



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Meteorologia

**Estudo de caso de precipitação pós-frontal no
município do Rio de Janeiro**

GISELA MARIA DA SILVA MELLO

Orientadora: Profa. Claudine Pereira Dereczynski

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da UFRJ
como requisito necessário à obtenção de grau de Meteorologista.

Rio de Janeiro, RJ
Setembro, 2009

Estudo de caso de precipitação pós-frontal no município do Rio de Janeiro

Gisela Maria da Silva Mello

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Meteorologista

Aprovada por:

Claudine Pereira Dereczynski, D. Sc.

Alfredo Silveira da Silva, M. Sc.

Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva, D. Sc.

Wallace Figueiredo Menezes, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ
Setembro, 2009

Mello, Gisela Maria da Silva

“Estudo de caso de precipitação pós-frontal no município do Rio de Janeiro”

Rio de Janeiro, 2009

XIII, 98 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro
Dissertação para obtenção do título de Meteorologista.

AGRADECIMENTOS

Àqueles aos quais não deixaram que ninguém fizesse me sentir como se não merecesse o que queria. Pois não existe triunfo sem perda, não há vitória sem sofrimento e não há liberdade sem sacrifício. Mas não me esquecerei do lugar de onde eu vim. Porque tenho que desejar, arriscar, mudar e seguir em frente.

A meus pais que sabiam que eu tinha um sonho, que corri atrás dele, mesmo com pessoas que não conseguem vencer dizendo que você também não irá vencer e mesmo diante de tantos obstáculos sempre me apoiaram.

A uma pessoa muito importante que diz que: família não escolhemos, nasce conosco. Mas, amigos escolhemos e contamos nos dedos de uma das mãos. Para mim, você faz parte de minha família e de um dos meus dedinhos.

A uma pequena pessoa no tamanho, mas de enorme um coração, que viverá sempre em meus pensamentos.

E em especial, aos dois megaboga amigos meu amor que juntos, somos os três mosqueteiros para todos os momentos. Sim, verdadeiros amigos, somos a Resistência.

O grande problema não é o que você não sabe. É o que você tem certeza que sabe, só que não é verdade.

Mark Twain

RESUMO

Estudo de caso de precipitação pós-frontal no município do Rio de Janeiro

Neste trabalho foram analisados comparativamente dois estudos de caso de passagem de sistemas frontais (SFs) pelo Rio de Janeiro. Em ambos os casos, os Sistemas Frontais provocam chuvas moderadas e a seguir deslocam-se para o norte, atingindo o sul da Região Nordeste do Brasil. No primeiro caso não ocorre chuva pós-frontal e no segundo, as chuvas que deveriam cessar após o deslocamento da frente permanecem atuando sobre o município, totalizando-se precipitações diárias superiores a 40 mm no litoral da cidade. Tais casos foram estudados utilizando-se dados da Reanálise do ERA-Interim e dados observacionais de precipitação e ventos coletados no Município do Rio de Janeiro. Os resultados mostraram que no caso onde ocorreu precipitação após a passagem do sistema frontal pelo Rio de Janeiro, o anticiclone migratório na retaguarda do sistema frontal localizava-se ao sul da região em estudo, gerando ventos de quadrante sul em todo o litoral da Região Sudeste, atingindo $6,7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ no aeroporto do Galeão. Observou-se também um fraco movimento ascendente ($0,15\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) e convergência de umidade em baixos níveis. Os ventos de quadrante sul do anticiclone migratório soprando, principalmente durante o período de atuação da brisa marítima (tarde/noite), contribuem para o transporte da umidade do oceano para o interior do município. A presença dos maciços existentes na cidade força o levantamento do ar úmido, que se resfria, formando nuvens estratiformes e em conseqüência ocorrem chuvas moderadas. A comparação entre os dois casos indicou que, contrariamente ao que se imaginava, em escala sinótica havia maiores teores de umidade relativa e específica e valores mais elevados de temperatura do ar no caso de não chuva. Isto indica que para fenômenos de mesoescala como este que trata da precipitação

provocada pela intensificação da brisa marítima, as análises de modelos numéricos em escala sinótica não são capazes de detectar características da atmosfera condizentes com a instabilidade observada. Tais fenômenos devem ser então simulados com modelos numéricos regionais de maior resolução espacial e temporal.

Palavras-chave: precipitação, sistemas frontais, brisa marítima, brisa terrestre.

ABSTRACT

Study of an event of precipitation pros frontal in the city of Rio de Janeiro

This work presents an study of two cases of Frontal System passage in the city of Rio de Janeiro. These cases were compared and were analyzed. Both Frontal Systems generated precipitation to the city of Rio de Janeiro. In the September case, after the frontal system's passage, was observed precipitation. In this event, the frontal system was moved to the North, between the north of the Espírito Santo State and the south of the Bahia State. In the Southeast region of Brazil was observed only stratiform clouds. In low levels was observed weak upward movement, convergence of winds and moist convergence. The migratory anticyclone was moved to the South of Rio de Janeiro produced south quadrant windwards on the coast of the city. The sea breeze was intensified in these mentioned conditions. The south windwards blow during the evening and the night contributing for the transportation of moisture from the sea to inside the city of Rio de Janeiro. The hills in the city cause the upslope flow of the moisty air. This air produces stratiforms clouds and moderate rainfall. To make this study, were used ERA-Interim reanalysis and observational datas. The comparison between the two cases indicated high values of relative humidity and specific humidity, and elevated air temperature in case of no rain. This indicates that the possible cause of the rain is the intensification of sea breeze. The analysis of synoptic numerical models was not able to detect atmospheric conditions. Then, these events should be simulated with regional numerical models.

Key words: precipitation, frontal systems, sea breeze, land breeze.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista panorâmica da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Riotur	3
Figura 2: Sobrevôo sobre a cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Riotur	3
Figura 3: Modelo de circulação da brisa terrestre (adaptado).....	11
Figura 4: Modelo de circulação da brisa marítima (adaptado).....	12
Figura 5: Mapa Iconográfico da cidade do Rio de Janeiro (adaptado) Fonte: www.rio.rj.gov.br	14
Figura 6: Mapa Iconográfico com o relevo da cidade do Rio de Janeiro.....	15
Figura 7: Normais climatológicas para o período de 1961 a 1990 das temperaturas médias para a cidade do Rio de Janeiro. Fonte: INMET	17
Figura 8: Localização das estações do Sistema Alerta Rio (em branco) e da Aeronáutica (em amarelo) na cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Google Earth	19
Figura 9: Localização das estações GEORIO, Guaratiba e Maracanã. Fonte: Google Earth	20
Figura 10: Imagens do satélite GOES-12 no canal infravermelho fornecidas pelo CPTEC/INPE para o caso Agosto de 2006: (a) 20/08/2006 – 00Z, (b) 20/08/2006 – 07Z, (c)20/08/2006 – 12Z, (d) 20/08/2006 – 18Z, (e)21/08/2006 – 00Z, (f)21/08/2006 – 07Z, (g)21/08/2006 – 12:10Z, (h)21/08/2006 – 18:10Z, (i)22/08/2006 – 00:10Z, (j)22/08/2006 – 07Z, (k)22/08/2006 – 12:10Z,(l)22/08/2006 – 16:00Z.....	31
Figura 11: Fotos da Praia de Ipanema (litoral do Rio de Janeiro) nos dias 5 (a), (b), (c) e (d) e 06 (e) e (f) de setembro de 2006. Fonte: http://www.globo.com	32
Figura 12: Imagens do satélite GOES-12 no canal infravermelho fornecidas pelo CPTEC/INPE para o caso Agosto de 2006: (a) 04/09/2006 –00Z, (b) 04/09/2006–07Z, (c) 04/09/2006–12Z, (d) 04/09/2006 – 18Z, (e) 05/09/2006 – 01Z, (f) 05/09/2006 – 07Z, (g) 05/09/2006 – 12:10Z, (h) 05/09/2006 – 18Z, (i) 06/09/2006 – 00Z, (j)06/09/2006 – 08:30Z, (k) 06/09/2006 – 12:00Z, (l) 06/09/2006 – 18Z, (m) 07/09/2006 – 00Z, (n) 07/09/2006 – 07Z, (o) 07/09/2006 – 12Z, (p) 07/09/2006 – 18Z.....	36
Figura 13: Chuva acumulada em 24 horas (13Z a 12Z) para os períodos de: (a) 19/08 13Z a 20/08-12Z, (b) 20/08 13Z a 21/08-12Z, (c) 21/08 13Z a 22/08-12Z	39
Figura 14: Chuva acumulada em 24 horas (13Z a 12Z) para os períodos de: (a) 03/09 13Z a 04/09-12Z, (b) 04/09 13Z a 05/09-12Z, (c) 05/09 13Z a 06/09-12Z, (d) 06/09 13Z a 07/09- 12Z, (e) 07/09 13Z a 08/09-12Z.....	42
Figura 15: Mapa da distribuição das estações pluviométricas no município do Rio de Janeiro. A linha vermelha indica as estações do sistema Alerta Rio que foram selecionadas para a análise.....	43
Figura 16: Distribuição temporal da precipitação observada para as estações selecionadas: (a)20/08 13Z e 21/08 12Z, (b) 21/08 13Z e 22/08 12Z, (c) 22/08 13Z e 23/08 12Z de 2006..	46
Figura 17: Distribuição temporal da precipitação observada para as estações selecionadas: (a)03/09 13Z e 04/08 12Z, (b)04/09 13Z e 05/09 12Z, (c) 05/09 13Z e 06/09 12Z, (d) 06/09 13Z e 07/09 12Z, (e)07/09 13Z e 08/09 12Z de 2006	48
Figura 18: campo composto por pressão ao nível médio do mar (linha contínua) com a divergência do vento (sombreado): (a)20/08/2006–00 Z, (b)20/08/2006–06Z, (c)20/08/2006– 12Z, (d)20/08/2006–18Z, (e)21/08/2006–00Z, (f) 21/08/2006–06Z, (g)21/08/2006–12Z, (h)21/08/2006–18Z, (i)22/08/2006–00Z, (j)22/08/2006–06Z, (k)22/08/2006–12Z, (l)22/08/2006–18Z,(m) 23/08/2006–00Z, (n)23/08/2006–06Z, (o)23/08/2006–12Z, (p)23/08/2006–18Z.....	52

Figura 19: Campo composto por pressão ao nível médio do mar (linha contínua) com a divergência do vento (sombreado): (a)04/09/2006 –00 Z, (b)04/09/2006 –06 Z, (c)04/09/2006 – 12Z, (d)04/09/2006 –18 Z, (e)05/09/2006 – 00 Z, (f)05/09/2006 – 06Z, (g)05/09/2006 –12Z, (h)05/09/2006–18Z, (i)06/09/2006 – 00Z, (j)06/09/2006 – 06Z, (k)06/09/2006 - 12Z,(l)06/09/2006–18Z,(m) 07/09/2006 – 00Z, (n)07/08/2006 – 06Z, (o)07/09/2006 – 12Z,(p)07/09/2006 – 18Z.....	56
Figura 20: campo composto por linhas de corrente (linha contínua) com Omega (sombreado): (a)20/08/2006–00Z, (b)20/08/2006–06Z, (c)20/08/2006–12Z, (d)20/08/2006– 18Z, (e)21/08/2006–00Z, (f)21/08/2006–06Z, (g)21/08/2006–12Z, (h)21/08/2006–18Z, (i)22/08/2006–00Z, (j)22/08/2006 –06Z, (k)22/08/2006 – 12Z, (l)22/08/2006–18Z,(m) 23/08/2006 – 00Z, (n)23/08/2006– 06Z, (o)23/08/2006 –12Z,(p)23/08/2006 –18Z	60
Figura 21: campo composto por linhas de corrente (linha contínua) com omega (sombreado): (a) 04/09/2006 – 00 Z, (b) 04/09/2006 – 06 Z, (c) 04/09/2006 – 12 Z, (d) 04/09/2006 – 18 Z, (e) 05/09/2006 – 00 Z, (f) 05/09/2006 – 06Z, (g) 05/09/2006 – 12Z, (h) 05/09/2006 – 18Z, (i) 06/09/2006 – 00Z, (j) 06/09/2006 – 06Z, (k) 06/09/2006 – 12Z, (l) 06/09/2006 – 18Z, (m) 07/09/2006 – 00Z, (n) 07/08/2006 – 06Z, (o)07/09/2006 – 12Z, (p) 07/09/2006 – 18Z	64
Figura 22: Campo composto por Ventos (vetor) com a divergência do fluxo de umidade (sombreado): (a)20/08/2006–00Z, (b)20/08/2006–06Z, (c)20/08/2006–12Z, (d)20/08/2006– 18Z, (e)21/08/2006–00 Z, (f)21/08/2006–06Z, (g)21/08/2006–12Z, (h)21/08/2006 –18Z, (i)22/08/2006 – 00Z, (j)22/08/2006–06Z, (k)22/08/2006–12Z,(l)22/08/2006 – 18Z, (m) 23/08/2006–00Z, (n)23/08/2006–06Z, (o)23/08/2006–12Z,(p)23/08/2006–18Z.....	67
Figura 23: Campo composto por Ventos (vetor) com a divergência do fluxo de umidade (sombreado): (a)04/09/2006–00Z, (b)04/09/2006–06Z, (c)04/09/2006–12Z, (d)04/09/2006– 18Z, (e)05/09/2006–00 Z, (f)05/09/2006–06Z, (g)05/09/2006–12Z, (h)05/09/2006-18Z, (i)06/09/2006–00Z, (j)06/09/2006–06Z, (k)06/09/2006–12Z, (l)06/09/2006–18Z, (m) 07/09/2006 –00Z, (n)07/08/2006 –06Z, (o) 07/09/2006–12Z, (p)07/09/2006–18Z	71
Figura 24: Campo composto por umidade específica (linha contínua) com a temperatura (sombreado): (a)20/08/2006–00Z, (b)20/08/2006–06Z, (c)20/08/2006–12Z, (d)20/08/2006– 18Z, (e)21/08/2006–00 Z, (f)21/08/2006–06Z, (g)21/08/2006–12Z, (h)21/08/2006 –18Z, (i)22/08/2006 – 00Z, (j)22/08/2006–06Z, (k)22/08/2006–12Z,(l)22/08/2006 – 18Z, (m) 23/08/2006–00Z, (n)23/08/2006–06Z, (o)23/08/2006–12Z,(p)23/08/2006–18Z.....	74
Figura 25: Campo composto por umidade específica (linha contínua) com a temperatura (sombreado): (a)04/09/2006–00Z, (b)04/09/2006–06Z, (c)04/09/2006–12Z, (d)04/09/2006– 18Z, (e)05/09/2006–00 Z, (f)05/09/2006–06Z, (g)05/09/2006–12Z, (h)05/09/2006-18Z, (i)06/09/2006–00Z, (j)06/09/2006–06Z, (k)06/09/2006–12Z, (l)06/09/2006–18Z, (m) 07/09/2006 –00Z, (n)07/08/2006 –06Z, (o)07/09/2006–12Z, (p)07/09/2006–18Z.....	78
Figura 26: Campo de Umidade Relativa (sombreado): (a)20/08/2006–00Z, (b)20/08/2006–06 Z, (c)20/08/2006 –12Z, (d)20/08/2006–18Z, (e)21/08/2006–00Z, (f)21/08/2006–06Z, (g)21/08/2006–12Z, (h)21/08/2006–18Z, (i)22/08/2006–00Z, (j)22/08/2006–06Z, (k)22/08/2006–12Z, (l)22/08/2006–18Z, (m)23/08/2006–00Z, (n)23/08/2006–06Z, (o)23/08/2006–12Z,(p)23/08/2006–18Z	81
Figura 27: Campo de Umidade Relativa (sombreado): (a)04/09/2006–00Z, (b)04/09/2006– 06Z, (c)04/09/2006–12Z, (d)04/09/2006–18Z, (e)05/09/2006–00 Z, (f)05/09/2006–06Z, (g)05/09/2006–12Z, (h)05/09/2006–18Z, (i)06/09/2006–00Z, (j)06/09/2006–06Z, (k)06/09/2006–12Z, (l)06/09/2006–18Z, (m)07/09/2006–00Z, (n)07/08/2006 06Z, (o)07/09/2006 –12Z, (p)07/09/2006–18Z.....	84

Figura 28: Rosa dos ventos para o dia 06 de setembro (03 Z até 14 Z)	87
Figura 29: Rosa dos ventos para o período de 15 Z do dia 06 de setembro até 02 Z do dia 07 de setembro	87
Figura 30: Rosa dos ventos para o período de 03 Z até 14 Z para o dia 07 de setembro.....	87
Figura 31: Rosa dos ventos para o período de 15 Z até 23 Z do dia 07	88
Figura 32: Plotagem diária por hora (UTC) dos ventos, direção e magnitude, na estação da GEORIO. Fonte: www.rio.rj.gov.br	89
Figura 33: Plotagem diária por hora (UTC) dos ventos, direção e magnitude, na estação de Guaratiba. Fonte: www.rio.rj.gov.br	90
Figura 34: Plotagem diária por hora (UTC) dos ventos, direção e magnitude, na estação do Maracanã. Fonte: www.rio.rj.gov.br	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Altitude dos morros, com a indicação dos maciços e serras a que pertencem.	16
Tabela 2	Chuva acumulada em 24 horas para o caso do mês de agosto de 2006	97
Tabela 3	Chuva acumulada em 24 horas para o caso do mês de agosto de 2006	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

Inea – Instituto Estadual do Ambiente

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

SF – Sistema Frontal

SIMERJ – Sistema de Meteorologia do Estado do Rio de Janeiro

UTC - **Tempo Universal Coordenado**

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
SUMÁRIO.....	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação	3
1.2 Objetivo.....	5
1.3 Descrição do trabalho.....	6
CAPÍTULO II	7
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
CAPÍTULO III	13
METODOLOGIA.....	13
3.1 Região de estudo.....	13
3.2 Escolha dos casos de estudo	18
3.3 Coleta de dados.....	19
3.4 Era-Interim.....	23
3.5 Formulação.....	25
3.6 Dados de precipitação	26
CAPÍTULO IV.....	27
RESULTADOS.....	27
4.1 Imagens de satélite	27
4.2 Precipitação.....	37
4.3 Análise dos campos gerados com o ERA-Interim.....	49
4.4 Análise de Dados Observacionais do Município do Rio de Janeiro	85
CAPÍTULO V.....	92
CONCLUSÕES E SUGESTÕES	92
CAPÍTULO VI.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS.....	97

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

As mudanças no tempo da Região Sudeste do Brasil estão geralmente associadas à passagem, formação ou intensificação de SF, sistemas meteorológicos típicos de latitudes médias e atuantes no litoral brasileiro em todas as épocas do ano (KOUSKY (1979) e SATYAMURTY *et al.* (1998)). Junto aos distúrbios de grande escala, os SF deslocam-se acompanhados de ciclones e anticiclones móveis, alterando os campos de pressão, de vento, e de outras variáveis atmosféricas em sua trajetória (WALLACE & HOBBS (1977)).

Sistemas como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os ciclones extratropicais, as linhas de instabilidade e os sistemas convectivos de mesoescala também provocam precipitação na região do Estado do Rio de Janeiro. Contudo as frentes frias são os sistemas mais freqüentes e, portanto, os mais estudados (DERECZYNSKI *et al.* (2008)).

À passagem de SF e sua interação com outros sistemas meteorológicos ao longo de sua trajetória, principalmente no verão, provocam chuvas intensas, deslizamentos de terra e enchentes (CARVALHO *et al.* (2002) e MENEZES *et al.* (2000)).

Em alguns casos, mesmo após a atuação do SF pela cidade do Rio de Janeiro, quando este sistema se encontra entre o norte do Espírito Santo e o Sul do Estado da Bahia, observa-se sobre o Rio de Janeiro a formação de nuvens estratiformes e em conseqüência: chuvas leves e em raras ocasiões moderadas. Esse fenômeno é conhecido pelos meteorologistas locais como chuvas por efeito de intensificação da circulação marítima. Tal fenômeno

refere-se à interação do sistema de escala sinótica (SF) com a circulação local, no caso, a brisa marítima. Em tais eventos a cidade do Rio de Janeiro fica sob a atuação do anticiclone migratório da retaguarda do SF. A condição de tempo associada a sistemas de alta pressão é, em geral, de tempo estável (tempo bom, sem chuva), pois estas regiões desfavorecem a formação de nuvens, porém quando o sistema de alta pressão em superfície traz ventos úmidos do oceano para o continente favorece a formação de nuvens do tipo estratiformes. E dependendo de outros fatores, como relevo, pode ocorrer levantamento deste ar úmido, resfriamento e conseqüentemente chuvas.

JOURDAN (2007) ressalta a importância do fenômeno da brisa marítima/terrestre no município do Rio de Janeiro. Seus resultados apontaram para uma predominância de ventos de quadrante norte, no período da madrugada e manhã e de quadrante sul durante a tarde e a noite. Os ventos de quadrante sul são, em geral, mais intensos do que os ventos nas demais direções. Este aspecto sugere uma modulação através do mecanismo de brisa terrestre/marítima que se mantém ao longo de todo o ano. Este padrão observado pelo autor nos sugere que a presença da alta migratória pós-frontal atuando sobre o Rio de Janeiro, pode contribuir para a intensificação da brisa marítima e para a ocorrência da precipitação observada sobre o município do Rio de Janeiro em casos pós-frontais.

1.1. Motivação

Localizada na Região Sudeste do Brasil, com 6 milhões de habitantes, numa área de 1.224,56 km², extensão litorânea de 246, 22 km² e área verde de 325,6 km², a cidade do Rio de Janeiro é conhecida mundialmente por suas paisagens naturais atraindo milhares de visitantes. No verão de 2007 foram registrados pela Prefeitura do Rio de Janeiro um total de 2469000 turistas.

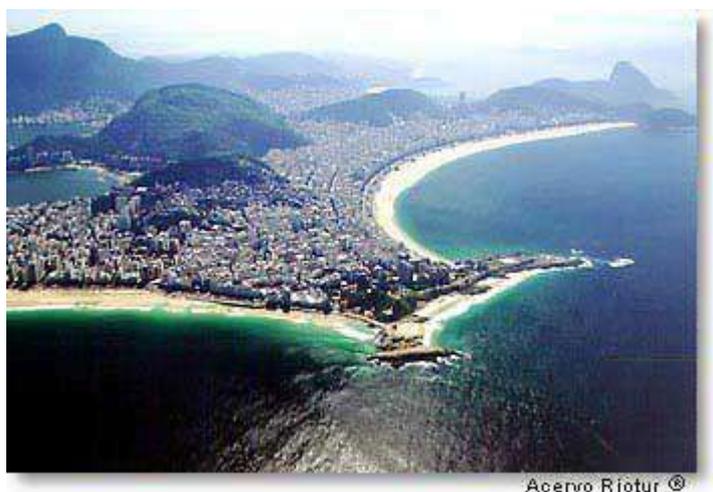


Figura 1: Vista panorâmica da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Riotur

Para estes visitantes existem inúmeras opções de atividades: praias, passeios ao ar livre, vôo livre, ecoturismo entre outras.



Figura 2: Sobrevôo sobre a cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Riotur

Apesar de conhecido pelos meteorologistas locais, os eventos de precipitação causados por efeito de circulação marítima após a passagem de sistemas frontais são pouco estudados na literatura. E seus mecanismos não são completamente conhecidos. Por serem eventos locais, muitas vezes as previsões são perdidas. Assim, se conhecermos as características termodinâmicas e dinâmicas de tais sistemas regionais, os modelos teóricos e numéricos poderão ser aperfeiçoados.

Uma previsão do tempo eficaz e precisa não só é importante para o turismo como também é importante para a infra-estrutura da cidade. De acordo com o levantamento de eventos meteorológicos associados a chuvas intensas sobre a cidade do Rio de Janeiro entre o período de janeiro de 1997 a dezembro de 2006 (DERECZYNSKI *et al.*(2008)), os casos decorrentes da passagem de SF, por efeito da circulação marítima foram apenas quatro, e um deles, o de Setembro de 2006 está sendo estudado em detalhe neste trabalho, comparando-o a outro caso de não chuva pós-frontal, ocorrido no mesmo ano, no mês anterior (agosto de 2006).

1.2 Objetivo

Diante de todo o contexto exposto acima, este trabalho tem por objetivo o estudo das características e causas dos eventos de ocorrência de chuvas pós-frontais sobre a cidade do Rio de Janeiro através da análise de mapas gerados com a Reanálise do ERA-Interim e de dados observacionais. E da possível interação do sistema de grande escala com os sistemas de circulação locais, como a brisa marítima. Espera-se que este trabalho possa contribuir para a melhoria das previsões geradas por modelos atmosféricos e dos modelos conceituais, além de prestar um serviço à população do município do Rio de Janeiro.

