**	15,882**	11,419**	14,645
m07u33	0,591	-13,094	17,796	10,08	14,645
URpinheiros	R	ME	RMSE	DPsim	DPobs
def	0,684	-7,795	14,46	11,869	16,889
m07	0,691**	-9,584	15,442	12,167	16,889
u24	0,644	-3,168**	13,268	11,741	16,889
m07u24	0,669	-4,649	13,502	12,546**	16,889
m07u33	0,69	-4,975	13,075**	11,984	16,889

6. TESTES DE SENSIBILIDADE SOBRE O IMPACTO DA URBANIZAÇÃO

Para avaliação do impacto da urbanização da RMSP, além das comparações feitas nos campos horizontais também foi feita uma análise vertical do deslocamento da brisa continente adentro, através de um corte perpendicular à costa que cruza o ponto central das manchas, contendo 60 pontos, mostrado na Figura 6-1 sendo o ponto inicial (p1) localizado em $23,16235^{\circ}$ S e $47,0366^{\circ}$ O e o ponto final (p60) em $24,21053^{\circ}$ S e $45,8919^{\circ}$. A distância entre cada ponto do corte é de 2 km. O ponto central, demarcado por um círculo aberto é o p22 do corte e corresponde à $-23,5363$ de latitude e $-46,6292$ de longitude. A mancha de 2007, situada entre os p8 e p33 do corte, está demarcada pelos triângulos fechados, e a mancha de 1952 (entre os círculos fechados) entre o p17 e p28. O quadrado aberto é referente ao p46 e demarca a interface oceano/continente.

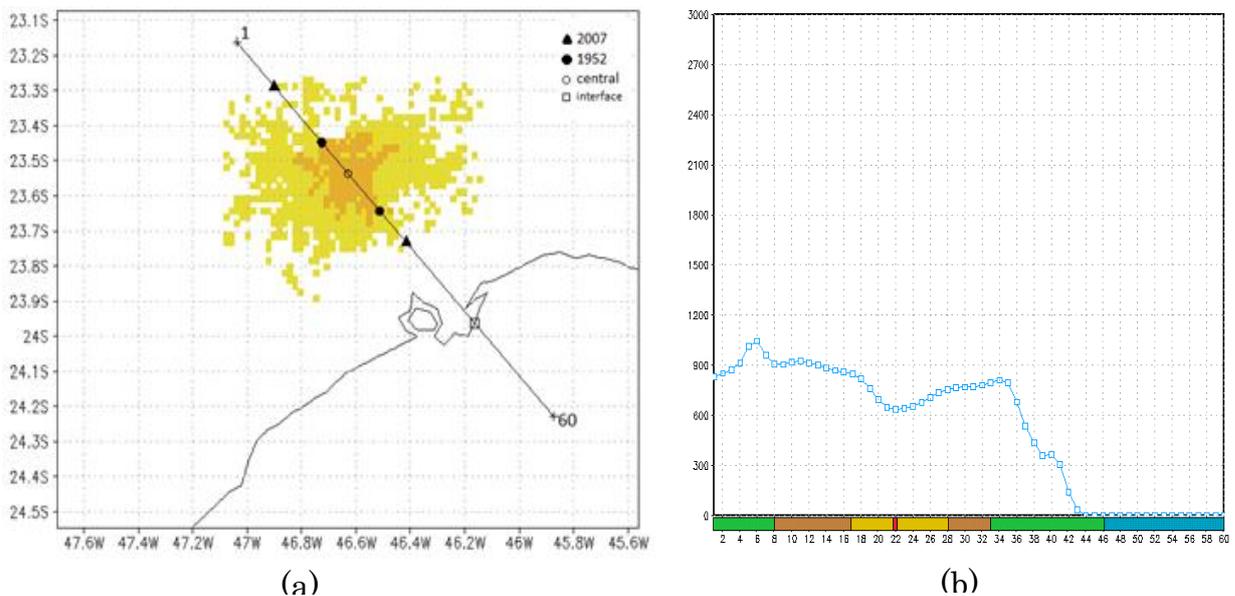


Figura 6-1. (a) Manchas urbanas de 1952 e 2007, corte perpendicular e pontos de referência e (b) altura do relevo no corte em metros (a barra de cores indica as regiões do corte: azul para oceano, verde para vegetação, amarelo claro para a mancha de 1952 e amarelo escuro para 2007. O ponto central (p22) é demarcado pela cor vermelha).

6.1. URBANIZAÇÃO PASSADA

Neste tópico será analisado o impacto do aumento da urbanização passada até o ano de 2007 através de comparação entre os campos resultantes de cada simulação realizada sobre o mesmo evento. Para esta análise utilizou-se as manchas SU, 52 e m07, em que toda a área urbana foi retirada e substituída por vegetação de floresta (*evergreen broadleaf forest*), exceto a RMSP, justamente para avaliar a influência única da sua presença.

Conforme indicado no capítulo anterior, nas simulações realizadas para a estação de inverno não foi utilizado o modelo de dossel urbano (UCM), enquanto que para o verão o UCM foi ativado com 24 classes. Além disso, as figuras selecionadas para as análises foram baseadas nas máximas diferenças encontradas, e por este motivo os horários podem não ser igualmente correspondentes entre as estações.

6.1.1. INVERNO

Para as três simulações observa-se a entrada da brisa marítima na RMSP, porém nota-se diferenças no horário de entrada da mesma. Como referência para comparação utilizou-se o ponto central das manchas, demarcado pelo círculo preto. Pode-se observar que para um mesmo horário, 19Z, o comportamento observado na entrada da brisa marítima é diferenciado conforme a expansão da área urbana, no sentido de que quanto maior for a mancha considerada, mais tarde é observado o vento de sudeste chegando de encontro ao ponto de referência.

Isto pode ser notado ao se analisar a Figura 6-2 que mostra o campo de vento horizontal no domínio três (D3) visto pelo modelo na simulação SU, em que neste horário a frente de brisa já havia passado do ponto, enquanto que na simulação 1952 (Figura 6-3) a frente de brisa acaba de atingir o mesmo. Ainda na simulação

2007 para o mesmo horário, a frente de brisa nem havia chegado ao centro da mancha (Figura 6-4).

Outro ponto interessante de se observar é o quanto a existência da mancha urbana influencia na velocidade do vento, o que pode ser observado em cada uma das figuras. Por exemplo, para SU na região do ponto de referência, o vento máximo a 10 metros de altura gira em torno de 4-5 m/s, enquanto que na simulação de 1952, na região em que foi acrescentada a mancha urbana a velocidade cai para 3-4 m/s. Este comportamento pode ser observado mais claramente em 2007, que em praticamente toda a mancha a velocidade do vento é menor, com regiões da frente de brisa com velocidade de 2 m/s.

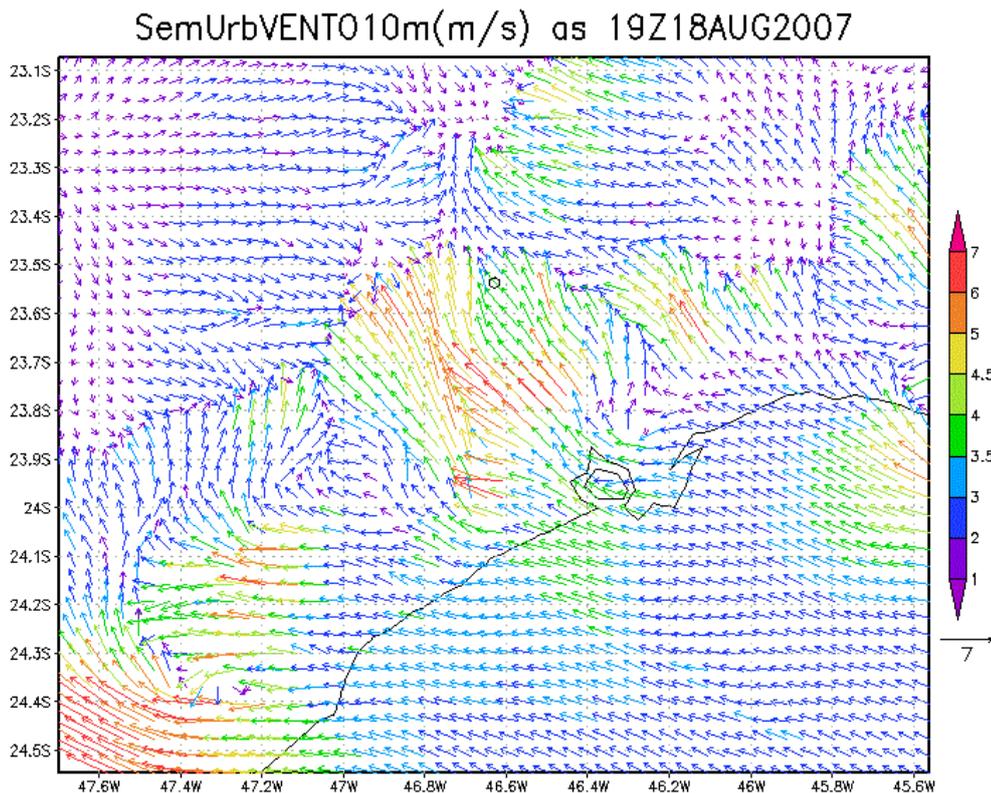


Figura 6-2. Composição do vento horizontal no D3 às 19Z do dia 18/08 para a simulação sem urbanização (SU).

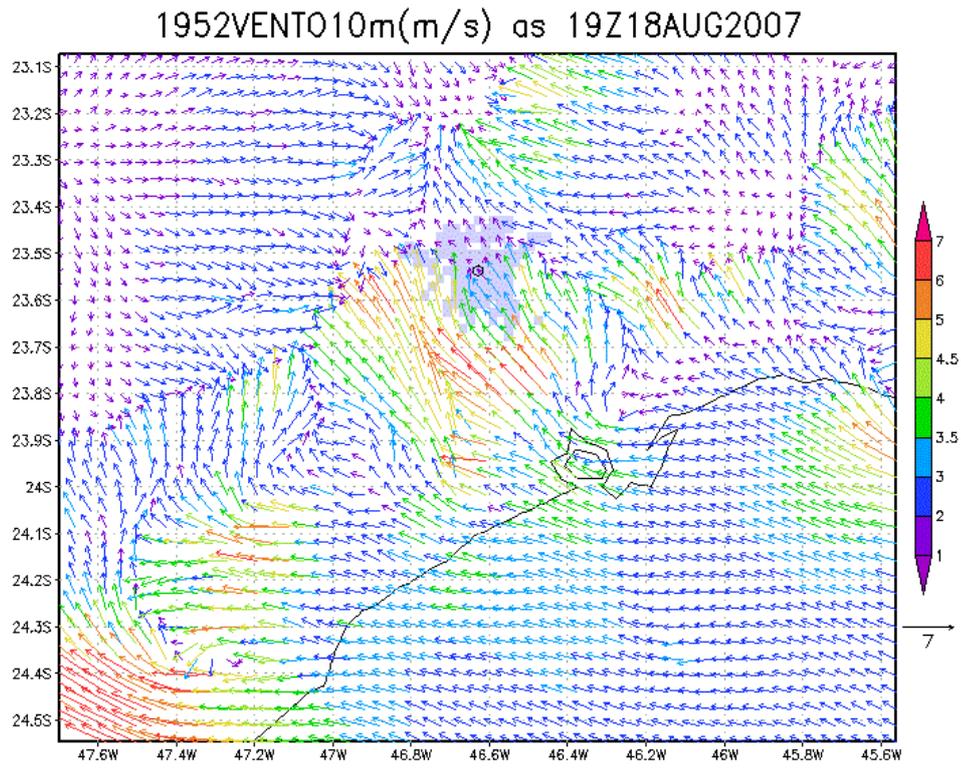


Figura 6-3. Mesmo que Figura 6-2 para a simulação 1952.

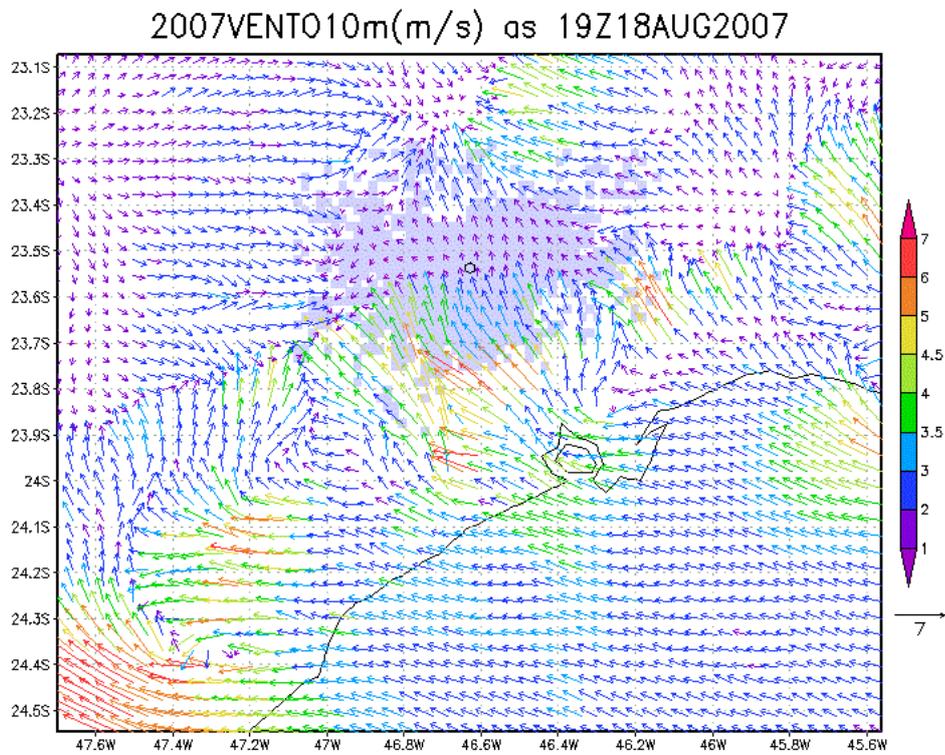


Figura 6-4. Mesmo que Figura 6-2 para a simulação 2007.

A Figura 6-5 abaixo mostra do lado esquerdo, uma composição de razão de mistura (colorido) e vento a 10m (vetores) para as 19Z em cada uma das simulações e do lado direito a razão de mistura somente, simulada uma hora depois, ou seja, 20Z para SU, 1952 e 2007, onde pode-se observar claramente a injeção de vapor d'água referente à propagação da frente de brisa continente adentro.

Tomando como limiar o valor de 8,5 g/kg de razão de mistura, para o caso da simulação SU às 19Z (Figura 6-5.a) já se observa a penetração da umidade no ponto de referência e às 20Z (Figura 6-5.b) a frente já está bem adiantada, enquanto que para 1952 esta frente de umidade ainda não se encontra na região as 19Z (Figura 6-5.c) e às 20Z (Figura 6-5.d) ainda está um pouco recuada com relação à SU. Para 2007 às 19Z (Figura 6-5.e) ainda permanece um ar mais seco na região e observa-se que somente às 20Z (Figura 6-5.f) a frente de umidade parece encontrar o ponto de referência, mostrando que a injeção de umidade relativa em função da penetração da brisa marítima também é atrasada conforme o aumento da urbanização.

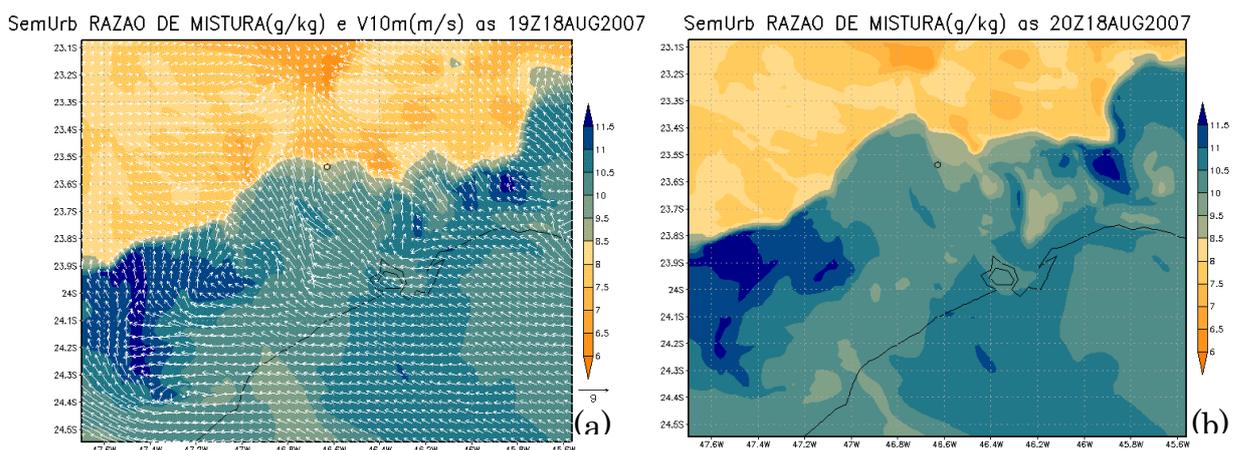
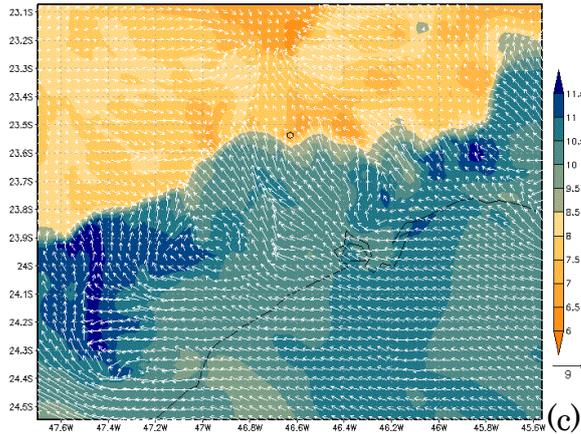
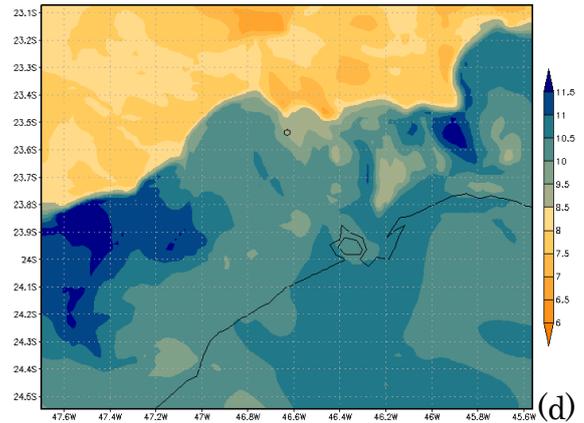


Figura 6-5. Do lado esquerdo, uma composição de razão de mistura (colorido) e vento a 10m (vetores) para as 19Z em SU (a), 1952 (c) e 2007 (e) e do lado direito somente a razão de mistura para as 20Z em cada uma das simulações (SU – b, 1952 – d, 2007 – f), para 18/08.

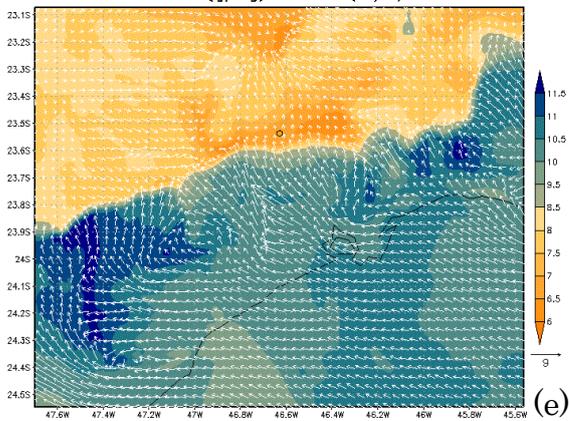
1952 RAZAO DE MISTURA(g/kg) e V10m(m/s) as 19Z18AUG2007



1952 RAZAO DE MISTURA(g/kg) as 20Z18AUG2007



2007 RAZAO DE MISTURA(g/kg) e V10m(m/s) as 19Z18AUG2007



2007 RAZAO DE MISTURA(g/kg) as 20Z18AUG2007

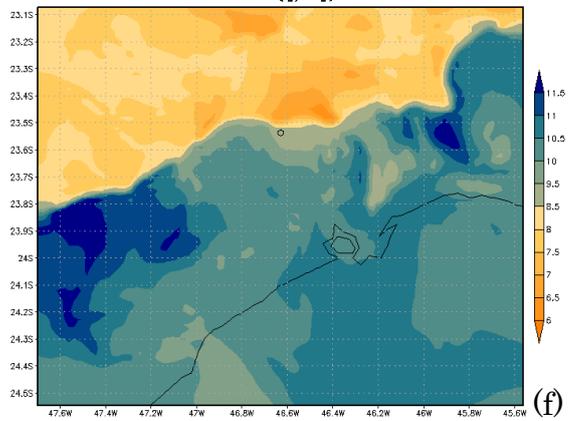


Figura 6-5. Continuação.

A Figura 6-6 mostra uma sequência de figuras do campo de diferença de razão de mistura entre a simulação 2007 e SU. Nesta sequência pode-se observar a disparidade na quantidade de umidade trazida pela brisa marítima na simulação acrescida da mancha urbana de 2007, quando comparado à simulação em que nenhuma área urbana foi considerada.

Pode-se notar que, com a urbanização de 2007, antes da entrada da brisa, a região urbanizada de 2007 tem, mesmo que pouca (1 g/kg), uma maior quantidade de vapor d'água no ar. Numa primeira análise poder-se-ia concluir que existe bem menos vapor d'água sendo propagado com a entrada da brisa quando comparado a SU, ou seja, um ar mais seco sendo injetado no continente quando acontece o aumento da mancha urbana, com diferenças de até 2,5 g/kg de

vapor d'água a menos em alguns pontos. Entretanto, tais diferenças devem-se apenas ao atraso observado na penetração da brisa.

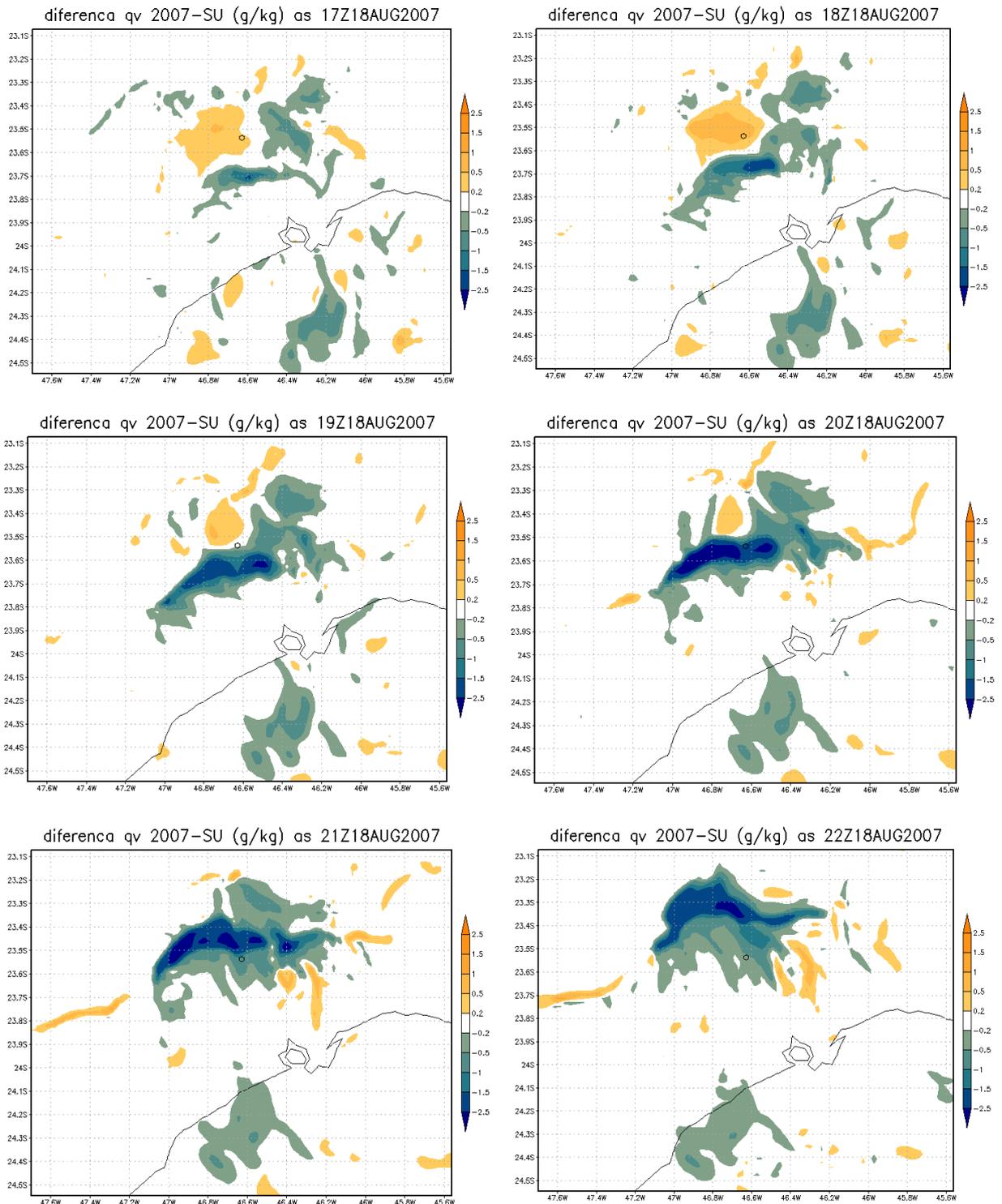


Figura 6-6. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2007-SU, das 17 às 22Z do dia 18/08.

A Figura 6-7 mostra a diferença entre os valores de temperatura em 2007 e quando nenhuma área era urbanizada, sendo a figura (a) referente às 16Z e a figura (b) às 22Z. Pode-se notar que durante o dia (a) a área florestada se mostra pouco mais quente ($\sim 1^{\circ}\text{C}$) do que a urbanização, e a área do entorno (regiões de pastagem e savana) chegando à 4°C mais quente. O contrário acontece à noite (b), onde a ilha de calor pode ser claramente observada com a temperatura a 2 m da região urbanizada chegando a ter até 6°C a mais quando comparada à SU.

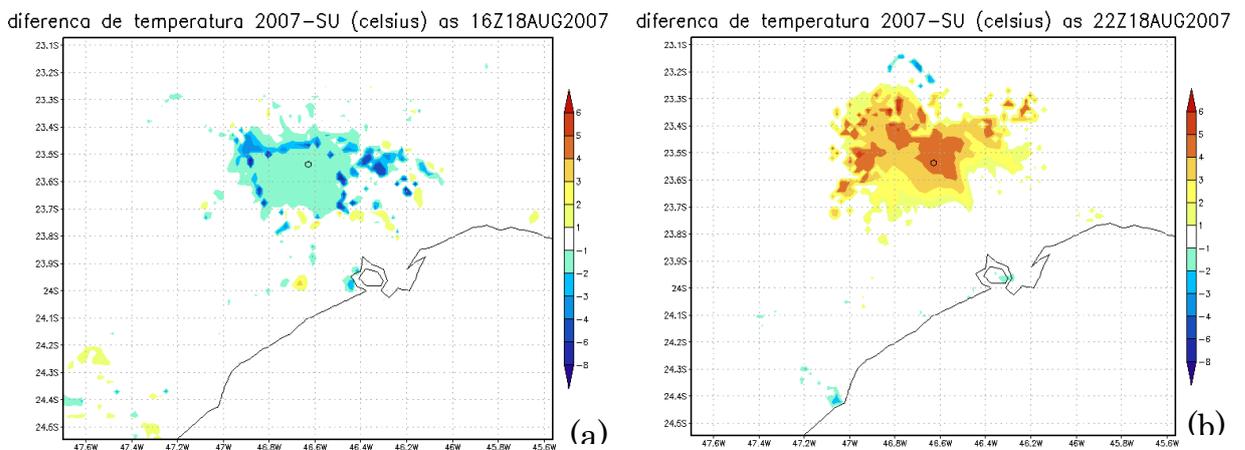


Figura 6-7. Campo de diferença de temperatura à 2m no D3 às (a) 16Z e às (b)22Z para 18/08.