1.3 Descrição do trabalho

Além do presente capítulo (Capítulo I), que trata da introdução ao tema e suas motivações, este trabalho foi dividido em outros cinco capítulos, com seus respectivos sub-temas, totalizando seis capítulos.

No Capítulo II estão concentradas as referências na literatura sobre como é abordado o assunto deste presente trabalho.

Já no Capítulo III há uma descrição completa e detalhada da metodologia empregada, dos dados obtidos e de sua aplicação para o desenvolvimento deste estudo.

No Capítulo IV estão expostos os resultados obtidos por meio de simulações, gráficos e imagens com o uso da reanálise do ERA-Interim e dos dados observacionais mencionados no Capítulo 3. Além disso, é realizada uma análise e interpretação dos resultados.

No Capítulo V são exibidas as conclusões deste trabalho, e ainda sugestões para estudos futuros.

O Capítulo VI traz as referências bibliográficas utilizadas na produção do texto da presente monografia.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste segundo capítulo são expostos alguns trabalhos sobre como o tema que trata este presente estudo na literatura.

Como já mencionado anteriormente e também observado por CERQUEIRA (2006), a influência da brisa sobre a região do Rio de Janeiro e também do Sudeste brasileiro não é muito estudada nem contemplada pelos modelos de simulação numéricos usados para as previsões para tais localidades.

CAVALCANTI (1982) expôs sobre as influências da circulação típica local em áreas litorâneas do norte e nordeste brasileiros da qual fazem parte a brisa marítima e a brisa terrestre. Além de um detalhado estudo sobre os mecanismos e características das brisas, também faz alusão a importância da brisa nas regiões tropicais, em amenizar as temperaturas diárias, levando umidade para o interior do continente, influenciando na precipitação e no clima das regiões.

Em DOMINGUES (2005) foi feito um estudo de caso de um evento chuva fraca provocada por efeito de circulação marítima, ocorrido na Cidade do Rio de Janeiro no dia 21 de fevereiro de 2005, após a passagem de um sistema frontal. Os resultados indicaram que apesar do sistema frontal (SF) estar localizado no sul da Bahia, ainda havia sobre a cidade do Rio de Janeiro convergência de umidade, movimento ascendente e ventos de quadrante sul, provenientes da alta migratória e do centro de baixa pressão associado ao SF.

Entretanto, os estudos envolvendo os efeitos da brisa marítima não são comuns para a cidade do Rio de Janeiro. Para a região Metropolitana de São Paulo, FREITAS e SILVA DIAS (2004) realizaram um estudo de caso sobre a relação existente entre algumas situações de grande escala e a propagação e intensidade da brisa marítima, por meio de modelagem numérica com a assimilação das análises globais do CPTEC e dados de superfície pelo modelo RAMS. Neste estudo observou-se que o posicionamento dos centros de alta pressão desempenha um papel fundamental sobre a propagação e intensidade da brisa marítima e também para a brisa terrestre.

Em PEREIRA FILHO (2000), novamente é realizado um estudo com foco na Região Metropolitana de São Paulo, desta vez foram estudados eventos de enchentes entre 2002 e 2004. Como resultado foi verificado que em torno de 67% das enchentes estavam associados com a circulação de brisa e a ilha de calor da região de análise.

Um estudo realizado por SOARES (1986) mostra que a penetração da brisa marítima na cidade de São Paulo é uma característica que parece condicionar as condições meteorológicas locais o que interfere na previsão de ocorrência de eventos meteorológicos extremos. Para tal são avaliados a variações diurna e sazonal da temperatura do ar, da umidade relativa, da precipitação e do vento.

No estudo feito por CARRILO (2007) utiliza-se a técnica LIDAR (Light Detection And Ranging) que é baseada na emissão, para a atmosfera, de um feixe de laser colimado, pulsado e na detecção do retroespalhamento do mesmo. Este sistema se torna uma boa ferramenta para monitorar os processos dinâmicos envolvidos na camada limite planetária utilizando os

aerossóis, por meio desta técnica permitiu-se o estudo da entrada de ar “limpo”, sobre a região metropolitana de São Paulo, proveniente do processo de brisa marítima.

Entretanto, diversos modelos de simulação para interação entre a precipitação associada ou intensificada pela ação brisa marítima para a região da Flórida, nos Estados Unidos, foram desenvolvidos e apresentaram bons resultados como os descritos por ESTOQUE (1962).

Em outros trabalhos, como os de BOSILOVICH (1999) e o de Baker (2001), mostram para a região da Flórida, que a circulação da brisa marítima tem sido muito documentada, principalmente para o sul desta região. Mas, sua influência na precipitação local é difícil de precisar. Os modelos atuais estão apresentando certas deficiências quando se utiliza uma pequena resolução de grade e por princípios físicos inadequados. Em um destes estudos realizados, procurou-se avaliar as resoluções de grade que melhor representavam as características da brisa, utilizando o modelo MM5.

Além do Estado da Flórida, são feitos outros estudos como o de BUCKLEY (1997) para Savannah River Site na Carolina do sul buscando através de modelos numéricos representar a brisa e quantificar sua influência na precipitação local.

Continuando o estudo iniciado por DOMINGUES (2005), foi realizada uma análise inicial dos eventos de precipitação após a passagem de SF na cidade do Rio de Janeiro em MELLO (2008). O que representou um primeiro passo para o presente trabalho e para a elaboração das estratégias de pesquisa e de análise.

A descrição da brisa, de acordo com a definição dada pelo CPTEC: **Brisa:** é a circulação gerada por um gradiente horizontal de temperatura, com o intuito de restabelecer o equilíbrio nessa região.

A capacidade do oceano de absorver e estocar energia proveniente do sol é enorme e se deve: a transparência das águas, que permitem a passagem da radiação solar até regiões mais profundas, e ao constante movimento turbulento que mistura e distribui calor para grandes volumes de água. Esses dois fatores possibilitam o aumento da temperatura dos grandes corpos de água.

Diferente dos oceanos, os raios solares não conseguem penetrar a níveis tão profundos no continente, ficando concentrados próximos à superfície. Em um dia comum, a terra se aquece muito mais rápido que o oceano e da mesma forma ela perde calor mais rapidamente que o oceano no período da noite. Esse é o princípio básico da circulação de brisa.

Quando a energia proveniente do sol aquece tanto a superfície dos oceanos e dos continentes a uma mesma taxa. As isóbaras estão, inicialmente, paralelas à superfície, não há gradiente horizontal de pressão

Como o calor não é absorvido até camadas mais profundas do solo, a radiação retorna à atmosfera tornando o ar sobre os continentes ainda mais quente. Além disso, o calor específico da superfície dos continentes é menor que o da água. Assim, o continente fica “mais quente” que o oceano. Esse ar quente se torna menos denso e sobe. Abaixo dele se forma uma baixa térmica devido ao decréscimo de massa de ar em superfície. Forma-se um gradiente horizontal de pressão. Como a atmosfera tende a restabelecer o equilíbrio entre as pressões, duas correntes de ar são criadas da alta para a baixa

pressão, o fluxo do alto mar para o continente e o fluxo da superfície terrestre para o mar. O primeiro fluxo é chamado de brisa marítima.

A figura abaixo mostra o modelo de circulação de brisa marítima.

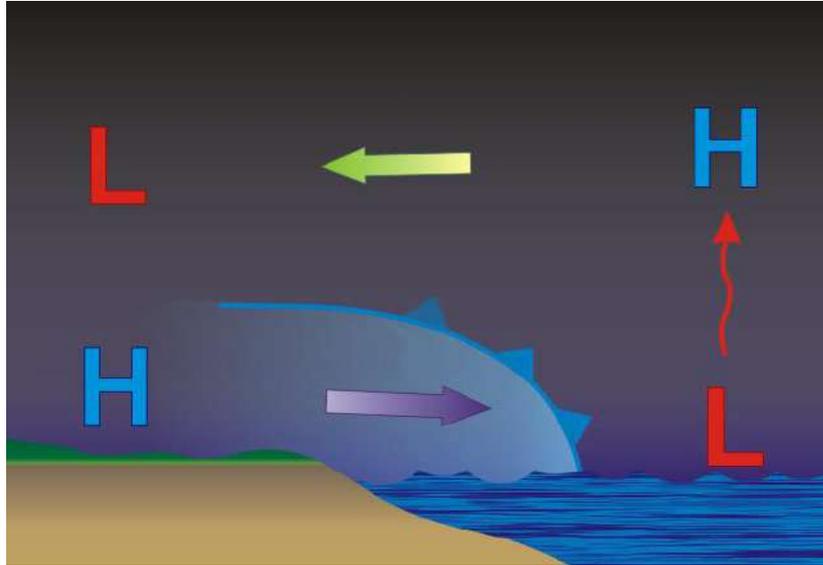


Figura 3: Modelo de circulação da brisa terrestre (adaptado)
Fonte: <http://radar.weather.gov/jetstream/ocean/seabreezes.htm>

Essas diferenças de pressão sobre a terra, tanto na superfície quanto no ar são maiores do que as diferenças de pressões sobre a água nos mesmos níveis.

A brisa terrestre ocorre quando a temperatura noturna no continente é menor que a temperatura da superfície do mar. A brisa é mais comum durante o outono e inverno, quando as temperaturas da água ainda são bastante quentes e as são noites frias. No entanto, ao contrário da brisa do marítima, a brisa terrestre é normalmente mais fraca.

À noite, a temperatura do continente cai e fica menor que a do oceano e sobre este o ar se torna menos denso. O ar ascendente cria uma área de baixa pressão fraca devido a uma diminuição da massa de ar em sua superfície.

Como o ar se resfria, começa a se comprimir resultando em um aumento na pressão, criando uma alta pressão.

Estas diferenças de pressões sobre a água, tanto na parte superficial quanto no ar acima dela são maiores do que as diferenças de pressões sobre o continente nos mesmos níveis. Para estabelecer o equilíbrio, duas correntes de ar são geradas dos centros de alta pressão para os de baixa pressão. Com destaque para o que vai do continente para o oceano que é a chamada brisa terrestre (figura 4).

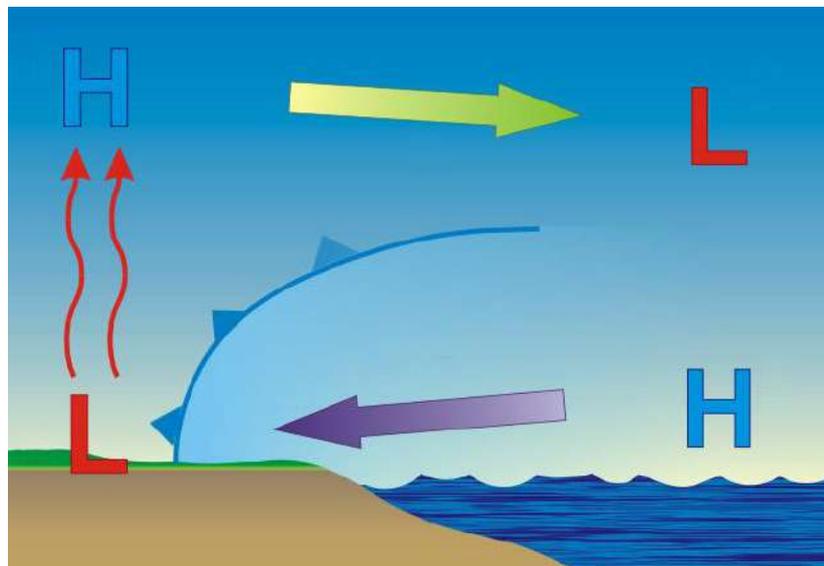


Figura 4: Modelo de circulação da brisa marítima (adaptado)
Fonte: <http://radar.weather.gov/jetstream/ocean/seabreezes.htm>

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

No presente capítulo será abordada a forma de preparação deste estudo, como foi feita a coleta e quais foram os dados obtidos, bem como sua aplicação neste trabalho.

3.1 Região de estudo

A cidade do Rio de Janeiro está situada entre 22°S e 23°S de latitude e 43°W e 44°W de longitude. É banhada pelo oceano Atlântico ao sul, pela Baía de Guanabara a leste e pela Baía de Sepetiba a oeste. Suas divisas marítimas são mais extensas que as terrestres. Apesar de ser um dos menores Estados da Federação, superando apenas Sergipe e Alagoas e o Distrito Federal, sua linha costeira (com extensão de 636 quilômetros) é menor apenas que a da Bahia e do Maranhão, que possuem, respectivamente, 932 quilômetros e 640 quilômetros de extensão de costa (Fonte: www.inea.rj.gov.br).

Pelo mapa iconográfico da cidade do Rio de Janeiro, podemos observar que a topografia e a maritimidade são dois fatores que exercem grande influência no clima da cidade.



Figura 5: Mapa Iconográfico da cidade do Rio de Janeiro (adaptado) Fonte: www.rio.rj.gov.br

A diversidade topográfica do Rio de Janeiro se estende à cobertura vegetal. Florestas que recobrem encostas e espécies remanescentes de mata atlântica são preservadas no Parque Nacional da Tijuca. Mata de baixada, restingas e manguezais são preservados nas áreas de proteção ambiental de Grumari e Prainha. Embora a cidade tenha se tornado uma das maiores áreas urbanas do mundo, cresceu em volta de uma grande mancha verde, que responde pelo nome de Floresta da Tijuca, a maior floresta urbana do mundo, que continua mantendo valiosos remanescentes de seus ecossistemas originais, mesmo tendo sido replantada no século XIX. Foi o primeiro exemplo de reflorestamento com espécies nativas.



Figura 6: Mapa Iconográfico com o relevo da cidade do Rio de Janeiro.
Fonte: http://www.cnps.embrapa.br/ebsh6/images/mapa_rio.jpg

O relevo carioca está filiado ao sistema da serra do Mar, recoberto pela floresta da Mata Atlântica. É caracterizado por contrastes marcantes, montanhas e mar, florestas e praias, paredões rochosos subindo abruptamente de baixadas extensas. O Rio de Janeiro apresenta três importantes grupos montanhosos, mais alguns conjuntos de serras menores e morros isolados em meio a planícies circundadas por esses maciços principais.

Tabela 1 Altitude dos morros, com a indicação dos maciços e serras a que pertencem.

Maciço e Serra	Morro	Altitude (m)
Maciço da Tijuca		
Andaraí -Tijuca	Pico da Tijuca ⁽¹⁾	1 021
	Bico do Papagaio	990/987
Gávea	Pedra da Gávea ⁽¹⁾	844
	Pedra Bonita	693
	Plataforma (Vôo Livre)	524
Corcovado	Pico do Corcovado ⁽¹⁾	704
Carioca	Alto do Sumaré	753
	Boa Vista	712
	Sumaré	556
	Alto das Paineiras	532
Pão de Açúcar ou Copacabana	Pão de Açúcar ⁽¹⁾	392
Maciço do Gericinó		
Mendanha	Pico da Furna das Andorinhas ⁽¹⁾	918
	Gericinó	889
Maciço da Pedra Branca		
Pedra Branca	Pico da Pedra Branca ⁽¹⁾	1 025
	Alto do Chapadão	945
Santa Bárbara	Santa Bárbara ⁽¹⁾	857

Fonte: Dados da Secretaria Municipal de Urbanismo - SMU, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos - IPP, Diretoria de Informações Geográficas - DIG – 2004. O (1) indica Ponto Culminante

Aspectos geográficos como diferenças de altitude devido ao relevo da cidade, vegetação e proximidade do oceano são os principais causadores das variações locais no clima. Tipicamente, o clima na cidade do Rio de Janeiro é do tipo tropical, quente e úmido, com temperaturas médias anuais variando de 26,5°C no verão a 21°C no inverno, como mostrado no gráfico das normais

climatológicas do INMET para o período de 1961 a 1990; as chuvas variam de 170mm no verão, período em que os dias são muito quentes e que em geral, na parte da tarde/noite chuvas fortes e passageiras, a 50mm durante o inverno.

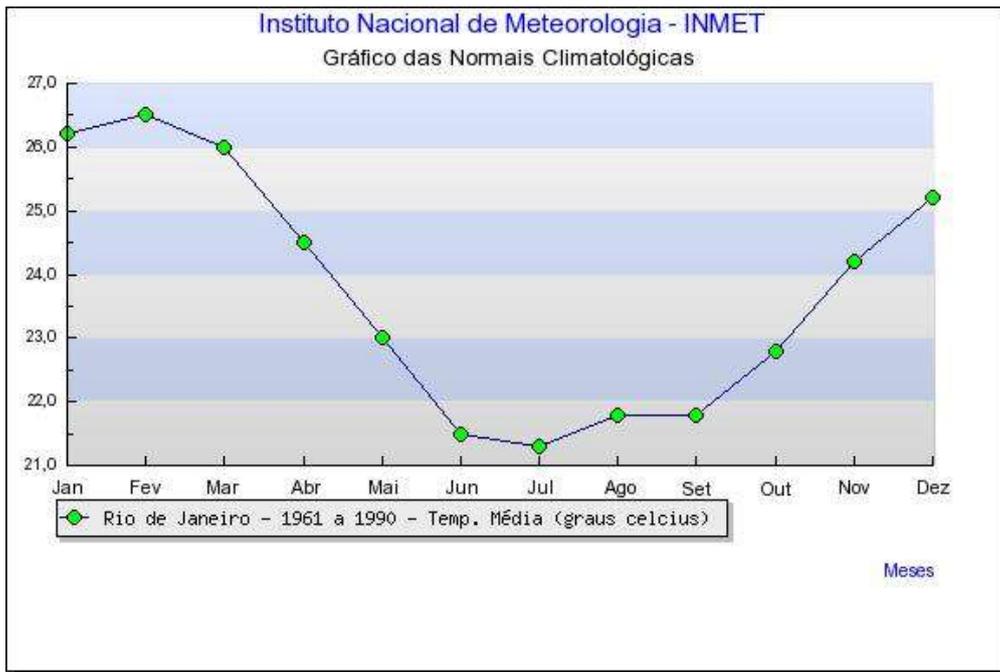


Figura 7: Normais climatológicas para o período de 1961 a 1990 das temperaturas médias para a cidade do Rio de Janeiro. Fonte: INMET

3.2 Escolha dos casos de estudo

Para elaboração deste estudo foram monitorados todos os casos de precipitação, decorrentes da passagem de SF, por efeito da circulação marítima, ocorridos entre o período de janeiro de 1997 a dezembro de 2006 (DERECZYNSKI *et al.* (2008)). A partir deste monitoramento foram selecionados os eventos de precipitação causados pelo efeito de circulação marítima após a passagem de um sistema frontal em que a precipitação acumulada fosse maior que 30,0mm em no mínimo cinco estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio da cidade do Rio de Janeiro. Assim, foram selecionados os eventos, ocorridos em: 10/04/1999, 14/10/2003, 25/12/2003 e 07/09/2006.

Para o presente trabalho optou-se pelo estudo aprofundado das características do evento ocorrido em 07/09/2006, principalmente por ter apresentado um índice pluviométrico maior que os outros três eventos. Além de ser um caso mais recente e pela disponibilidade de obtenção de dados. O próximo passo foi a escolha de um caso de passagem de um sistema frontal próximo da data do que passou pela região do Rio de Janeiro no dia 04/09/2006 e que provocara a precipitação observada em 07/09/2006. Neste, SF a ser escolhido, a precipitação registrada na cidade deveria ocorrer como consequência do SF e após sua passagem pela cidade a chuva deveria cessar.

Assim, com base nas informações da revista Climanálise, volume 21 número 08 do mês de agosto de 2006, foi escolhido o SF que atuou no Estado do Rio de Janeiro entre os dias 20 e 21 de agosto de 2006.

3.3 Coleta de dados

Os dados de precipitação acumulados a cada 15 minutos sobre a cidade do Rio de Janeiro para os períodos de 20 a 24 de agosto de 2006 e de 04 de setembro até 08 de setembro do mesmo ano foram obtidos das 32 estações do Sistema Alerta Rio. Dados horários de direção e velocidade do vento dos aeroportos Afonsos (SBAF), Galeão (SBGL), Jacarepaguá (SBJR) e Santos Dumont (SBRJ), pertencentes à Aeronáutica foram analisados para o evento de setembro. Na Figura 8, podemos observar a disposição espacial das estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio e dos aeroportos da cidade. Para mapear as estações do Sistema Alerta Rio e os aeroportos foi utilizado o software Google Earth.



Figura 8: Localização das estações do Sistema Alerta Rio (em branco) e da Aeronáutica (em amarelo) na cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Google Earth

Foram obtidos dados observacionais para todo o ano de 2006 das seguintes variáveis: vento (direção e intensidade), pressão e temperatura das estações Georio, Guaratiba e Maracanã através do website da Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. Abaixo na Figura 9 é apresentada a localização geográfica destas três estações,

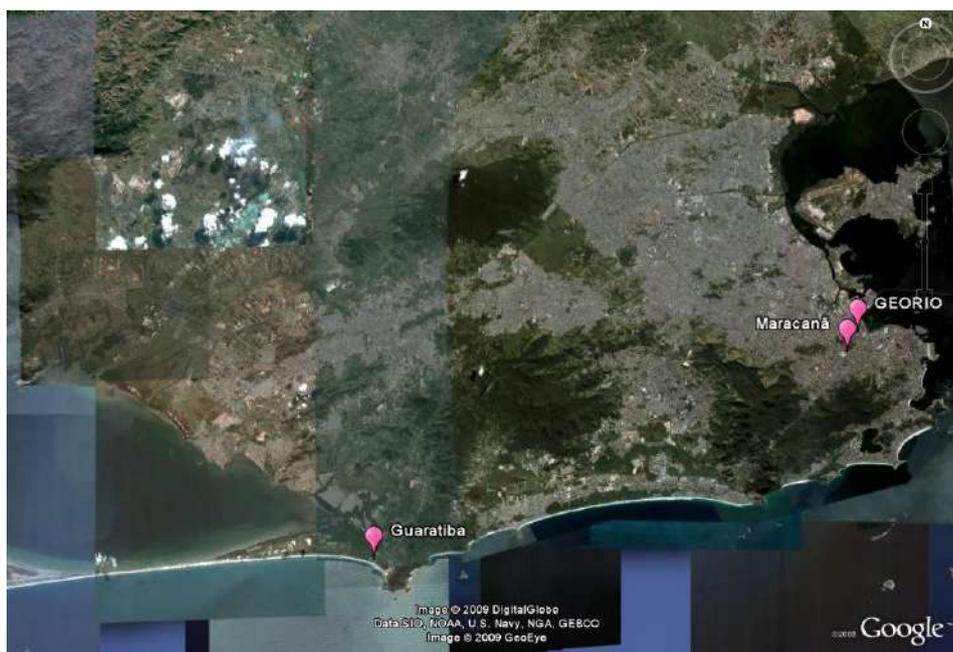


Figura 9: Localização das estações GEORIO, Guaratiba e Maracanã. Fonte: Google Earth

Para o estudo dos casos apresentados foram também utilizados campos da Reanálise do NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996) a cada 6 horas (00, 06, 12 e 18Z) com resolução de grade global de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude, 8 níveis na vertical e 36 variáveis; campos da Reanálise do ERA-Interim do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) a cada 3 horas para as variáveis de pressão ao nível médio do mar e precipitação (00Z, 03Z, 06Z, 09Z, 12Z, 15Z e 18Z) e cada 6 horas para as demais variáveis

meteorológicas (00Z, 06Z, 12Z e 18Z) com resolução de grade global de 1,5° de latitude por 1,5° de longitude.

Também foram utilizados dados horários do modelo regional ETA com resolução de 5 Km de latitude por 5 Km de longitude 5 Km para todas as variáveis meteorológicas. Entretanto, os campos gerados não serão apresentados no presente trabalho.

Utilizaram-se também imagens horárias de satélite nos canais visível e infravermelho do CPTEC/INPE.

Utilizando-se o software Grid Analysis and Display System (GRADS), desenvolvido no Departamento de Meteorologia da Universidade de Maryland (USA) – Center for Ocean-Land Atmosphere Interactions (COLA) versão 1.9b4, para o ambiente Windows XP, foram plotados com os dados do ERA-INTERIM os campos de: pressão ao nível médio do mar (hPa), ventos (direção e magnitude) ($m.s^{-1}$), compostos do escoamento ($m.s^{-1}$), divergência do vento (s^{-1}), omega ($Pa.s^{-1}$), advecção de vorticidade relativa ($10^{-5}s^{-1}dia^{-1}$), divergência de umidade ($g.kg^{-1}.dia^{-1}$), umidade específica ($g.kg^{-1}$), umidade relativa (%), razão de mistura ($g.kg^{-1}$), temperatura do ar ($^{\circ}C$), advecção de temperatura ($^{\circ}C.dia^{-1}$), altura geopotencial (mpg) e precipitação acumulada ($Kg.m^{-2}.dia^{-1}$) e precipitação por hora ($Kg.m^{-2}.hora^{-1}$). Campos gerados para os níveis de 1000hPa, 925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa e 300hPa. No presente trabalho serão apresentados apenas os campos para o nível de 1000hPa.

Com o uso do software WRPLOT VIEW para o ambiente Windows Vista, ferramenta para plotagem de dados meteorológicos na forma de rosa dos ventos, foram registrados os dados de vento (direção e magnitude) dos aeroportos de Afonsos (SBAF), Galeão (SBGL), Jacarepaguá (SBJR) e Santos

Dumont (SBRJ), além das estações da GEORIO, Guaratiba e Maracanã para horários de ocorrência da brisa terrestre (madrugada e manhã) e da brisa marítima (tarde e noite).

Com o aplicativo Grafer 7 da Golden Software para o sistema operacional Windows Vista foram plotadas as séries temporais com os dados de direção e magnitude dos ventos para as estações de Guaratiba, Georio e Maracanã.

As tabelas e gráficos de distribuição temporal da precipitação registrada pela rede de estações pluviométricas do sistema Alerta Rio foram compilados através da ferramenta Microsoft Excel.

Com o programa SURFER da Golden Software para o sistema operacional Windows Vista foram mapeados os contornos contabilizados através do EXCEL da precipitação acumulada em 24 horas para rede de estações pluviométricas do sistema Alerta Rio para os períodos de 19 de agosto de 2006 a 24 de agosto de 2006 e de 03 de setembro de 2006 a 09 de setembro de 2006.

3.4 Era-Interim

Para a análise dos casos já citados, optou-se por utilizar para fins de comparação de características relevantes destes eventos, além dos gráficos e mapas referidos acima, os campos gerados com as reanálises do ERA-Interim.

A escolha pelo uso dos dados do modelo ERA-Interim foi motivada pelo fato de apresentar um maior número de níveis de pressão (num total de 37 níveis) e a inclusão de parâmetros como nebulosidade em seus modelos. Além disso, o ERA-Interim possui uma resolução de grade de 1.5° de latitude e longitude, enquanto o NCEP/NCAR possui uma resolução de grade de 2.5° de latitude e longitude.

O ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) possui um programa de pesquisa e desenvolvimento voltado para a qualidade e geração de variados produtos para previsão de curto e médio prazos. Assim, foram desenvolvidos modelos mais abrangentes para os sistemas terrestres, tornando-se base para a assimilação das informações e atividades de previsão. Para todos esses usos, disponibilizou-se um software integrado (código fonte em FORTRAN) chamado de Integrated Forecast System ou IFS. O ERA-40 do programa Framework 5, projeto de pesquisa financiado pela União Européia tem seus dados assimilados pelo IFS. Do ERA-40 faz parte o programa de reanálises ERA-Interim.

O ERA-Interim é a versão mais recente das reanálises atmosféricas globais do ECMWF. Esta versão disponibiliza dados de 1989 até os dias atuais. É baseado no lançamento recente do IFS Cy31r2, que contém muitas

melhorias tanto para os modelos de previsão quanto para as metodologias de análise.

No servidor do ERA-Interim ficam gravados dados de superfície e possui uma composição de campos de análise, campos de previsão e campos disponíveis tanto para previsão quanto para análise. Os outros dados diários só possuem campos para análise.

Assim, com um *flag* o usuário pode se escolher entre a opção de obter apenas dados de análise, dados de previsão para 03Z, 06Z, 09Z, 12Z ou ainda para ambos. (Fonte: <http://www.ecmwf.int/>)

3.5 Formulação

Para a obtenção dos campos para o estudo dos eventos foram usados os seguintes conceitos e formulações físicas e matemáticas.

Os campos de divergência de umidade foram construídos utilizando-se a seguinte formulação:

$$\vec{\nabla} \cdot (q\vec{V}) = \left(q \frac{\partial u}{\partial x} + q \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

onde q representa a razão de mistura (g.kg^{-1}), dada por:

$$q = q_s \frac{ur}{100}$$

ur = umidade relativa do ar

$$q_s = 0,622 \frac{e_s}{p}$$

q_s = razão de mistura de saturação

p = pressão do nível isobárico (hPa)

$$e_s = 6,112 \exp\left(\frac{17,67T}{T + 243,5}\right)$$

e_s = pressão de saturação do vapor (hPa), segundo Bolton (1980)

3.6 Dados de precipitação

Com o objetivo de verificar a distribuição da precipitação sobre a cidade do Rio de Janeiro foram geradas séries temporais da chuva para os períodos de 20 a 24 de agosto e para o período de 04 a 08 de setembro de acordo com os dados do Sistema Alerta Rio. Os dados de precipitação para as estações da rede do sistema Alerta Rio são disponibilizados a cada 15 minutos, no horário local. Dessa forma, para a montagem de tabelas de chuvas acumuladas por hora local (depois convertidas em UTC) foram somados os dados que representassem o intervalo referente à uma hora. As tabelas 2 e 3¹ foram elaboradas a partir do somatório da precipitação acumulada por hora para cada estação da rede, para um intervalo de 24 horas de 12Z do dia anterior ao estudado até 12Z do dia em estudo.

Os mapas elaborados no programa SURFER, representam a distribuição da chuva acumulada em 24 horas para o período de agosto e de setembro na cidade do Rio de Janeiro. As séries temporais para estações escolhidas para verificar o comportamento da chuva da costa do município até seu interior foram geradas no Microsoft EXCEL e abrangem um período de observações entre 12Z do dia anterior ao de estudo e 12Z do dia de estudo. Tais mapas e gráficos serão apresentados no capítulo IV no sub-tema precipitação.

¹ Tabelas apresentadas na parte de Anexos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as análises sinóticas para os casos de Agosto de 2006 (sem precipitação pós-frontal) e de Setembro de 2006 (com precipitação pós-frontal).

4.1 Imagens de satélite

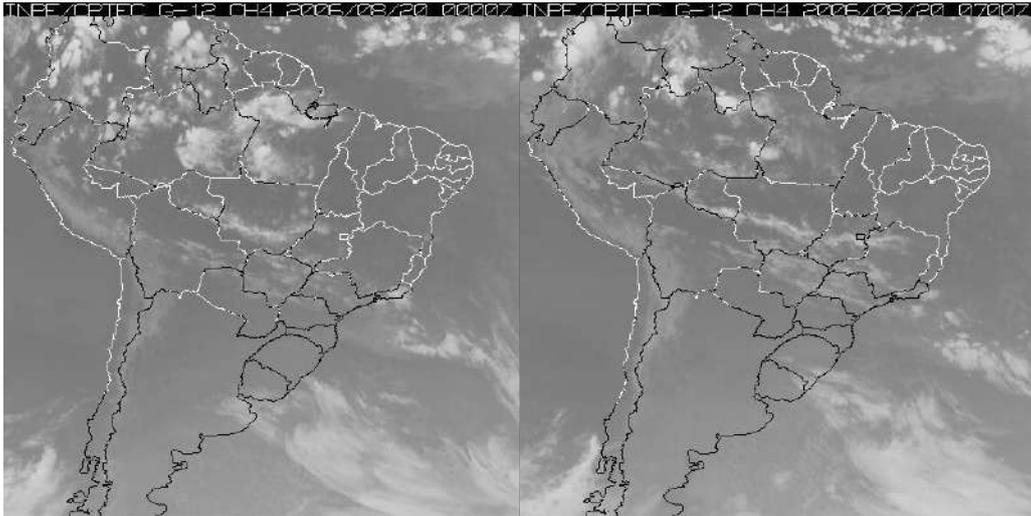
Em agosto de 2006, de acordo com a Revista Climáanalise do INPE/CPTEC, foram registradas a passagem de sete sistemas frontais pelo Brasil. O quinto SF do mês deslocou-se pelo litoral desde Santa Catarina e atingiu a cidade do Rio de Janeiro no dia 20. Neste mesmo dia o sexto SF do mês se desenvolveu no litoral do Rio Grande do Sul e no dia 21 se acoplou ao anterior (que já estava sobre o Rio de Janeiro). O novo SF, recém formado, deslocou-se para o norte atingindo o Estado da Bahia no dia 22 de agosto. A precipitação provocada devido à passagem deste SF pela cidade, ocorrida nos dias 20 e 21, foi moderada. Nos dias posteriores não há ocorrência de precipitação. A alta migratória pré-frontal provocou uma acentuada queda na temperatura. Ressacas foram registradas na orla da cidade, com ondas atingindo 2 m de altura.

As imagens de satélite (Figura 10) mostram o quinto SF do mês de agosto entre o Estado de São Paulo e o Estado do Rio de Janeiro e a formação

do sexto SF no sul do Uruguai (Figura 10a). Entre 06Z (Figura 10b) e 12Z (Figura 10c) do dia 20 o quinto SF continua a atuar no Estado do Rio de Janeiro com aumento de nebulosidade. Neste mesmo período, pode-se notar o deslocamento do sexto SF que havia se formado no sul do Uruguai. No dia 20 18Z (Figura 10d) o sexto SF desloca-se pelo litoral, localizando-se sobre o oceano, entre os Estados do Paraná e São Paulo. Neste momento, o Estado do Rio de Janeiro ainda está sob o domínio do quinto SF. Com a proximidade do sexto SF a nebulosidade sobre a região da cidade do Rio de Janeiro aumenta. Em 21 00Z (Figura 10e), o sexto SF atinge o Estado e conseqüentemente o município do Rio de Janeiro e se acopla ao quinto SF que já estava na região. Assim, um novo SF se configura com aumento da nebulosidade e da precipitação sobre a cidade, principalmente na zona oeste e norte, como será descrito a seguir. Em 21 06Z (Figura 10f), este novo SF se desloca para o norte do Estado do Rio de Janeiro na região de Campos dos Goytacazes, mas a cidade do Rio ainda permanece sob o efeito do SF durante todo o dia 21. A seguir o SF se move para o Estado do Espírito Santo (Figura 10g), enquanto na cidade do Rio, observa-se nebulosidade estratiforme. A mesma situação sobre o município do Rio verifica-se quando o SF chega ao sul da Bahia em 21 18Z (Figura 10 h). No dia 22 00Z (Figura 10i) já no Estado da Bahia, o SF começa a perder sua intensidade e entra em processo de frontólise (Figura 10k e Figura 10 l).

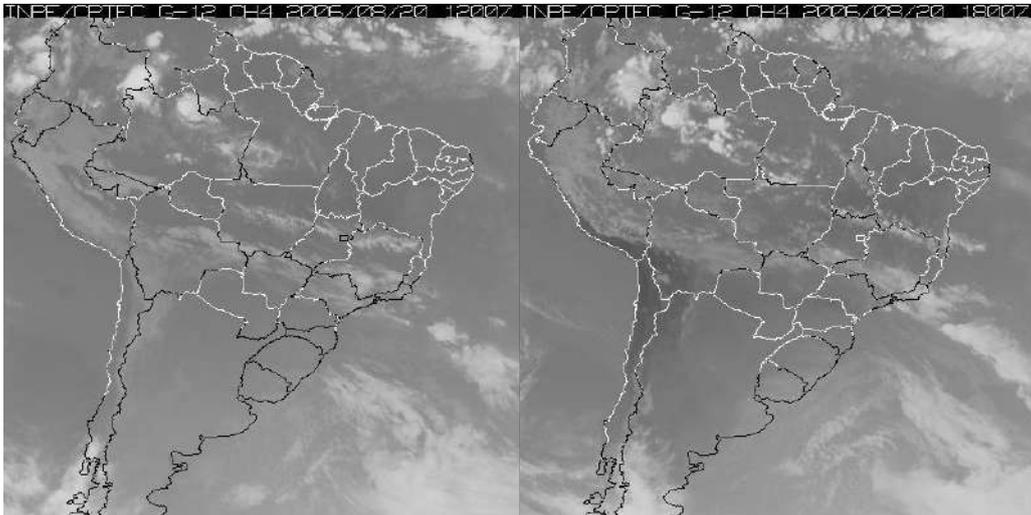
(a) 20/08/2006 – 00 Z

(b) 20/08/2006 – 07 Z



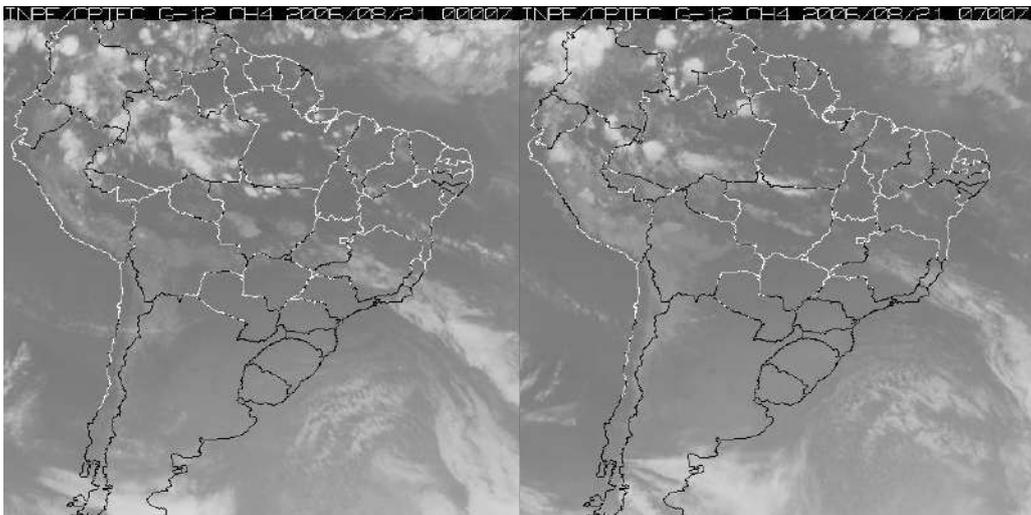
(c) 20/08/2006 – 12 Z

(d) 20/08/2006 – 18 Z



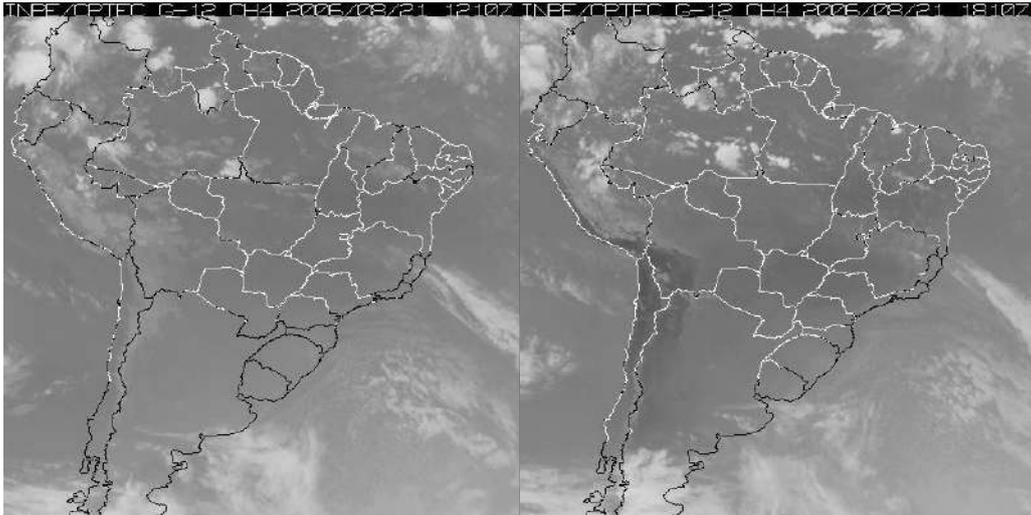
(e) 21/08/2006 – 00 Z

(f) 21/08/2006 – 07 Z



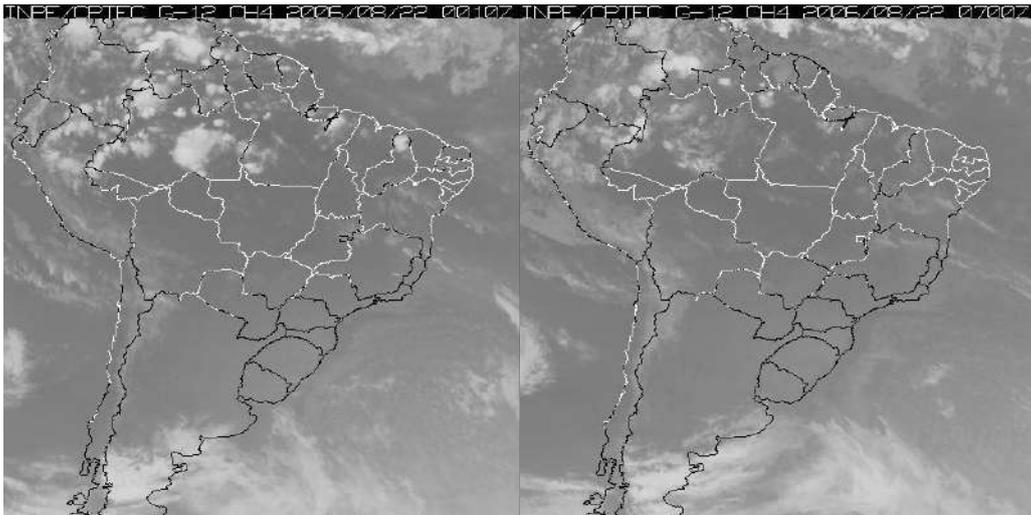
(g) 21/08/2006 – 12:10 Z

(h) 21/08/2006 – 18:10 Z



(i) 22/08/2006 – 00:10 Z

(j) 22/08/2006 – 07 Z



(k) 22/08/2006 – 12:10 Z

(l) 22/08/2006 – 16:00

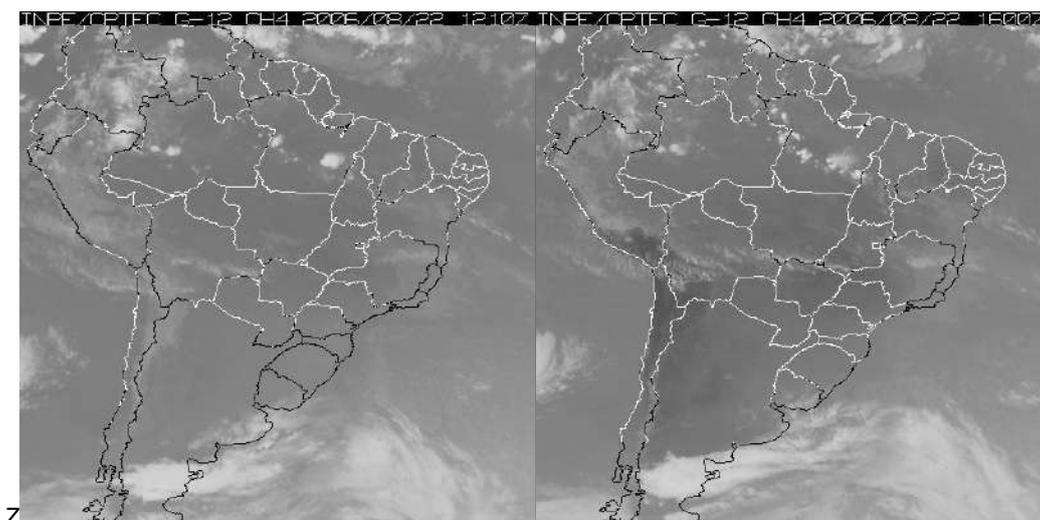


Figura 10: Imagens do satélite GOES-12 no canal infravermelho fornecidas pelo CPTEC/INPE para o caso Agosto de 2006: (a) 20/08/2006 – 00Z, (b) 20/08/2006 – 07Z, (c)20/08/2006 – 12Z, (d) 20/08/2006 – 18Z, (e)21/08/2006 – 00Z, (f)21/08/2006 – 07Z, (g)21/08/2006 – 12:10Z, (h)21/08/2006 – 18:10Z, (i)22/08/2006 – 00:10Z, (j)22/08/2006 – 07Z, (k)22/08/2006 – 12:10Z,(l)22/08/2006 – 16:00Z

Em setembro de 2006, de acordo com a Revista Climanálise, o SF que atingiu o Rio de Janeiro no dia 4 de setembro foi o primeiro de sete SFs que atuaram no Brasil naquele mês. Este primeiro SF passou pela Região Sul do Brasil nos dias 1 e 2 de setembro. No dia 04 pelo Rio de Janeiro, onde provocou chuvas moderadas a fortes. No dia 5, este SF atuou sobre o sul do Espírito Santo e deslocou-se no dia 06 de setembro para o sul do Estado da Bahia. Apesar de sua localização bem ao norte do Estado do Rio de Janeiro, as chuvas voltaram a ocorrer no município entre os dias 06 e 07. A massa de ar fria e seca da retaguarda do sistema provocou o declínio acentuado das temperaturas no município, registrando-se a temperatura mais baixa do ano

desde 2000 no Alto da Boa Vista (8,1°C). A passagem deste SF também provocou ressaca na praia de Ipanema no período entre 05 e 07 de setembro, atingindo de acordo com o boletim SIMERJ 3,5m de altura. Na seqüência de fotos da ressaca na Praia de Ipanema (Figura 11), nota-se céu totalmente encoberto e nos dias 05 e 06 de setembro.