Nos mesmos horários podemos observar o comportamento de cada uma das simulações separadamente, conforme a Figura 6-8. Na simulação sem nenhuma urbanização para o horário das 15Z (a) tem-se uma célula quente na região do entorno do ponto central, que acaba por ser amenizada com a inclusão das manchas urbanas, onde pode-se inclusive ver o formato da mancha mais fria de 1952 (c) e 2007 (e). Este comportamento pode ser justificado, por exemplo, em função do valor de albedo na área urbana ser maior e, portanto, a refletância é maior que na área vegetada, e conseqüentemente o aquecimento é menor.

No entanto, ao analisarmos as figuras das 22Z observa-se o comportamento inverso, onde com o aumento da mancha, maior a temperatura na região.

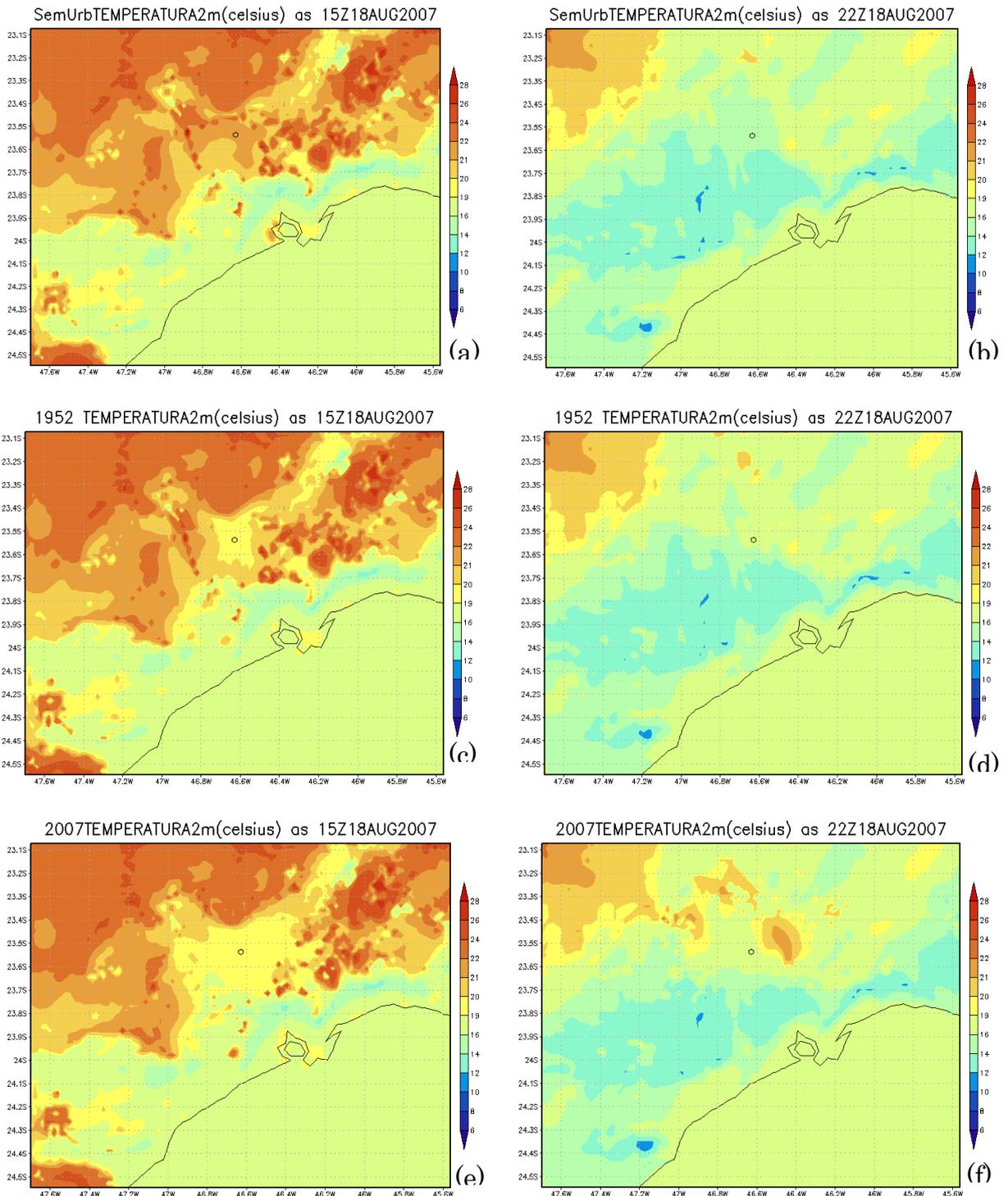


Figura 6-8. Temperatura a 2m para cada simulação (SU, 1952 e 2007), no lado esquerdo às 15Z e no lado direito às 22Z para 18/08.

A Figura 6-9 mostra a diferença de precipitação acumulada em todo o período simulado entre 1952 e SU (a) e entre 2007 e 1952 (b). Observa-se que, neste caso, não houve diferenças nas regiões onde se encontram as manchas urbanas, mas

sim na zona costeira ao longo de todo o domínio. Nota-se ainda, que esta diferença no campo de precipitação não é linear com o aumento da urbanização, pois ao compararmos as figuras (a) e (b) percebemos que o comportamento difere no sentido de que mais áreas com menos precipitação são observadas de 1952 à 2007, indicando que com o aumento da mancha urbana a probabilidade de ocorrer menos precipitação na região costeira é maior.

Com relação a precipitação acumulada para o domínio 3, observou-se que quanto maior a área urbanizada, menor a precipitação acumulada, de forma que na simulação SU o acumulado aproximado foi de 5887mm enquanto que em 07 foi de 5799mm.

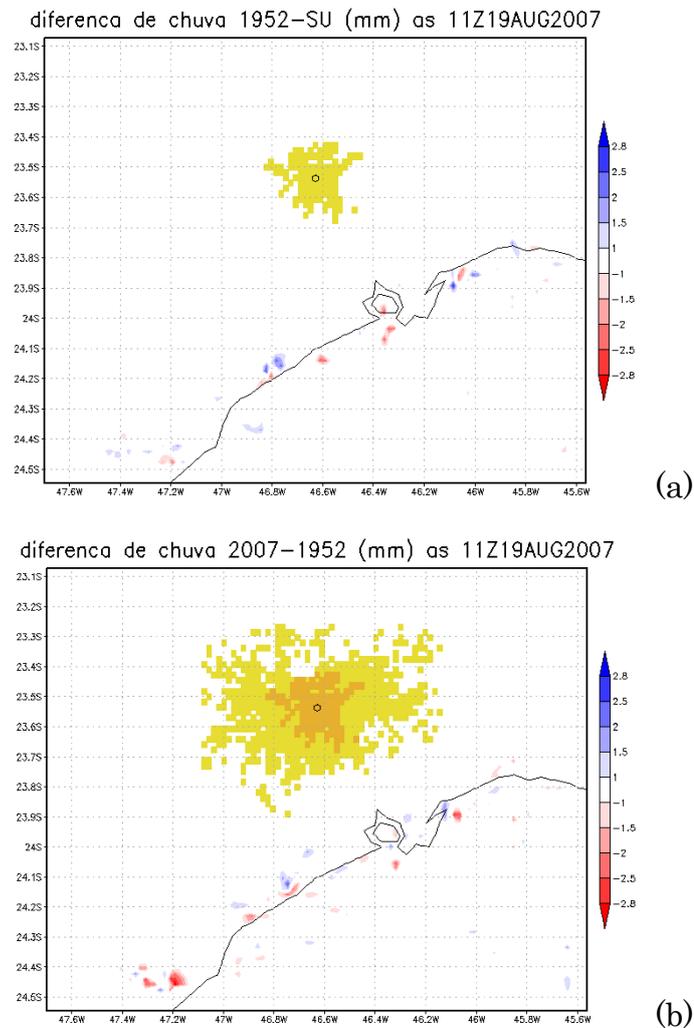


Figura 6-9. Diferença de precipitação acumulada entre (a) 1952 e SU e (b) 2007 e 1952 para o inverno.

Para se explorar as diferenças no comportamento vertical da brisa marítima e sua propagação continente adentro foram analisadas as figuras do corte vertical perpendicular ao litoral (45°) até 3 km de altura. A Figura 6-10 mostra este corte para o dia 18/08/2007 às 10Z para cada uma das simulações, onde ao fundo, em cores, tem-se o vento zonal (u) e os vetores são referentes à composição do vento zonal e vertical (w) – denominado aqui como ‘vento de brisa’. A barra de cores abaixo de cada figura indica as regiões do corte, sendo azul para oceano, verde para vegetação, amarelo claro para a região referente à mancha urbana de 1952 e amarelo escuro para 2007. O ponto central (p22) é demarcado pela cor vermelha.

Neste horário, em todas as simulações observa-se um vento de leste em baixos níveis ao longo de praticamente todo corte. Porém, a entrada da frente de brisa no continente é observada pela pequena convergência de ventos que, em qualquer das simulações é observada em torno do ponto 47.

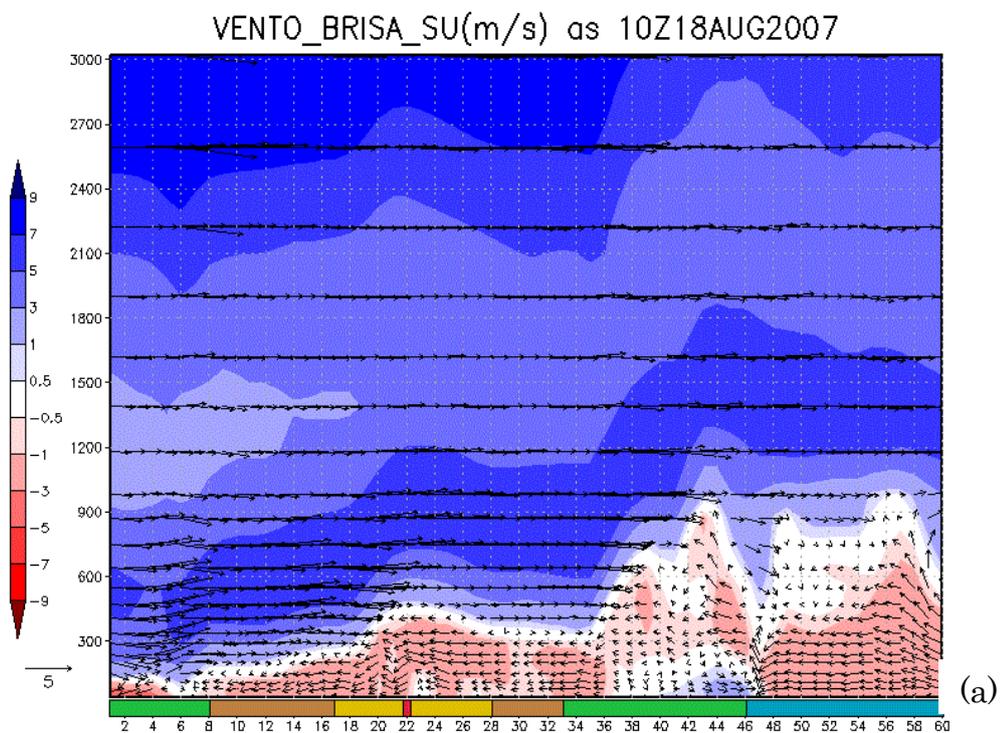


Figura 6-10. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa às 10Z para as simulações (a) SU, (b) 52 e (c) 07 para o inverno.

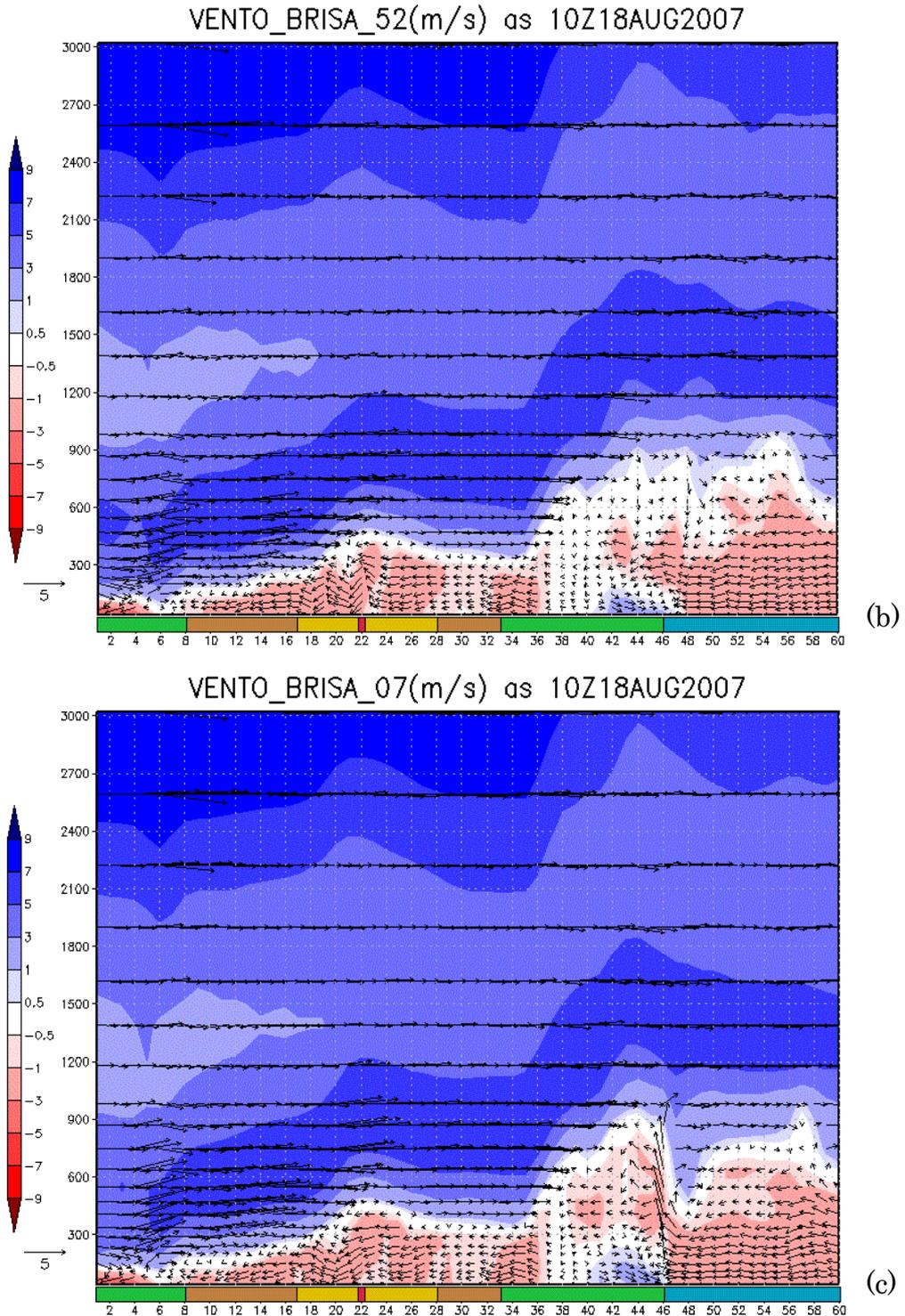


Figura 6-10. Continuação.

Às 14Z (Figura 6-11) praticamente ainda não se observa nenhuma diferença entre as simulações quanto o deslocamento da frente de brisa, sendo o movimento ascendente observado em todas as simulações próximo ao ponto 33. Observa-se

uma divisão do movimento de leste, de forma a aparentar uma segunda circulação.

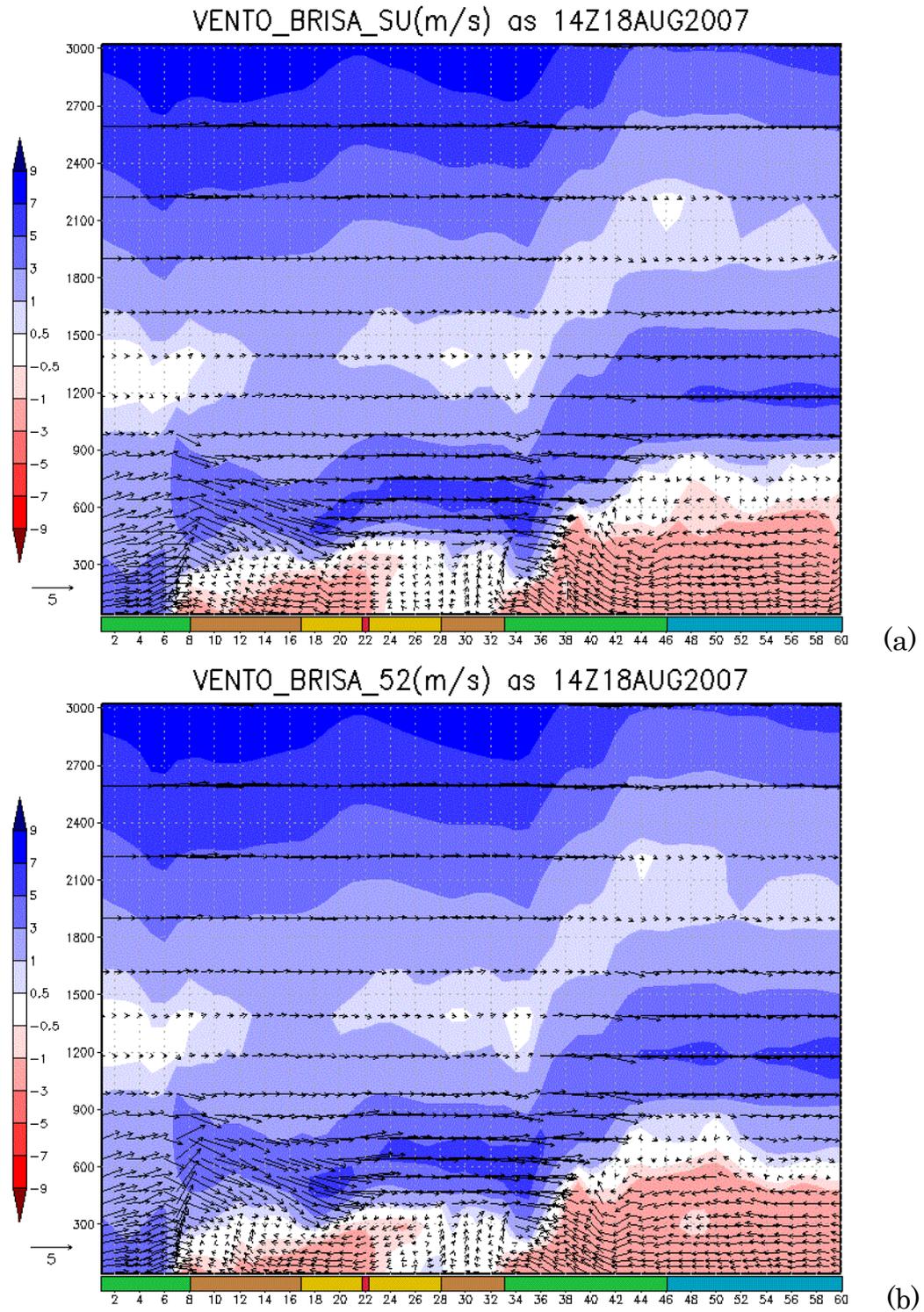


Figura 6-11. Mesmo que a Figura 6-10 para as 14Z.

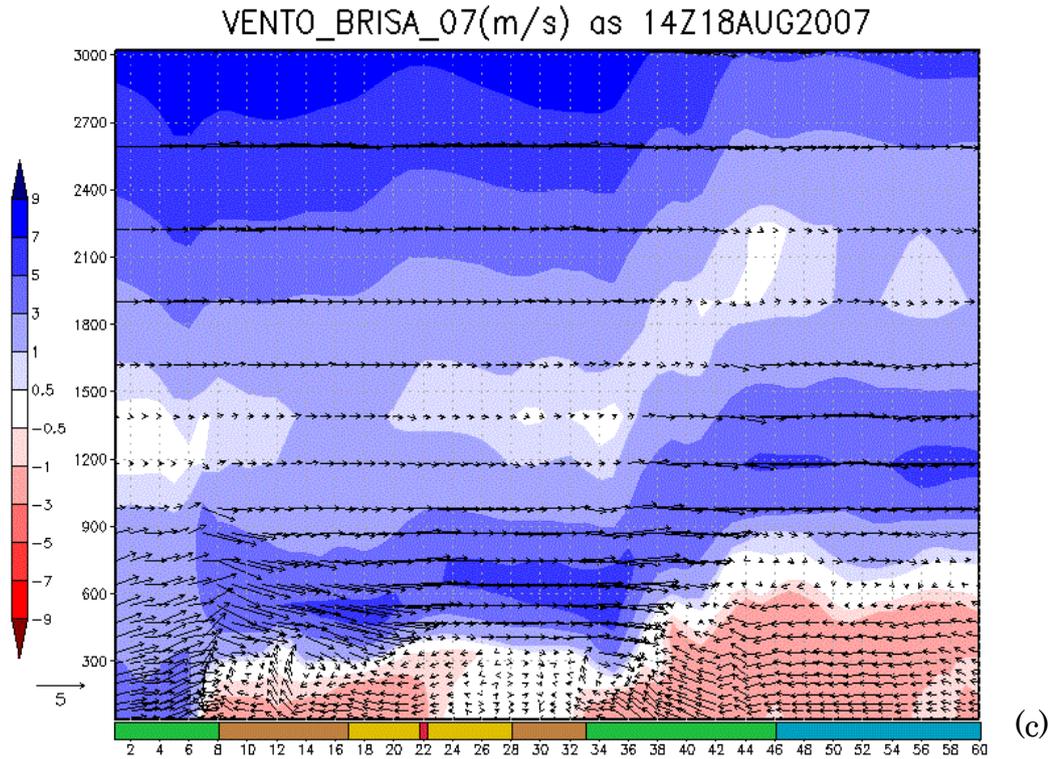


Figura 6-11. Continuação.

Já para as 17Z (Figura 6-12) pode-se perceber um atraso no deslocamento da BM, de forma que se observa o movimento ascendente na simulação SU próximo ao p27, enquanto que na 52 está no p28 e na 07 aproximadamente no p30. Além disso, percebe-se a segunda circulação mais definida e alongada na vertical, com movimento ascendente no ponto 7, e movimento descendente agindo contra a entrada da brisa marítima. Esta pode possivelmente estar associada a uma circulação vale-montanha devido ao relevo da região.

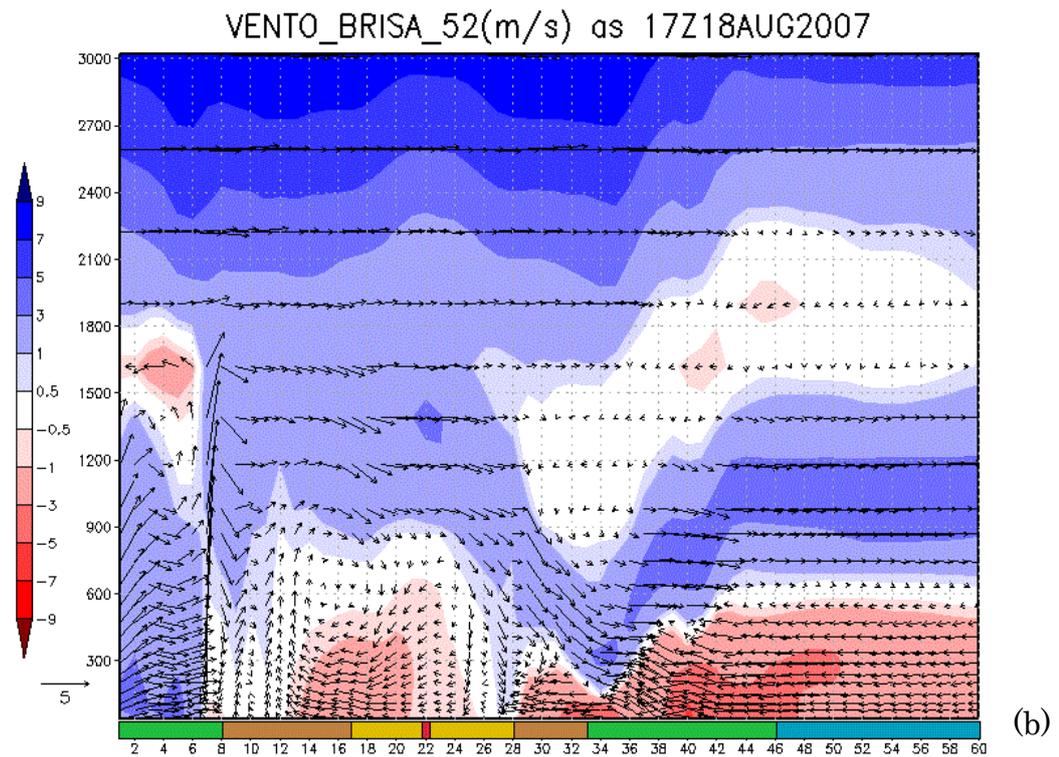
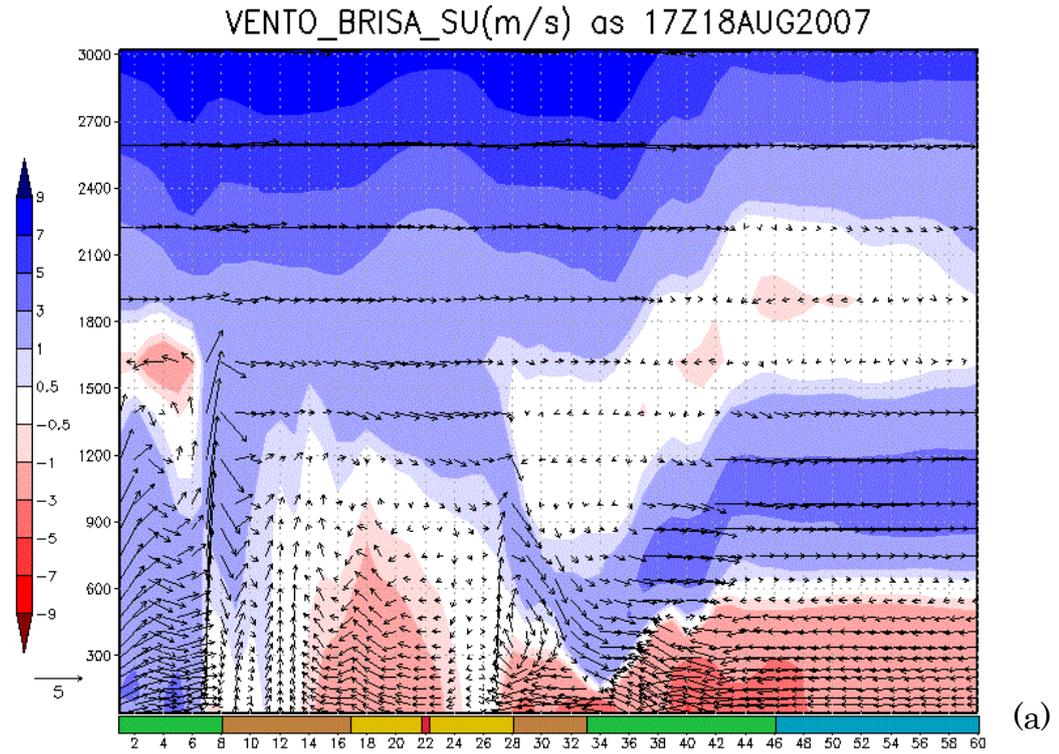


Figura 6-12. Mesmo que a Figura 6-10 para às 17Z.