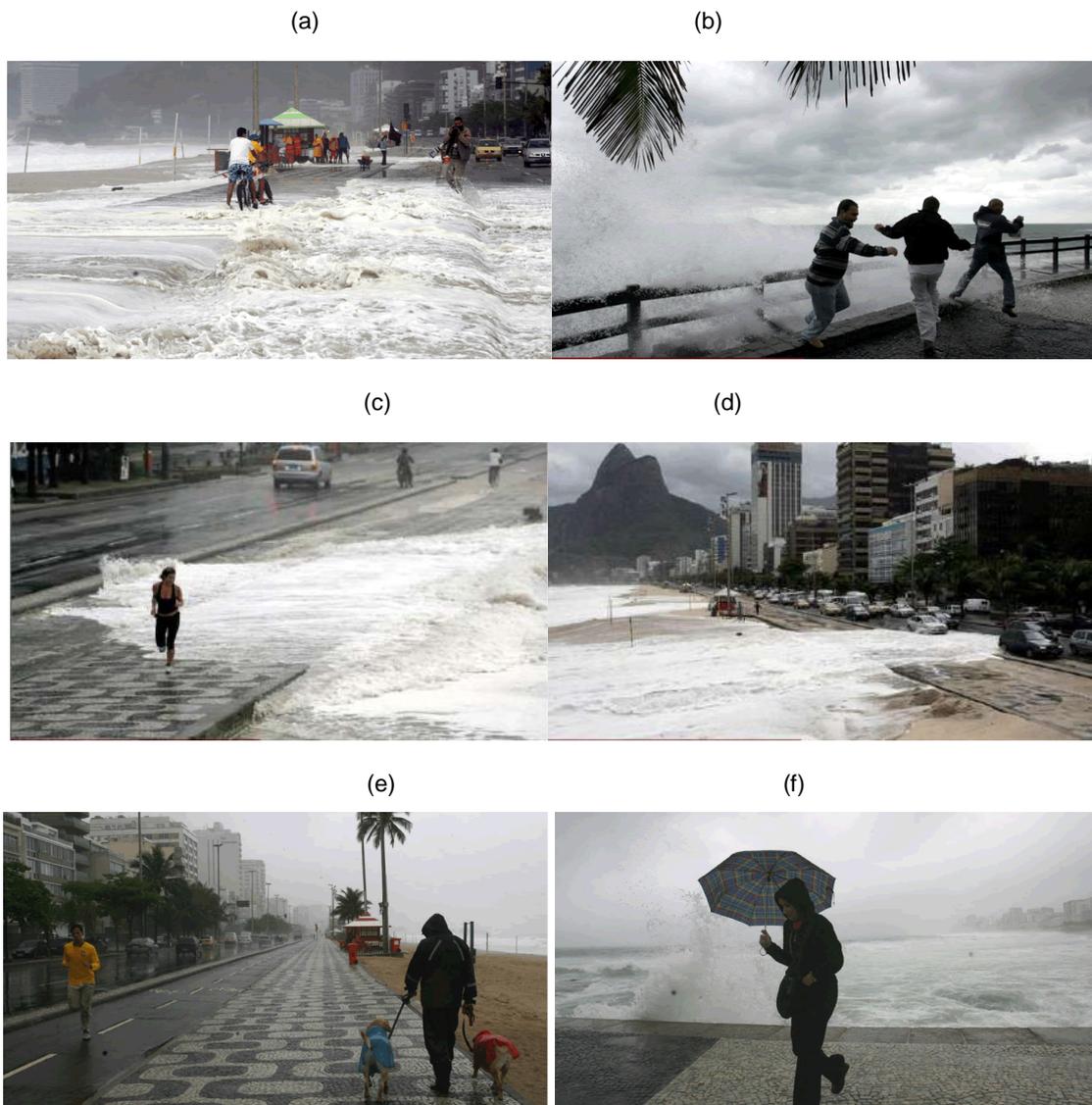
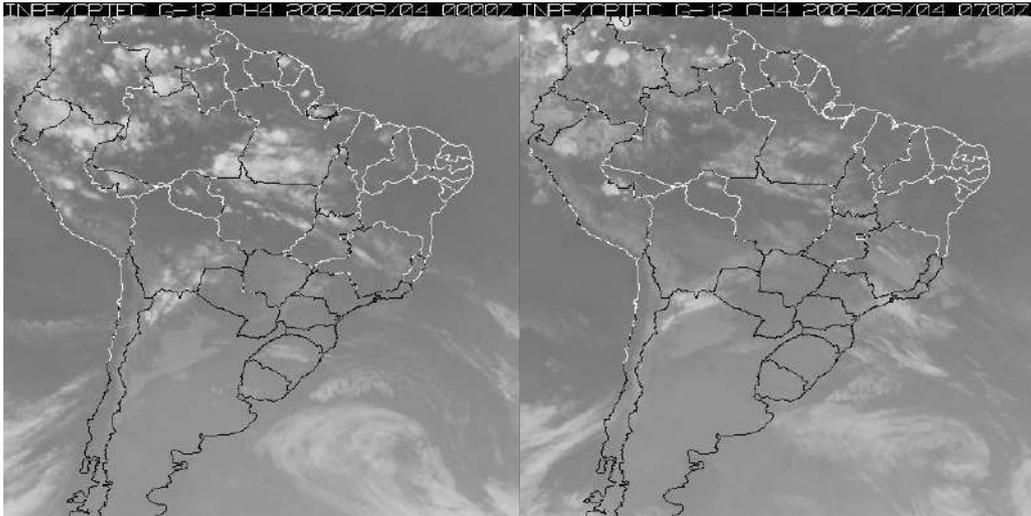


Figura 11: Fotos da Praia de Ipanema (litoral do Rio de Janeiro) nos dias 5 (a), (b), (c) e (d) e 06 (e) e (f) de setembro de 2006. Fonte: <http://www.globo.com>

As imagens de satélite mostram o primeiro SF do mês sobre o Estado do Rio de Janeiro no dia 04 00Z (Figura 12a). Nas imagens de satélite é possível observar a nebulosidade sobre o centro de baixa pressão, ao qual está associado o SF, na costa do Uruguai. Sobre a cidade do Rio, a nebulosidade aumenta a partir de 04 07Z (Figura 12b) devido ao SF. Em 04 11:30Z (Figura 12c), o SF está atuando diretamente sobre a cidade do Rio. Em 04 18Z (Figura 12d) o SF começa a se deslocar para o norte da cidade do Rio, mesmo assim sobre a cidade ainda se mantém uma nebulosidade proveniente do SF. Este sistema chega ao Espírito Santo no dia 05 01Z (Figura 12e). Durante todo o dia 05 (Figura 12), o SF permanece sobre o Espírito Santo. Neste mesmo período é observada uma nebulosidade baixa e estratiforme sobre o Estado do Rio. Em 06 00Z(Figura 12i) o SF atinge o sul da Bahia. No intervalo entre 06 08:30Z (Figura 12j) e 07 18Z (Figura 12p) o SF atua sobre o Estado da Bahia, contudo observa-se precipitação moderada sobre o município do Rio de Janeiro, proveniente de nebulosidade estratiforme. A partir de 07 18Z, o SF entra em processo de frontólise.

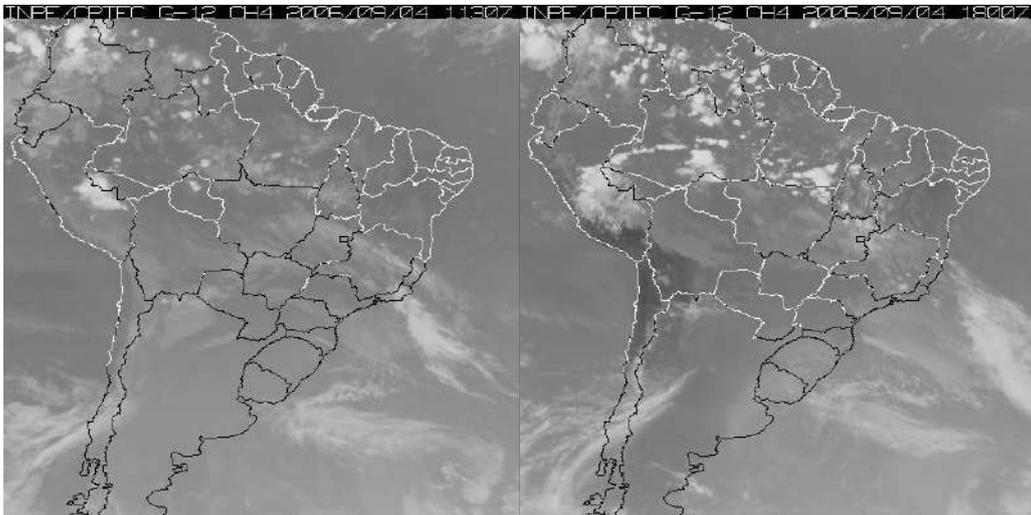
(a) 04/09/2006- 00Z

(b) 04/09/2006 - 07Z



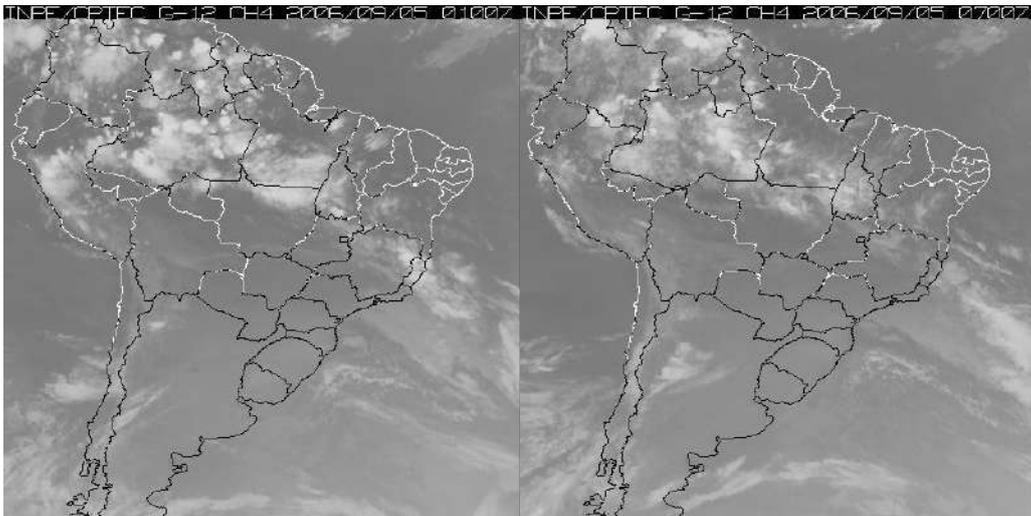
(c) 04/09/2006 - 11:30Z

(d) 04/09/2006 - 18Z



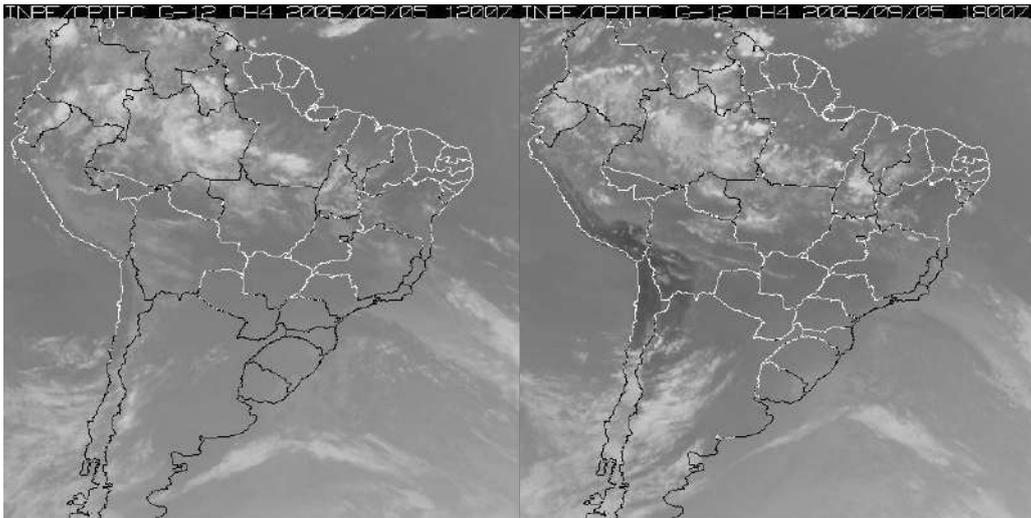
(e) 05/09/2006 - 01Z

(f) 05/09/2006 - 07Z



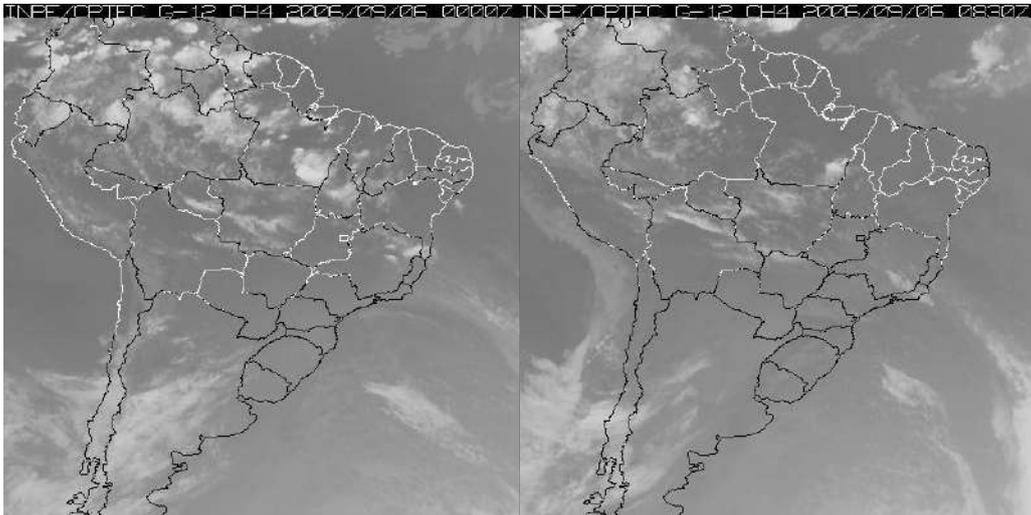
(g) 05/09/2006 – 12Z

(h) 05/09/2006 – 18Z



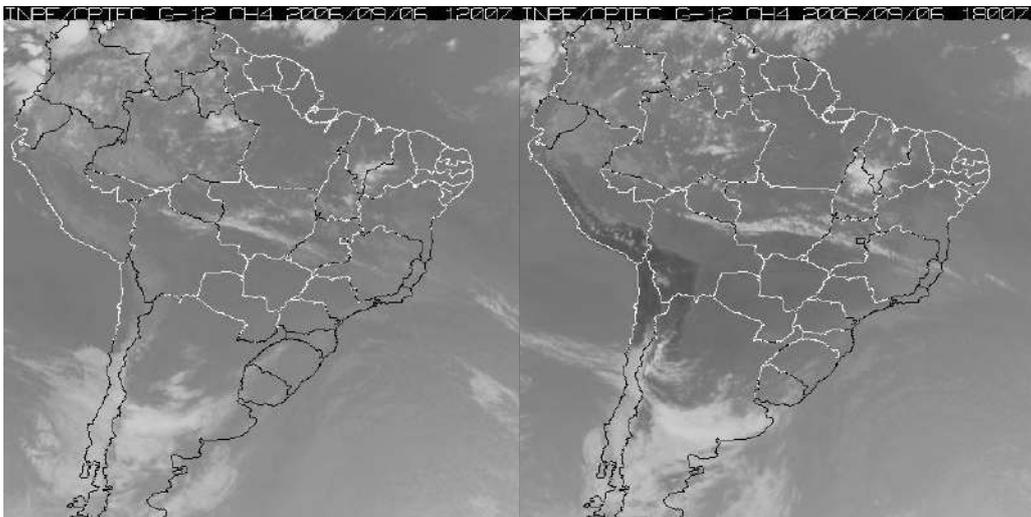
(i) 06/09/2006 – 00Z

(j) 06/09/2006 – 08:30Z



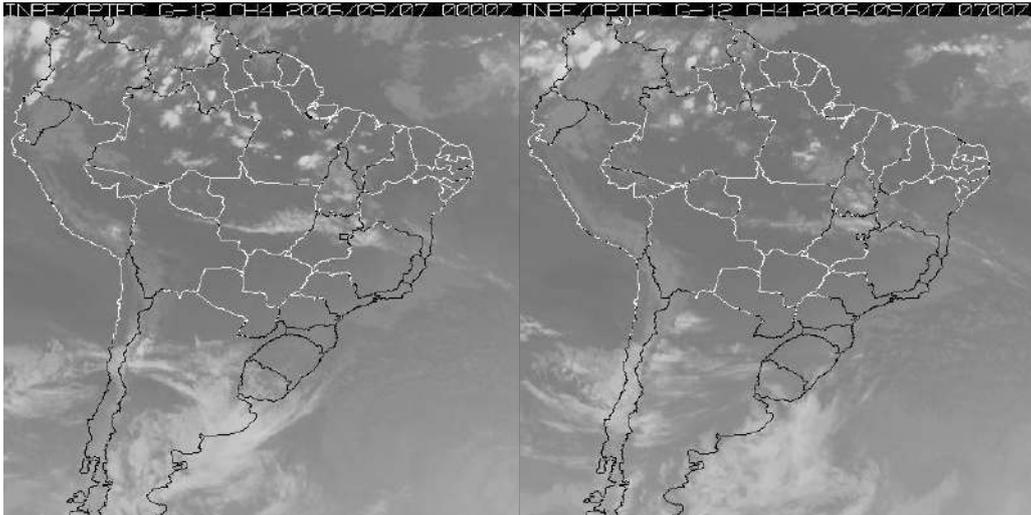
(k) 06/09/2006 – 12Z

(l) 06/09/2006 – 18Z



(m) 07/09/2006 – 00Z

(n) 07/09/2006 – 07Z



(o) 07/06/2006 – 12Z

(p) 07/09/2006 – 18Z

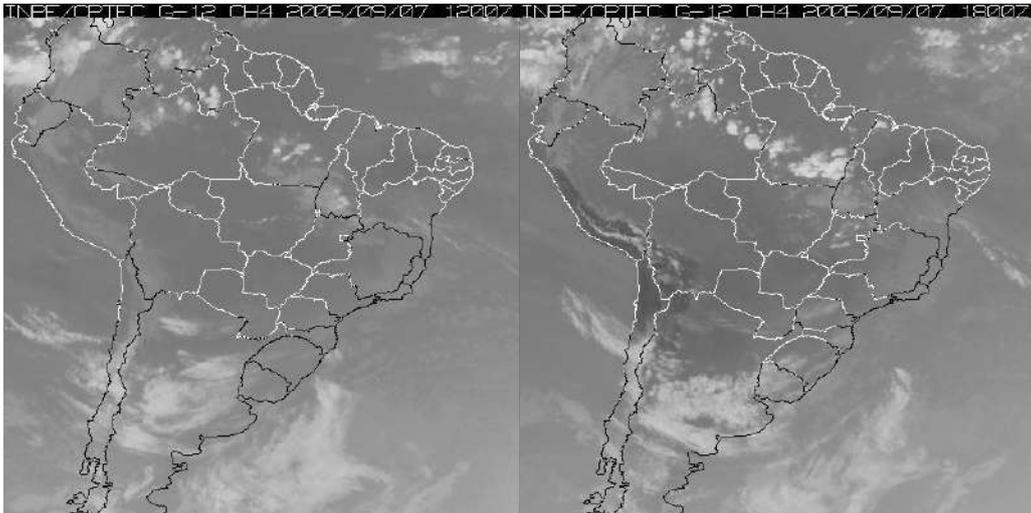


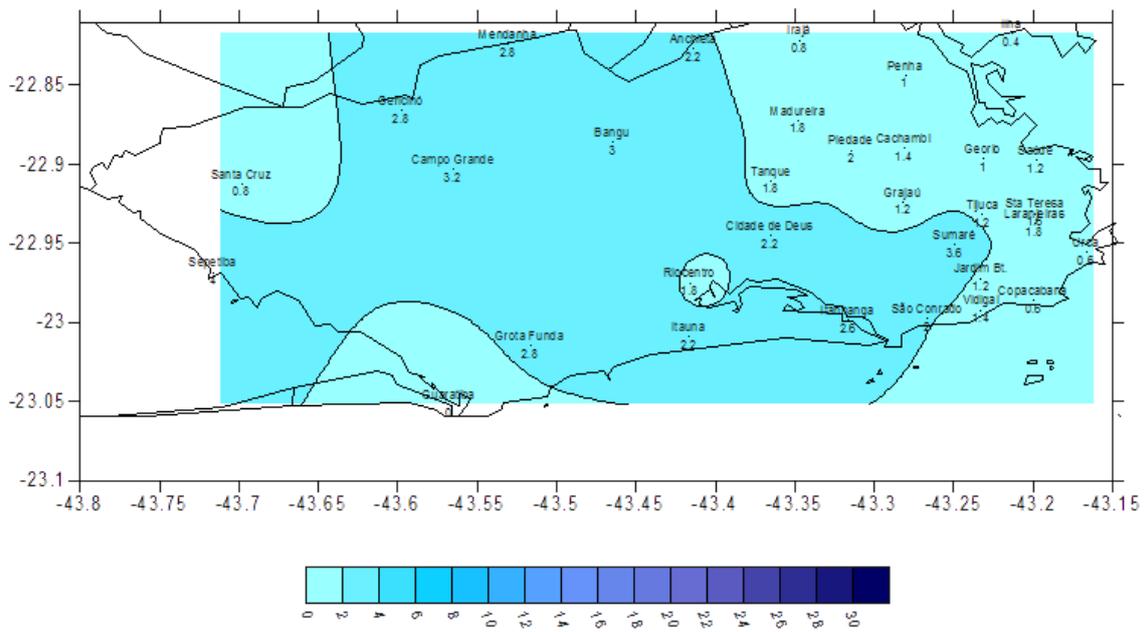
Figura 12: Imagens do satélite GOES-12 no canal infravermelho fornecidas pelo CPTEC/INPE para o caso Agosto de 2006: (a) 04/09/2006 –00Z, (b) 04/09/2006–07Z, (c) 04/09/2006–12Z, (d) 04/09/2006 – 18Z, (e) 05/09/2006 – 01Z, (f) 05/09/2006 – 07Z, (g) 05/09/2006 – 12:10Z, (h) 05/09/2006 – 18Z, (i) 06/09/2006 – 00Z, (j)06/09/2006 – 08:30Z, (k) 06/09/2006 – 12:00Z, (l) 06/09/2006 – 18Z, (m) 07/09/2006 – 00Z, (n) 07/09/2006 – 07Z, (o) 07/09/2006 – 12Z, (p) 07/09/2006 – 18Z

4.2 Precipitação

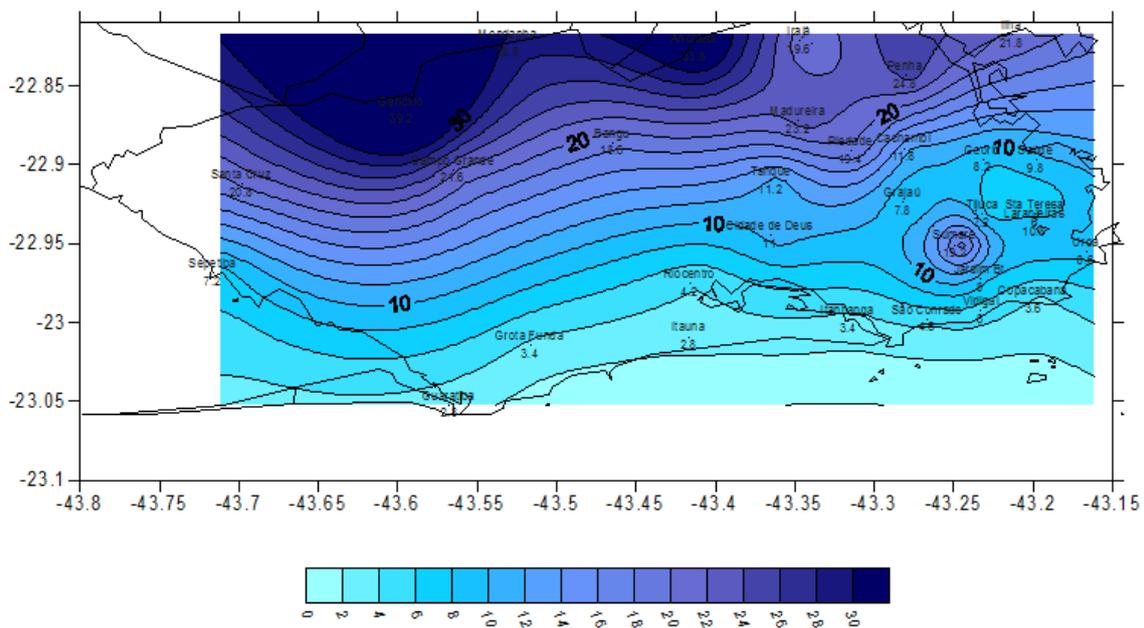
Neste subitem apresenta-se a distribuição espacial e temporal das chuvas no município do Rio de Janeiro para os dois casos estudados (agosto e setembro de 2006).

A Figura 13 apresenta os totais pluviométricos diários acumulados na cidade do Rio de Janeiro para o caso de Agosto de 2006. Nota-se entre os dias 19 e 20 (Figura 13a) uma fraca precipitação sobre a cidade, associada ao quinto SF do mês que atingiu a cidade no dia 20 00Z, com máximo de 3,6 mm na estação do Sumaré. Com a chegada do sexto SF do mês, e seu acoplamento ao SF anterior, as chuvas acumuladas aumentam de intensidade (Figura 13b), com registros de máximas precipitações sobre os maciços do Gericinó (39,2 mm) e Mendanha (28,8 mm). Entre os dias 21 e 22, com o deslocamento do SF para o Estado do Espírito Santo, as chuvas acumuladas na cidade do Rio de Janeiro diminuem como se observa na Figura 22 c. Em muitas estações pluviométricas não há registro de precipitação e o máximo observado para este período foi de 1,2 mm em São Conrado na região da costa do Rio. De 22 12Z a 23 12Z, (Figura não apresentada) o acumulado do período foi nulo em todas as estações, como era o esperado após a passagem de um sistema frontal.

(a) 19/08 12Z a 20/08-12Z



(b) 20/08 12Z a 21/08-12Z



(c) 21/08 12Z a 22/08-12Z

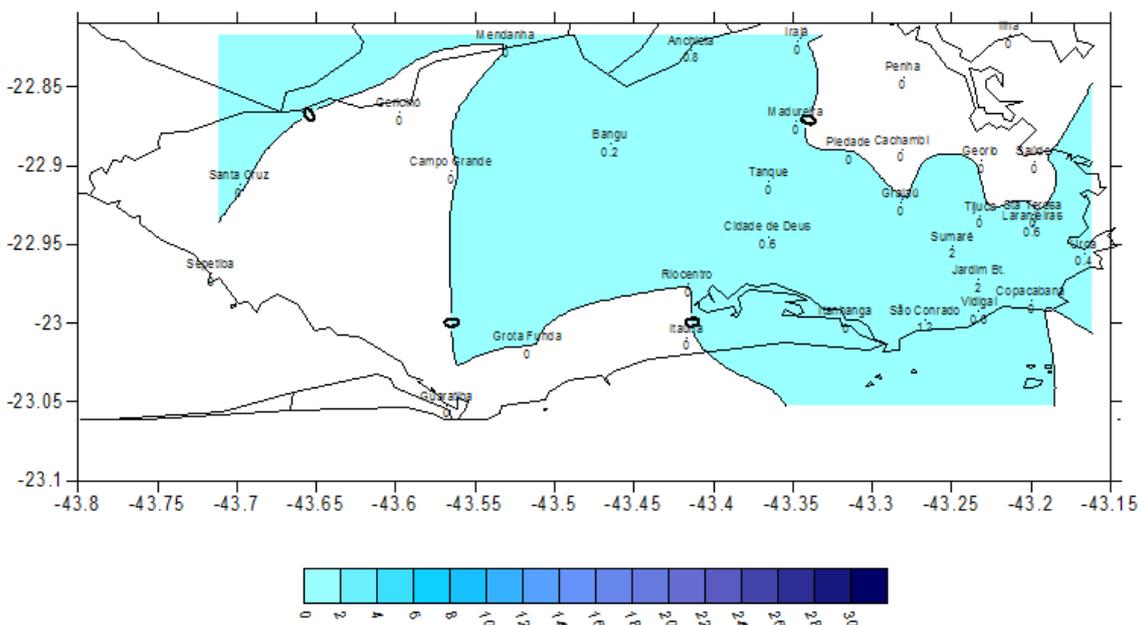
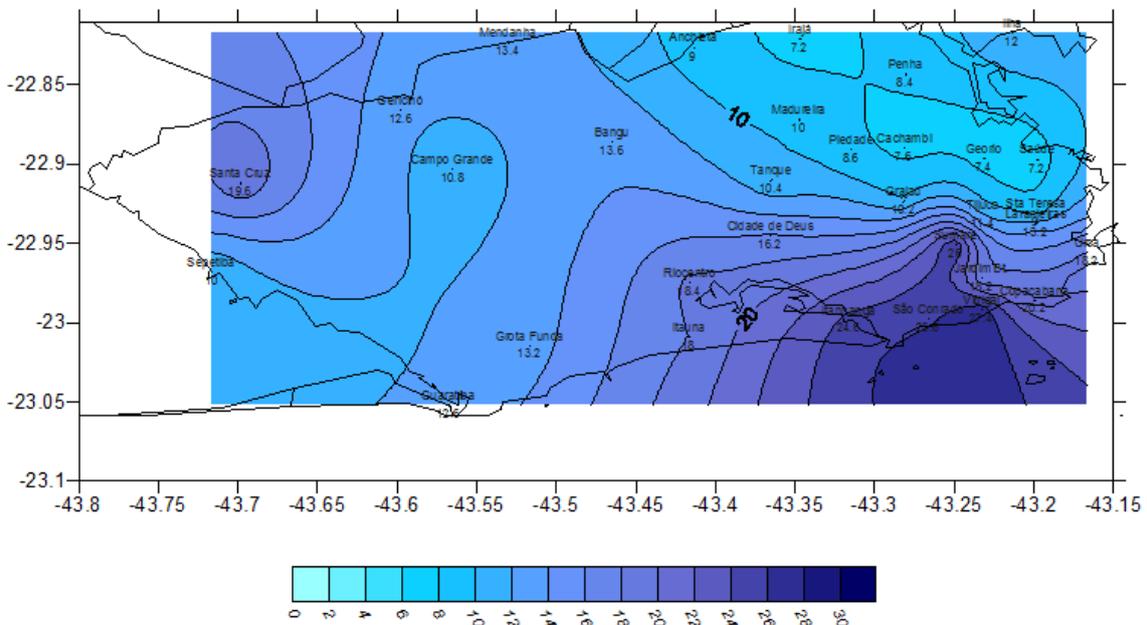


Figura 13: Chuva acumulada em 24 horas (12Z a 12Z) para os períodos de: (a) 19/08 12Z a 20/08-12Z, (b) 20/08 12Z a 21/08-12Z, (c) 21/08 12Z a 22/08-12Z

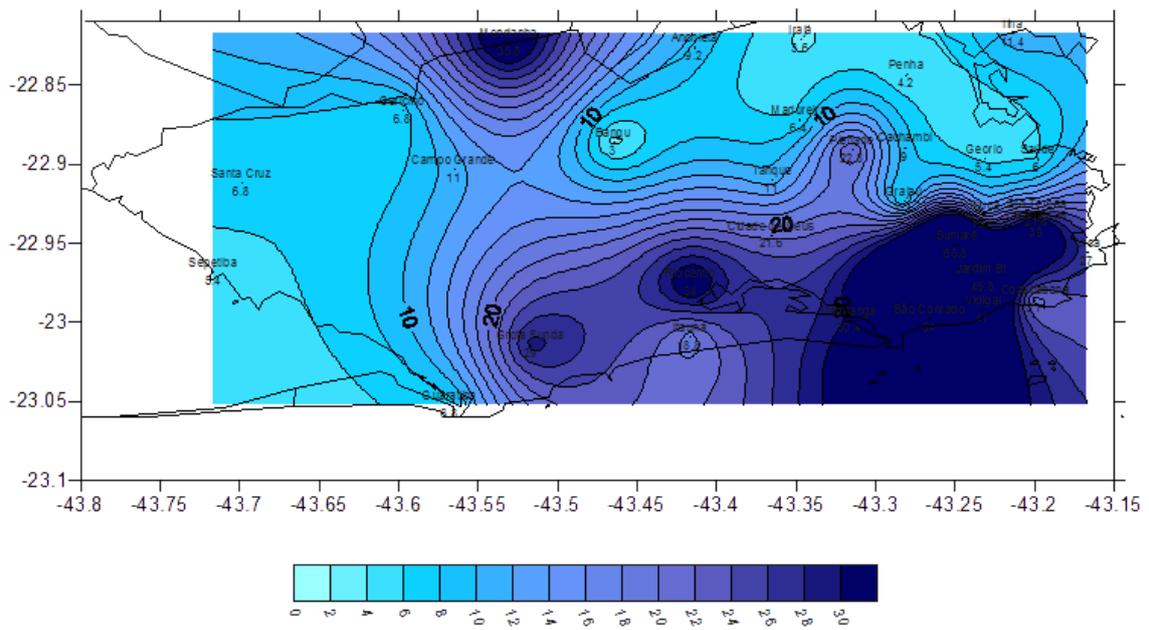
Para o caso de setembro (Figura 14), devido à passagem do primeiro SF do mês, os maiores índices pluviométricos foram registrados nas regiões próximas à costa e na região sobre os maciços do Gericinó e Mendanha. No dia 04/09 o maior valor acumulado foi na estação do Vidigal com 27,4 mm e o mínimo foi de 7,2 mm na estação Saúde e Irajá (Figura 14a). No dia 5 (Figura 14b), com o lento deslocamento do SF pela cidade, as chuvas continuaram a cair, registrando-se 35,8 mm no Mendanha, 45,8 mm no Jardim Botânico e 65,8 mm no Sumaré. Neste caso, diferentemente do que ocorreu em agosto, em que as chuvas ficaram concentradas no interior da cidade sobre o maciço de Gericinó, desta vez os maiores índices de chuvas acumuladas foram registrados nas estações próximas ao litoral. Entre os dias 05 e 06, com o deslocamento do SF para o norte, atingindo o Estado do Espírito Santo, na

maioria das estações o registro de chuvas acumuladas foi nulo. O máximo registrado foi 1,2mm na estação Sumaré (Figura 14c). A partir do deslocamento do SF para norte, o que se esperava, como no caso de agosto, é que as chuvas fossem diminuindo de intensidade e cessassem. Entretanto, as chuvas recomeçaram no município no dia 06 de setembro as 18Z. A Figura 14d mostra a chuva acumulada entre os dias 06 e 07, onde se observa que os maiores registros de precipitação acumulada foram na região costeira da cidade na estação de São Conrado com 44,8 mm e sobre o Maciço da Tijuca na estação Sumaré com 40,4 mm. A partir do dia 08 (Figura 14e) a intensidade das chuvas diminui e em muitas estações não houve registro de precipitação acumulada. O máximo foi registrado na estação do Itanhangá com 5,8 mm. Depois desse período, as chuvas sobre a cidade cessaram.

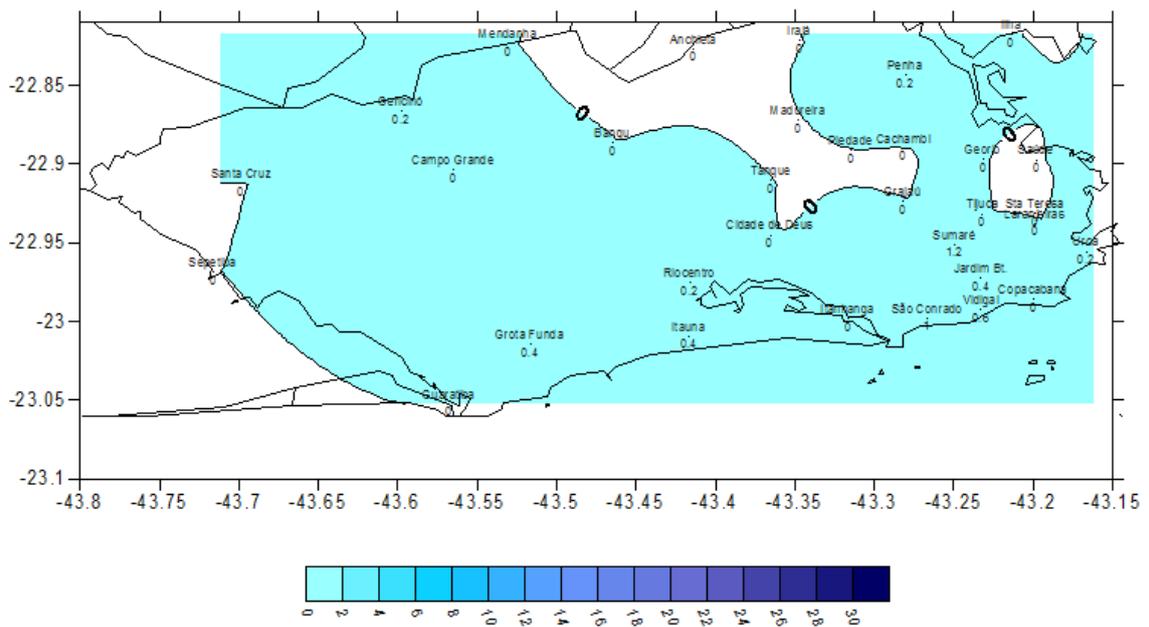
(a) 03/09-12Z a 04/09-12Z



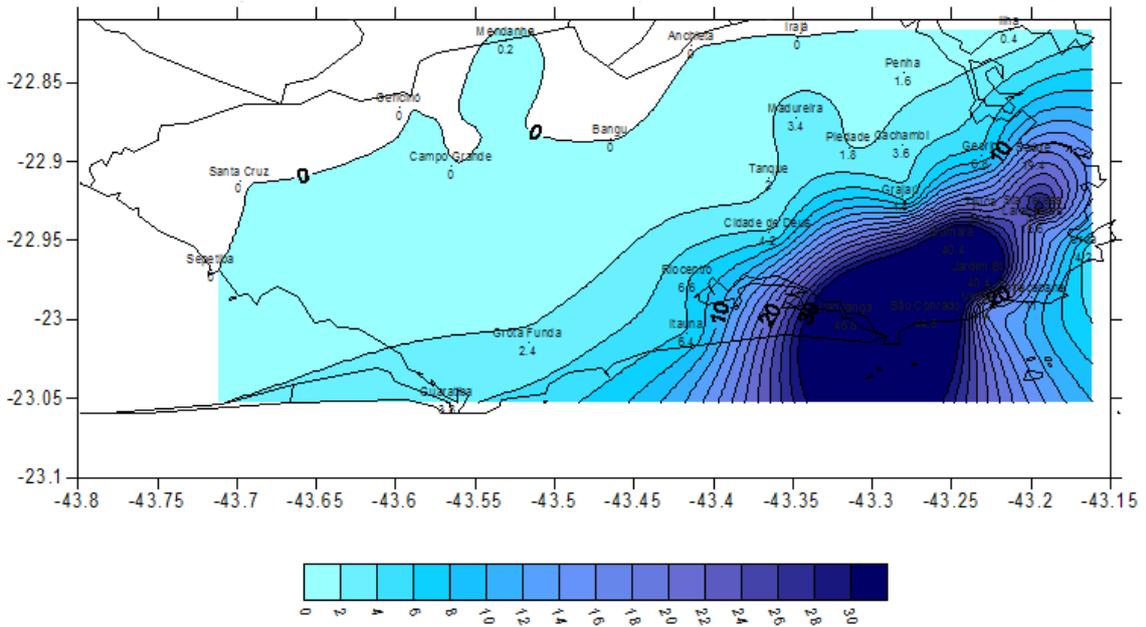
(b) 04/09-12Z a 05/09-12Z



(c) 05/09-12Z a 06/09-12Z.



(d) 06/09-12Z a 07/09-12Z



(e) 07/09-12Z a 08/09-12Z

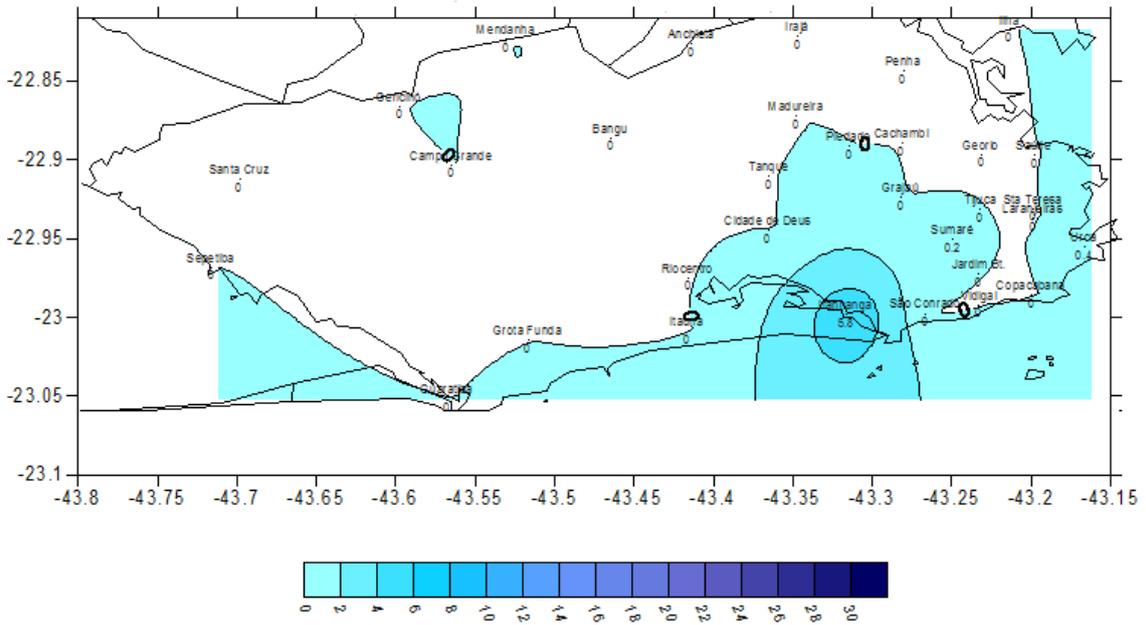


Figura 14: Chuva acumulada em 24 horas (13Z a 12Z) para os períodos de: (a) 03/09 12Z a 04/09-12Z, (b) 04/09 12Z a 05/09-12Z, (c) 05/09 13Z a 06/09-12Z, (d) 06/09 12Z a 07/09-12Z, (e) 07/09 12Z a 08/09-12Z

A fim de verificar a distribuição temporal da precipitação foram selecionadas estações com características geográficas diferentes, umas mais próximas da costa e outras mais para o interior da cidade, como apresentado na Figura 15. As estações escolhidas foram, partindo da costa para o interior: Copacabana, Sumaré, Grajaú, Piedade, Madureira e Anchieta.

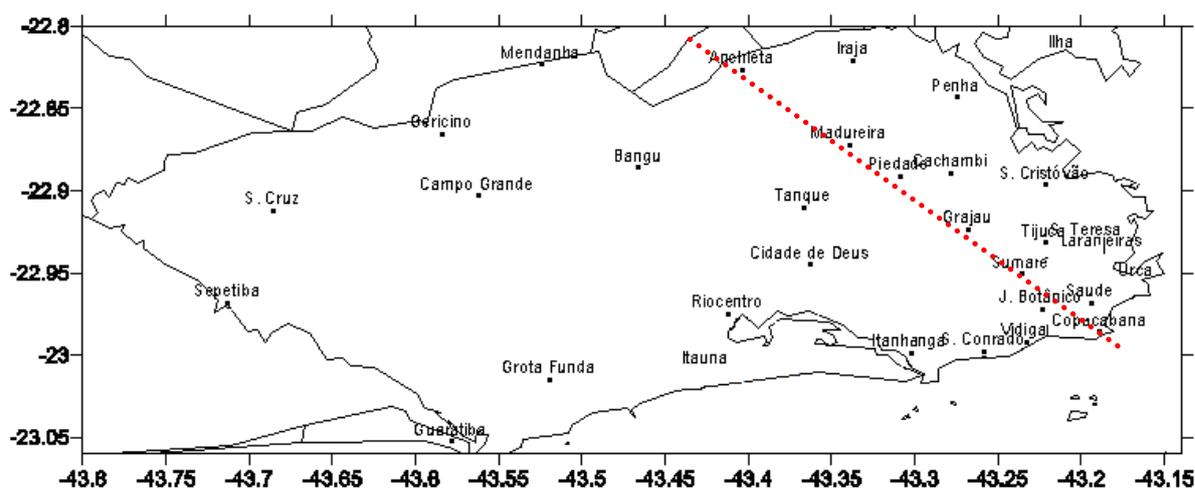


Figura 15: Mapa da distribuição das estações pluviométricas no município do Rio de Janeiro. A linha vermelha indica as estações do sistema Alerta Rio que foram selecionadas para a análise

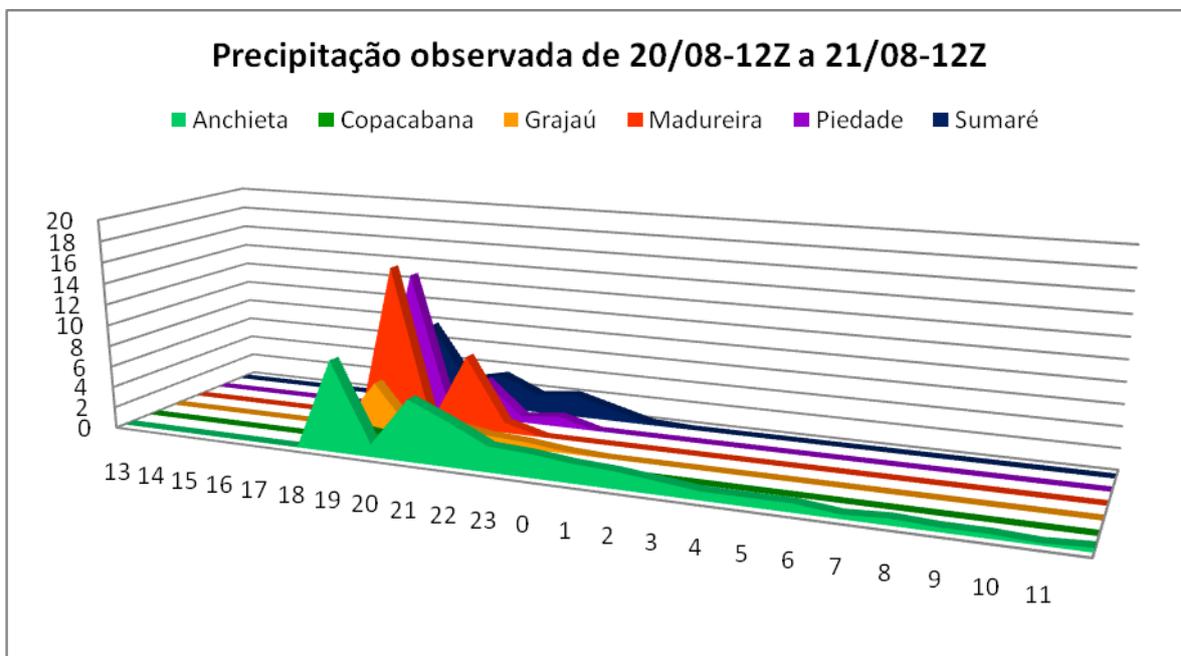
No caso de agosto de 2006 (Figura 16), com a passagem do SF a precipitação em todas as estações iniciou-se em 19 21Z permanecendo até 20 01Z (Figura não mostrada). Quando os dois sistemas frontais se unem no dia 20, a precipitação recomeça a partir de 20 17Z com maior intensidade do que registrada anteriormente, o que pode ser visualizado na (Figura 16a). Após esse período, com o SF deslocado para o norte da cidade do Rio, observa-se na Figura 16b que, com exceção da estação do Sumaré que apresenta

precipitação menor que 2 mm entre 21 21Z e 22 04Z, em todas as estações a precipitação cessa. Após a passagem do SF pela cidade as chuvas cessam em todas as estações Figura 16c.

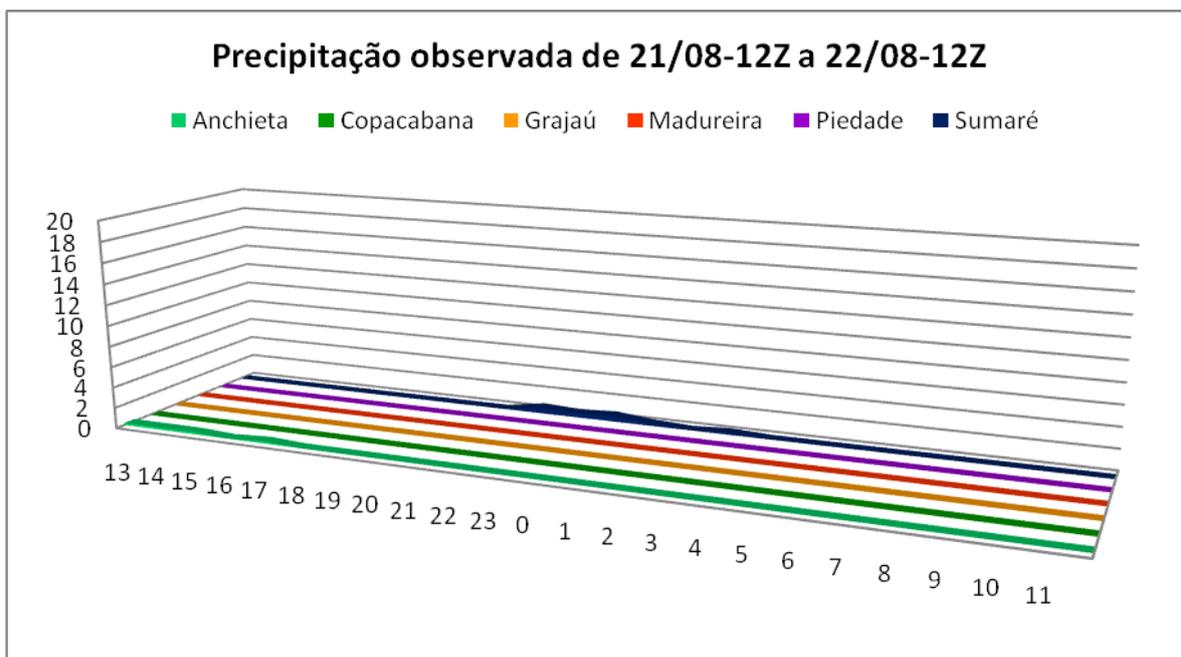
No caso de setembro (Figura 17) a chuva se inicia com a passagem do SF pela cidade em todas as estações a partir do dia 04 05Z (Figura 17a), com exceção da estação do Sumaré que registra precipitação em 03 22Z. Essa chuva persiste nos dias 04 e 05 de setembro (Figura 17b), sendo os máximos observados no período da tarde e da noite. A precipitação se estende até o dia 05 às 10Z (Figura 17 c). Deste período em diante havia expectativa que as chuvas cessassem no município, uma vez que o SF encontrava-se em Caravelas no sul da Bahia. Contudo voltou a chover no dia 06 22Z sobre a cidade como mostra a Figura 17d. Essa precipitação durou até o dia 07 05Z na maioria das estações, exceto na estação de Piedade na qual se verificou apenas uma leve precipitação entre 07 08Z e 07 10Z. Após esse período não houve mais registro de chuvas no município.