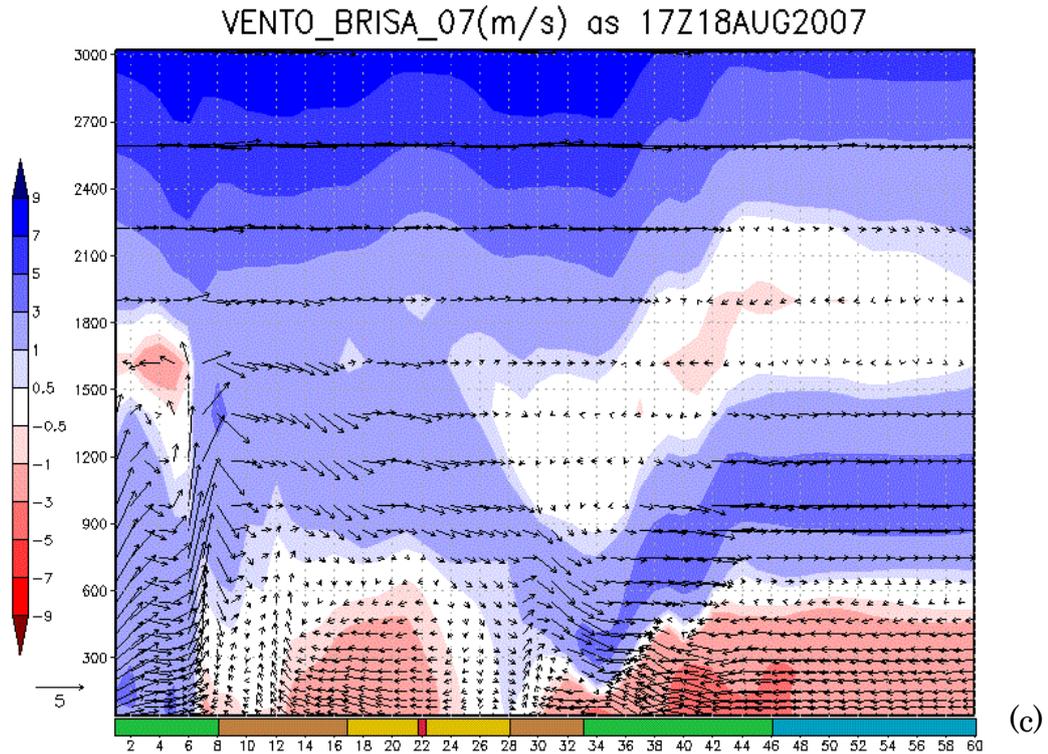


Figura 6-12. Continuação.

Ao analisarmos a Figura 6-13 referente às 20Z, na simulação SU já se observa o aumento do vento referente à soma das circulações com movimento ascendente bastante intenso por volta do p12, enquanto que na simulação 52 o aumento na velocidade do vento também pode ser visto. Porém, a intensidade do movimento vertical não é tão forte, e também, a ascendência está um pouco atrasada com relação à anterior, no p13. No caso da simulação 07 ainda não se observa o acoplamento das duas circulações, e o movimento vertical associado à BM encontra-se ainda por volta do p18, com máximo de vento no p22, apenas.

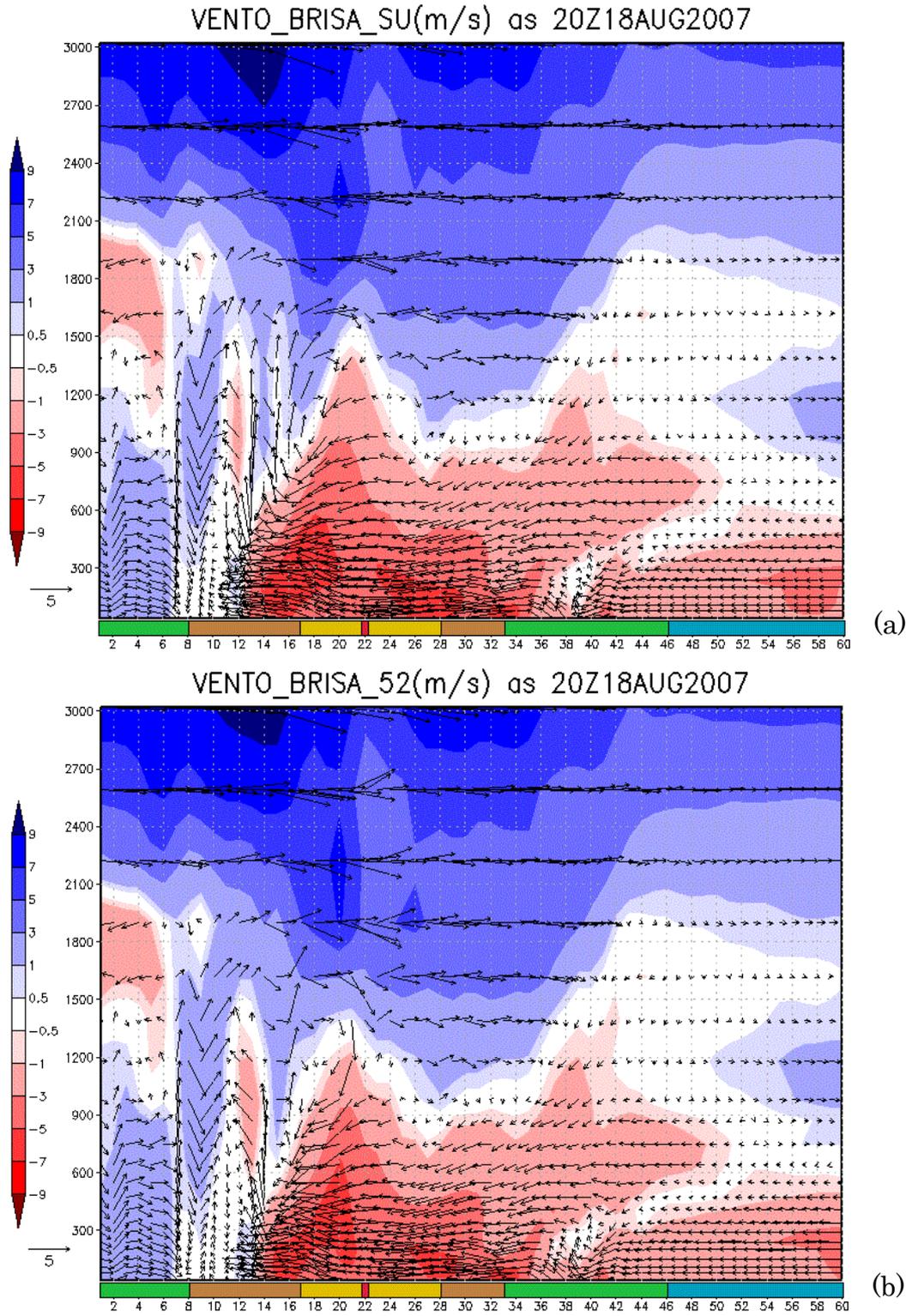


Figura 6-13. Mesmo que a Figura 6-10 para às 20Z.

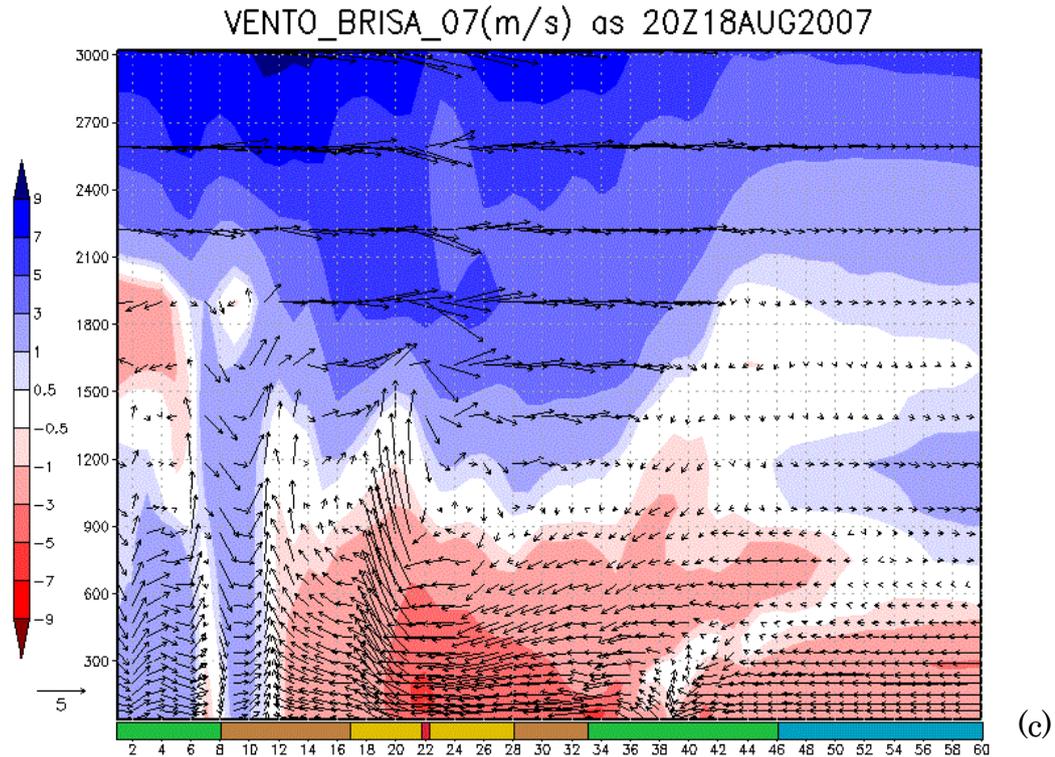
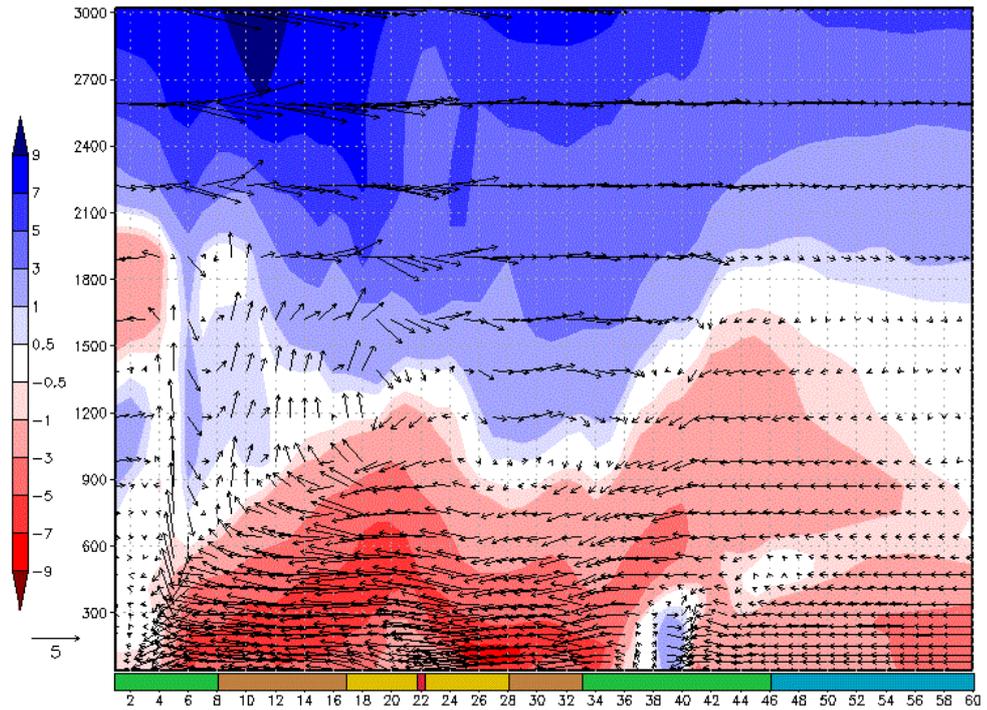


Figura 6-13. Continuação.

Já às 21Z (Figura 6-14) em SU a frente de brisa já está no p4, enquanto que na 52 está entre o p5 e p6, e a 07 ainda nem passou da região onde se encontra sua mancha urbana, com movimento ascendente próximo ao p9. Observa-se uma região menor de máximos de vento conforme o aumento da porção urbanizada provavelmente ocasionada pelo atrito com a superfície, fazendo com que a brisa marítima seja “freada” e demore mais a passar pela RMSP quando comparada à quando não existia nenhuma urbanização.

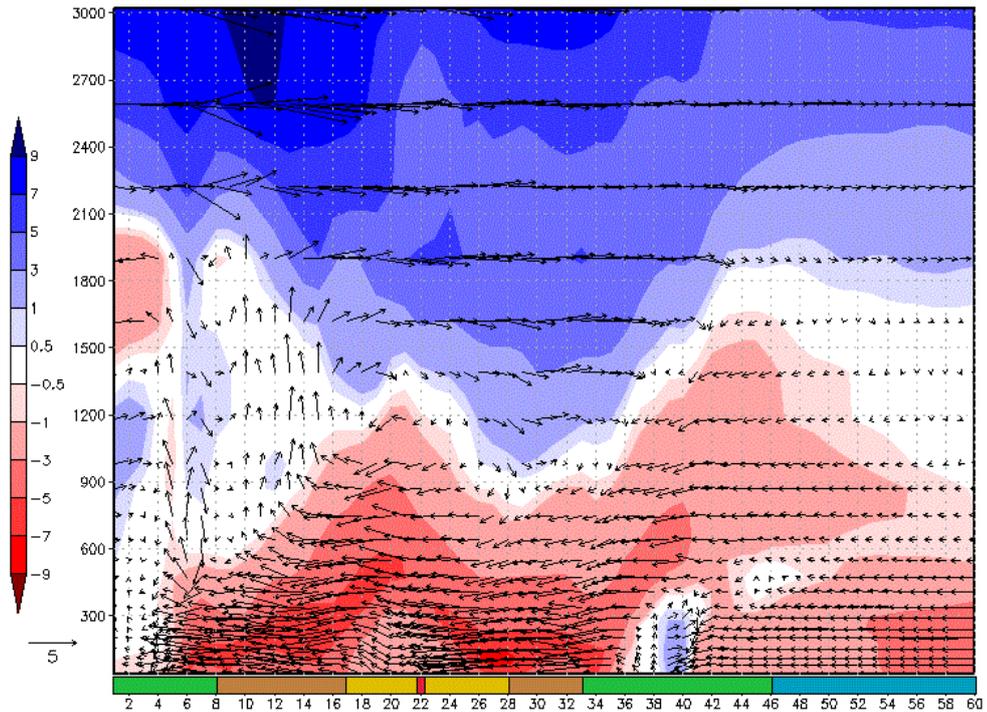
A análise vertical mostrou que para esta estação o vento de oeste característico da brisa terrestre não foi observado, e que o movimento ascendente associado a BM adentra o continente já por volta das 10Z. No entanto, só chega ao ponto central das manchas (p22) em torno das 18-19Z, sendo mais cedo no caso em que não havia nenhuma urbanização e mais tarde no caso da mancha de 2007. Ainda, em torno das 21Z a frente de brisa já havia passado pelo ponto 8 – que indica o final das manchas acrescentadas - em praticamente todas as simulações.

VENTO_BRISA_SU(m/s) as 21Z18AUG2007



(a)

VENTO_BRISA_52(m/s) as 21Z18AUG2007



(b)

Figura 6-14. Mesmo que a Figura 6-10 para às 21Z.

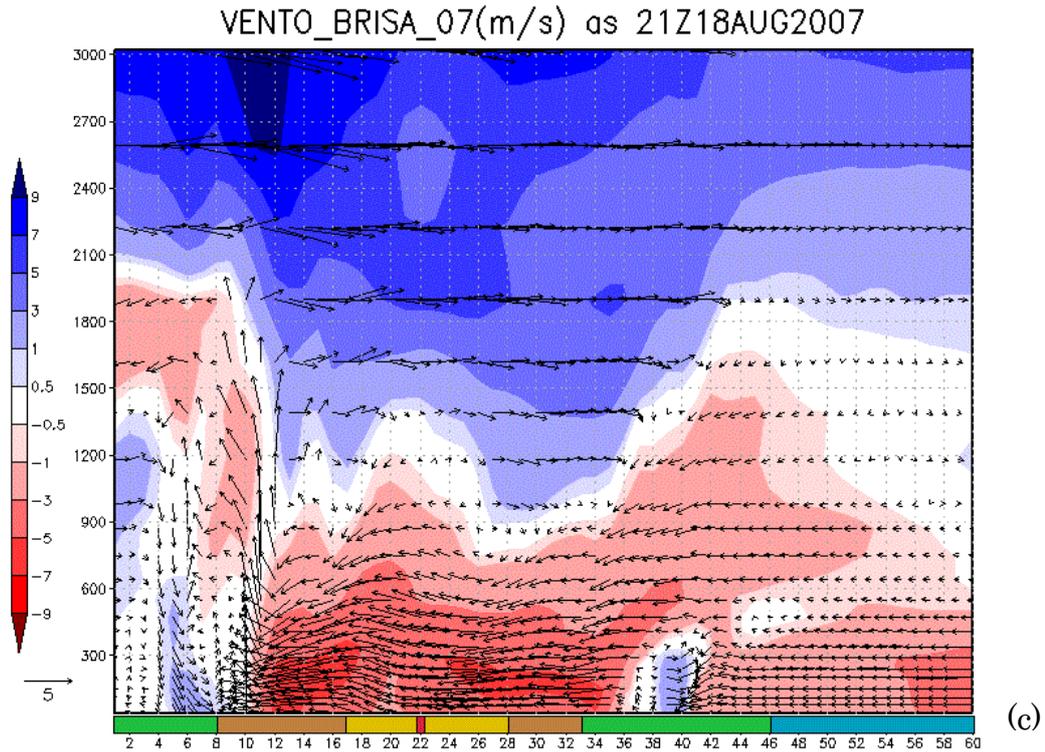


Figura 6-14. Continuação.

6.1.1.1 CONCLUSÕES INVERNO - PASSADO

- A entrada da frente de brisa no continente se deu em torno das 10Z em qualquer das simulações, e não se observou diferenças entre elas até as 14Z;
- A penetração da BM na RMSP foi vista em todas as simulações, porém, quanto maior a área urbanizada considerada maior o tempo para a chegada ao centro da mancha e propagação da mesma sobre toda a área urbana;
- Sem urbanização a BM chega ao ponto central aproximadamente as 18Z enquanto que com a urbanização de 2007, observou-se aproximadamente as 19Z.
- Mancha urbana reduz a velocidade de propagação da frente de brisa para um mesmo horário;
- Observou-se associação entre as propagações de brisa e umidade, sendo que em 2007 este ar propagado possui menor conteúdo de vapor d'água (até 2,5g/kg menor), indicando um maior tempo para que a umidade associada à brisa chegue à área urbanizada;

- Durante o dia, a região florestada de SU se mostra aproximadamente 1°C mais quente que a urbanizada, e a região do entorno (savana/pastagem) até 5°C – provavelmente pelo valor de albedo. Durante a noite esse padrão se inverte e observa-se a mancha urbanizada de 2007 até 6 °C mais quente que SU;
- Com relação ao entorno da área urbana durante o dia, quanto maior a mancha urbana mais fria é a região da mancha e à noite o inverso: quanto maior a mancha, maior a temperatura;
- À noite observa-se uma região mais quente à NE da mancha urbana de 2007;
- Quanto à precipitação, a diferença de SU para 52 mostra que em alguns lugares chove mais e outros menos, e de 52 para 07 praticamente em todos os lugares chove menos, indicando que com o aumento da área urbanizada, menos precipitação acumulada é observada na região da costa. Neste caso não houve precipitação no centro da mancha;
- A precipitação acumulada no domínio três (D3) em SU foi de 5887mm e na simulação 07 de 5799mm;
- Os cortes verticais mostraram uma segunda circulação em todas as simulações, bem como a associação da mesma com a brisa marítima;
- Mancha urbana diminui a velocidade do vento (fricção) e atrasa a propagação da brisa continente adentro. Não se observou a aceleração da frente de brisa referente a convergência no centro da IC podendo indicar que a circulação de ilha de calor possui uma amplitude menor que a circulação de brisa;
- As 21Z a frente de brisa já passou ou está passando pelo último ponto de urbanização.

6.1.2. VERÃO

Novamente utilizou-se as manchas urbanas de SU, 52 e m07 para as diferentes simulações, e nas três simulações pôde-se perceber a entrada da frente de brisa marítima, porém, bem mais cedo do que no período do inverno.

Para o mesmo horário - 16Z - na simulação SU a frente de brisa já está bem adiantada, quando comparado às outras simulações, de modo que na Figura 6-15, que mostra o vento horizontal a 10 m no domínio 3 (D3) para a simulação sem urbanização, tem-se ventos de leste que já ultrapassaram o ponto central de referência (círculo preto), com valores que chegam a 7m/s. Já para a Figura 6-16 da simulação 52, a BM está mais atrasada (acabando de passar pelo ponto central), e apesar de em determinada região observar-se um vento em torno de 8m/s, no geral o vento é reduzido para 4-6 m/s.

Para m07 (Figura 6-17) nota-se a BM chegando ao ponto de referência, com uma velocidade próxima a observada em 52. Nota-se, entretanto, que em 2007 na parte sudoeste da RMSP, a velocidade do vento é um pouco maior fazendo com que no mesmo horário, nesta região, a brisa esteja mais adiantada que em 52 (aproximadamente em 23,6°S, 46,8°O).

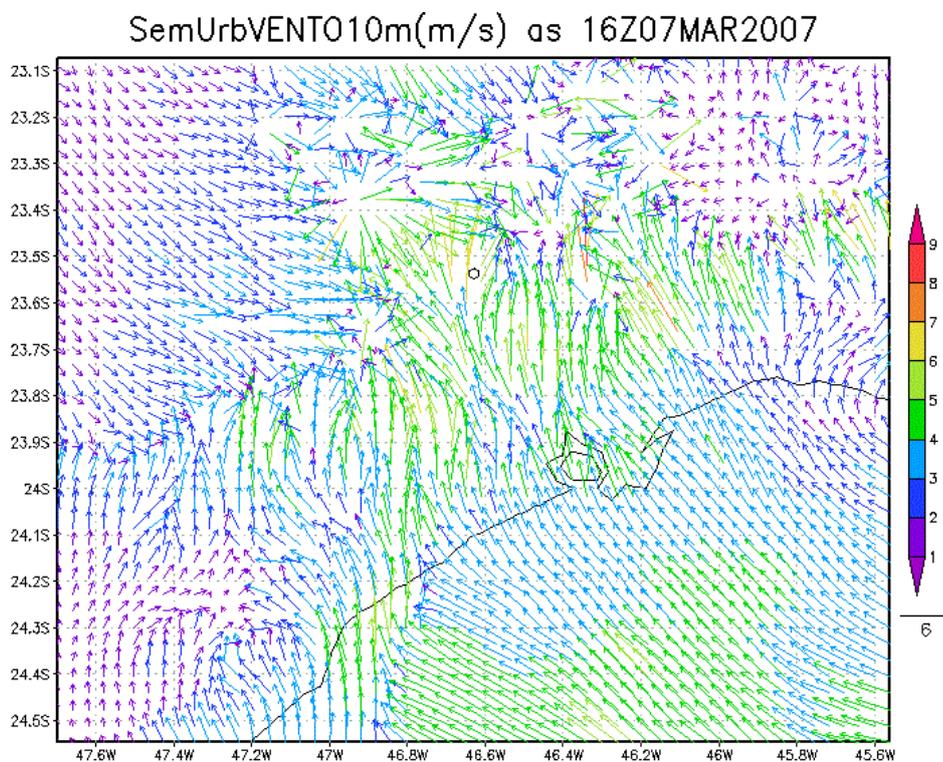


Figura 6-15. Composição do vento horizontal no D3 às 16Z do dia 07/03 para a simulação sem urbanização.

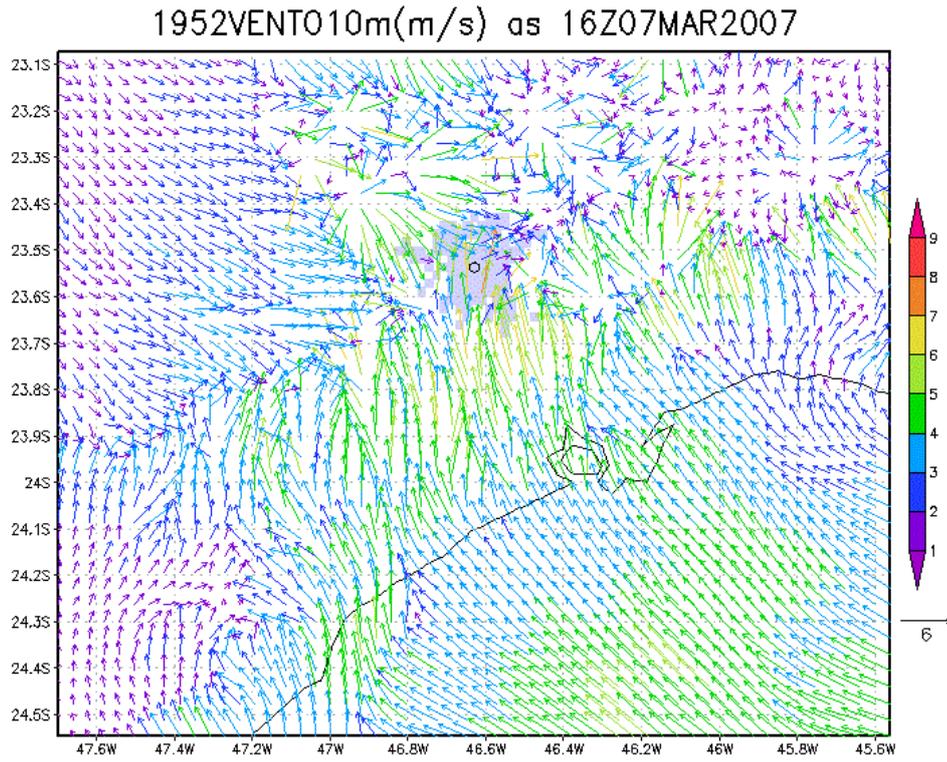


Figura 6-16. Mesmo que Figura 6-15 para a simulação de 1952.

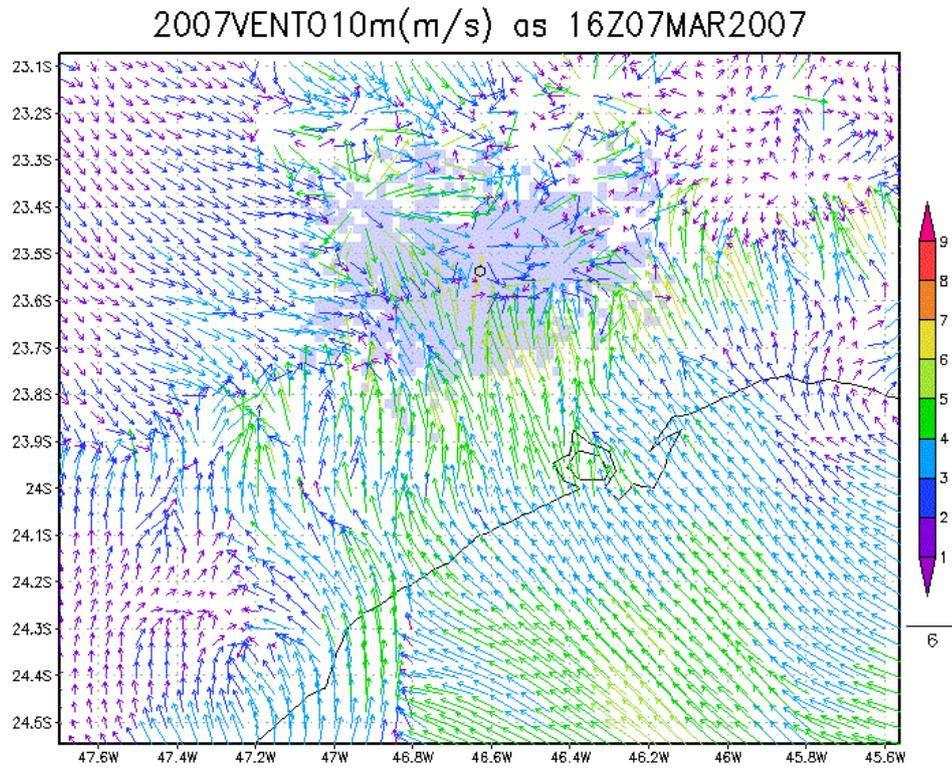


Figura 6-17. Mesmo que Figura 6-15 para a simulação de 2007.

No caso da quantidade de vapor d'água advinda com a BM tem-se a Figura 6-18 que mostra novamente do lado esquerdo uma composição de razão de mistura e vento a 10m para às 16Z em cada uma das simulações, e do lado direito a razão de mistura para as 17Z.

Em todos os casos se observa a umidade sendo propagada junto à mudança na direção do vento, e quando comparado ao inverno, observa-se uma quantidade maior de vapor sendo trazido pela frente de brisa. Para o limiar de 13,5 g/kg observa-se que conforme o aumento da mancha urbana, mais tarde observa-se a mesma quantidade de vapor d'água no mesmo ponto, de forma que para a simulação SU às 16Z (a) o valor limiar já passou do ponto de referência, enquanto que em 1952 observa-se esta chegada praticamente no mesmo horário (c), ao passo que em 2007 isto só se observa por volta das 17Z (f).

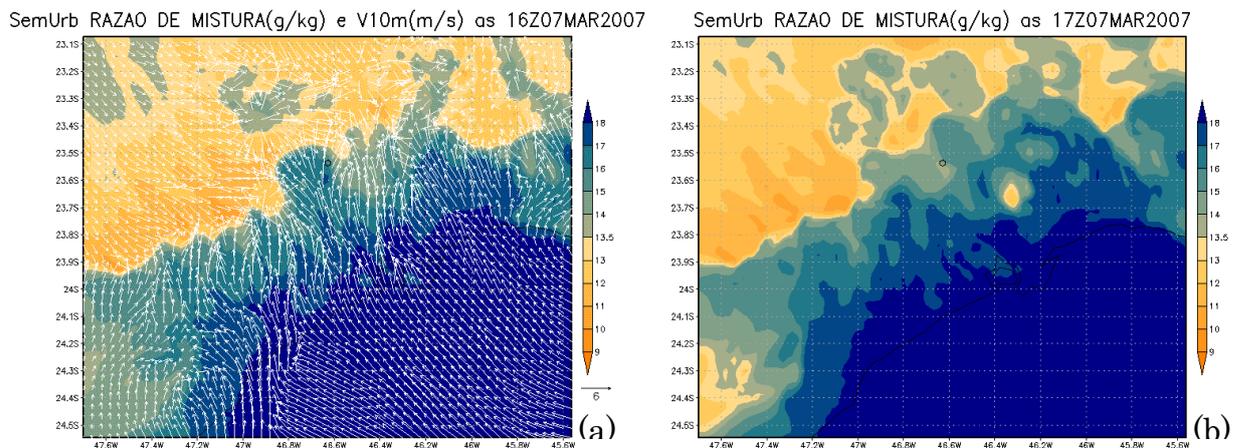


Figura 6-18. Do lado esquerdo, uma composição de razão de mistura (colorido) e vento a 10m (vetores) para as 19Z em SU (a), 1952 (c) e 2007 (e) e do lado direito a razão de mistura somente para as 20Z em cada uma das simulações (SU –b, 1952 – d, 2007 –f), para 07/03.

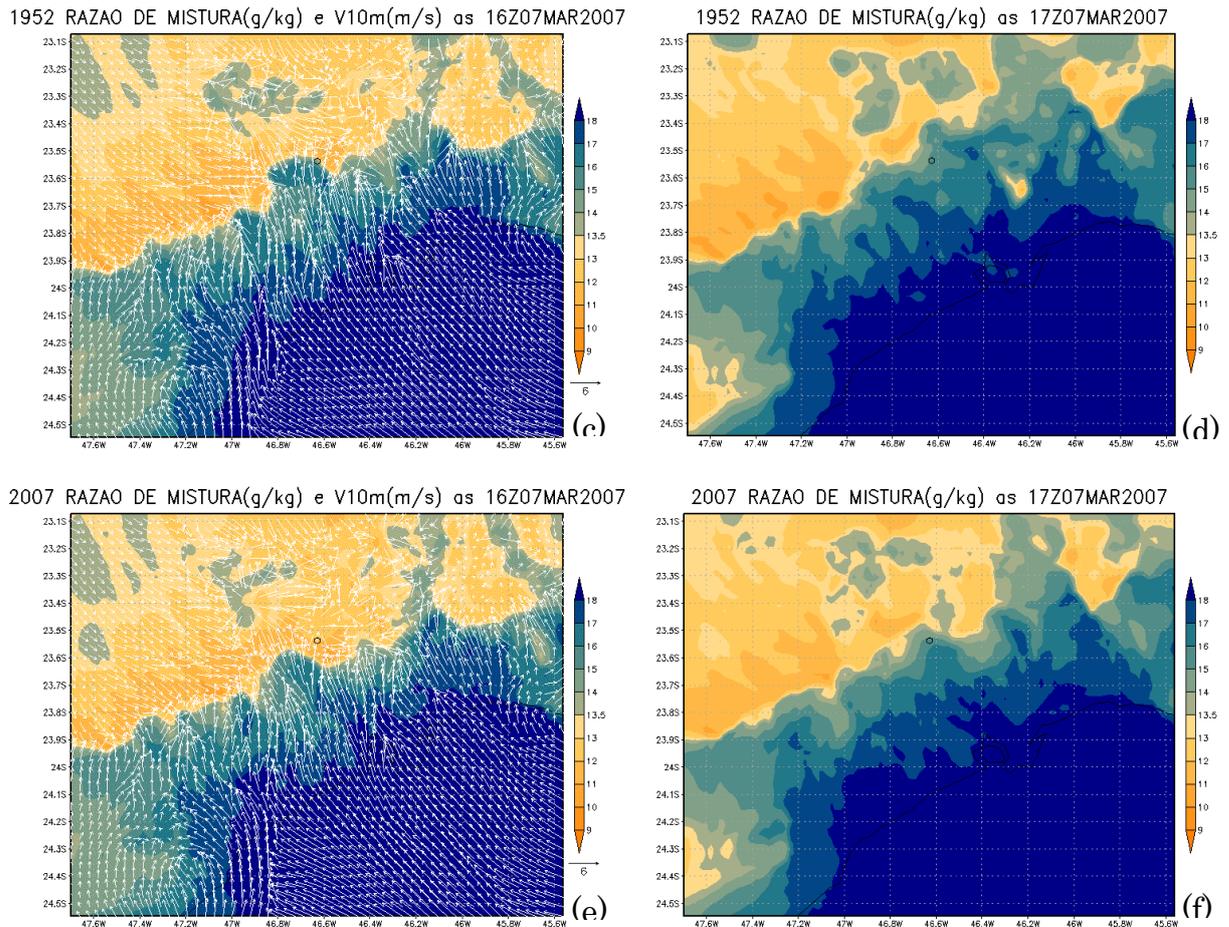


Figura 6-18. Continuação.

No caso de analisarmos a sequência de diferenças de razão de mistura trazidas na simulação de 2007 e na SU (Figura 6-19), observa-se que novamente a BM leva mais tempo para conduzir a umidade na simulação 07 do que na simulação SU, chegando as diferenças a atingirem cerca de 5 g/kg a menos de vapor d'água às 17Z. Quando comparada ao período de inverno, esta diferença é bem mais significativa, em função, obviamente, do conteúdo de umidade trazido pela BM nas duas épocas do ano.

Outro ponto distinto do inverno é que logo após a passagem da frente de brisa caracterizam-se regiões de máximos em 2007 que não foram observados anteriormente, de forma que as 21Z pode-se perceber uma célula positiva no centro da mancha urbana, indicando que apesar da brisa marítima demorar mais

tempo para transportar umidade na simulação com a mancha de 2007 quando comparado a SU, à noite, um ar mais úmido é observado na região.

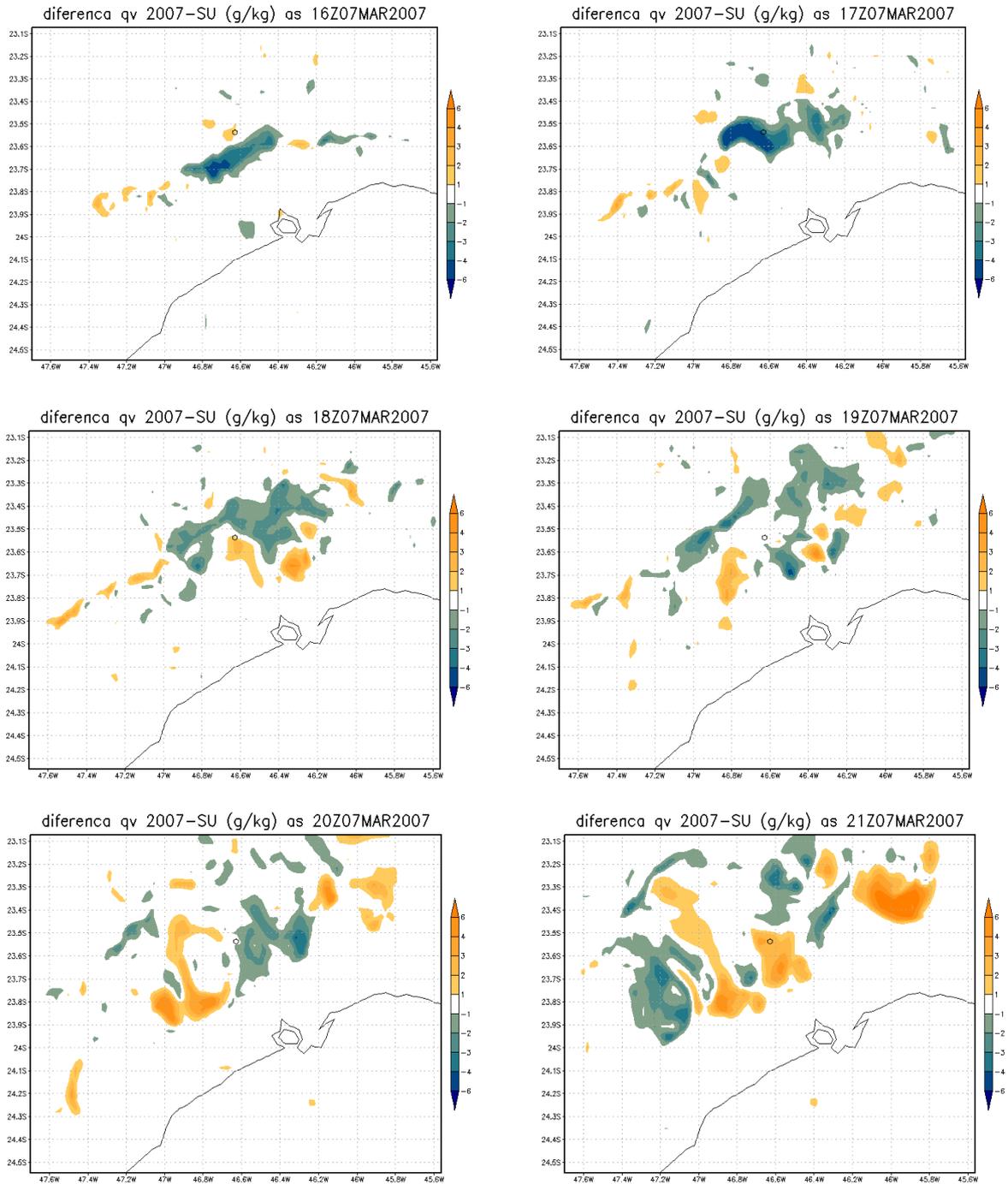


Figura 6-19. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2007-SU, das 16 às 21Z do dia 07/03.

No caso da diferença de temperatura, pode-se ver pela Figura 6-20 aproximadamente o mesmo comportamento observado para o inverno, em que, durante o dia (a) a região florestada (simulação SU) aparece um pouco mais quente (em torno de 1 °C) que a simulação 07, e à noite (b) o comportamento é inverso, de modo que a região urbanizada é até 5 °C mais quente que SU.

Na comparação das duas estações, percebe-se que para este caso do verão estas diferenças são menos pronunciadas, com máximos e mínimos menores (em módulo) do que no caso do inverno, e, além disso, à noite, tem-se diferentes regiões de maiores valores, ou seja, enquanto para o verão o máximo está à oeste da urbanização, para o inverno está à centro/norte, mais homogêneo ao longo de praticamente toda a urbanização.

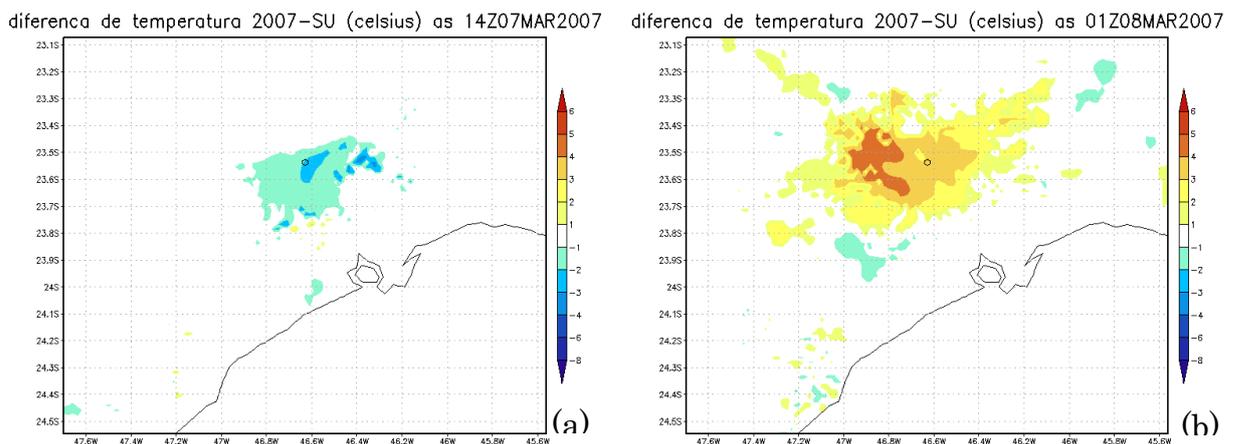


Figura 6-20. Campo de diferença de temperatura à 2m no D3 às (a) 14Z e (b) 01Z.

Novamente, com a finalidade de entender melhor o comportamento da diferença de temperatura, avaliou-se para os mesmos horários (14Z e 01Z) o campo horizontal de temperatura a 2 metros para cada uma das simulações (Figura 6-21). Observa-se novamente que durante o dia, com o aumento da área urbanizada, a tendência é de pequena diminuição da temperatura, sendo os campos observados mais semelhantes entre si quando comparados ao período de inverno em que as diferenças foram maiores. Durante à noite, percebe-se que o aumento da urbanização resulta em maiores temperaturas na região da área urbanizada, assim como observado no período de inverno. É importante destacar

que no período de verão o módulo UCM esteve ativado, o que pode explicar em parte essas diferenças.

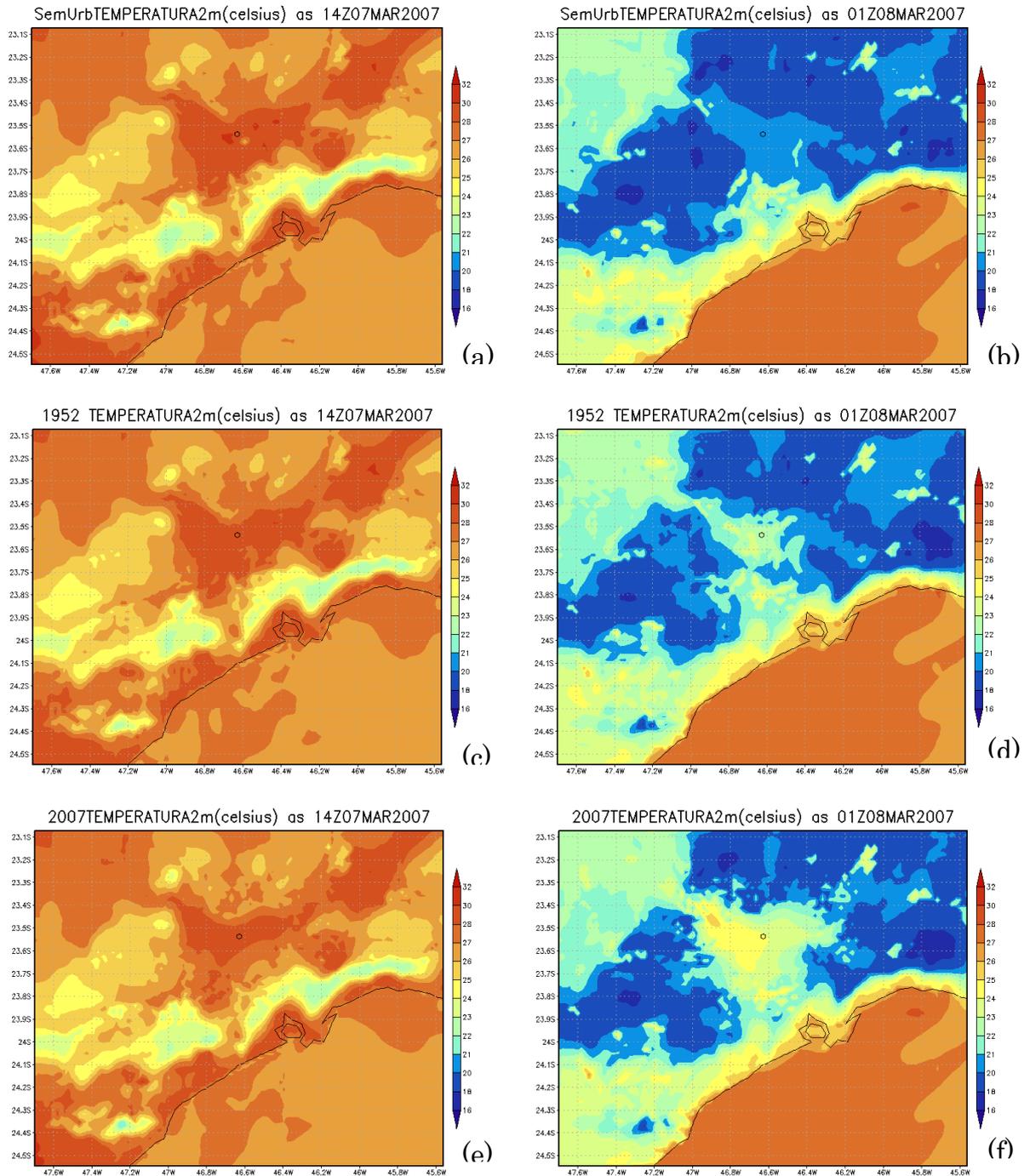


Figura 6-21. Temperatura a 2m para cada simulação (SU, 1952 e 2007), no lado esquerdo às 14Z e no lado direito às 01Z para 07/03.

A diferença de precipitação acumulada no período pode ser vista na Figura 6-22, sendo que (a) é referente a 1952 e SU e (b) entre 2007 e 1952. Observa-se que a

Figura 6-22(a) mostra mais regiões com chuva quando não se tinha nenhuma urbanização enquanto na Figura 6-22(b) acontece o inverso (pouca urbanização fez com que chovesse bem menos em algumas regiões e a expansão desta área urbana fez com que chovesse mais).

No entanto, no caso da precipitação acumulada em todo o domínio três (D3) para a simulação SU o acumulado foi de 27926 mm e na simulação 07 de 24084 mm, indicando o mesmo comportamento do caso do inverno, de quanto maior a urbanização menor a precipitação acumulada associada ao evento.

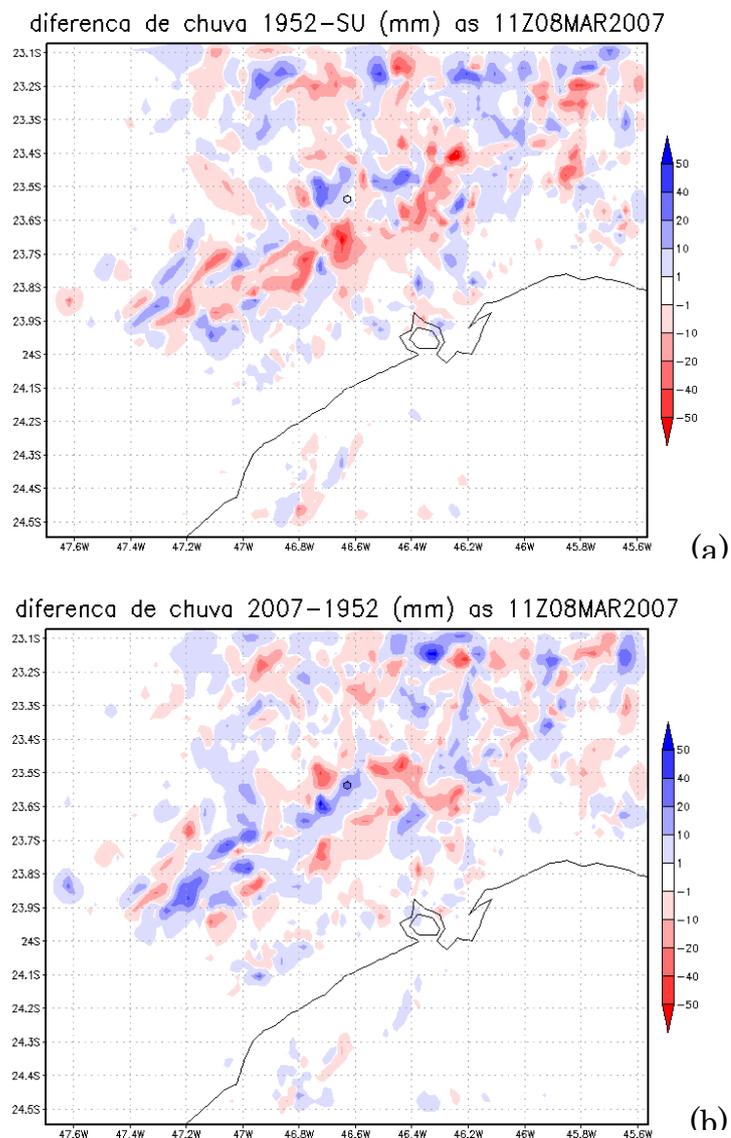


Figura 6-22. Diferença de precipitação acumulada entre (a) 1952 e SU e (b) 2007 e 1952 para o verão.

Novamente, com a finalidade de entender o comportamento vertical da brisa marítima analisou-se cortes perpendiculares ao litoral para todas as simulações no dia 07/03/2007 que podem ser vistos na Figura 6-23. Para as 11Z em todas as simulações o movimento ascendente da BM está próximo ao ponto 47 – sutilmente mais cedo em 07 - indicando que a BM adentra o continente aproximadamente no mesmo horário, independente do tamanho da urbanização considerado (uma hora depois do observado no caso do inverno).

Uma circulação secundária em torno dos pontos 20 e 28 pode ser observada em todas as simulações, e onde tem-se mancha urbana, seja na 52 ou na 07, a velocidade do vento de leste se mostra um pouco maior que na SU. Este é um ponto interessante na comparação com o inverno, pois na estação anterior um vento de leste fez-se presente em praticamente todos os pontos do corte, e esta segunda circulação foi observada bem mais amplificada (aproximadamente entre os pontos 7 e 27) próximo às 17Z.

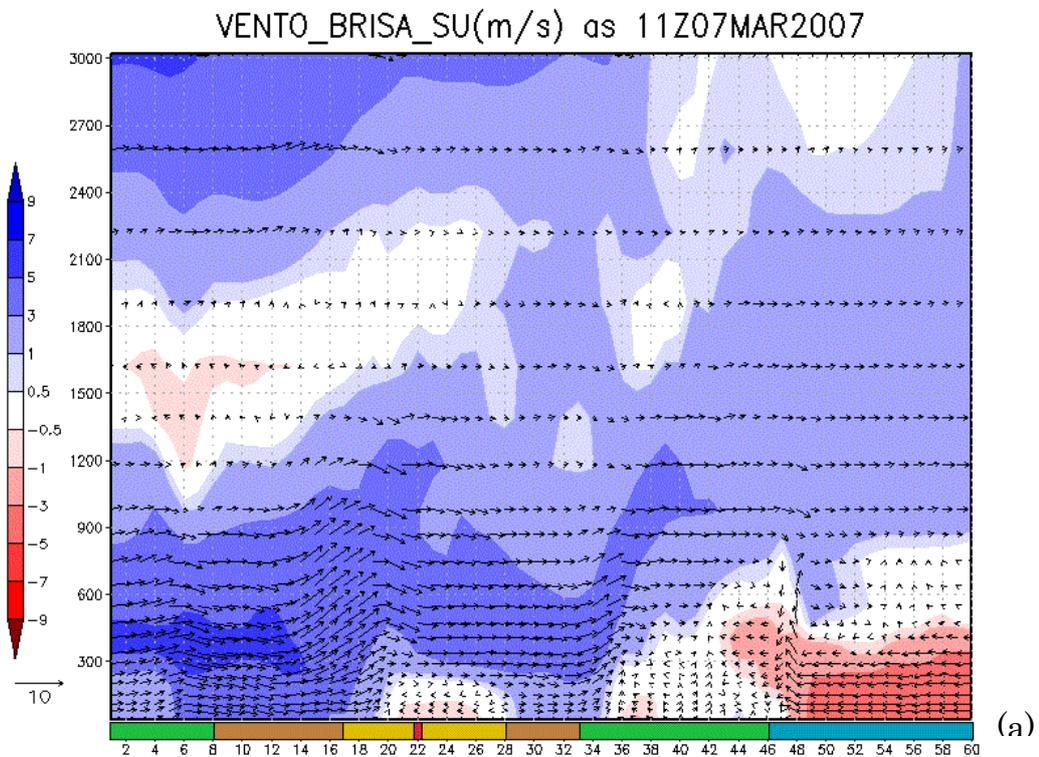


Figura 6-23. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa às 11Z para as simulações (a) SU, (b) 52 e (c) 07 para o verão.

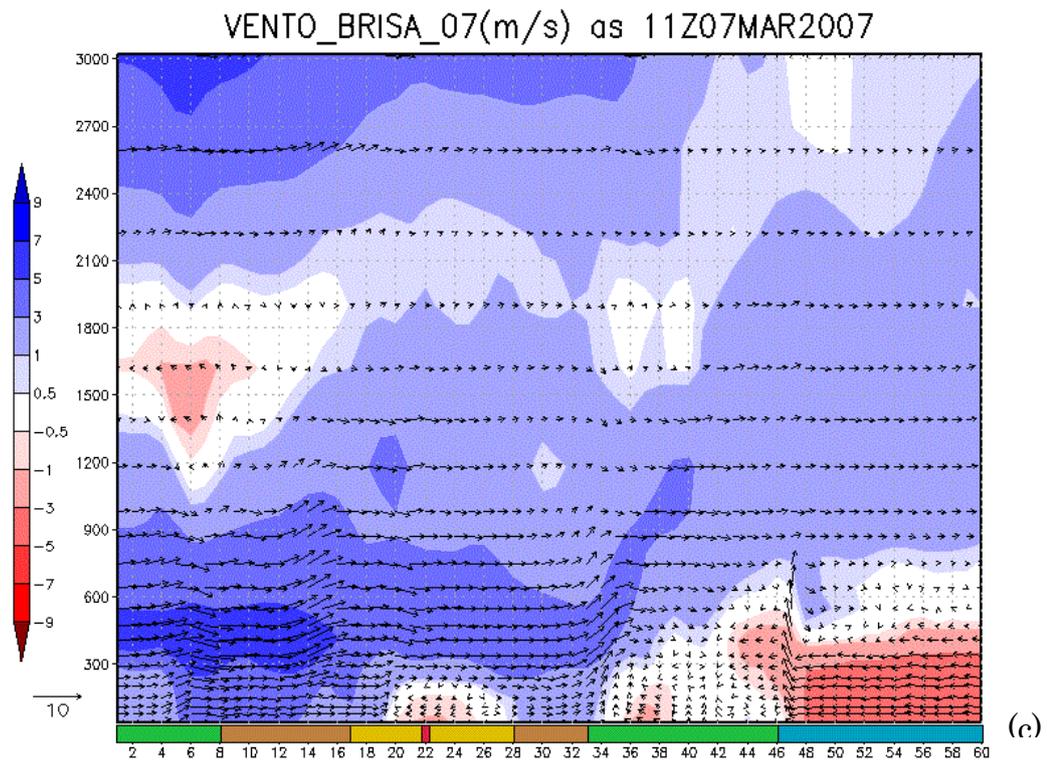
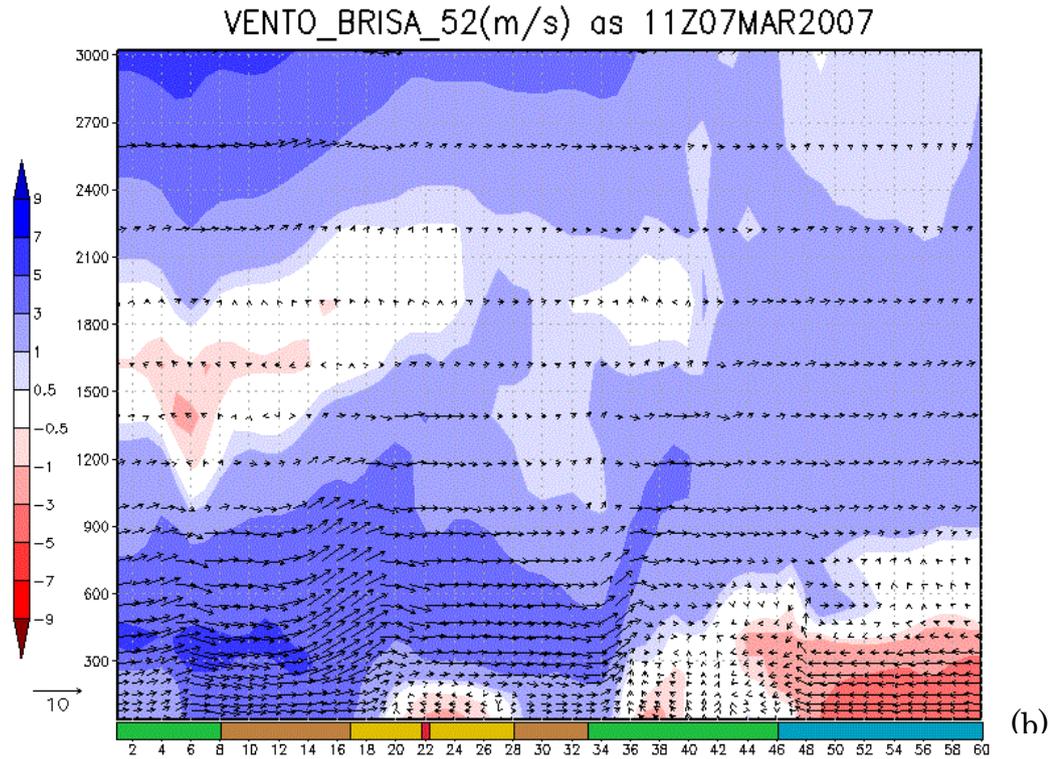


Figura 6-23. Continuação.