Outro aspecto verificado, principalmente com a distribuição temporal da precipitação é que no caso de setembro a precipitação pós-frontal ocorreu no período da tarde/noite, que pode ter sido acentuada pela ação da brisa marítima, transportando umidade do oceano, para o interior do município. Tal hipótese será investigada a seguir.

(a) 20/08 12Z e 21/08 12Z



(b) 21/08 12Z e 22/08 12Z



(c) 22/08 12Z e 23/08 12Z

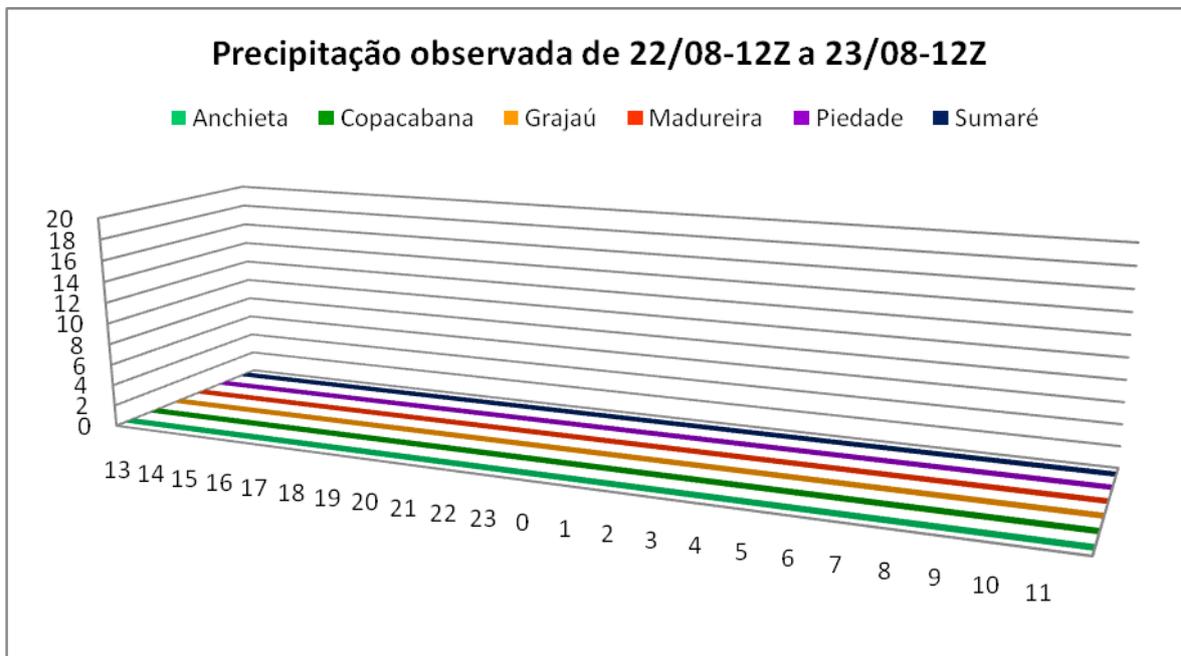
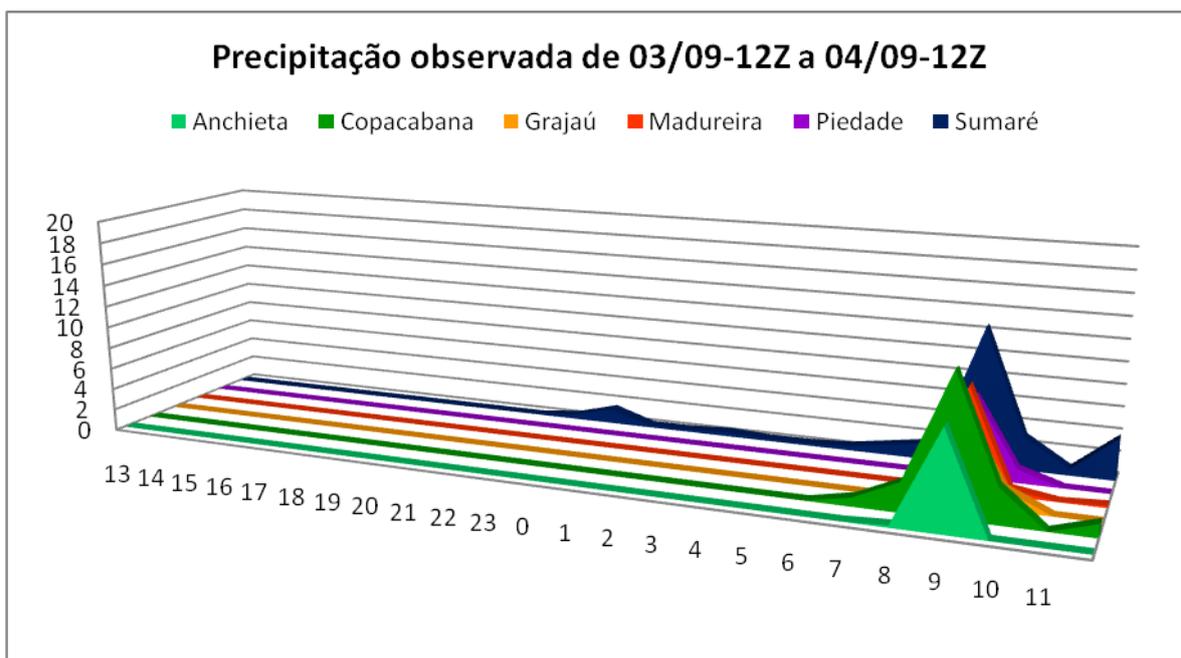
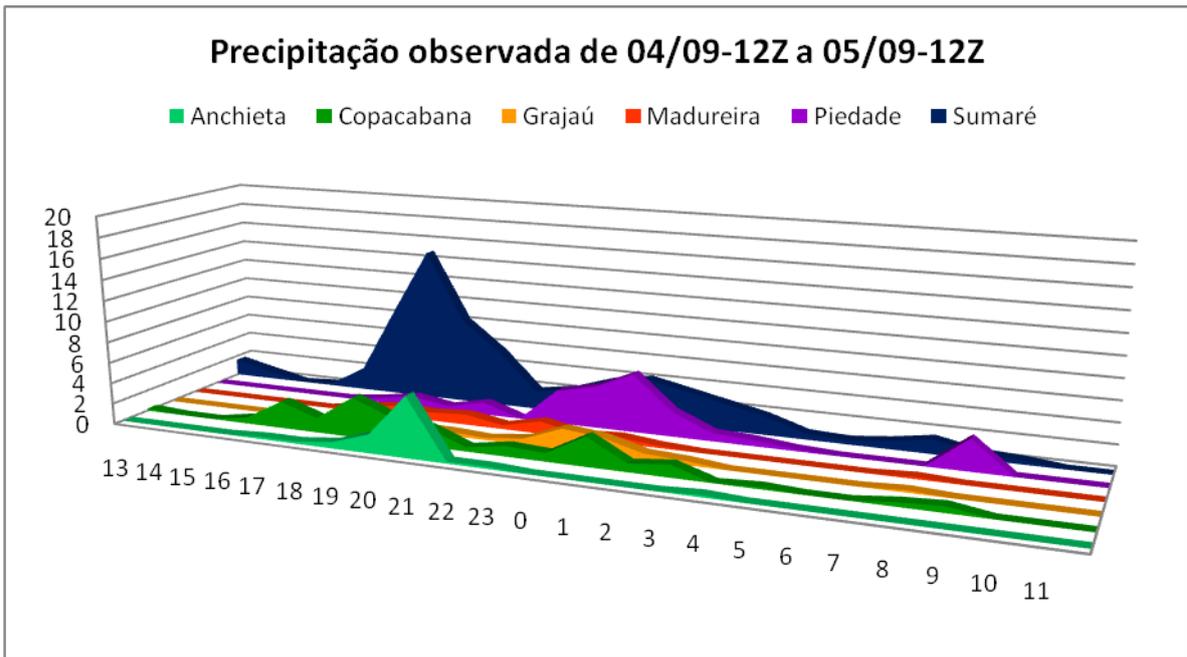


Figura 16: Distribuição temporal da precipitação observada para as estações selecionadas: (a) 20/08 12Z e 21/08 12Z, (b) 21/08 12Z e 22/08 12Z, (c) 22/08 12Z e 23/08 12Z de 2006

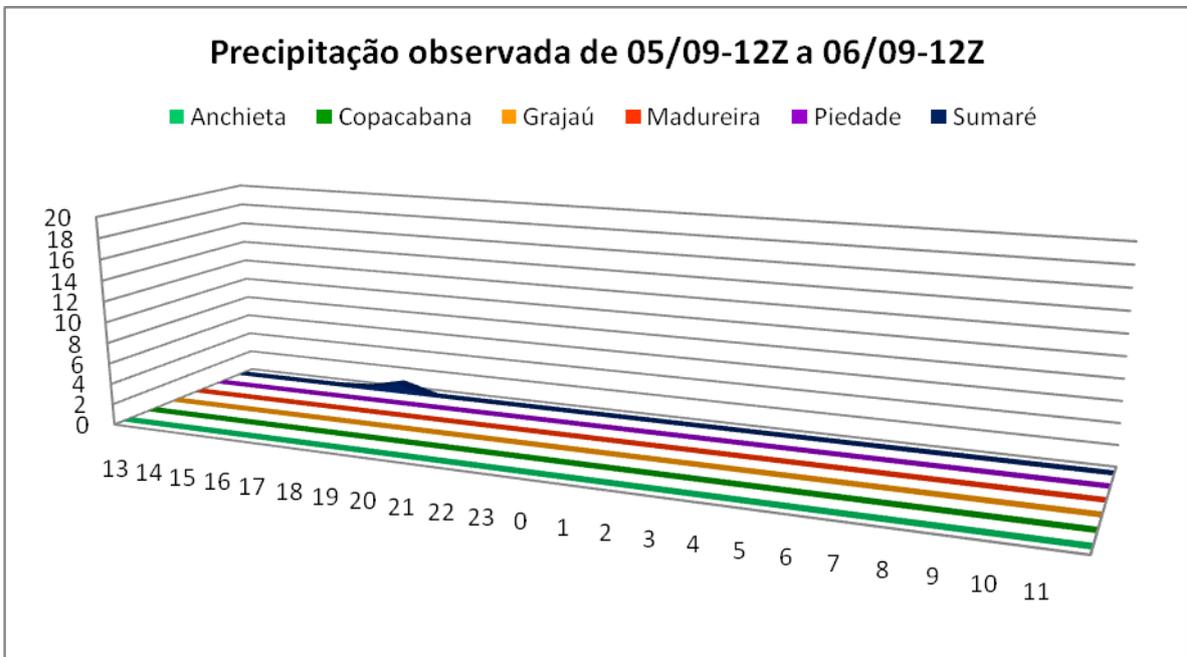
(a) 03/09 12Z e 04/09 12Z



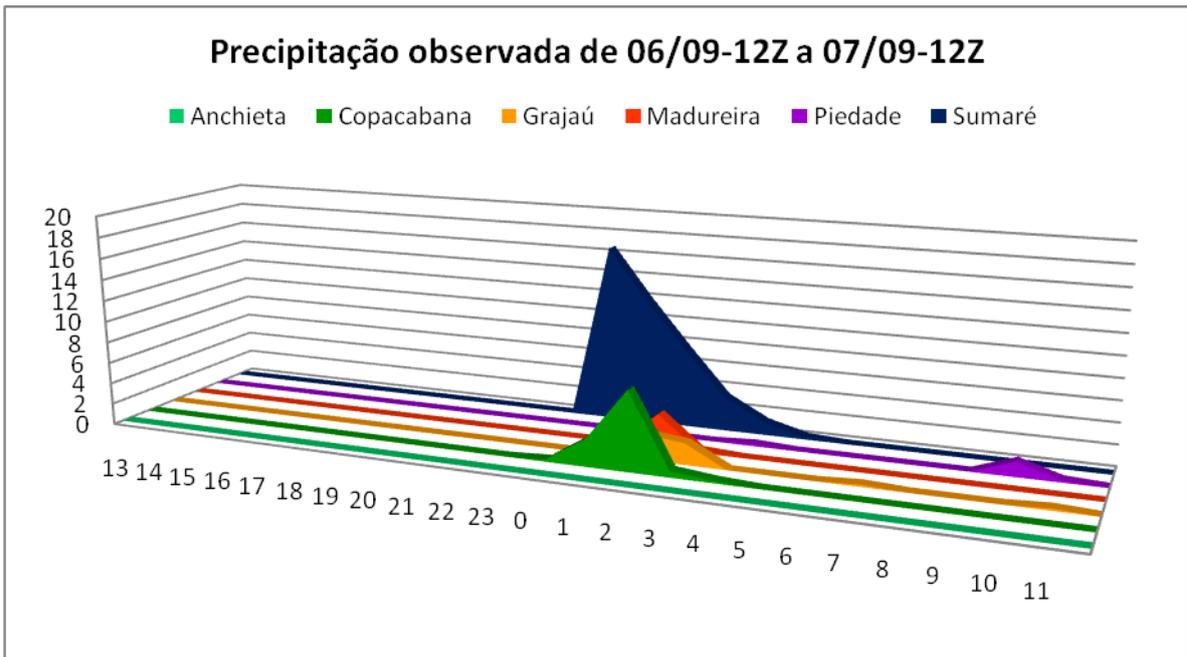
(b) 04/09 12Z e 05/09 12Z de 2006



(c) 05/09 12Z e 06/09 12Z de 2006



(d) 06/09 12Z e 07/09 12Z de 2006



(e) 07/09 12Z e 08/09 12Z de 2006

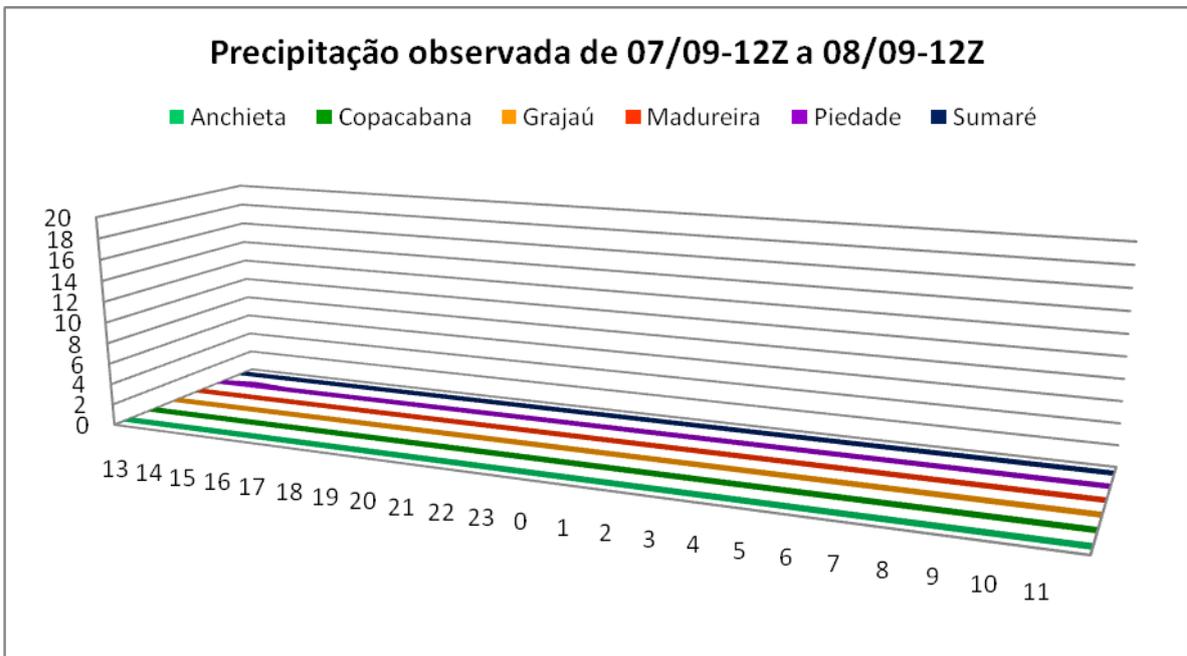


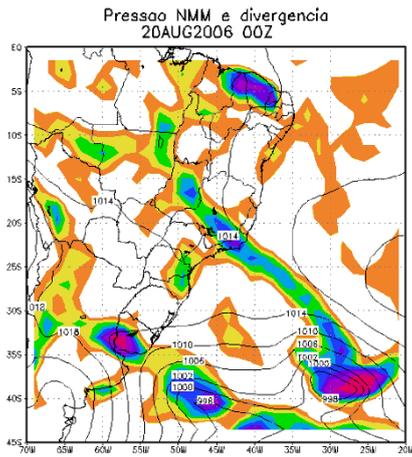
Figura 17: Distribuição temporal da precipitação observada para as estações selecionadas: (a) 03/09 12Z e 04/08 12Z, (b) 04/09 12Z e 05/09 12Z, (c) 05/09 12Z e 06/09 12Z, (d) 06/09 12Z e 07/09 12Z, (e) 07/09 12Z e 08/09 12Z de 2006

4.3 Análise dos campos gerados com o ERA-Interim

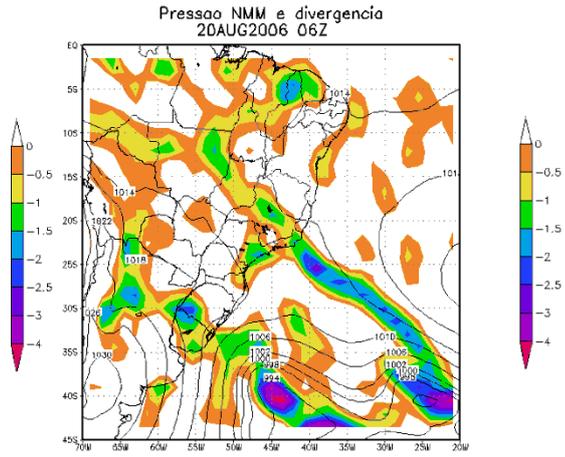
A Figura 18 apresenta os campos de pressão ao nível médio do mar e divergência dos ventos para o caso de agosto de 2006. Nota-se inicialmente que no dia 20 00Z (Figura 18a) há a presença de dois centros de baixa pressão de 998 hPa, um associado ao quinto SF (aproximadamente em 35°S/30°W) e outro associado ao sexto SF, localizado a aproximadamente 40S/47W. A alta migratória da retaguarda do sexto SF, encontrava-se na Argentina com 1022 hPa. Observa-se também a atuação no oceano da Alta do Atlântico Sul entre 35°S e 15°S e 35°W. Nesse período o quinto SF encontra-se entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, enquanto, o sexto SF está sobre o Uruguai. No decorrer do período ocorre inicialmente o aprofundamento dos dois centros de baixa pressão, atingindo 994 hPa no dia 20 06Z (Figura 18b) e o deslocamento para leste do sexto SF e seu ciclone associado, que no dia 21 (Figura 18f) se acoplam ao quinto SF do mês, acentuando as chuvas no município. A alta migratória sobre a Argentina se intensifica e desloca-se também para leste, inicialmente com centro de 1030 hPa (Figura 18b), e finalmente em 22 12Z (Figura 18k) com pressão 1022 hPa, totalmente integrada a Alta do Atlântico Sul.

A região de divergência negativa (convergência) de ventos apresentada na Figura 18 auxilia a localização dos ciclones e SFs. Além disso, é interessante ressaltar que enquanto a alta migratória estava atuando sobre o Rio de Janeiro, mesmo com o SF ao norte da região, foi verificado convergência sobre o município, como pode ser visto, por exemplo no dia 21 18Z (Figura 18h).