No caso das 14Z (Figura 6-24) já se observa a diferença na localização do movimento ascendente referente à BM, de modo que na simulação SU, o vento do quadrante leste se encontra próximo ao p28, enquanto na 52 está no p30 e na 07

no p31. Isto quer dizer que com o aumento da mancha urbana houve um atraso na entrada da frente de brisa, provavelmente devido à diminuição do vento do quadrante leste, que pode ser observado pela queda de 6 m/s (na simulação SU) para 4 m/s (na 07). A pequena circulação secundária já não é mais observada em nenhum dos testes e observa-se uma queda significativa magnitude do vento com o acréscimo das manchas, em torno do ponto central.

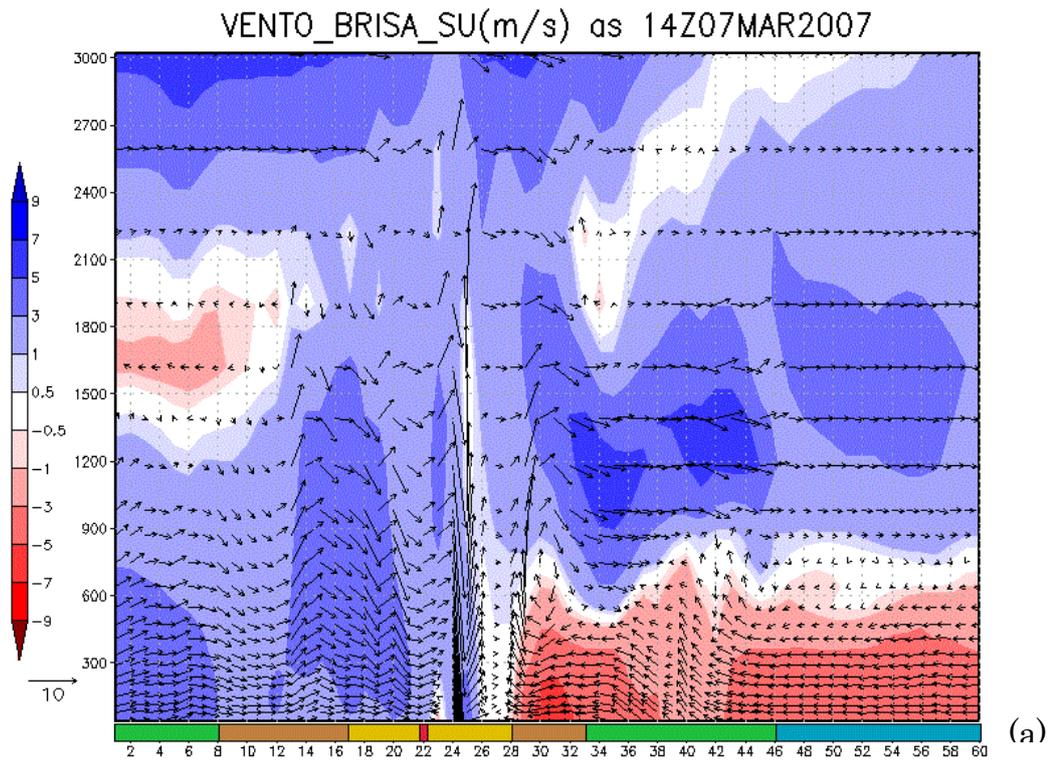


Figura 6-24. Mesmo que a Figura 6-23 para às 14Z.

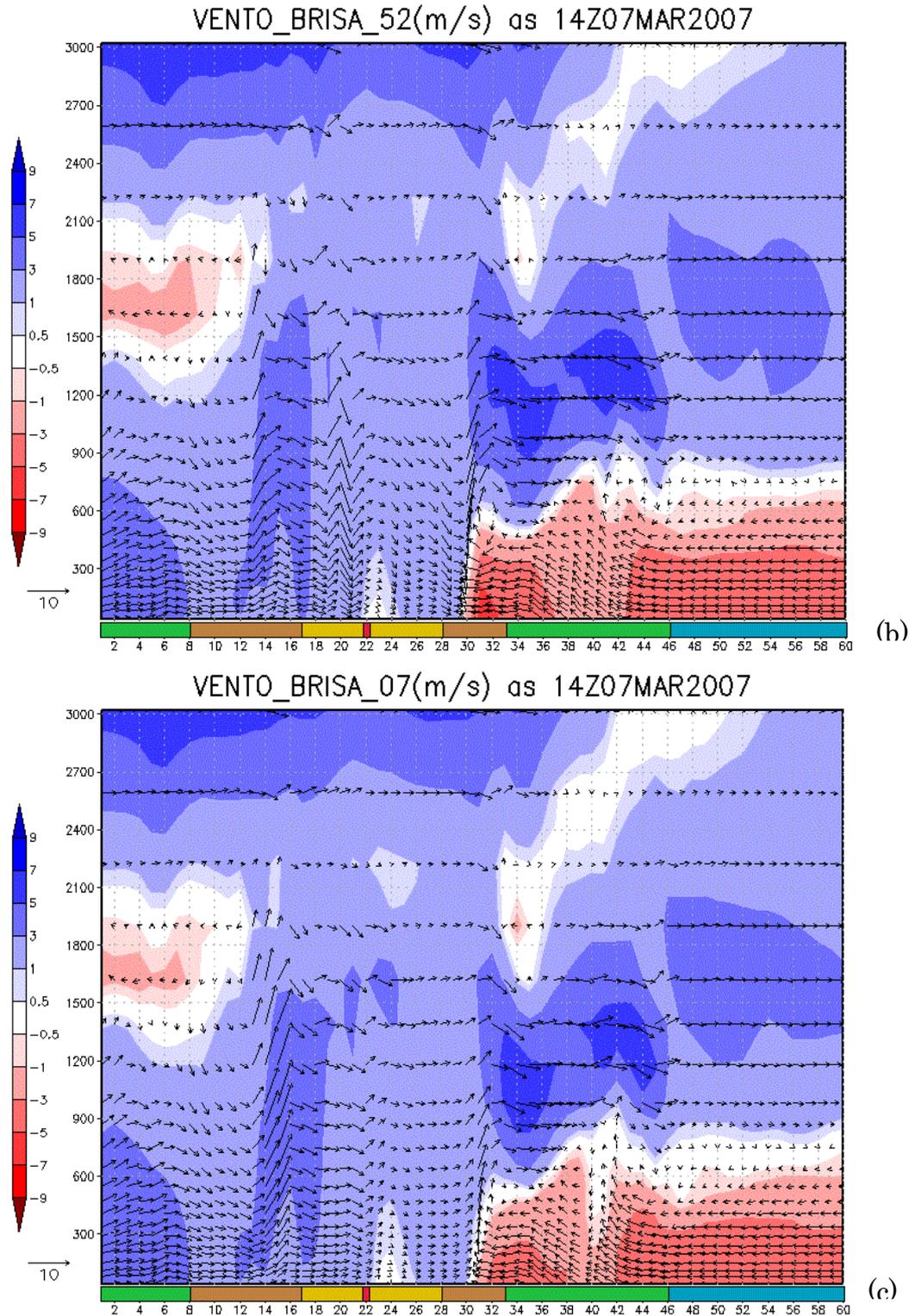


Figura 6-24. Continuação.

Às 16Z já se observa claramente a diferença que a inclusão e aumento da urbanização ocasionam na brisa marítima, de modo que na Figura 6-25 para a simulação SU percebe-se que a frente de brisa já ultrapassou o centro da mancha

urbana (p22 de referência) enquanto a 52 está em p21 e a 07 ainda pode ser vista no p27.

Além disso, circulações menores, entre os pontos p2 e p4 podem ser vistas em todos os casos, no entanto, nas simulações com urbanização ainda se pode ver uma terceira, em 07 mais intensa, entre os pontos p8 e p10.

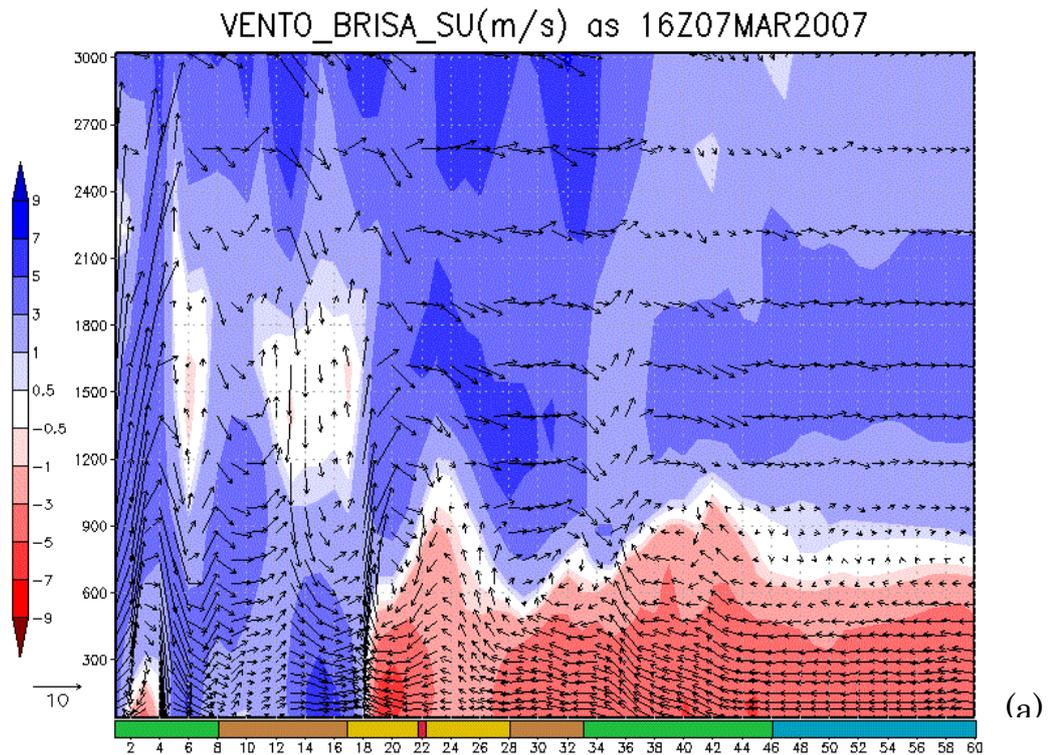


Figura 6-25. Mesmo que a Figura 6-23 para as 17Z.

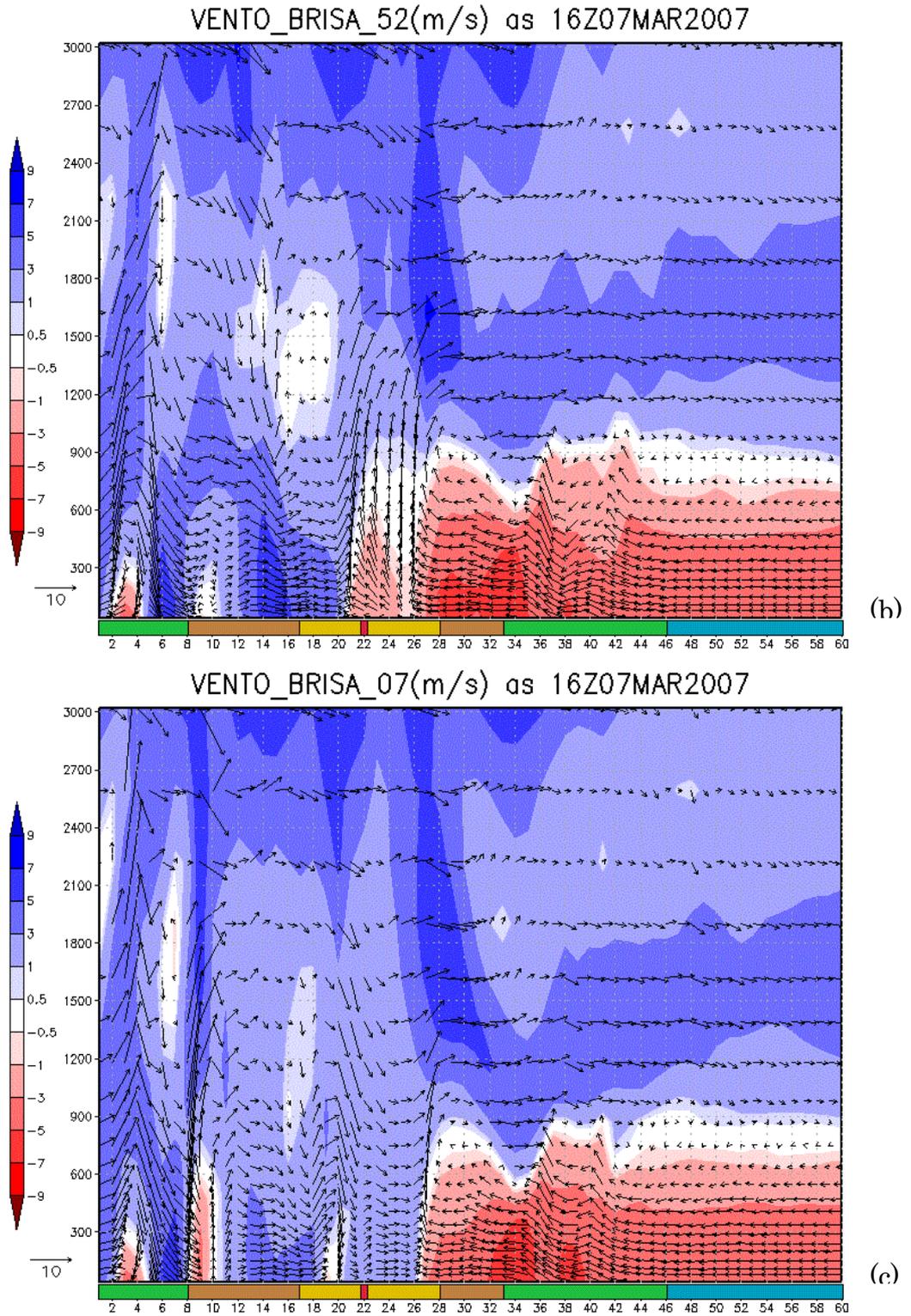


Figura 6-25. Continuação.

As 19Z (Figura 6-26) apesar de em todos os casos a frente de brisa já ter passado por toda a região urbanizada, ainda se observa o mesmo comportamento de que, com a expansão da urbanização, o atraso persiste, já que na SU apesar de fraco,

já não existe mais nenhum ponto dos 60 com vento de oeste, enquanto que a 52 observa-se até o p4 e na 07 até o p6.

Dessa forma, a análise vertical das simulações para o caso de verão mostrou que a partir da entrada da BM no continente às 11Z, todo o deslocamento da frente de brisa foi atrasado com a expansão da área urbanizada. Além disso, observou-se o movimento ascendente associado chegando ao centro da mancha entre 15Z e 16:30Z aproximadamente, em torno de 3 horas antes do observado na estação do inverno, com magnitude do vento bem maior no verão, e as 19Z em todas as simulações a frente de brisa já havia passado pelo p8. Não se observaram circulações secundárias de grande influência ou acoplamento.

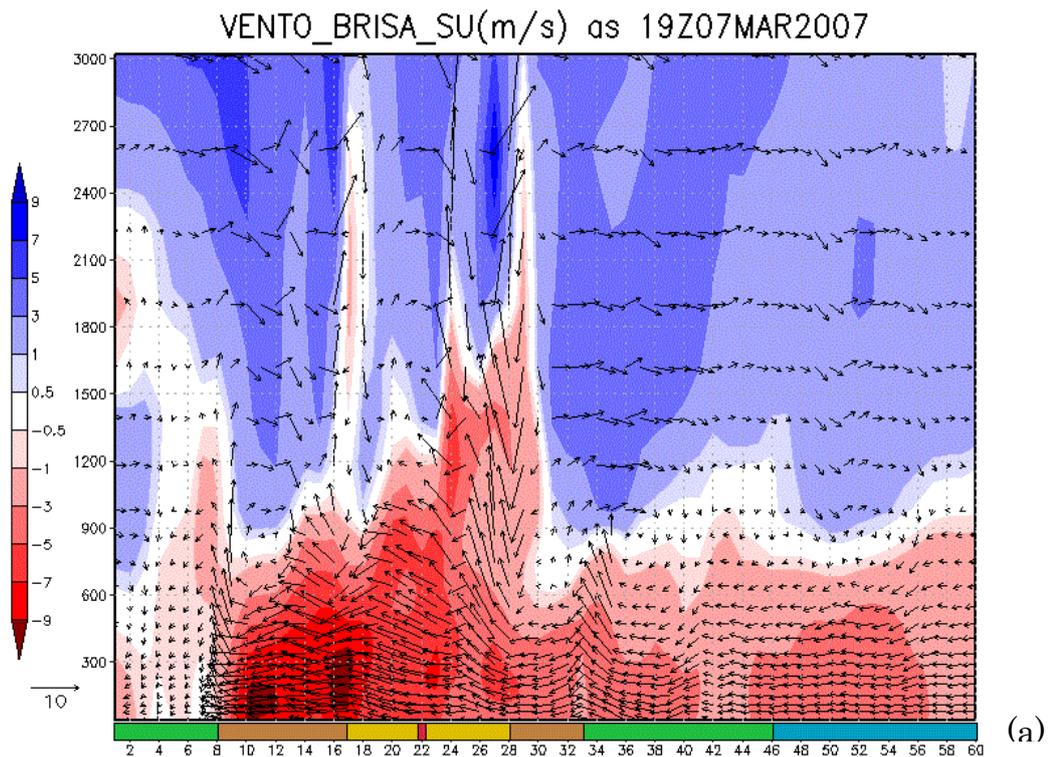


Figura 6-26. Mesmo que a Figura 6-23 para as 19Z.

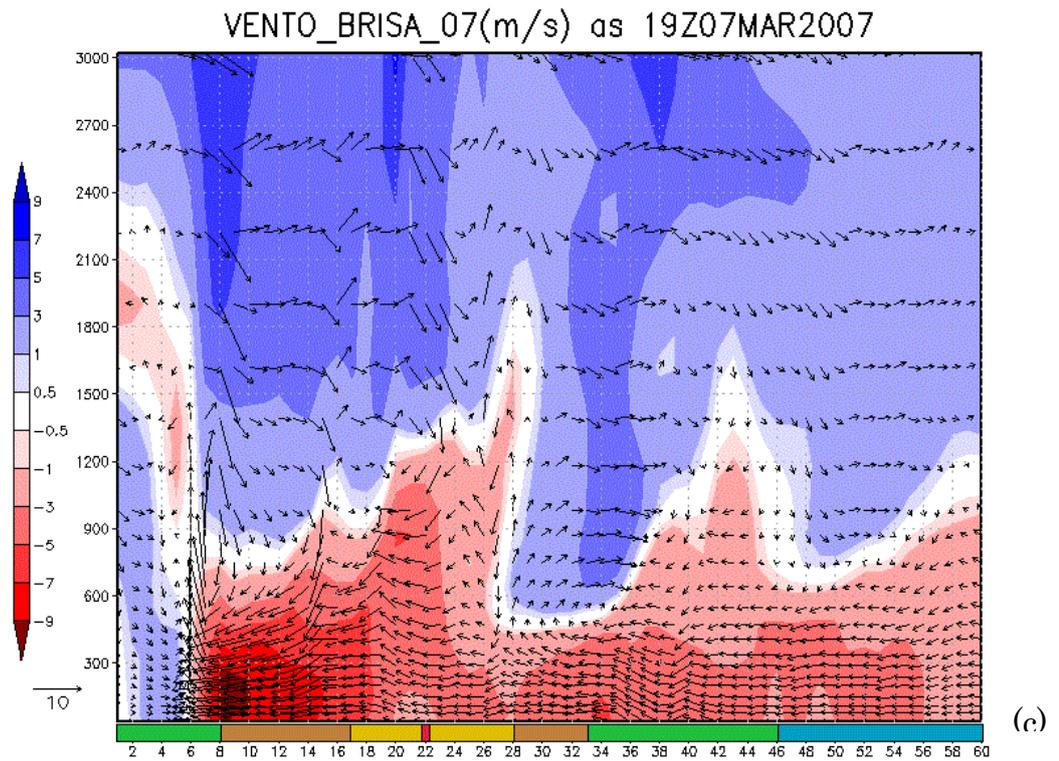
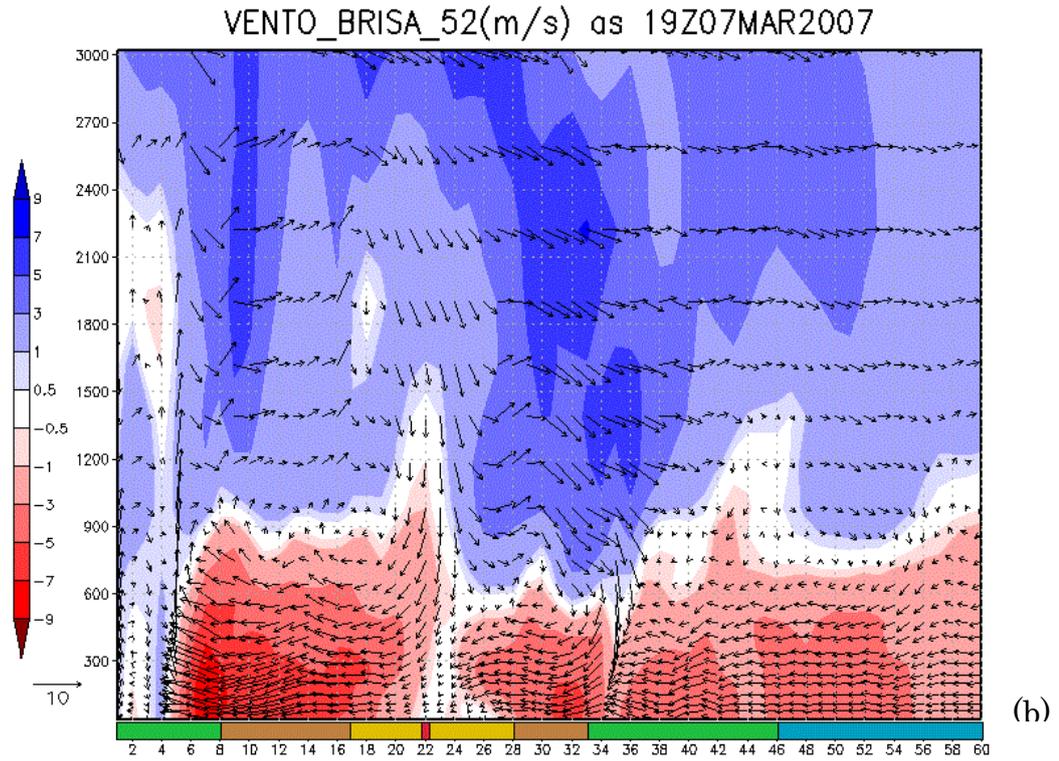


Figura 6-26. Continuação.

6.1.2.1 CONCLUSÕES VERÃO - PASSADO

- A entrada da frente de brisa no continente se deu em torno das 11Z em qualquer das simulações, e as 14Z já se observava diferenças no deslocamento da BM;
- Novamente a penetração da BM na RMSP foi vista em todas as simulações, e quanto maior a área urbanizada maior o tempo para propagação da mesma;
- Sem urbanização a BM chega ao ponto central aproximadamente às 15Z enquanto que com a urbanização de 2007, observou-se aproximadamente às 16:30Z;
- Novamente observou-se associação entre as propagações de brisa e umidade, sendo que em 2007 com a chegada da BM o ar propagado chega a ter até 5 g/kg a menos de vapor d'água em função do atraso na passagem da frente de brisa, no entanto, após a passagem da mesma observa-se o contrário, chegando a ter 5 g/kg a mais de umidade, indicando que, apesar do atraso, a brisa contribui com maior teor de umidade;
- Durante o dia a região florestada de SU mostra-se aproximadamente 1 °C mais quente que a urbanizada em alguns pontos. À noite, o comportamento se inverte de forma que a mancha urbana de 2007 é até 5°C mais quente que SU;
- Durante o dia e durante a noite, com relação ao seu entorno, quanto maior a mancha urbana mais quente é a região da mancha – e comparando entre as manchas, quanto maior a urbanização, menor a temperatura da região;
- À noite observa-se uma região mais quente à NO da mancha urbana de 2007;
- Na comparação entre SU e 52 observa-se mais regiões com precipitação em SU, e o contrário ocorre quando comparamos 52 e 07, onde em 07 chove mais. No entanto, os picos são amenizados;
- Com relação à precipitação acumulada no domínio três, quanto maior a urbanização menor a precipitação acumulada. Na simulação SU o acumulado foi de 27926 mm e para 07 de 24084 mm;
- Os cortes verticais mostraram pequenas circulações localizadas, porém, não suficientes para ocorrer o acoplamento com a BM;
- Novamente a mancha urbana diminui a velocidade do vento (fricção) e atrasa a propagação da brisa continente adentro;

- Às 19Z a frente de brisa já passou pelo último ponto de urbanização em todas as simulações;

6.1.3. CONCLUSÕES COMPARATIVAS DAS ESTAÇÕES - PASSADO

- A brisa marítima no verão adentra o continente 1h mais tarde que no inverno, e chega ao ponto central cerca de 3h antes;
- A velocidade do vento de brisa é maior no verão do que no inverno;
- No inverno apesar da frente de brisa avançar tanto quanto no verão, a precipitação ocorre somente no litoral, enquanto no verão observam-se diferenças em todo o domínio;
- No verão, a região de mancha urbana se mostra mais quente que o entorno no período diurno e noturno, enquanto que no inverno durante o dia a região urbanizada é mais fria que a florestada;
- As diferenças de temperatura quando comparadas SU e 2007 são maiores no inverno;
- À noite, na simulação de 2007, observa-se uma célula mais quente à NE da mancha no inverno, e à NO no verão;
- No inverno o ar propagado pela brisa marítima demora mais tempo para transportar a umidade em 2007 do que em SU, chegando a 2,5 g/kg a menos de vapor d'água em um mesmo horário;
- No verão com a chegada da BM o ar chega a ter 5 g/kg a menos em 2007 do que em SU no momento em que a frente de brisa atinge a parte central. No entanto, conforme sua propagação, este comportamento se inverte de forma a ter 5g/kg a mais de vapor d'água após sua passagem;
- Apesar de algumas distinções, em ambas as estações foram observadas diferenças significativas com a expansão da urbanização.

6.2. CENÁRIO FUTURO

Para análise do cenário futuro utilizou-se da projeção para 2030 considerando um caso superestimado em que praticamente toda a RMSP estaria urbanizada, e foram realizadas simulações tanto para o inverno (sem UCM) quanto para o verão (com UCM), que serão tratadas como m30, de forma a se comparar com as simulações analisadas anteriormente, referente à urbanização passada.

A m30 está compreendida entre os pontos 8 e 36 do corte vertical – demarcados pelos quadrados pretos no corte, localizados em 23,28714°S, 46,9°O e 23,78516°S, 46,3575°O, respectivamente, e pode ser vista na Figura 6-27 abaixo.