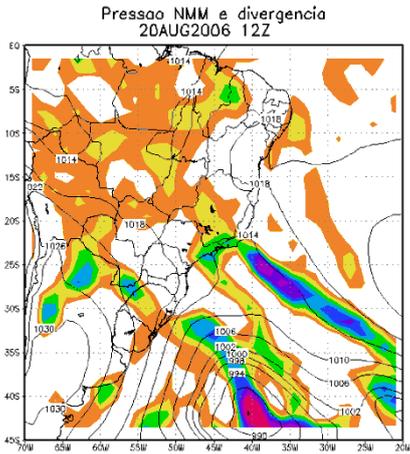
(a) 20/08/2006 – 00Z



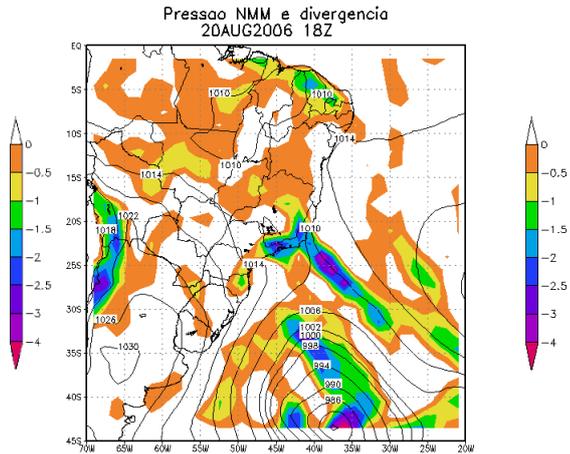
(b) 20/08/2006 – 06Z



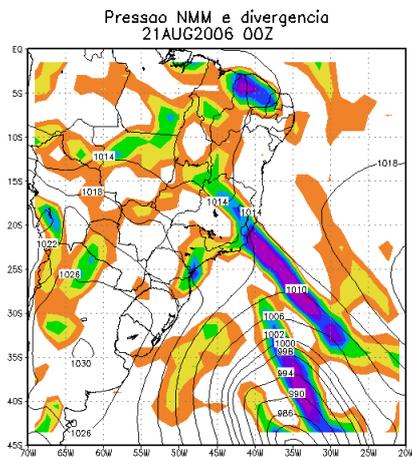
(c) 20/08/2006 – 12Z



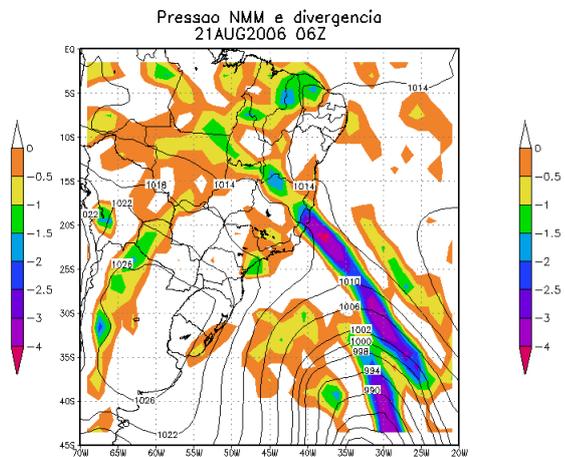
(d) 20/08/2006 – 18Z



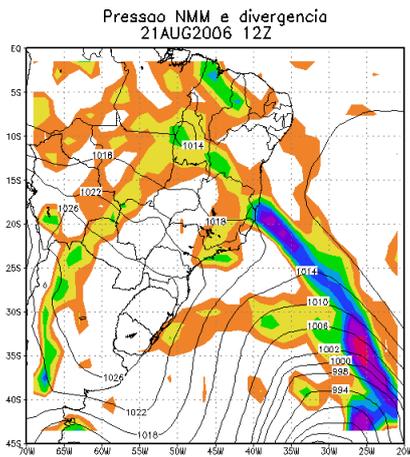
(e) 21/08/2006 – 00Z



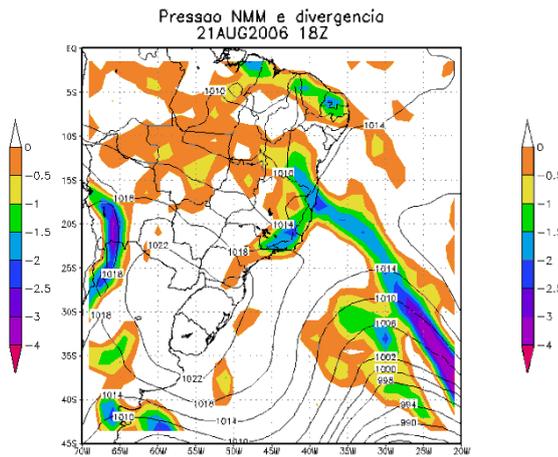
(f) 21/08/2006 – 06Z



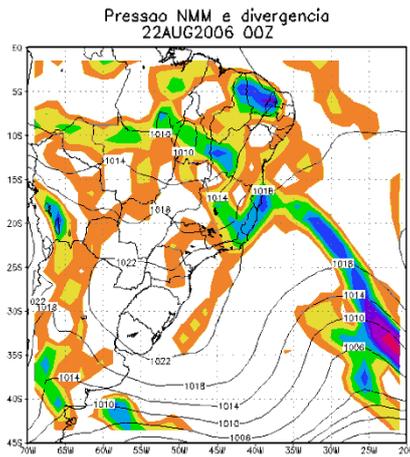
(g) 21/08/2006 – 12Z



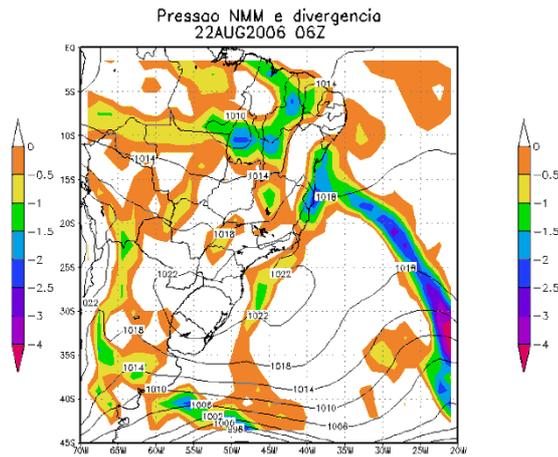
(h) 21/08/2006 – 18Z



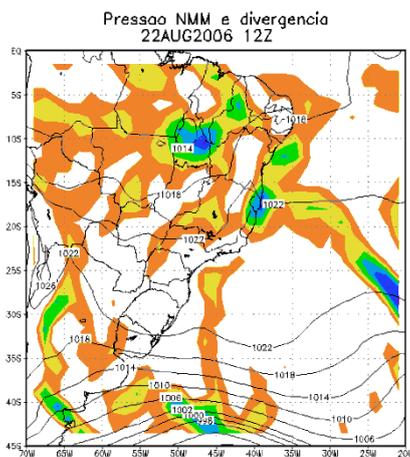
(i) 22/08/2006 – 00Z



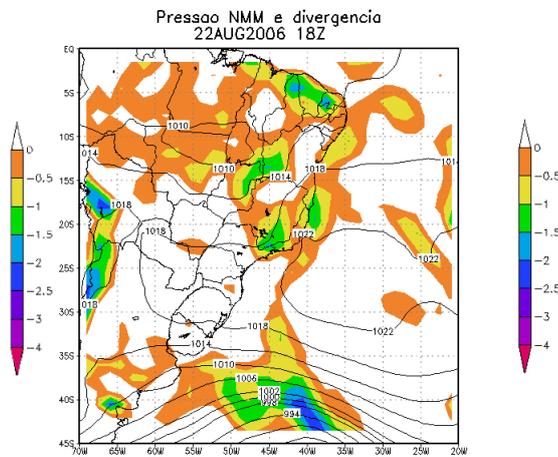
(j) 22/08/2006 – 06Z



(k) 22/08/2006 – 12Z



(l) 22/08/2006 – 18Z



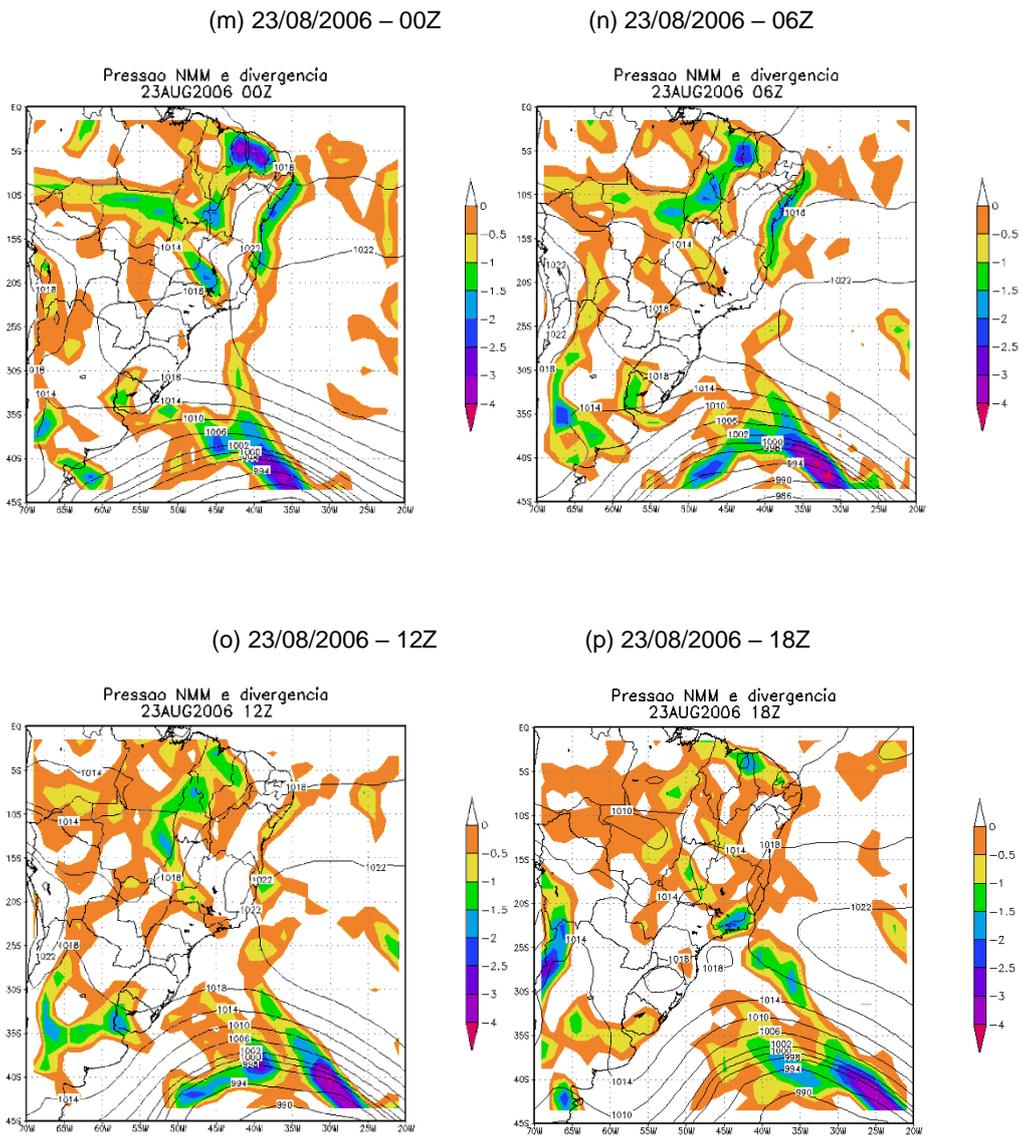
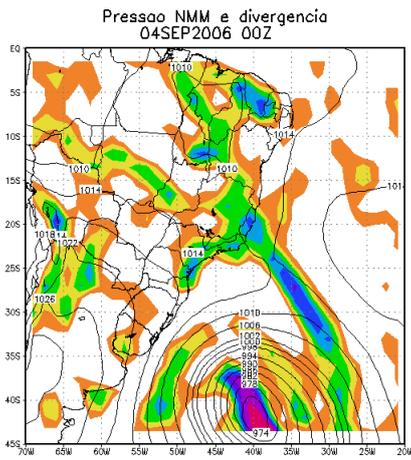


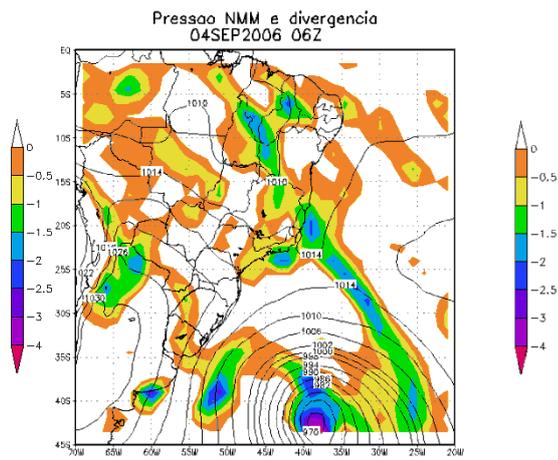
Figura 18: campo composto por pressão ao nível médio do mar (linha contínua) com a divergência do vento (sombreado): (a)20/08/2006-00 Z, (b)20/08/2006-06Z, (c)20/08/2006-12Z, (d)20/08/2006-18Z, (e)21/08/2006-00Z, (f) 21/08/2006-06Z, (g)21/08/2006-12Z, (h)21/08/2006-18Z, (i)22/08/2006-00Z, (j)22/08/2006-06Z, (k)22/08/2006-12Z, (l)22/08/2006-18Z,(m) 23/08/2006-00Z, (n)23/08/2006-06Z, (o)23/08/2006-12Z, (p)23/08/2006-18Z

Os campos de pressão ao NMM e divergência dos ventos para o caso de setembro de 2006 é apresentado na Figura 19. No dia 4 as 00Z (Figura 19a) havia um centro ciclônico de 974h Pa em aproximadamente 40S/40W, associado ao primeiro SF do mês de setembro. A alta migratória da retaguarda deste SF encontrava-se com 1030 hPa no oeste da Argentina. Nota-se também na Figura 19a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul com pressão de 1018 hPa. Durante o período em estudo nota-se que ocorre o aprofundamento do ciclone e seu deslocamento para leste, contudo o SF associado (primeiro do mês) continua a atuar, apesar de deslocado para norte em relação ao Rio de Janeiro. A alta migratória fica atuando sobre o Rio de Janeiro desde o dia 05 de setembro às 06Z Figura 19f até 07 de setembro às 18Z, Figura 19p, promovendo ventos de quadrante sul (como será visto a seguir). A região de convergência associada ao SF permanece estabelecida durante todo o período. No Rio de Janeiro nota-se que após o deslocamento do SF para norte, a convergência fica fraca, chegando a verificar-se divergência sobre o município e a seguir, voltando a ocorrer convergência dos ventos quando a chuva pós-frontal começa (dia 06 18Z - Figura 19l).

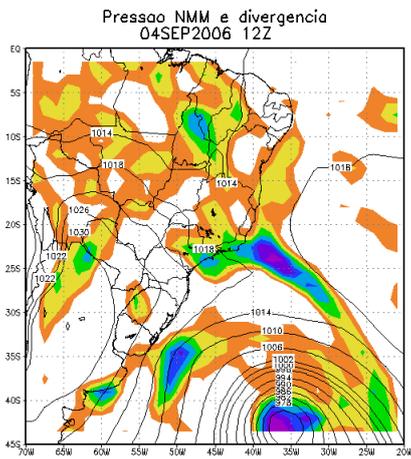
(a) 04/09/2006 – 00Z



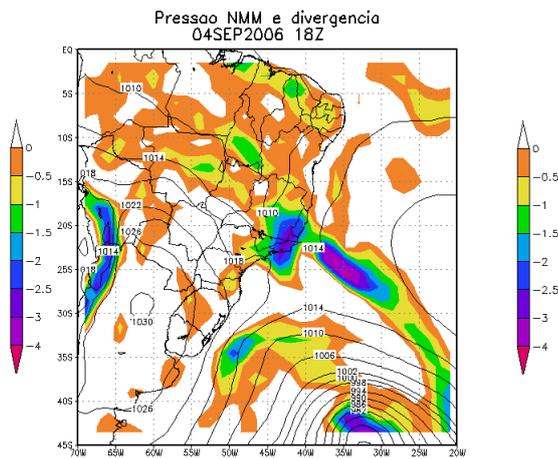
(b) 04/09/2006 – 06Z



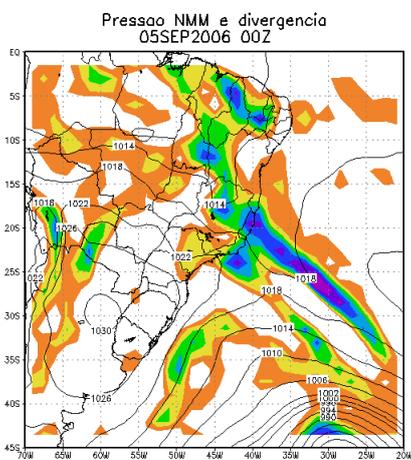
(c) 04/09/2006 – 12Z



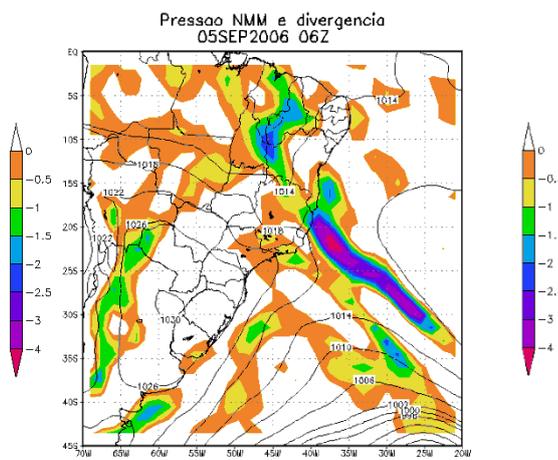
(d) 04/09/2006 – 18Z



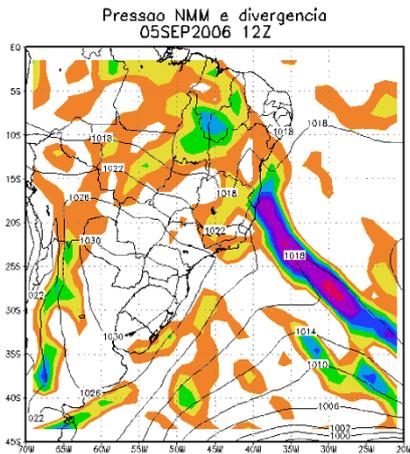
(e) 05/09/2006 – 00Z



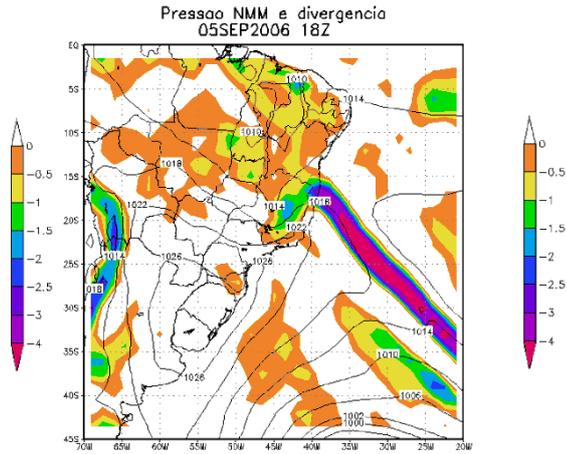
(f) 05/09/2006 – 06Z



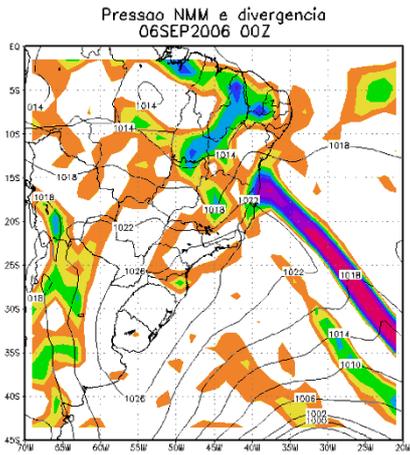
(g) 05/09/2006 – 12Z



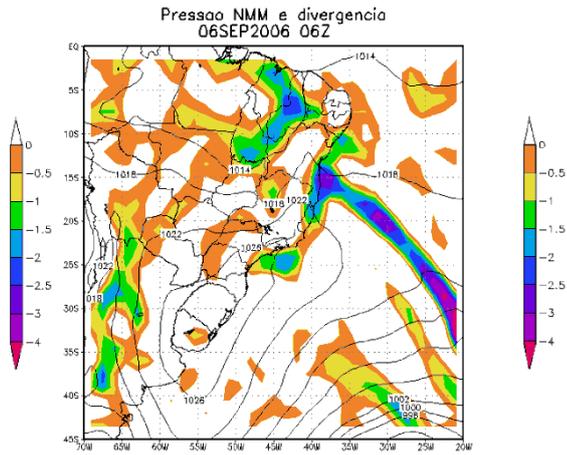
(h) 05/09/2006 – 18Z



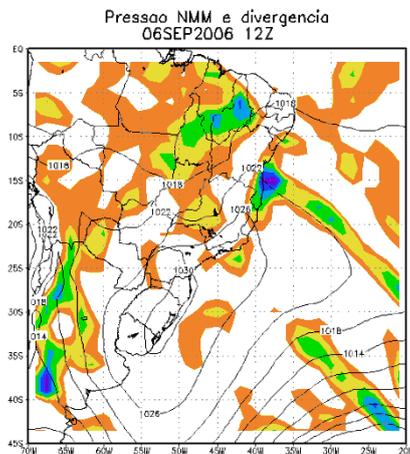
(i) 06/09/2006 – 00Z



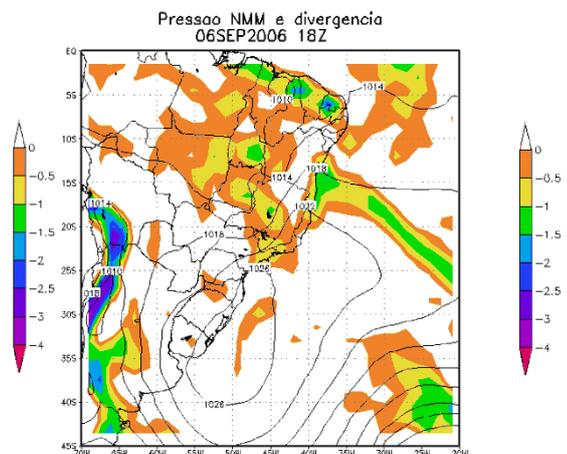
(j) 06/09/2006 – 06Z



(k) 06/09/2006 – 12Z



(l) 06/09/2006 – 18Z



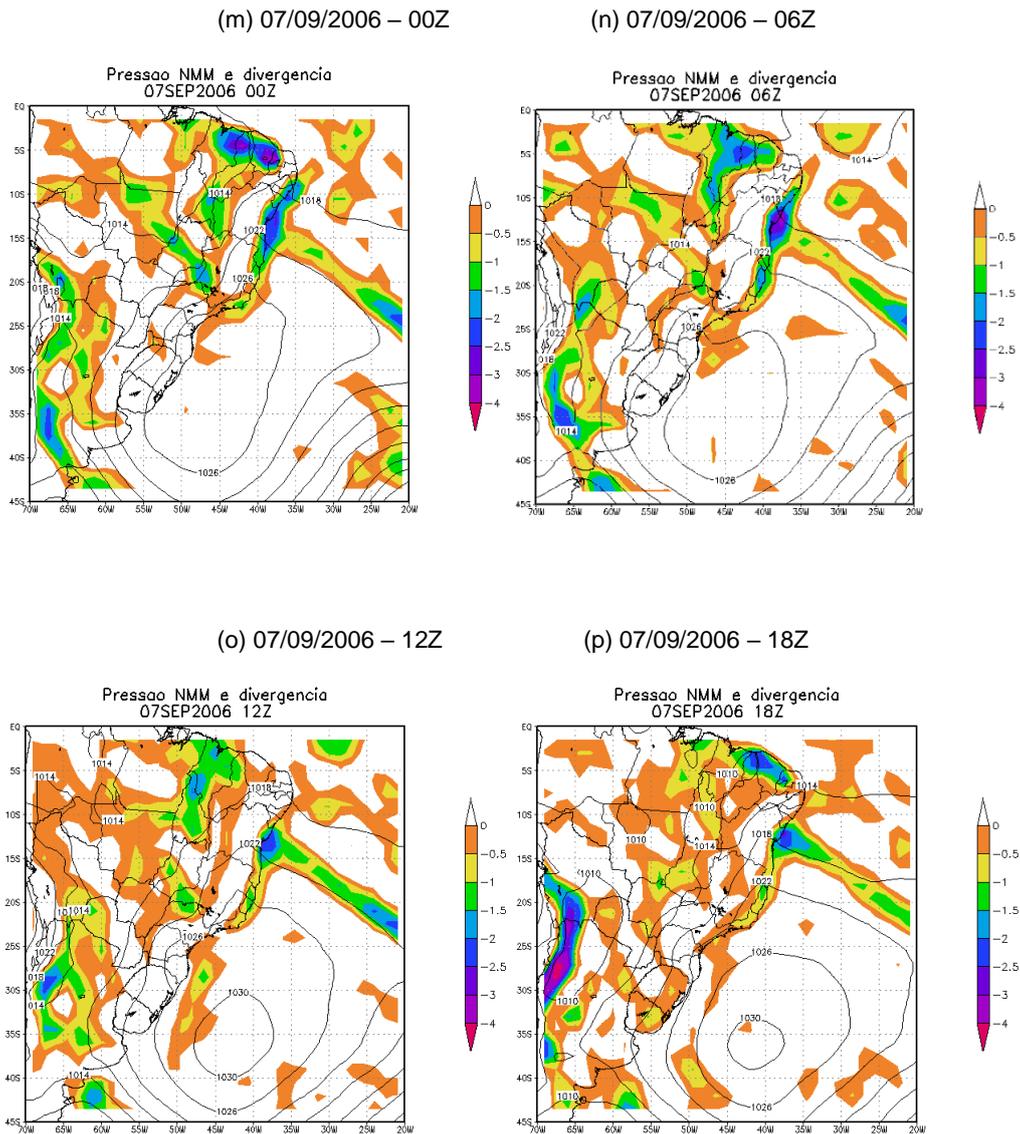


Figura 19: Campo composto por pressão ao nível médio do mar (linha contínua) com a divergência do vento (sombreado): (a)04/09/2006 –00 Z, (b)04/09/2006 –06 Z, (c)04/09/2006 – 12Z, (d)04/09/2006 –18 Z, (e)05/09/2006 – 00 Z, (f)05/09/2006 – 06Z, (g)05/09/2006 –12Z, (h)05/09/2006–18Z, (i)06/09/2006 – 00Z, (j)06/09/2006 – 06Z, (k)06/09/2006 -12Z,(l)06/09/2006–18Z,(m) 07/09/2006 – 00Z, (n)07/08/2006 – 06Z, (o)07/09/2006 – 12Z,(p)07/09/2006 – 18Z

A Figura 20 apresenta os campos de movimento vertical (ω) e linhas de corrente em 1000 hPa para o caso de agosto de 2006.

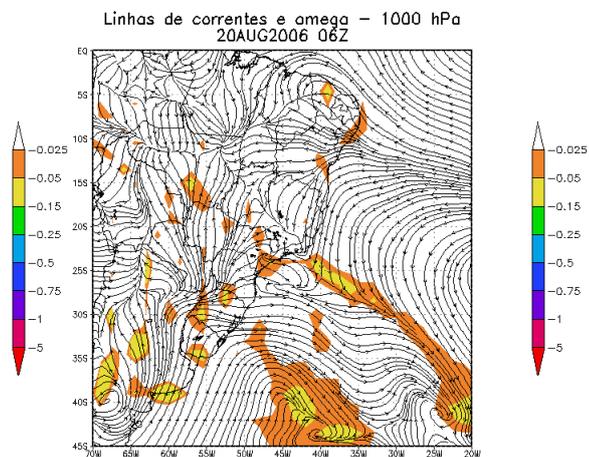
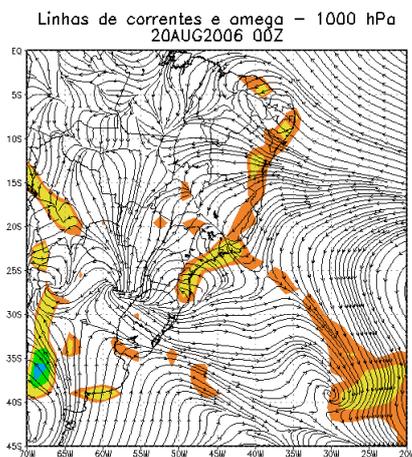
Nota-se que sobre as regiões frontais predomina movimento ascendente fraco, como esperado neste nível, contudo é interessante notar que ao longo

do litoral das Regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, este movimento ascendente está presente predominantemente quando os ventos (representados pelas linhas de corrente) atingem o litoral perpendicularmente. Nos horários posteriores a passagem do SF pela região do Rio de Janeiro, existia fraco movimento ascendente no litoral, contudo, provavelmente o baixo teor de umidade relativa não foi suficiente para provocar precipitação na região em estudo.