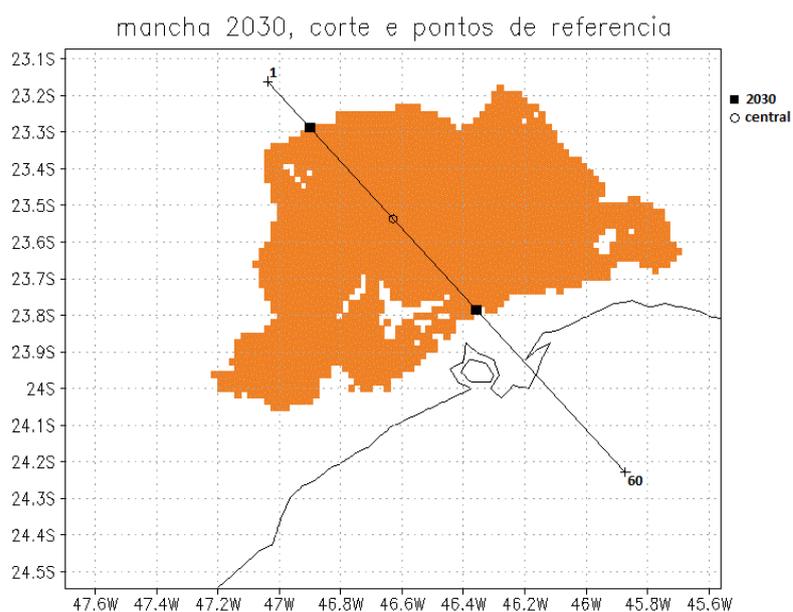
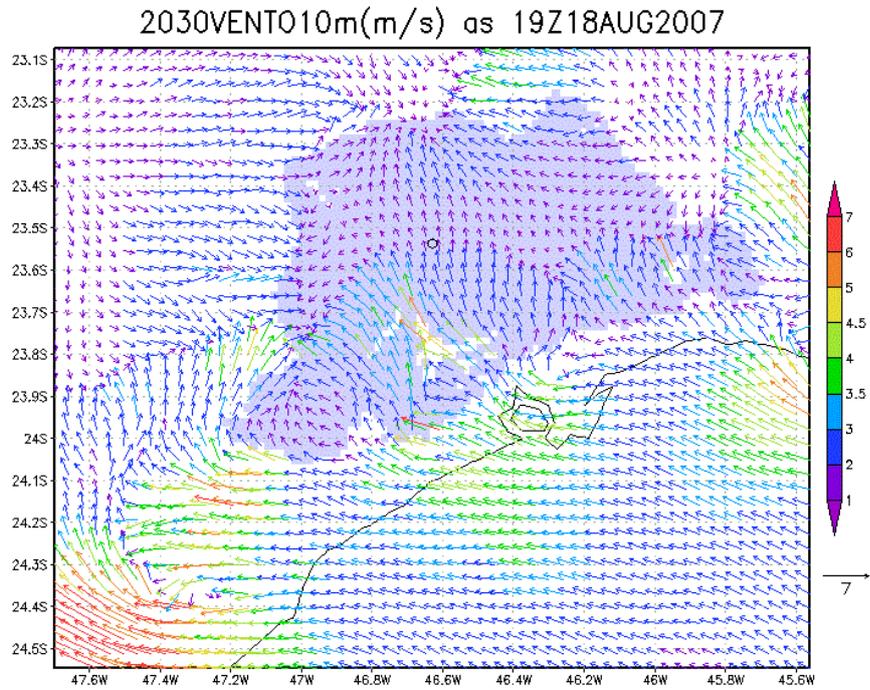


Figura 6-27. Projeção da mancha urbana para 2030, corte perpendicular e pontos de referência.

6.2.1. INVERNO

A Figura 6-28 mostra o vento horizontal a 10 m da simulação m30 (a) e 07 (b), para o domínio 3 às 19Z, e também, as manchas urbanas consideradas em cada uma das simulações na área hachurada ao fundo. Ao analisarmos as figuras podemos perceber que a frente de brisa chega ao ponto central de ambas as 19h,

entretanto, nota-se na simulação m30 uma redução no valor do vento em lugares anteriormente não urbanizados, principalmente nas regiões leste e sul da mancha, chegando em poucas regiões ao máximo de 5-6m/s.



(a)

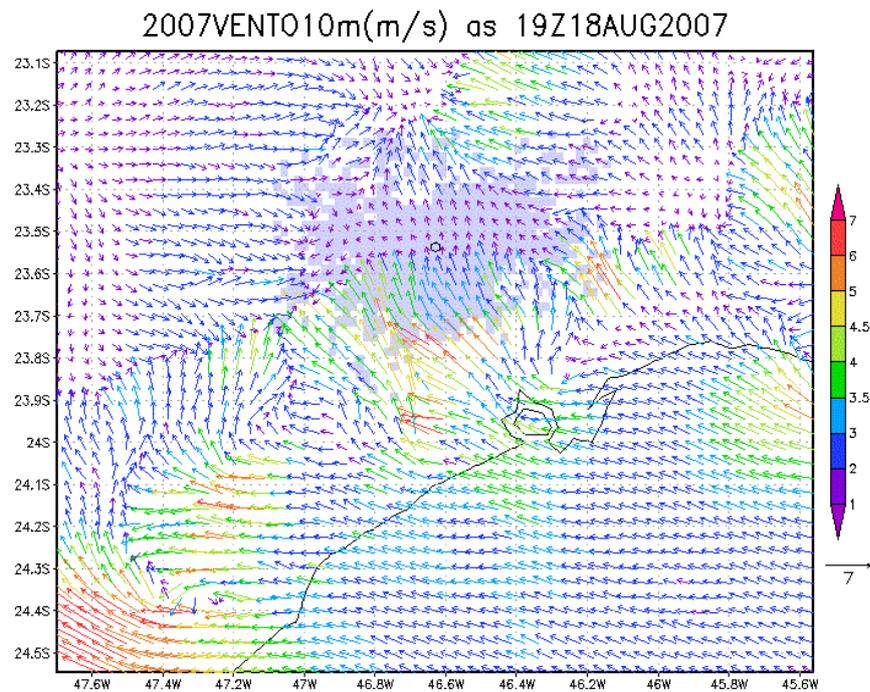


Figura 6-28. Composição do vento horizontal no D3 às 19Z do dia 18/08^(b) para (a) simulação de 2030 e (b) 2007.

Na Figura 6-29 tem-se a razão de mistura para as 20Z nas simulações 07 e m30, e observa-se que para o mesmo limiar anterior de 8,5g/kg, na simulação 07 já se observa a penetração da umidade associada a BM no ponto central da mancha, enquanto que para a simulação m30 isto ainda não é percebido. Um gradiente de umidade mais intenso para m30 na linha de avanço da frente de umidade também é percebido.

Além disso, nota-se uma maior região de mínimo de vapor d'água à nordeste do ponto de referência, e também a ausência de um máximo existente em 2007 aproximadamente em 23,55°S e 45,9°O, indicando que em 2030 a tendência é que além da brisa marítima atrasar ainda mais para chegar ao centro da mancha, um ar mais seco ainda perdura por mais tempo e em mais regiões da RMSP.

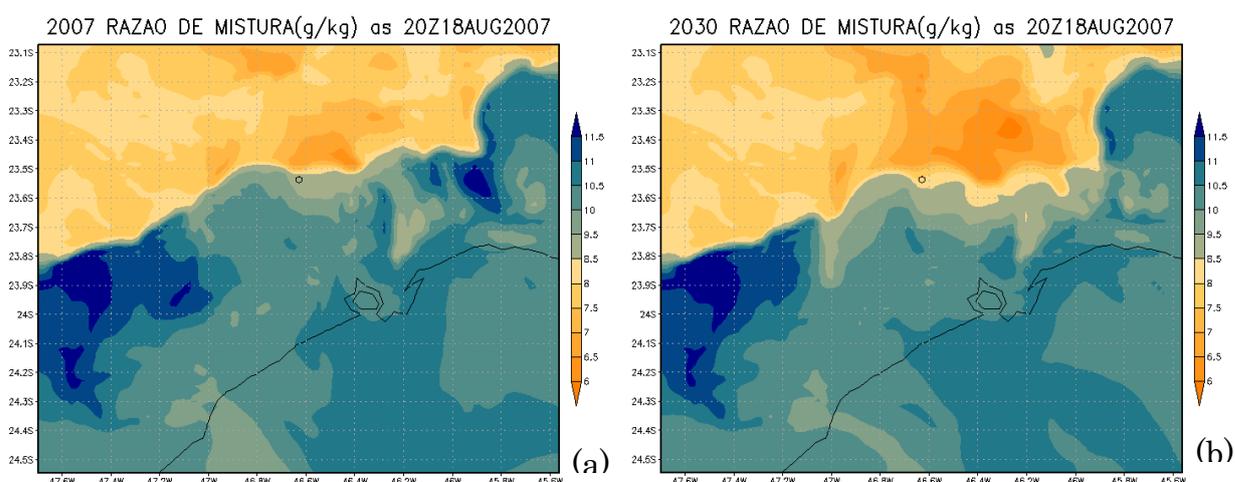


Figura 6-29. Razão de mistura as 20Z para as simulações (a) 2007 e (b) 2030 para 18/08.

A Figura 6-30 mostra a sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações 2030 e 2007, entre 19 e 22Z. Percebe-se que ao longo de toda a penetração da brisa marítima um ar mais seco é transportado em 2030, passando de 2,5 g/kg a menos de vapor d'água no ar.

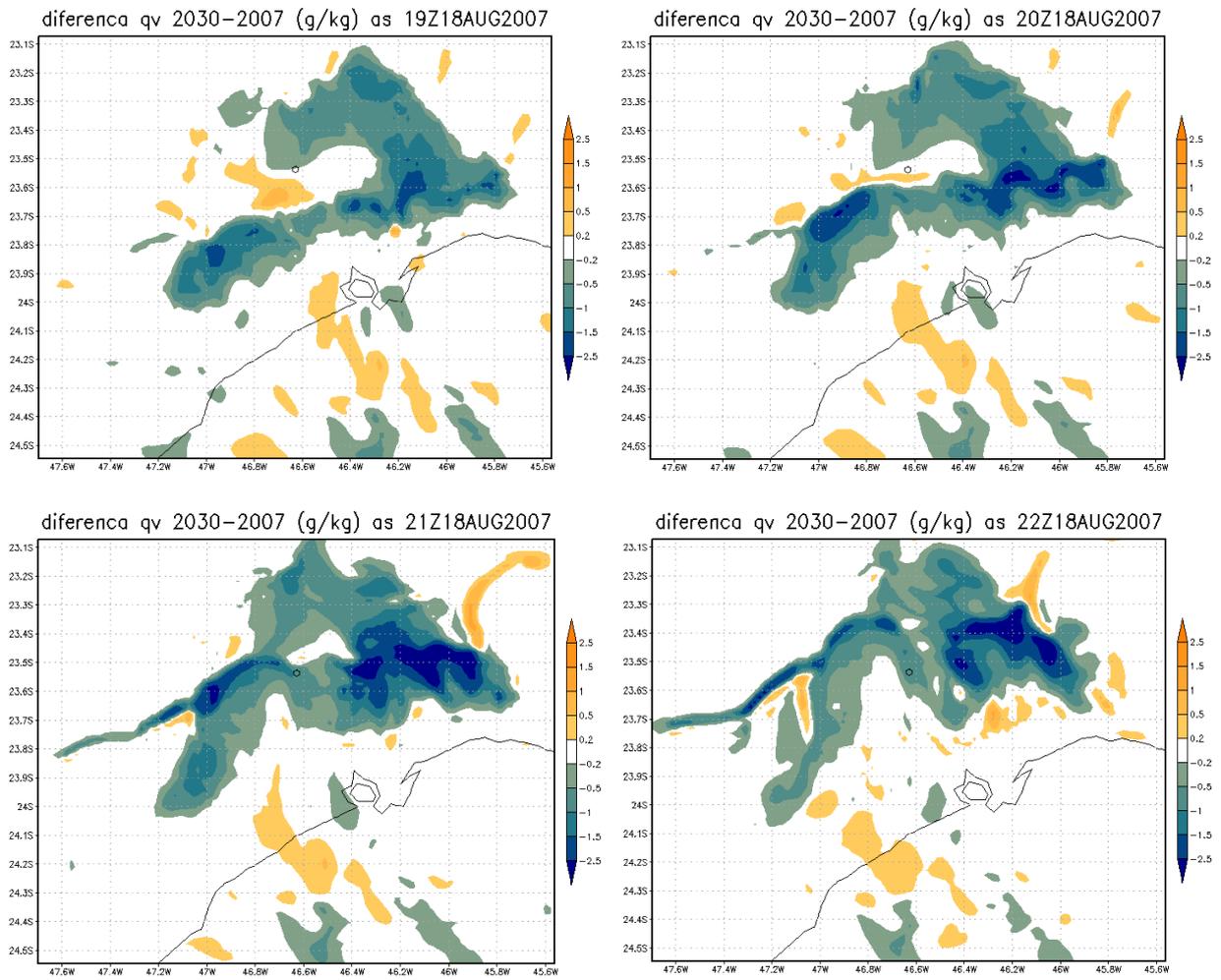


Figura 6-30. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2030-2007, das 19 às 22Z do dia 18/08.

A diferença de temperatura entre as simulações 2030 e 2007 pode ser vista na Figura 6-31, em que as 15Z (a) nota-se que o entorno da mancha de 2007 mais quente do que seria com a urbanização de 2030, e às 22Z (b), observa-se praticamente o desenho de m30 de uma região que chega a ser até 6° C mais quente.

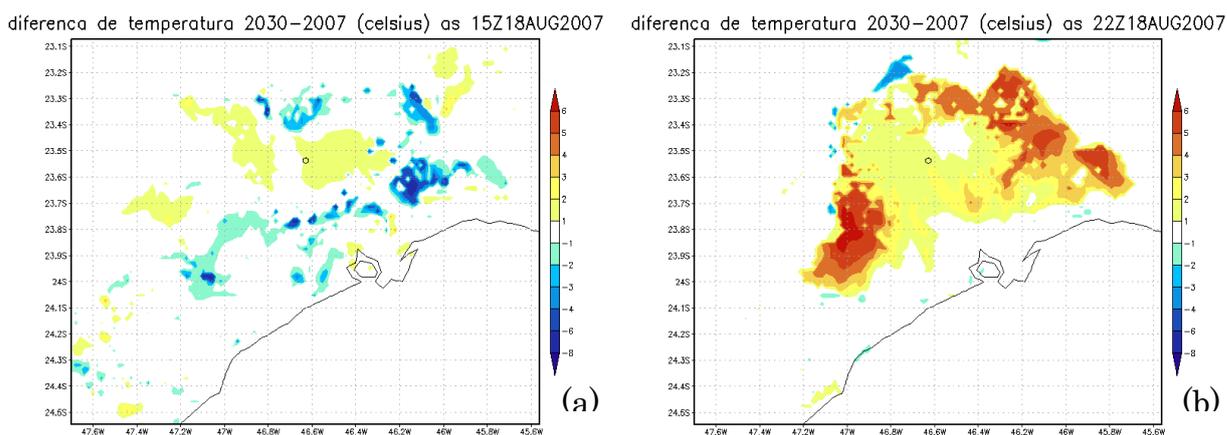


Figura 6-31. Diferença de temperatura entre as simulações 2030 e 2007, para 18/08.

No caso da precipitação (Figura 6-32), as diferenças são bem pequenas e pontuais, com alguns lugares com maior precipitação que outros. Apesar disso, a precipitação acumulada no domínio ainda é menor quanto maior a mancha urbana, de forma que na enquanto o acumulado em 07 foi de 5799 mm, em m30 foi de 5727 mm. Ainda se observam diferenças somente na região costeira, e não continente adentro.

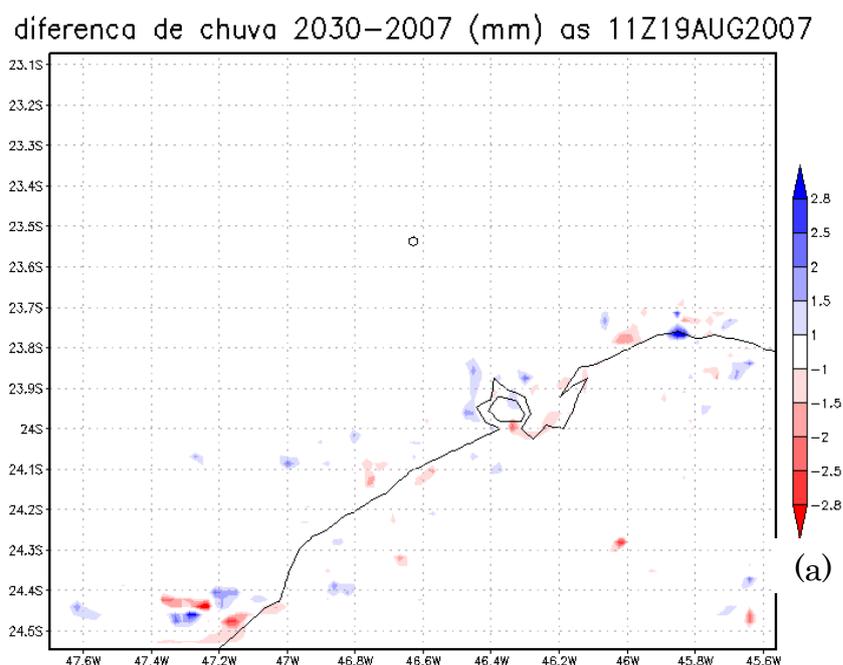


Figura 6-32. Diferença de precipitação acumulada em (a)2030-2007, (b)2007-SU para o inverno.

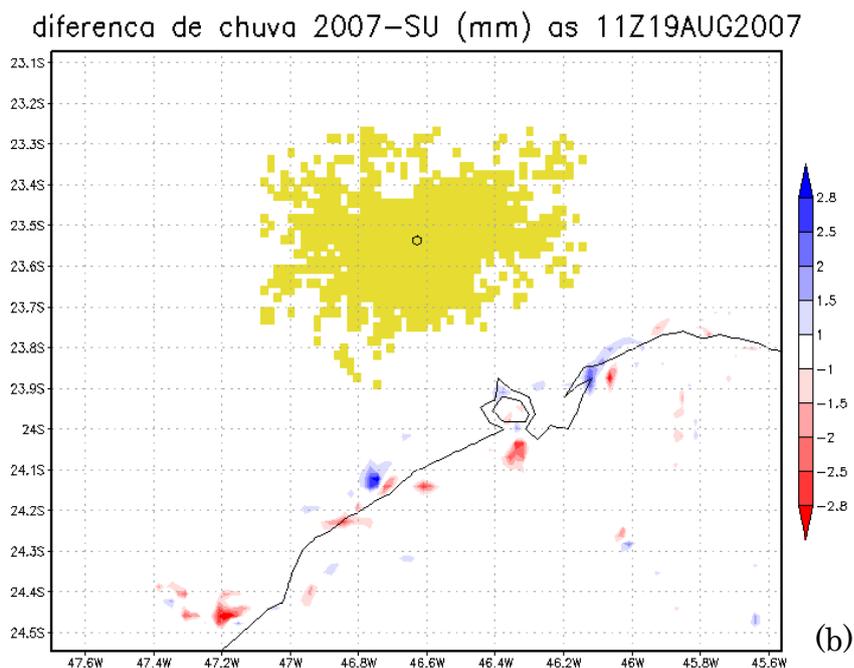


Figura 6-32. Continuação.

Quanto ao corte vertical, percebe-se que ao analisarmos os mesmos horários anteriores (10Z, 14Z, 17Z, 20Z, 21Z) pela Figura 6-33, novamente até às 14Z não se observou nenhuma diferença e também foi vista a segunda célula de circulação. No entanto, às 17Z já se observa a penetração da BM um pouco mais atrasada que em 07, tal que o movimento ascendente associado estava próximo ao p27 enquanto em m30 pode ser visto próximo ao ponto 30. Já às 20Z o máximo de vento observado é de 3m/s, enquanto que em 07 já se observava o máximo de 5m/s, além disso, a segunda circulação aparece mais fraca. Para às 21Z o atraso fica um pouco mais claro, onde se observa o acoplamento das duas circulações e um único movimento ascendente associado, aproximadamente em torno do p11. No entanto, pela análise vertical em geral, não se observou grandes diferenças entre 2007 e a projeção de 2030, no inverno.

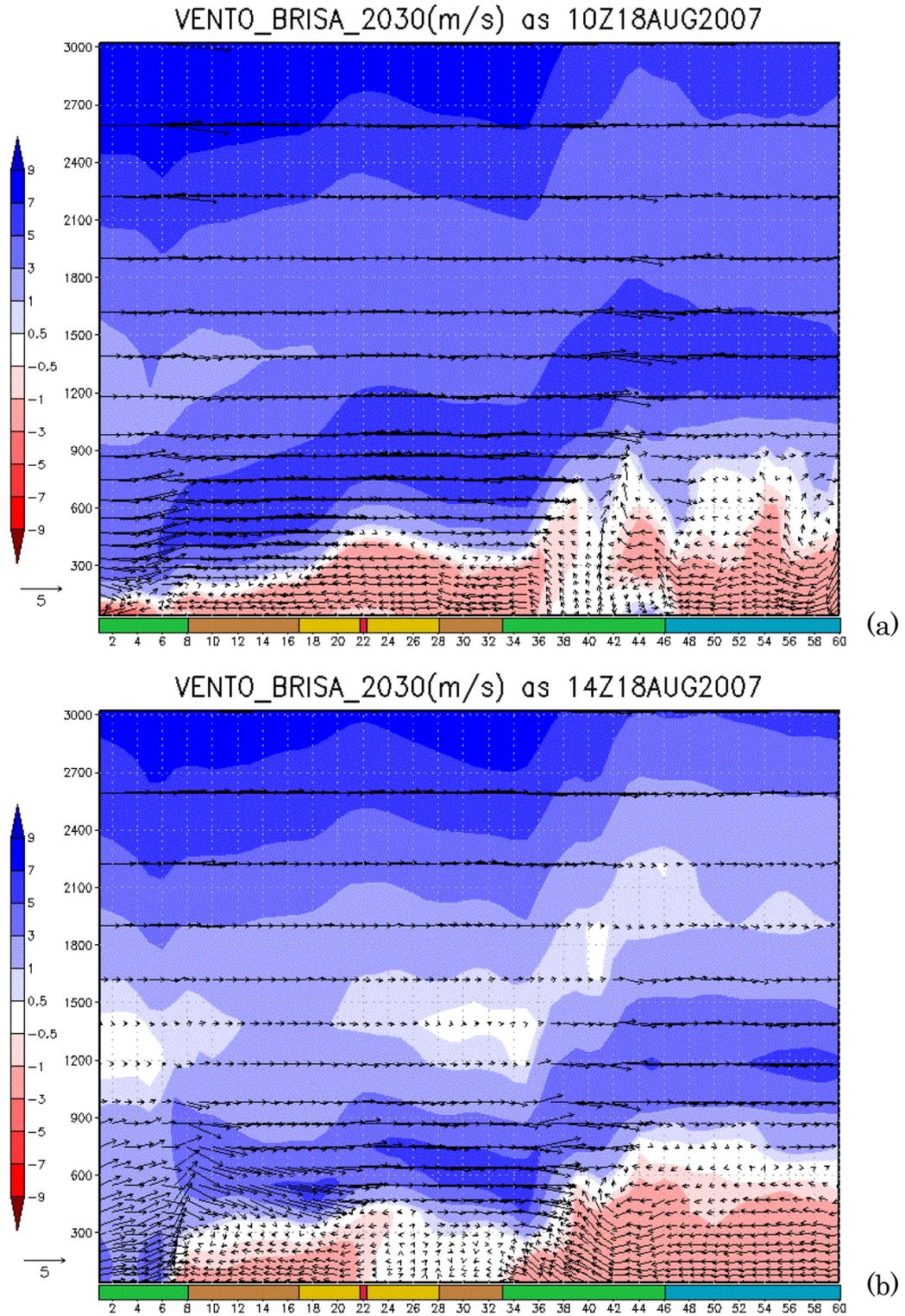


Figura 6-33. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa para a simulação m30 às (a) 10Z, (b) 14Z, (c) 17Z, (d) 20Z e (e) 21Z para o inverno.

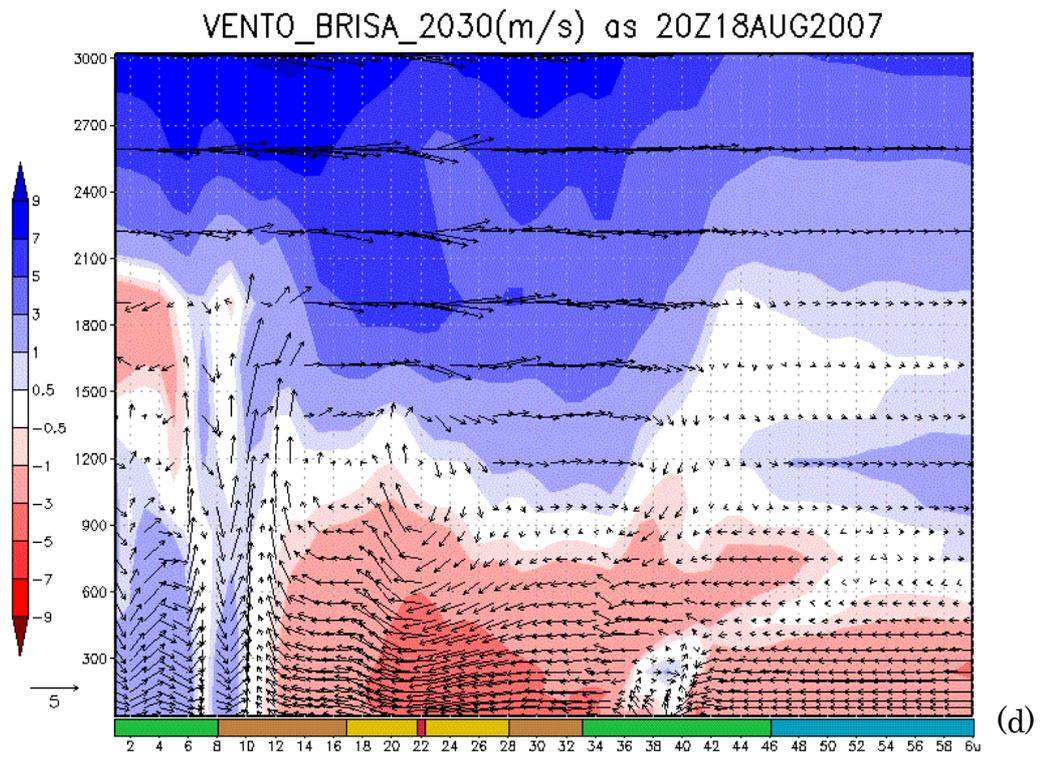
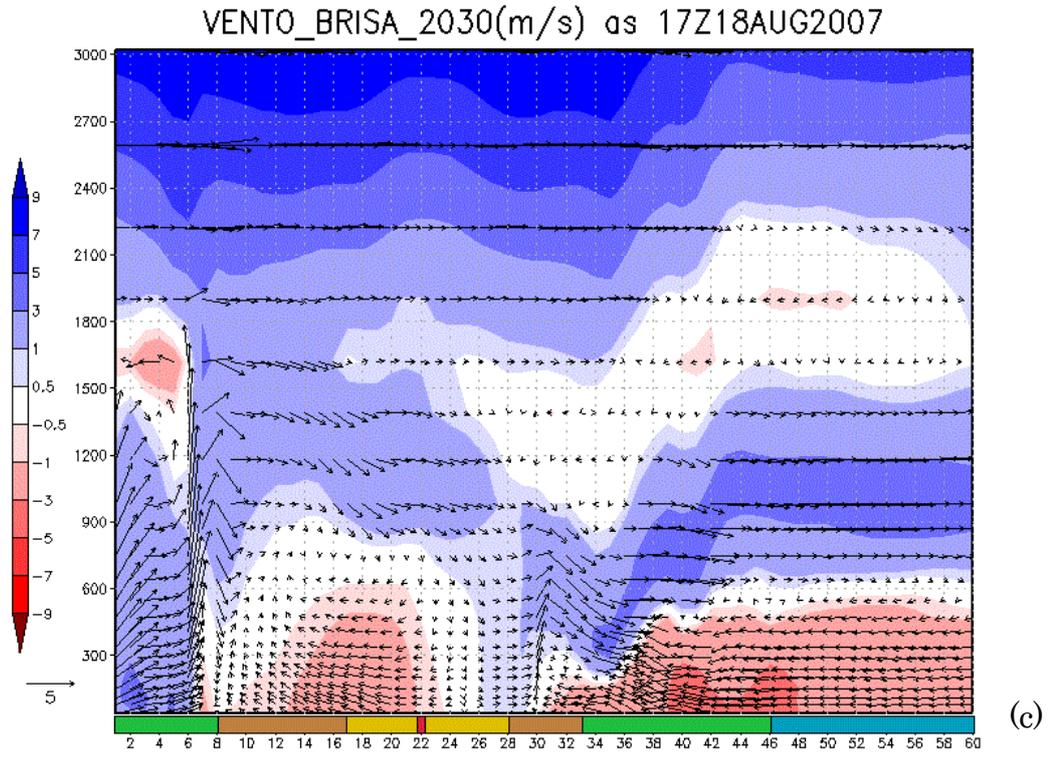


Figura 6-33. Continuação.

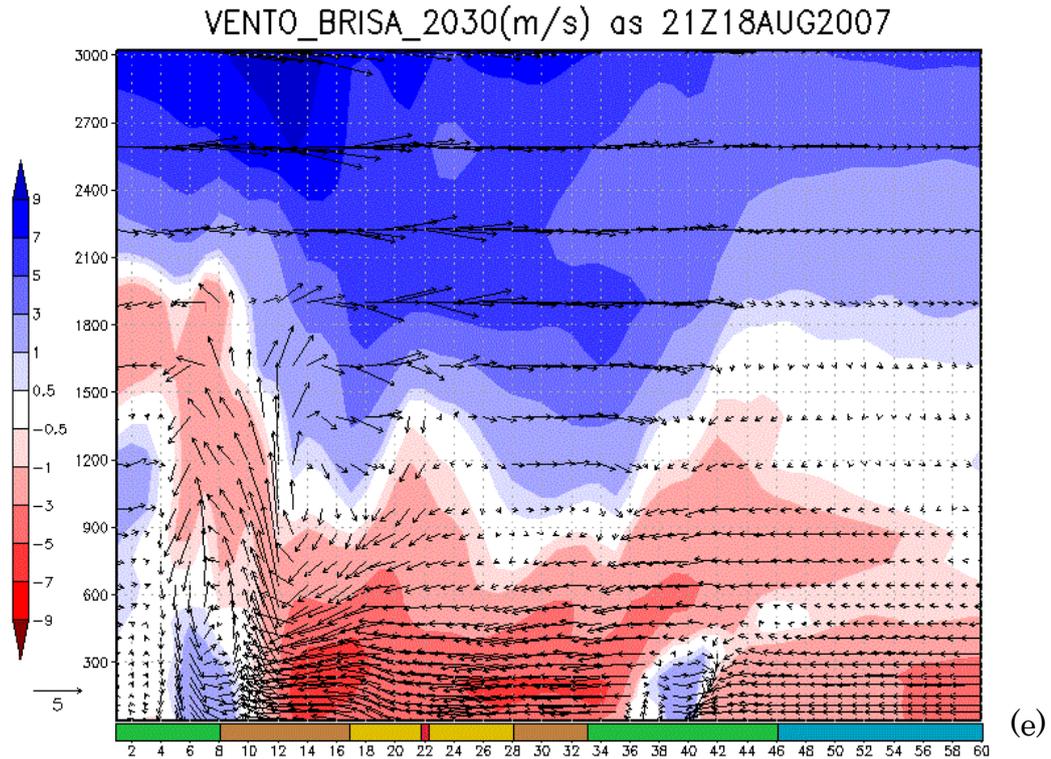


Figura 6-33. Continuação.

6.2.1.1 CONCLUSÕES INVERNO - FUTURO

- BM chega ao ponto central também as 19Z, porém houve uma redução no vento, em lugares anteriormente não urbanizados;
- A frente de umidade associada a BM atrasa mais pra chegar ao ponto central. Às 20Z, o mesmo valor de referência de 8,5 g/kg ainda não havia atingido o p22;
- Um ar ainda mais seco é transportado em 2030 quando comparado a 2007, chegando a ter até 2,5g/kg a menos de vapor d'água, principalmente nas novas regiões urbanizadas;
- Durante o dia, a região do entorno de 2007 se mostra pontualmente mais quente do que seria se urbanizada, porém, à noite toda a região da mancha urbana de 2030 tem a temperatura superior, chegando a até 6°C mais quente nas bordas (regiões não urbanizadas anteriormente);

- Como o evento não foi caracterizado por muita chuva, observou-se que houve pouca influência do aumento da mancha urbana na quantidade de precipitação, no entanto em 07 o acumulado foi de 5799 mm e em m30 de 5727 mm;
- A expansão da mancha urbana influencia mais nas novas regiões urbanizadas do que nas regiões já anteriormente urbanas, no entanto, com relação a temperatura e vapor d'água, apesar de não ocorrer de forma uniforme, toda a região de mudança é afetada.

6.2.2. VERÃO

A Figura 6-34 mostra o vento horizontal às 17Z para a simulação 2030 (a) e 2007 (b), e pode-se notar que neste horário em 2030 a frente de brisa está bem demarcada chegando ao ponto de referência p22, enquanto que em 2007 ela já havia passado pelo mesmo ponto. Além disso, observa-se a redução da velocidade do vento que, enquanto 2007 chegava a 7m/s, em 2030 não passa de 5 m/s.

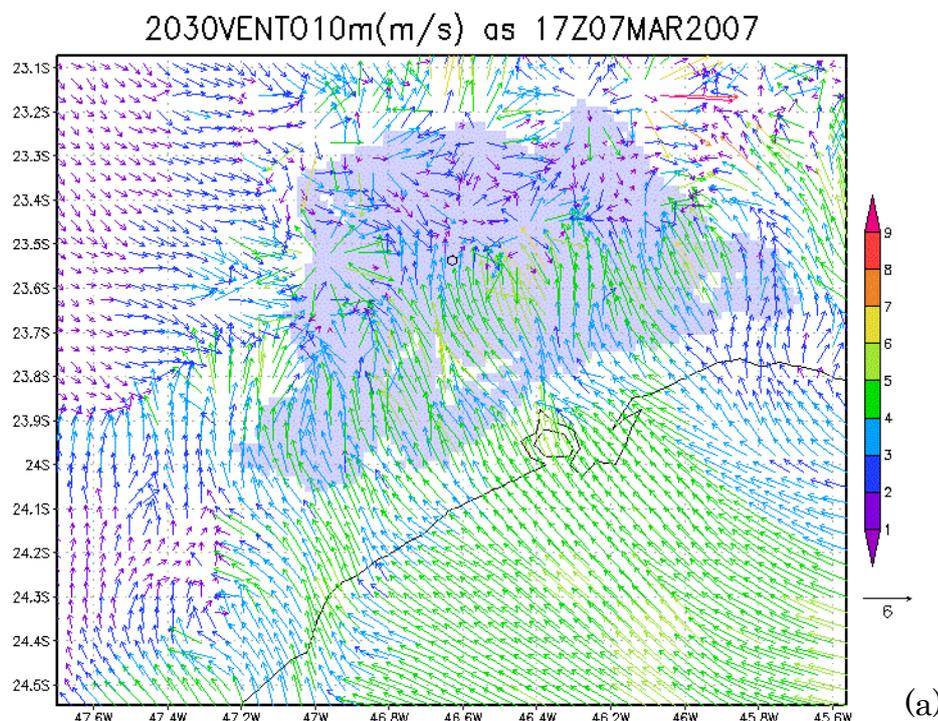


Figura 6-34. Composição do vento horizontal no D3 às 17Z do dia 07/03 para (a) simulação de 2030 e (b) 2007.

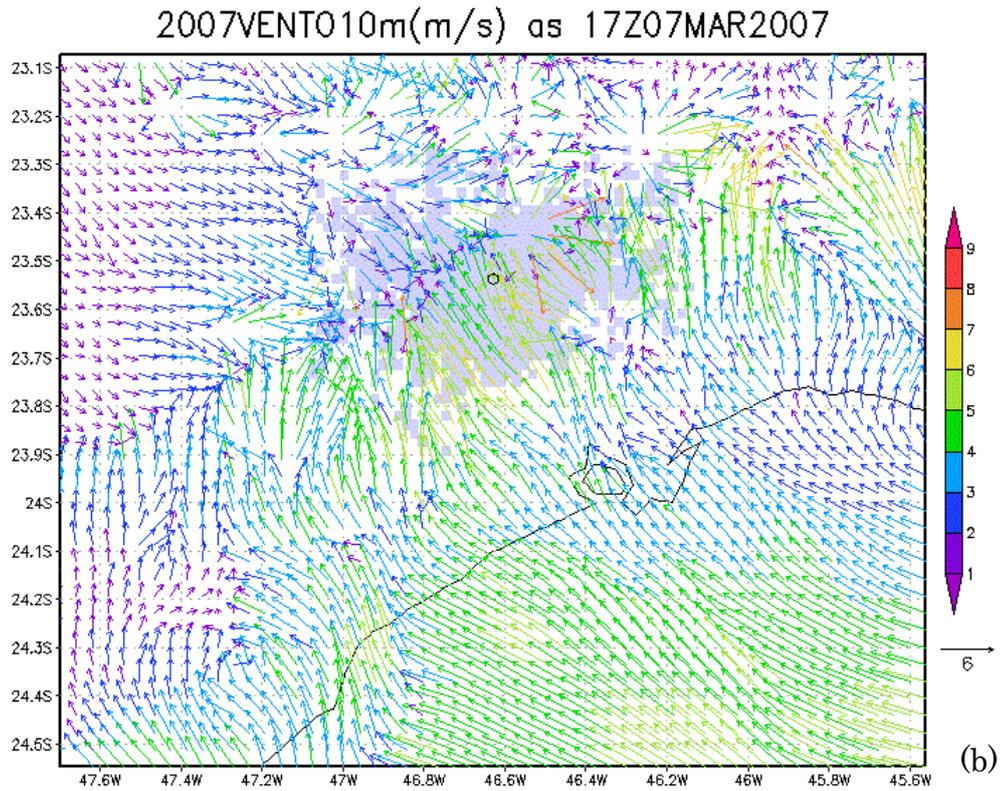


Figura 6-34. Continuação.

Com relação ao vapor d'água, conforme pode-se ver na Figura 6-35 a frente de umidade associada a BM, que têm um leve atraso na simulação 2030 com relação a 2007, de forma que no ponto de referência, a m07 (a) já tem uma quantidade de vapor d'água no valor de 15-16 g/kg enquanto em m30 (b) não passa de 14 g/kg.

Além disso, em 2030 a região norte do ponto de referência, anterior à entrada da brisa, está mais seca do que em 2007, inclusive com maiores regiões de mínimo em torno de 11 g/kg.

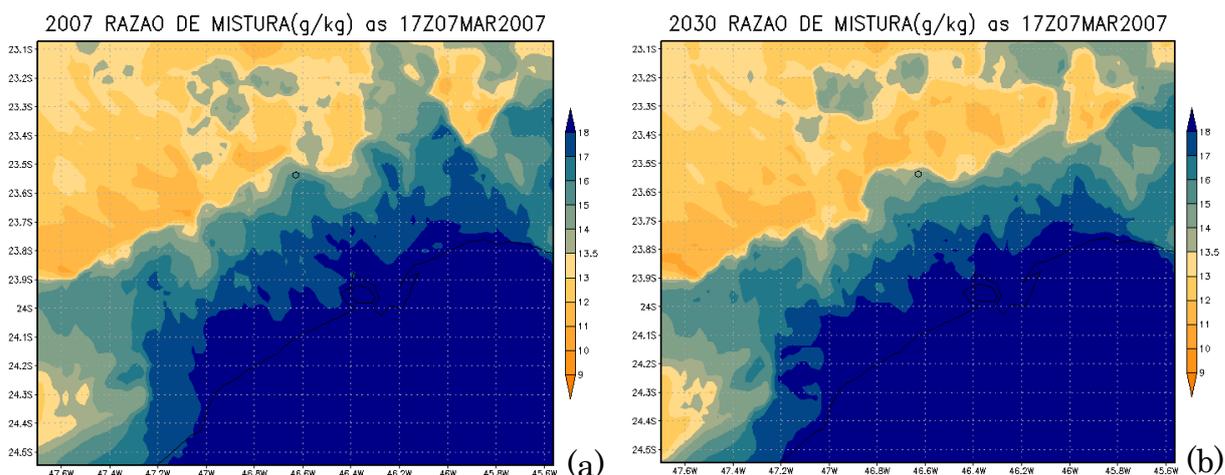


Figura 6-35. Razão de mistura as 17Z para as simulações (a) 2007 e (b) 2030 para 07/03.

A Figura 6-36 mostra a sequência temporal da diferença de razão de mistura entre 2030 e 2007, entre 17Z e 21Z, e pode-se observar o mesmo comportamento da análise passada, em que apesar da BM trazer o ar um pouco mais seco em 2030 do que em 2007, logo depois de sua passagem 2030 se mostra com regiões de maiores valores de vapor d'água, caso não visto no inverno.

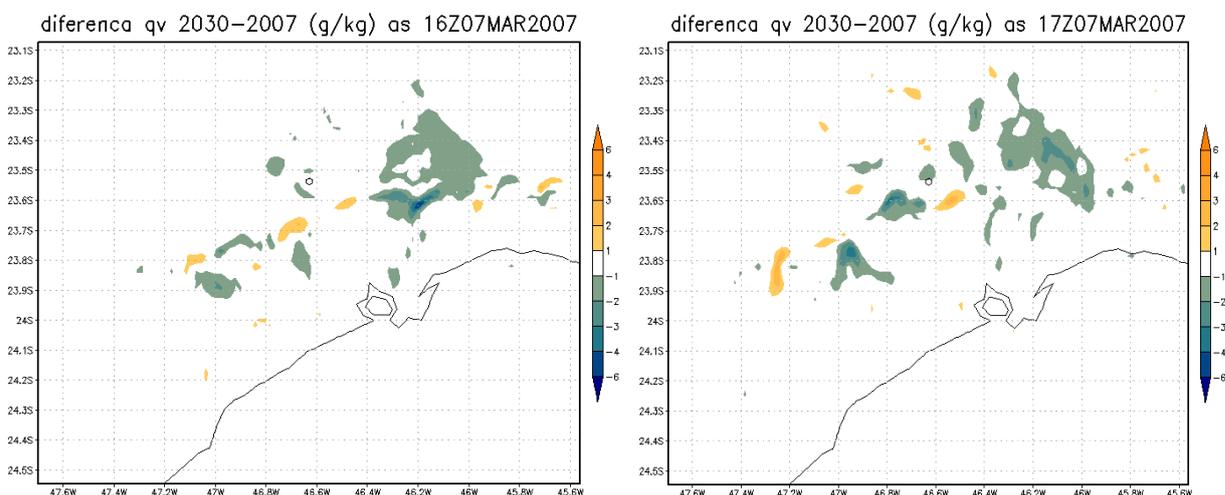


Figura 6-36. Sequência temporal da diferença de razão de mistura entre as simulações de 2030-2007, das 16 às 21Z do dia 07/03.

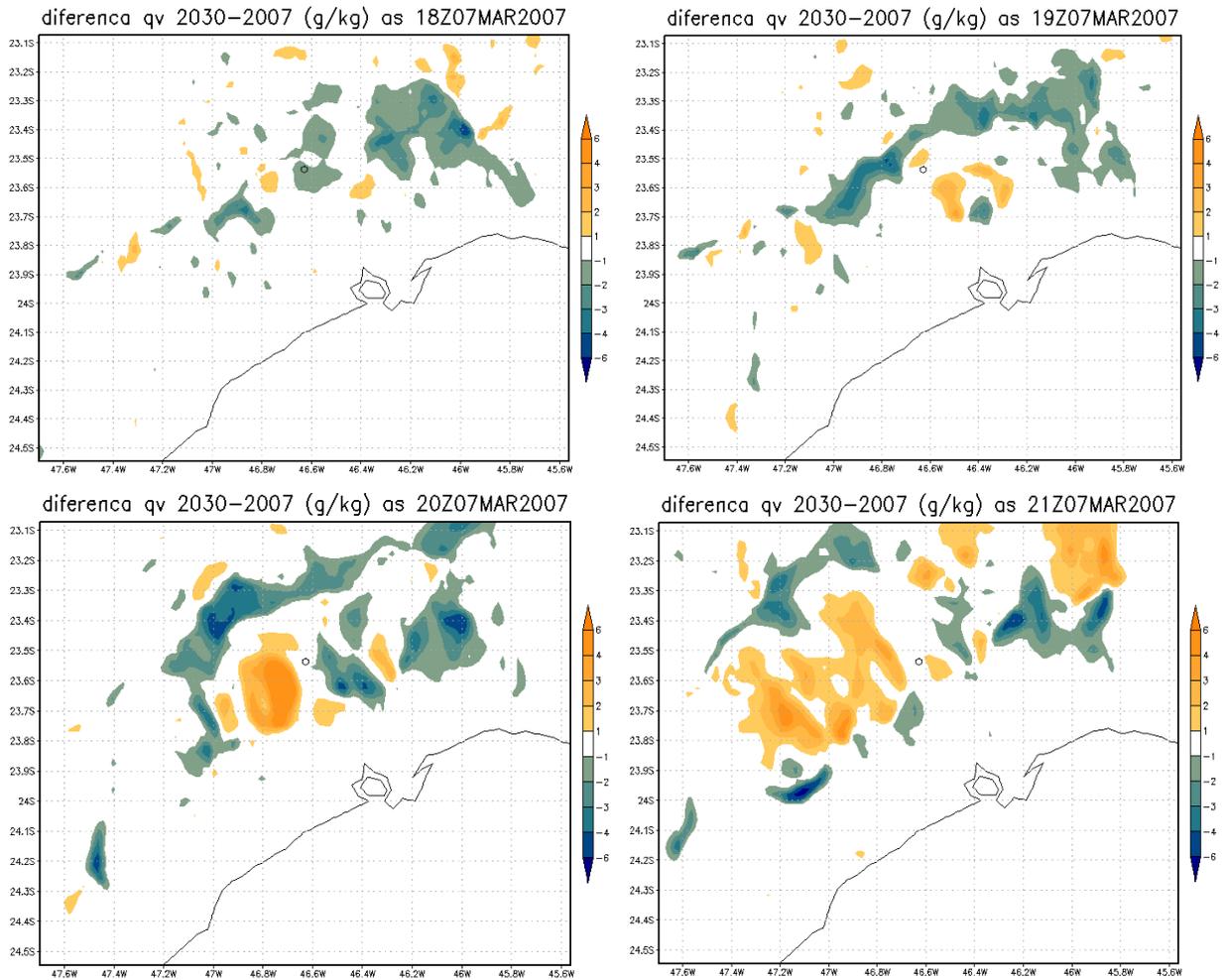


Figura 6-36. Continuação.

A Figura 6-37 mostra a diferença de temperatura simulada em 2030-2007 às 14Z (a) e 02Z (b), e observa-se que durante o dia não houve muita diferença entre a temperatura com o aumento da urbanização de 2007 para 2030, no entanto, à noite, novamente se observa toda a mancha urbana de 2030 com uma diferença maior de temperatura, em alguns pontos da região leste da mancha até 5 °C mais quentes em m30.

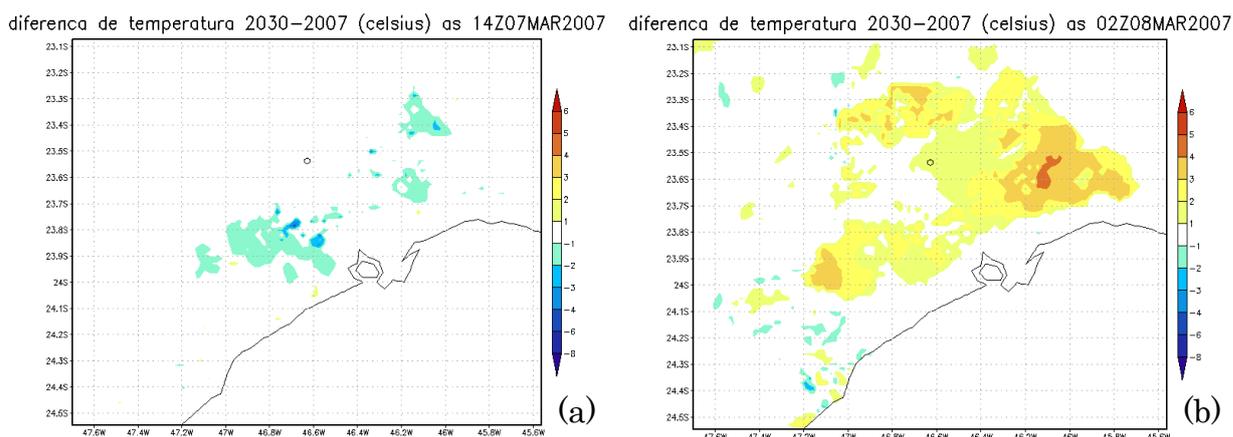


Figura 6-37. Diferença de temperatura entre as simulações 2030 e 2007, para 07/03.

A Figura 6-38 mostra a diferença de precipitação simulada para 2030 e 2007 (a) acumulada em todo o período de simulação, e faz comparação com a análise passada, de 2007-SU (b).

Nota-se na figura (a), que a tendência na região central do ponto de referência é de menos precipitação acumulada com o aumento da área urbanizada de 2007 para 2030, diferente do que pode ser visto da figura (b). Quando comparamos as duas figuras, podemos perceber que os máximos e mínimos se invertem, de forma que as regiões de maior precipitação acumulada em 2007 teriam menos precipitação em 2030. Isto pode nos indicar um comportamento não linear com o aumento da urbanização, ou seja, não necessariamente a mesma região que se mostrou no passado menos úmida, terá no futuro ainda menos, e sim, o inverso. Isso se deve ao fato do aumento da urbanização alterar significativamente as regiões de convergência e divergência, associadas às correntes ascendentes e descendentes, respectivamente.

Apesar da indicação do comportamento pontual ser não linear, o acumulado de precipitação no domínio três (D3) diminui com o aumento da urbanização, de forma que para a simulação 07 o acumulado foi de 24084 mm, enquanto em m30 foi de 22494 mm.

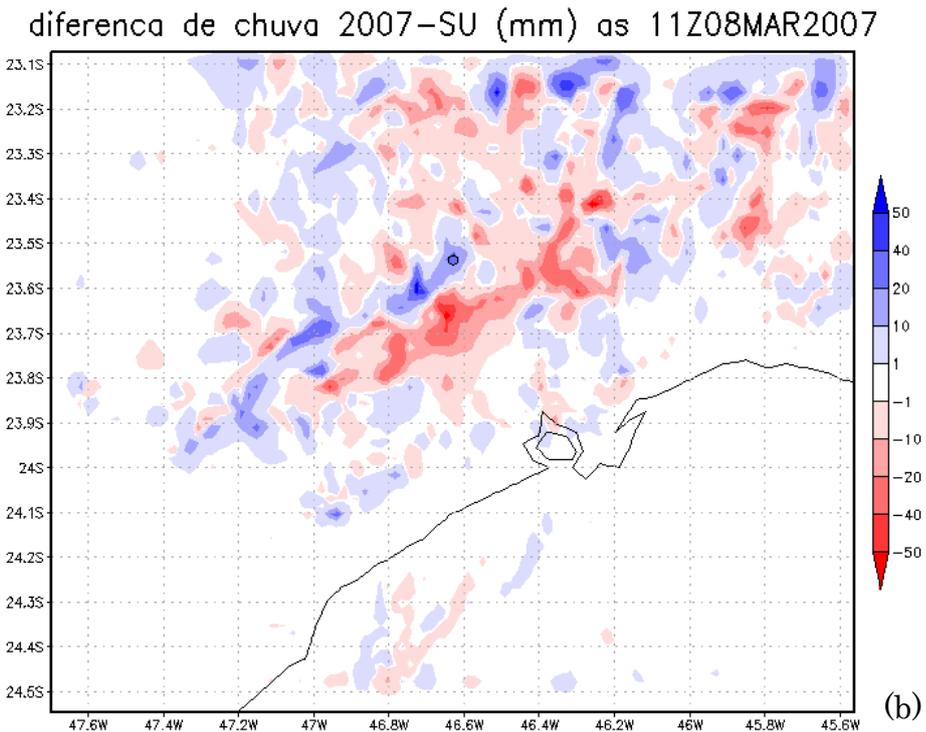
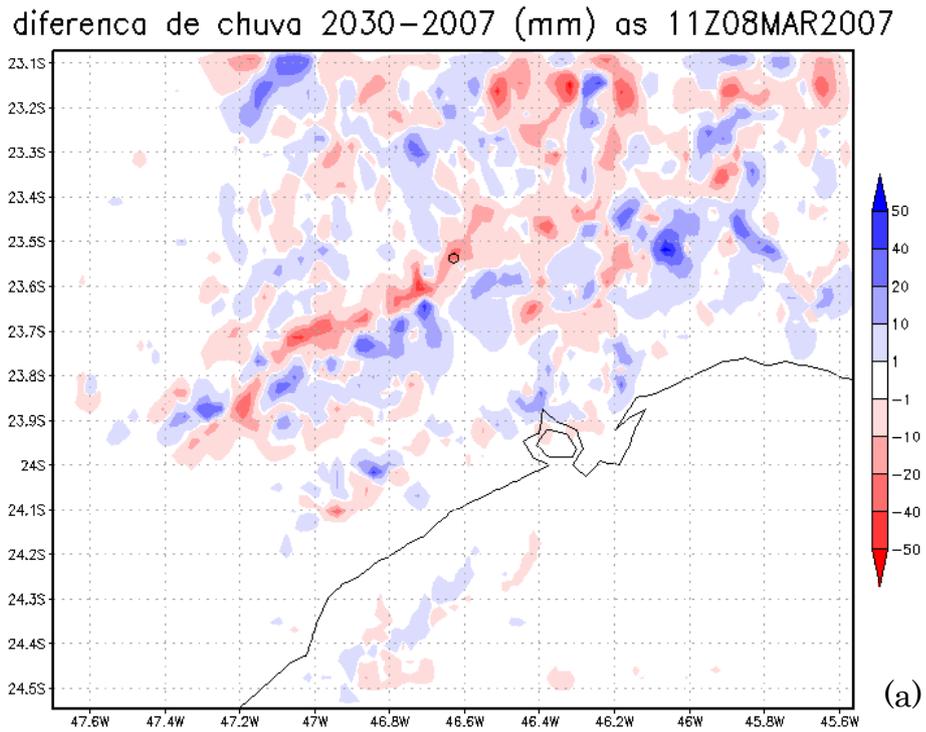


Figura 6-38. Diferença de precipitação acumulada em (a)2030-2007, (b)2007-SU para o verão.

Com relação ao corte vertical pela Figura 6-39, ao analisar os mesmos horários da análise anterior para o verão (11Z,14Z,16Z,19Z) percebe-se que neste caso, até às

14Z não se observou diferenças com relação a simulação 07, de forma que às 11Z o movimento ascendente apesar de estar um pouco mais fraco, encontra-se no mesmo p47, e as 14Z no p31. No entanto, às 16Z pode-se observar a ascendência no entorno do p25, indicando que até este ponto a BM em 2030 chega mais rápido ao centro da mancha do que 07 – uma novidade em toda a análise realizada até agora. Resultado semelhante foi encontrado em Freitas et al. (2007). Já às 19Z, observa-se claramente o atraso, já que na simulação 2030 frente de brisa se encontra próximo ao ponto 13 enquanto que em m07 já estava por volta do p6.

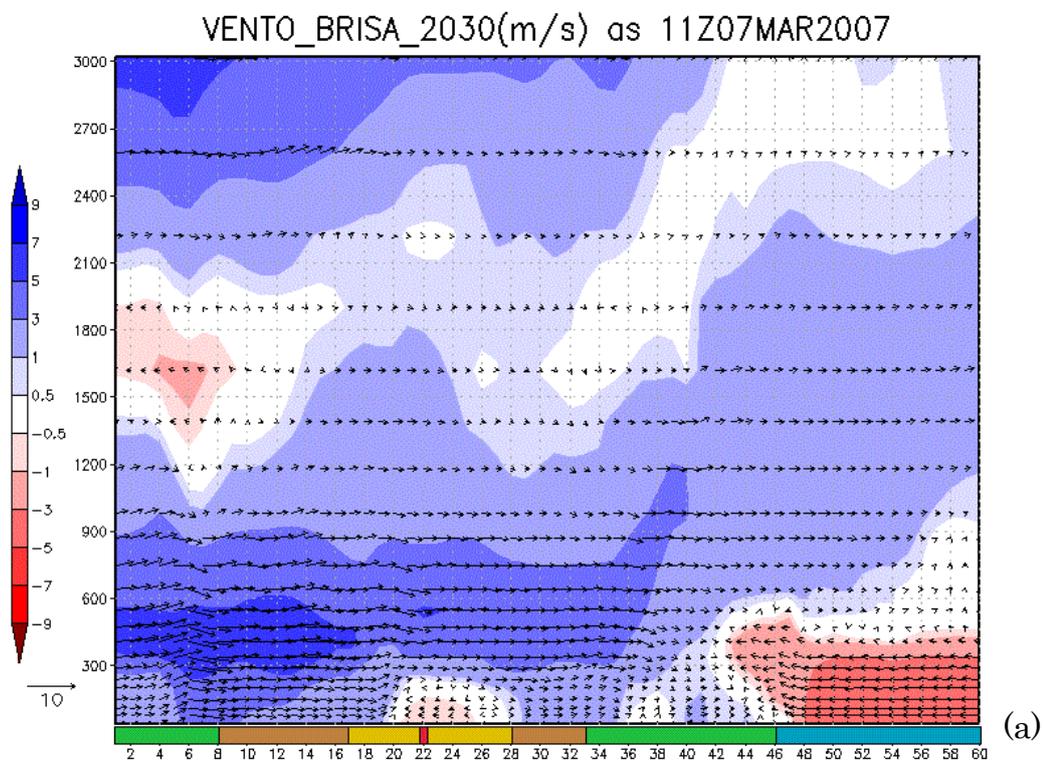


Figura 6-39. Perfil vertical do vento no corte perpendicular à costa para a simulação m30 às (a) 11Z, (b) 14Z, (c) 16Z, (d)19Z para o verão.

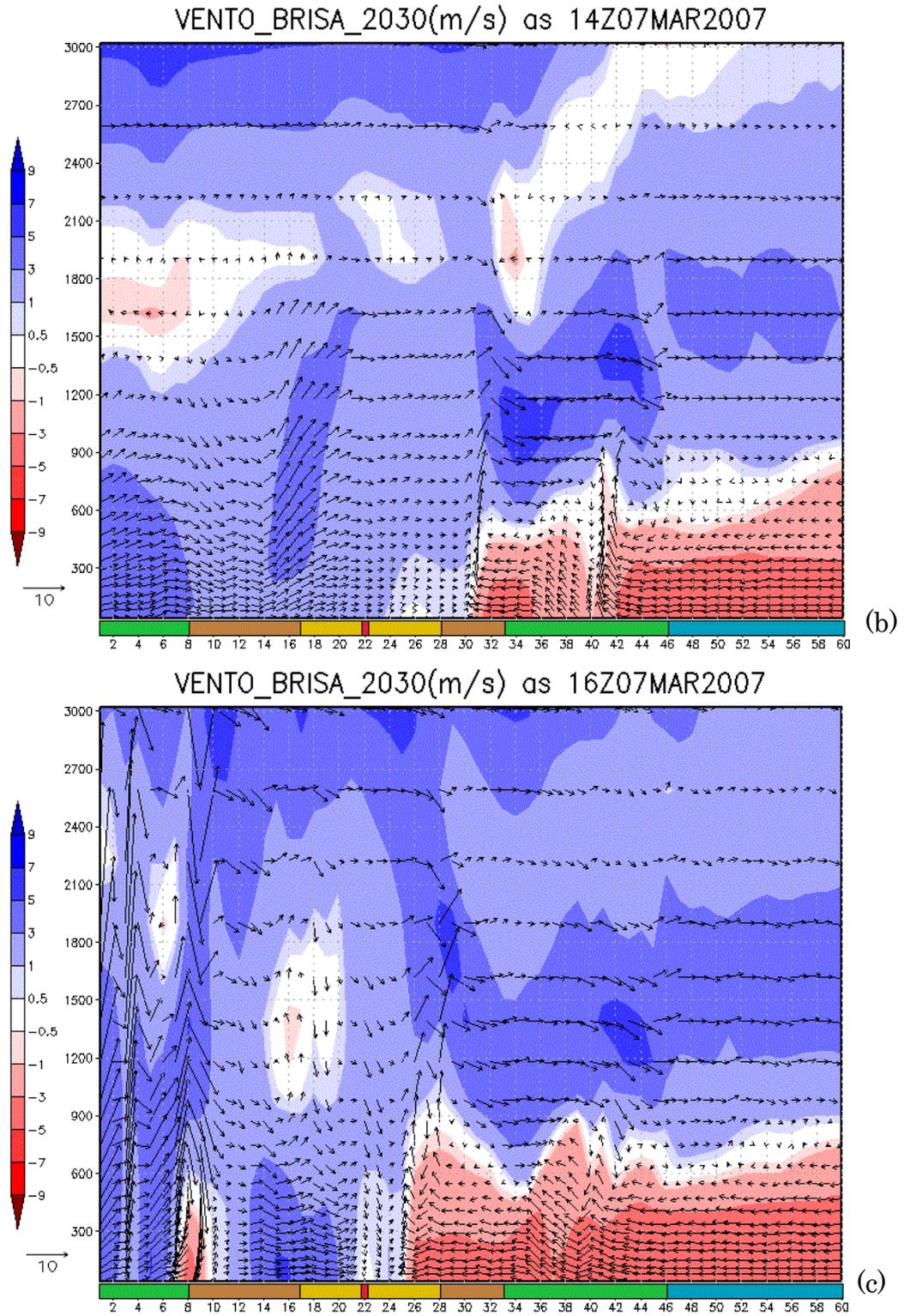


Figura 6-39. Continuação.

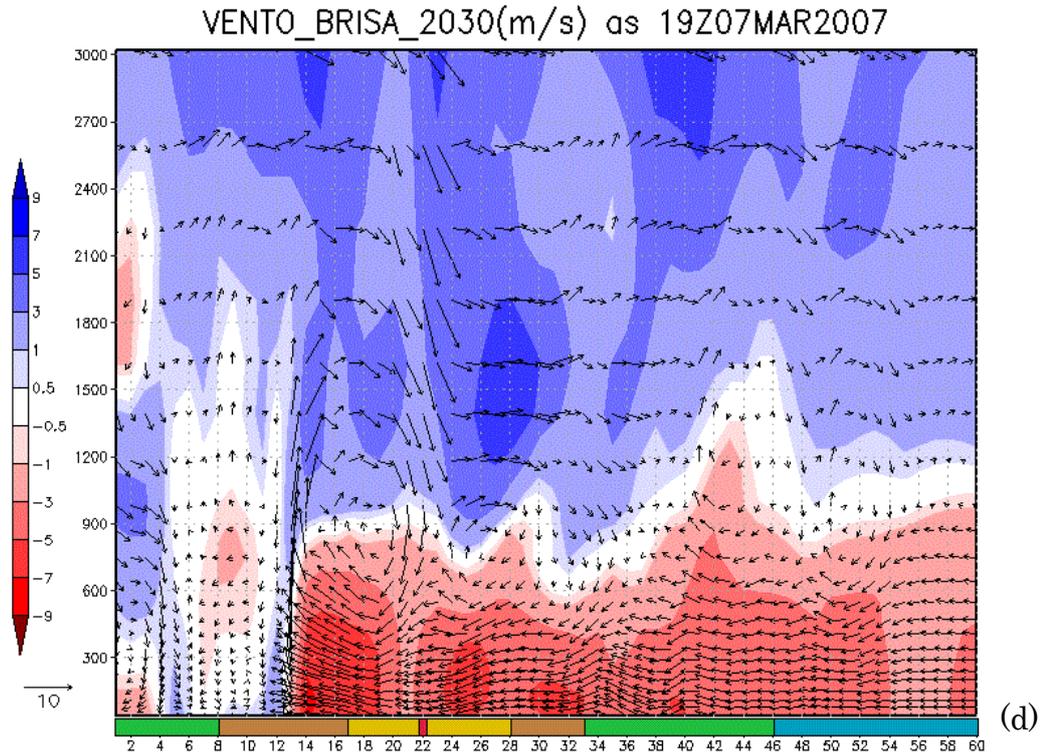


Figura 6-39. Continuação.

6.2.2.1 CONCLUSÕES VERÃO - FUTURO

- Frente de brisa marítima se aproxima do p22 central por volta das 17Z – mais tarde que em 2007 no qual para o mesmo horário a brisa já havia passado pelo mesmo ponto referência;
- Observou-se a frente de umidade associada à BM, que também se mostra atrasada com relação a 2007 de forma que para o mesmo horário (17Z) em m07 se observa uma maior quantidade de vapor d'água no mesmo referencial;
- A região norte do ponto de referência, anterior a entrada da brisa, mostrou-se mais seca em 2030 do que em 2007;
- A BM demora mais tempo para transportar umidade em 2030, mas após sua passagem nota-se o maior teor de umidade na maior parte das regiões;
- Não se observou muita diferença de temperatura durante o dia, entre 2030 e 2007. No entanto, à noite, em geral observou-se um aumento generalizado na região da mancha, principalmente a leste da mesma;

- Com relação à precipitação, a diferença entre 2030 e 2007 mostra regiões com mais e outras com menos precipitação, e quando comparamos ao passado percebemos que os máximos e mínimos tendem a se inverter, indicando um comportamento não linear com a expansão da urbanização, provavelmente em função do deslocamento das zonas de convergência e divergência de massa;
- A precipitação acumulada em todo o domínio três diminui com o aumento da mancha urbana: acumulado em 07 foi de 24084 mm enquanto em 2030 foi de 22494 mm;
- Até às 14Z a análise vertical não mostrou diferenças de 2007 para 2030, porém no início da tarde, às 16Z, 2030 aparece mais a frente do que 2007, mas logo o comportamento se inverte e às 19Z fica claro o atraso de 2030 com relação a 2007.

7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para fins de avaliação dos impactos e influência da expansão da porção urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo em eventos de brisa marítima, tanto para o inverno quanto para o verão, foi utilizada a modelagem atmosférica, mais especificamente o modelo WRF-ARW. Foram feitas algumas simulações para validação do modelo e testes com relação a utilização ou não de um modelo acoplado de dossel urbano (*Urban Canopy Model*).

Através da comparação das simulações com dados observados de temperatura e umidade relativa para algumas estações meteorológicas (Água-Funda, Ibirapuera e Pinheiros), tanto pela análise qualitativa quanto pela quantitativa foi visto que para a estação do inverno neste caso a inclusão do UCM se mostrou dispensável, enquanto que uma melhor caracterização da mancha urbana (de 1993 para 2007) fez mais e melhor diferença nos resultados do que o maior detalhamento ou distinção da mesma.

Já para o caso do verão, observou-se o inverso, de forma que as simulações com o UCM ativo se mostraram mais fidedignas à realidade do que quando esta parametrização estava desativada. No entanto, outro ponto a ser considerado, é que diferentes tipos cobertura de solo urbano associados ao modelo de dossel urbano (alta ou baixa intensidade residencial) não apresentaram diferenças significativas em nenhum dos casos avaliados.

Tanto para este caso do inverno quanto para o verão, observou-se que a brisa marítima é afetada pela expansão da mancha urbana, de forma que nos dois, conforme o aumento da urbanização, maior o tempo para chegada ao ponto central e propagação da mesma continente adentro. Além disso, diferenças podem ser pontuadas entre as duas estações, começando pelo horário de chegada ao

ponto central, de forma que no inverno, isto ocorre entre 18Z e 19Z – dependendo da mancha urbana considerada – enquanto no verão se dá entre as 15Z e 17Z.

Com a expansão da mancha, considerando as simulações “sem área urbana” para “urbanização em 2007”, diferenças na temperatura foram observadas em ambas as estações. No entanto, para o caso do inverno essa diferença foi maior, com algumas regiões chegando a ter 4°C a menos de dia e 6°C mais quente à noite. Além disso, com relação à quantidade de vapor d’água, a ligação entre a propagação de umidade associada com a BM foi vista em todas as simulações de forma que, com a expansão urbana, a umidade transporta pela BM demora mais tempo para ser observada. Contudo, após a passagem da frente de brisa o comportamento entre as estações difere no sentido de que no caso do verão tem-se um aumento desta quantidade de vapor d’água em alguns pontos da mancha urbana, possivelmente ocasionado pelo aumento de precipitação visto pelo modelo na mesma região.

Como no inverno o caso escolhido praticamente não apresentou precipitação, não foram observadas muitas diferenças nesta variável com o aumento da urbanização. Porém, no verão foram observadas diferenças significativas em praticamente todo o domínio de simulação, com regiões de até 50 mm a mais ou a menos de precipitação simulada, com resposta não linear em função da expansão urbana. Quanto ao acumulado de precipitação em todo o domínio três da simulação, em ambos os casos (verão ou inverno) observou-se a diminuição do acumulado com a expansão da mancha urbana.

Os cortes verticais mostraram a não existência do vento de oeste característico da brisa terrestre para o caso do inverno simulado, de forma que ao longo de todo período de simulação, o vento em superfície continua de leste, enquanto que no verão a BT pôde ser claramente visualizada. Apesar disto, a velocidade do vento de brisa marítima é maior no verão do que no inverno, e talvez por esse motivo a brisa apesar de adentrar o continente 1h mais tarde, chega cerca de 3h antes no ponto central.

No caso do inverno observou-se uma segunda circulação entre os pontos 7 e 27 que acabou por se acoplar a frente de brisa. Esta pôde ser vista inclusive na simulação sem área urbana, indicando que esta circulação pode ser devido ao relevo da região, caracterizando uma brisa vale-montanha. Já para o caso do verão esta circulação aparece bem menos expandida, entre os pontos 20 e 28, e logo no início da tarde esta circulação já é dissipada.

No caso da projeção futura observou-se o mesmo comportamento em praticamente todas as variáveis analisadas, principalmente para a estação verão, de forma que se pode concluir que quanto maior for a expansão urbana, maior será a intensidade das diferenças vistas em cada uma delas. A única variável que se mostrou com o comportamento contrário foi a precipitação, que parece inverter as regiões de máximos e mínimos acumulados.

Por fim, na análise do corte vertical não ficou evidente uma circulação de ilha de calor em nenhuma das estações, no entanto, observou-se claramente a influência da expansão da área urbanizada nos episódios de brisa marítima referidos neste estudo, seja com relação a temperatura, umidade, precipitação, velocidade do vento ou horários diferenciados na propagação da frente de brisa.

Como para este trabalho foi feita a comparação e análise somente da urbanização da Região Metropolitana de São Paulo, recomenda-se como trabalho futuro utilizar um arquivo de uso do solo mais completo, que contenha todas as regiões urbanizadas além da RMSP, bem como o estudo para diferentes regiões. Além disso, sugere-se a avaliação e análise de novos casos para o verão, inverno e também para as estações intermediárias. Análises referentes ao efeito da mudança na umidade do solo, e também parâmetros, inclusive de modelo de dossel urbano, podem ser testados e posteriormente comparados com estes resultados, além da expansão e análise do estudo com relação à poluição atmosférica, por exemplo.

Finalmente, como demonstrado neste trabalho, o efeito da interação entre a brisa marítima e a presença da mancha urbana se mostrou diferente daqueles obtidos em outros trabalhos, como em Freitas et al. (2007), por exemplo. Vale destacar que naquele trabalho os efeitos urbanos foram estudados isoladamente, retirando o efeito topográfico (topografia plana) e também a condição sinótica atuante (inicialização homogênea), o que pode levar a uma interação linear entre a ilha de calor e a brisa marítima. No nosso caso, outros fatores foram adicionados, o que leva a interações não lineares. Deste modo, a análise de fatores proposta por Stein and Alpert (1993), pode ser de grande relevância para o melhor entendimento entre as interações lineares que possivelmente possam ocorrer.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARELLANO ROJAS, C. S. **Condições meteorológicas e níveis de poluição na Região Metropolitana de Lima – Peru**. 2013, São Paulo, 119 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.
- Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG-USP: 2008, São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.
- BRONGER, D. Megastädte. 1996 a, **Geographische Rundschau** 48: 74-81, 1996a.
- BRONGER, D. Die grössten Megastädte der Erde. **Peterm. Geogr. Mitt.**, 140 (2): 115-117, 1996b.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. **Spring: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling**. *Computers and Graphics*, v.15, n.6, p.13-22, July 1996.
- CHEN, N. Y.-P.; HELIGMAN, L. **Growth of the world's megalopolises**. In: UNIVERSITY, T. U. N. *Megacity growth and the future*. 2ª. ed. Hong Kong: United Nations University Press, v. I, 1994. Cap. 1, p. 439.
- CHEN, F.; DUDHIA, J. **Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State–NCAR MM5 Modeling System. Part II: Preliminary Model Validation**. *Monthly Weather Review*, v. 129, n. 4, p. 587-604, 2001.
- CHEN, F.; KUSAKA, H.; TEWARI, J.; BAO, W.; HIRAKUCHI, H. **Utilizing the coupled WRF/LSM/Urban modeling system with detailed urban classification to simulate the urban heat island phenomena over the Greater Houston area**. Preprints, Fifth Conf. on Urban Environment, Vancouver, BC, Canada, Amer. Meteor. Soc., 9.11, 2004.

- COTTON, W. R.; PIELKE, R. A. **Human impacts on weather and climate**, Cambridge University Press. 1995. 288 pp.
- EK, M. B.; MITCHELL, K. E.; LIN, Y.; ROGERS, E.; GRUNMANN, P.; KOREN, V.; GAYNO, G.; TARPLEY, J. D. **Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model**. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 108, n. D22, p. 8851, 2003.
- FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. **Anthropogenic heat in the city of São Paulo, Brazil**. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 104, p. 43-56, 2011.
- FREITAS, E. D. **Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes**. São Paulo, 2003. 156 p. Tese de Doutorado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.
- FREITAS, E. D. & SILVA DIAS, P. L. **Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Brasil, v. 20, n. 3, p. 355-366, 2005.
- FREITAS, E. D.; ROZOFF, C. M.; COTTON, W. R.; SILVA DIAS, P. L. **Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil**. *Boundary-Layer Meteorology*. v. 122, n. 1, p. 43-65. 2007.
- FREITAS, E. D.; SILVA DIAS, P. L.; CARVALHO, V. S. B.; MAZZOLI, C. R. MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A.; ANDRADE, M. F. **Factors involved in the formation and development of severe weather conditions over the Megacity of São Paulo**. In: 89th American Meteorological Society Meeting, Phoenix, AZ, Estados Unidos, 10-15 January 2009.

- HACKEROTT, J. A., **Simulação numérica a partir do modelo WRF e análise de ventos em superfície na região da Baía de Guanabara (RJ)**. São Paulo, 2013. 130f. Dissertação de mestrado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.
- HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J.; GANDU, A. W.; LEME DE BARROS, M. T. **Simulação numérica de precipitação intensa na Região Metropolitana de São Paulo com o modelo de mesoescala ARPS**. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004 (CDROM).
- HEAT ISLAND GROUP - Berkley National Laboratory. Disponível em <http://heatiland.lbl.gov/>. Acesso em 10 de fevereiro 2014.
- HOMANN, C. T.; FREITAS, E. D. **Análise preliminar das reanálises II e CFSR como dados de inicialização do modelo WRF**. In: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado, RS, 2012.
- HONG, S. Y.; NOH, Y.; DUDHIA, J. **A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes**. Mon. Wea. Rev., 134, p. 2318–2341, 2006.
- IBGE. **Censo Demográfico, 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: 06 de fevereiro 2014.
- JORGETTI, T.; CAMARGO, R.; JANUÁRIO, C. S. **Caracterização da célula de brisa na Região Metropolitana de São Paulo através de observações simultâneas**. Anais XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz do Iguaçu, p. 2639-2642, 2002.
- KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S.; HNILO, J. J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. **NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)**. Bulletin of the American Meteorological Society, 83, n. 11, 1631-1643, 2002.

- KIM, H. H. **Urban heat island**. *International Journal of Remote Sensing*, 13 (12), 2319-2336, 1992.
- KRAAS, F. **Megacities as Global Risk Areas**. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 147(4), 6–15, 2003.
- KUSAKA, H.; KIMURA, F.; HIRAKUCHI, H.; MIZUTORI, M. **The Effects of Land-Use Alteration on the Sea Breeze and Daytime Heat Island in the Tokyo Metropolitan Area**. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 78(4), 405–420, 2000.
- LAWRENCE, M. G.; BUTLER, T. M.; STEINKAMP, J.; GURJAR, B. R.; LELIEVELD, J. **Regional pollution potentials of megacities and other major population centers**. *Atmos. Chem. Phys.* v. 7, n. 14, p. 3969-3987, 2007.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor da metrópole paulistana**. São Paulo, 1984, 210 p. Tese de doutoramento do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- MARCIOTTO, E. R. **Estudo da influência de um dossel urbano sobre o balanço de energia na superfície e implicações na estrutura vertical da camada limite atmosférica**. São Paulo, 2008. 124 p. Tese de Doutorado do Programa de Meteorologia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.
- MARCIOTTO, E. R.; OLIVEIRA, A. P.; HANNA, S. R. **Modeling study of the aspect ratio influence on urban canopy energy fluxes with a modified wall-canyon energy budget scheme**. *Building and Environment*, v. 45, n. 11, p. 2497-2505, 2010.
- MAZZOLI, C. R. **Estudo Numérico da Influência das Mudanças Climáticas e das Emissões Urbanas no Ozônio Troposférico da Região Metropolitana de São Paulo**, São Paulo, 2013. 162 p. Tese de Doutorado – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

- MERTINS, G. **Urbanisierung, Metropolisierung und Megastädte. Ursachen der Stadt"explosion" in der DrittenWelt – sozioökonomische und ökologische Problematik.** In Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen (Ed.), *Mega-Städte – Zeitbombe mit globalen Folgen.* Bonn. Dokumentationen, Informationen, Meinungen 44, pp. 7-21, 1992.
- MORAIS, M. V. B. **Investigação da camada limite planetária sobre a região urbana de São Paulo por meio do modelo de mesoescala TVM acoplado ao modelo de dossel urbano de Martilli.** São Paulo, 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.
- NEGRON-JUÁREZ, R. I. **Variabilidade climática regional e controle da vegetação no sudeste: um estudo de observações sobre cerrado e cana-de-açúcar e modelagem numérica da atmosfera.** 2004. 163 p. Tese de Doutorado – Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- NOBRE, C. et al.. **Vulnerability of Brazilian megacities to climate change: The São Paulo Metropolitan Region (RMSP).** In: MOTTA, Ronaldo S., HARGRAVE, Jorge, LUEDEMANN, Gustavo, GUTIERREZ, Maria B. S.. *Climate change in Brazil: economic, social and regulatory aspects.* 358 p. Brasília: IPEA, 2011.
- OHASHI, Y.; KIDA, H. **Local circulations developed in the vicinity of both coastal and inland urban areas: A numerical study with a mesoscale atmospheric model.** *Journal of Applied Meteorology*, v. 41, n. 1, p. 30-45, 2002.
- OLIVEIRA, A. P.; SILVA DIAS, P. L. **Aspectos Observacionais da brisa marítima em São Paulo.** In: II Congresso Brasileiro de Meteorologia, Pelotas, 1982, v.1, p 129 – 161, 1982.

- PARANHOS FILHO, A. C; LASTORIA, G; TORRES, T. G. **Sensoriamento Remoto Ambiental aplicado: Introdução as Geotecnologias**. Editora UFMS. Campo Grande, MS. 2008.
- PEREIRA FILHO, A. J.; HAAS, R.; AMBRIZZI, T. **Caracterização de eventos de enchente na bacia do Alto Tietê por meio do radar meteorológico e da modelagem numérica de mesoescala**. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu - PR, (CDROM), 2002.
- PEREIRA FILHO, A. J.; BARROS, M. T. L.; HALLAK, R.; GANDU, A. W. **Enchentes na Região Metropolitana de São Paulo: Aspectos de mesoescala e avaliação de impactos**. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, CE (CDROM), 2004.
- SAHA, S. et al. **The NCEP Climate Forecast System Reanalysis**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 91, n. 8, p. 1015-1057, 2010.
- SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. de O.; SAITO, N.S. **SPRING 5.1.2 passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 155 p, 2010.
- SANTOS, M. J. **Análise e modelagem dos eventos extremos de precipitação sobre o Estado de São Paulo**, São Paulo, 2012. 129 p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.
- SILVA DIAS, M. A. F.; DIAS, J.; CARVALHO, L. M. V.; FREITAS, E. D.; SILVA DIAS, P. L. **Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil**. Climatic Change, 116(3-4), 705–722, 2013.
- SIMPSON, J. E. **Sea breeze and local winds**. Cambridge University Press, 234 p., 1994.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; DUDA, M. G.; HUANG, X.; WANG, W.; POWERS, J. G. **A description of the Advanced Research WRF Version 3**. NCAR/Tech. Notes, 2008.

STEIN, U.; ALPERT, P. **Factor Separation in Numerical Simulations**. Journal of the Atmospheric Sciences, 50(14): 2107-2115, 1993.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. de M. **Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 8 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras**. In: Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia: INPE, 2005. p. 3911-3918.

TEWARI et al., **Coupled WRF/Unified Noah/Urban-Canopy Modeling System**. Document information, 2007.

UNITED NATIONS. (2013). **World Population Prospects: The 2012 Revision. Highlights and Advance Tables**. Population and development review (Vol. 36, pp. 775–801). Disponível em <http://esa.un.org/unpd/wpp/Documentation/publications.htm>. Acesso em 06 de fevereiro 2014.

VEMADO, F. **Análise da circulação de brisa marítima e seus impactos sobre a precipitação na Região Metropolitana de São Paulo por meio do modelo ARPS**. 2012. 111 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciência Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

YOSHIKADO, H. **Numerical Study of the Daytime Urban Effect and Its Interaction with the Sea Breeze**. Journal of Applied Meteorology, 31, 146-1164, 1992.

YOSHIKADO, H. **Interaction of the sea breeze with urban heat islands of different sizes and locations**. Journal of the Meteorological Society of Japan, 72, 139–143, 1994.

ANEXOS

ANEXO A – Legenda IGBP 17 Categorias

VALOR	DESCRIÇÃO
1	Evergreen Needleleaf Forest
2	Evergreen Broadleaf Forest
3	Deciduous Needleleaf Forest
4	Deciduous Broadleaf Forest
5	Mixed Forest
6	Closed Shrublands
7	Open Shrublands
8	Woody Savannas
9	Savannas
10	Grasslands
11	Permanent Wetlands
12	Croplands
13	Urban and Build-Up
14	Cropland/Natural Vegetation Mosaic
15	Snow or Ice
16	Barren or Spacely Vegetated
17	Water Bodies
99	Interrupted Areas (Goodes Homolosine Projection)
100	Missing Data

Anexo B – Legenda USGS 24 Categorias

VALOR	DESCRIÇÃO
1	Urban and Build-Up
2	Dryland Cropland and Pasture
3	Irrigated Cropland and Pasture
4	Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture
5	Cropland/Grassland Mosaic
6	Cropland/Woodland Mosaic
7	Grassland
8	Shrubland
9	Mixed Shrubland/ Grassland
10	Savanna
11	Deciduous Broadleaf Forest
12	Deciduous Needleleaf Forest
13	Evergreen Broadleaf Forest
14	Evergreen Needleleaf Forest
15	Mixed Forest
16	Water Bodies
17	Herbaceous Wetland
18	Wooded Wetland
19	Barren or Sparsely Vegetated
20	Herbaceous Tundra
21	Wooded Tundra
22	Mixed Tundra
23	Bare Ground Tundra
24	Snow or Ice
99	Interrupted Areas (Goodes Homolosine Projection)
100	Missing Data

Anexo C – Legenda USGS 33 Categorias

VALOR	DESCRIÇÃO
1	Urban and Build-Up
2	Dryland Cropland and Pasture
3	Irrigated Cropland and Pasture
4	Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture
5	Cropland/Grassland Mosaic
6	Cropland/Woodland Mosaic
7	Grassland
8	Shrubland
9	Mixed Shrubland/ Grassland
10	Savanna
11	Deciduous Broadleaf Forest
12	Deciduous Needleleaf Forest
13	Evergreen Broadleaf Forest
14	Evergreen Needleleaf Forest
15	Mixed Forest
16	Water Bodies
17	Herbaceous Wetland
18	Wooded Wetland
19	Barren or Sparsely Vegetated
20	Herbaceous Tundra
21	Wooded Tundra
22	Mixed Tundra
23	Bare Ground Tundra
24	Snow or Ice
25	Playa
26	Lava
27	White Sand
28	Unassigned

Anexo C – Legenda USGS 33 Categorias - Continuação

VALOR	DESCRIÇÃO
29	Unassigned
30	Unassigned
31	Low Intensity Residential
32	High Intensity Residential
33	Industrial or Commercial area
99	Interrupted Areas (Goodes Homolosine Projection)
100	Missing Data