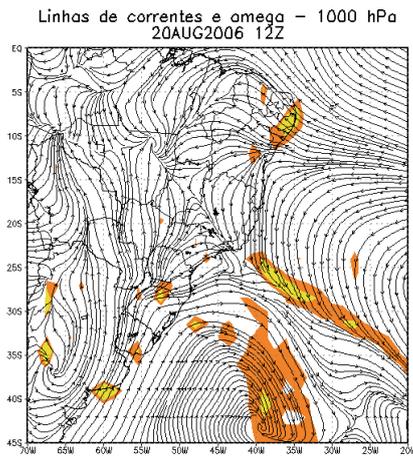
Pelas linhas de corrente, nota-se que os ventos atingem o Rio de Janeiro proveniente de quadrante sul a medida que a alta migratória se desloca para leste, contudo rapidamente os ventos no Rio de Janeiro, passam a soprar de leste, o que ocorre a partir do dia 22 18Z (Figura 20k).

(a) 20/08/2006 – 00Z

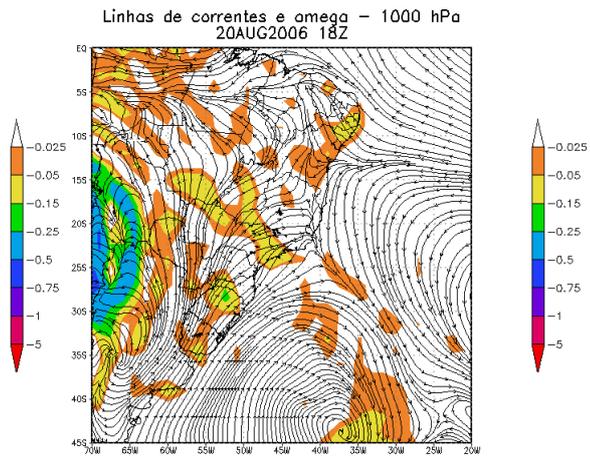
(b) 20/08/2006 – 06Z



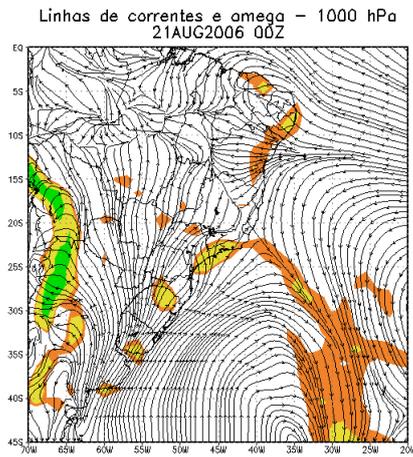
(c) 20/08/2006 – 12Z



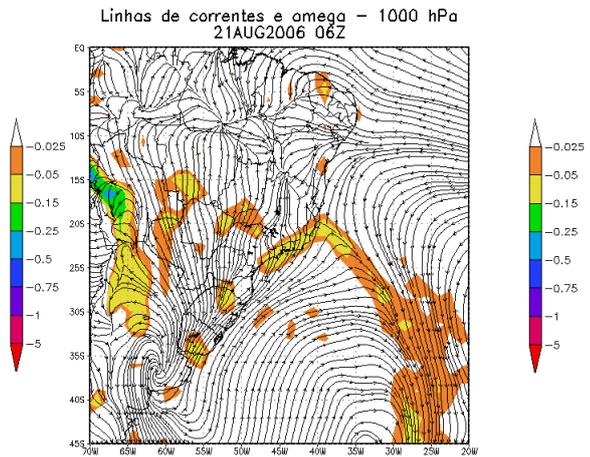
(d) 20/08/2006 – 18Z



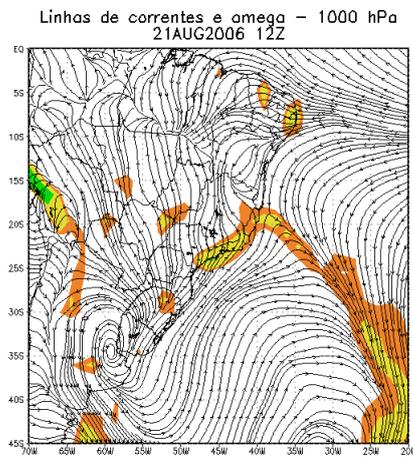
(e) 21/08/2006 – 00Z



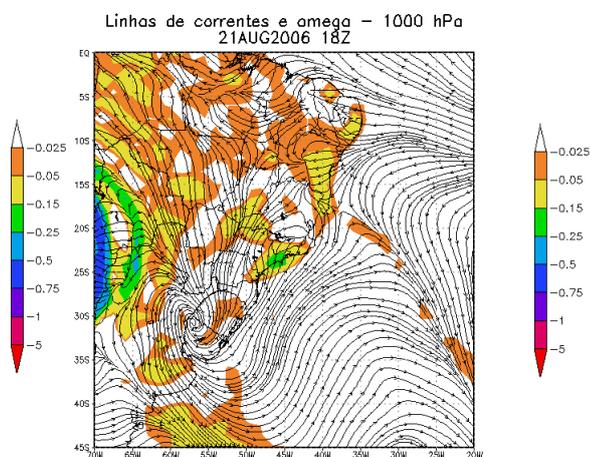
(f) 21/08/2006 – 06Z



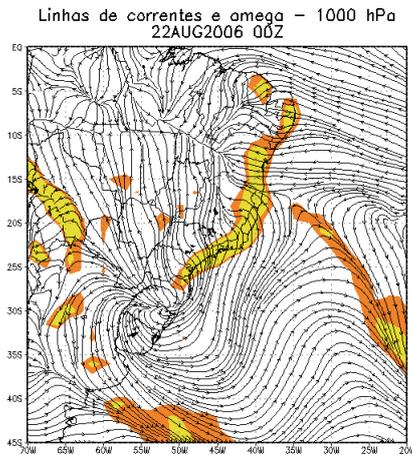
(g) 21/08/2006 – 12Z



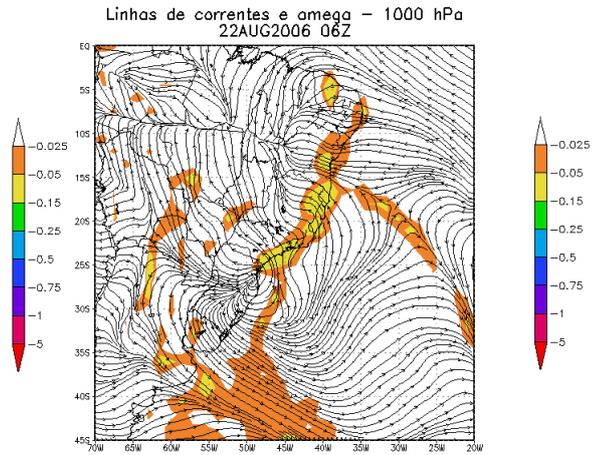
(h) 21/08/2006 – 18Z



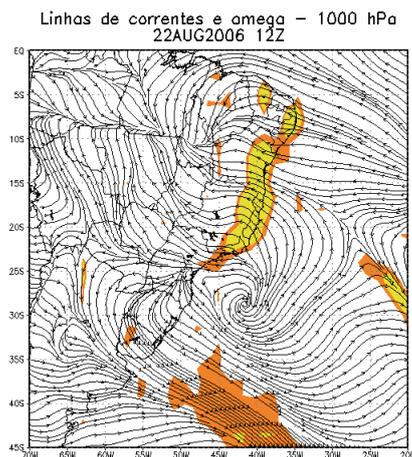
(i) 22/08/2006 – 00Z



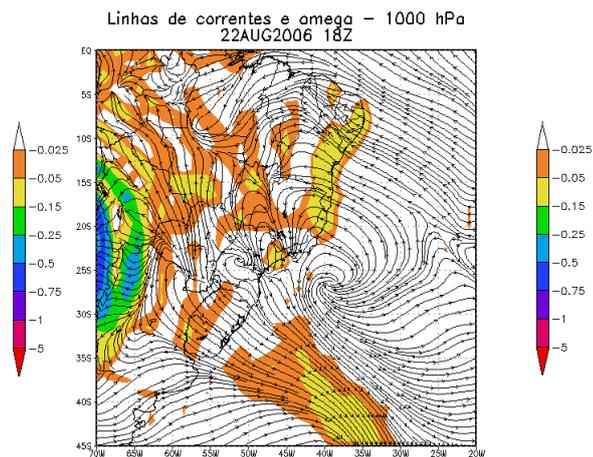
(j) 22/08/2006 – 06Z



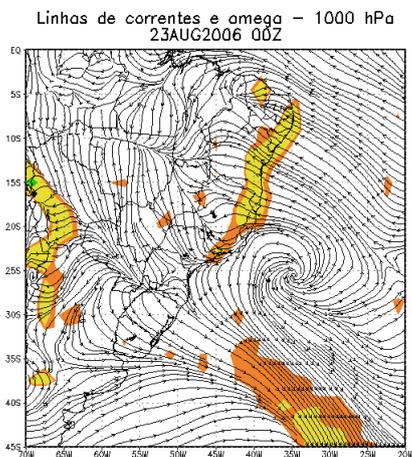
(k) 22/08/2006 – 12Z



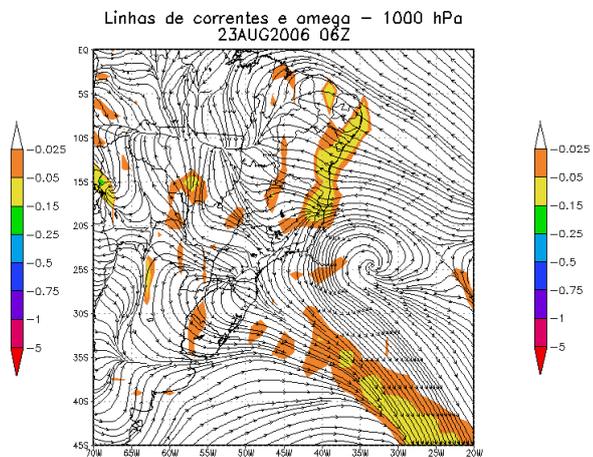
(l) 22/08/2006 – 18Z



(m) 23/08/2006 – 00Z



(n) 23/08/2006 – 06Z



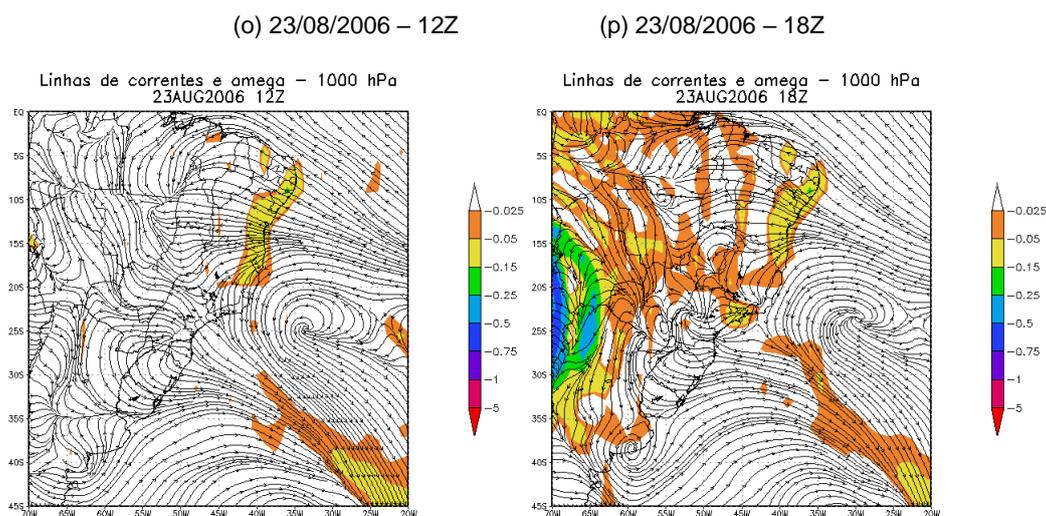
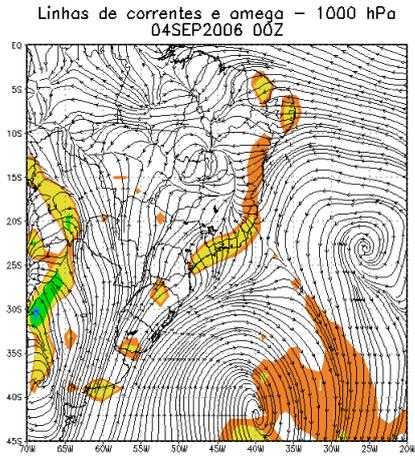


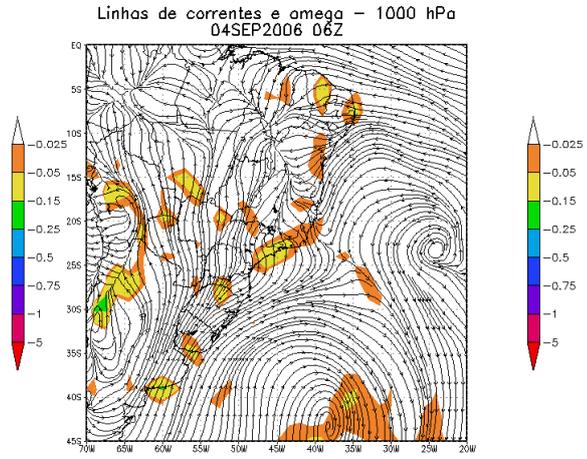
Figura 20: campo composto por linhas de corrente (linha contínua) com Omega (sombreado): (a)20/08/2006–00Z, (b)20/08/2006–06Z, (c)20/08/2006–12Z, (d)20/08/2006–18Z, (e)21/08/2006–00Z, (f)21/08/2006–06Z, (g)21/08/2006–12Z, (h)21/08/2006–18Z, (i)22/08/2006–00Z, (j)22/08/2006 –06Z, (k)22/08/2006 – 12Z, (l)22/08/2006–18Z,(m) 23/08/2006 – 00Z, (n)23/08/2006– 06Z, (o)23/08/2006 – 12Z,(p)23/08/2006 –18Z

Para o caso de setembro de 2006 os campos de movimento vertical (omega) e linhas de corrente em 1000 hPa são apresentados na *Figura 21*. Nota-se que o movimento ascendente também é fraco neste caso, quando comparado com os valores tipicamente observados em 500 hPa, contudo a convergência é superior aos valores obtidos no caso de agosto de 2006. É interessante também notar que no dia 06 as 18Z (*Figura 2 I*), com a alta migratória sobre o oceano, ao sul do Rio Grande do Sul, gerando ventos de sul que atingem a costa do Rio de Janeiro perpendicularmente, nota-se intensificação do movimento ascendente. Este horário é justamente o de reinício da precipitação no município do Rio de Janeiro.

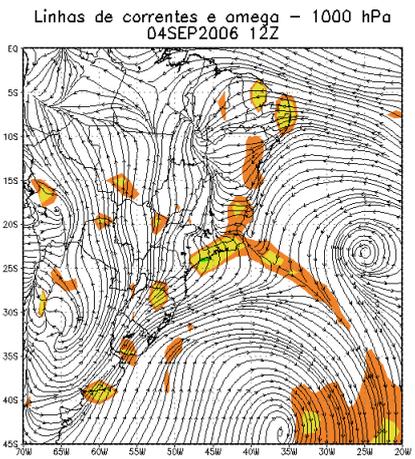
(a) 04/09/2006 – 00Z



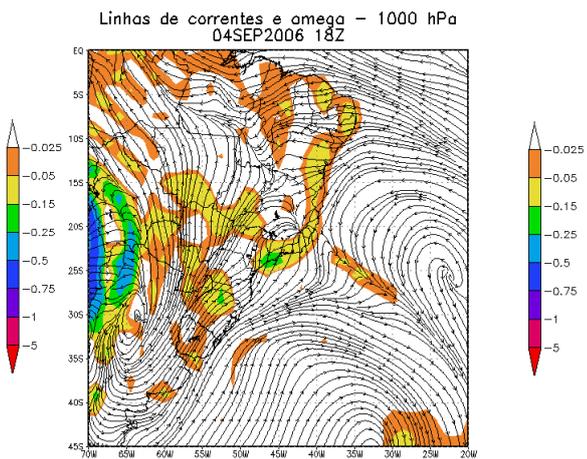
(b) 04/09/2006 – 06Z



(c) 04/09/2006 – 12Z

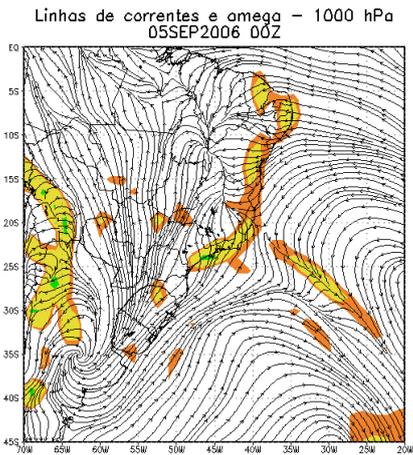


(d) 04/09/2006 – 18Z

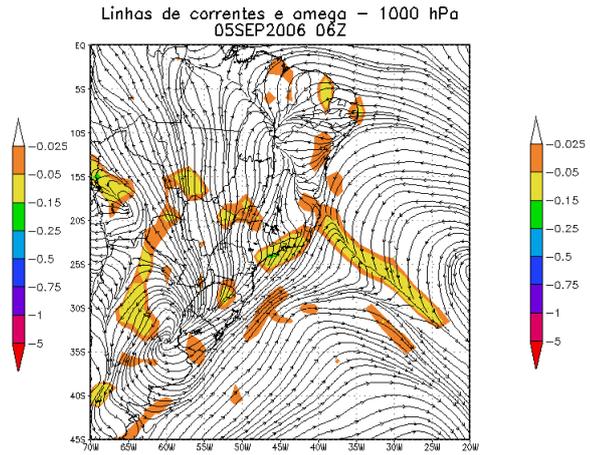


(e) 05/09/2006 – 00Z

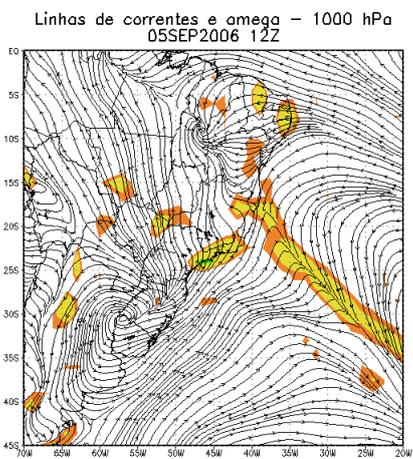
(f) 05/09/2006 – 06Z



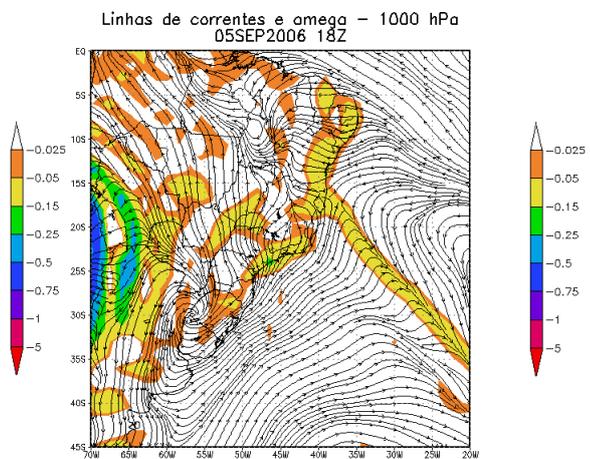
(g) 05/09/2006 - 12Z



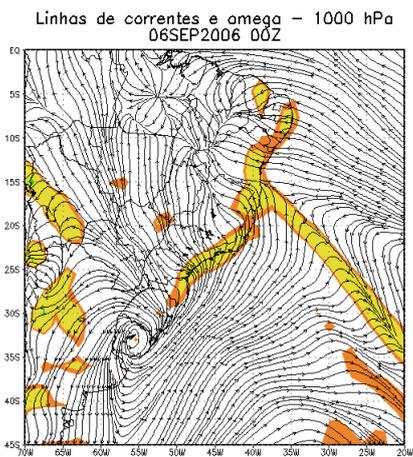
(h) 05/09/2006 - 18Z



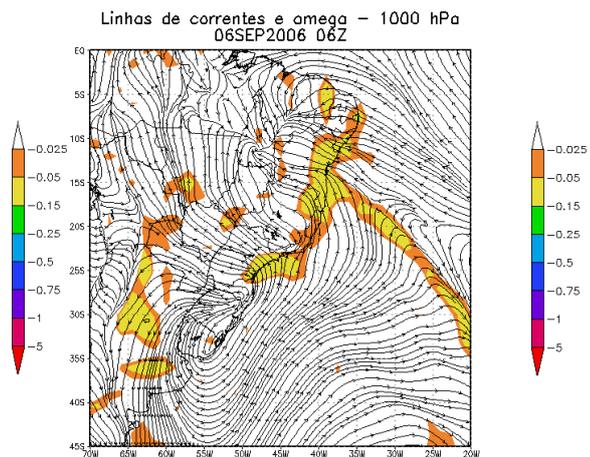
(i) 06/09/2006 - 00Z



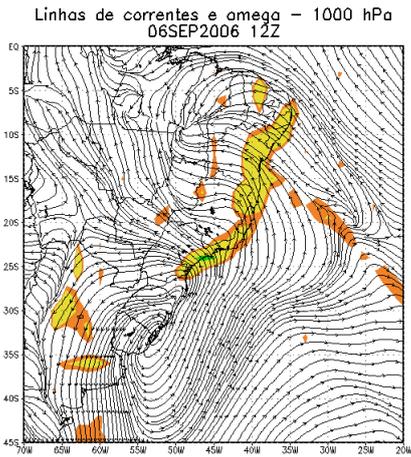
(j) 06/09/2006 - 06Z



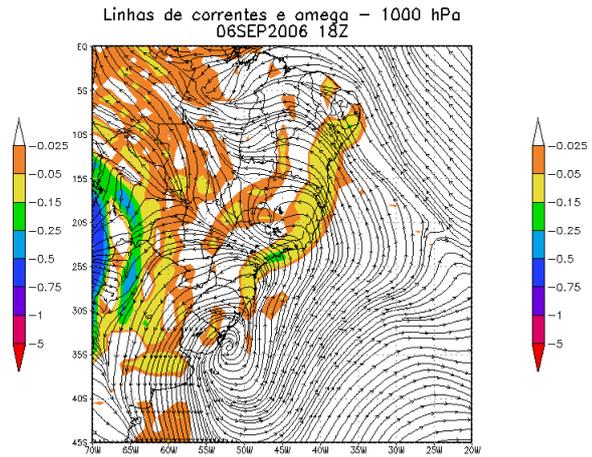
(k) 06/09/2006 - 00Z



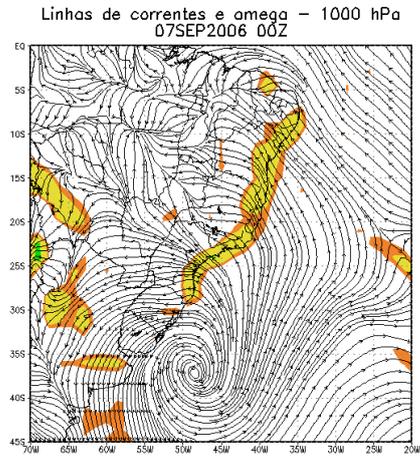
(l) 06/09/2006 - 18Z



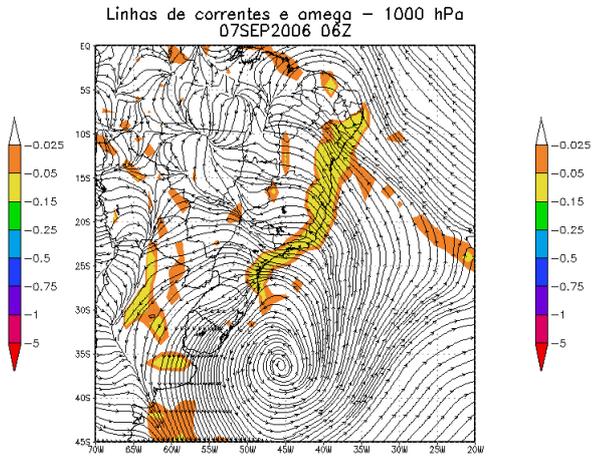
(m) 07/09/2006 - 00Z



(n) 07/09/2006 - 06Z



(o) 07/09/2006 - 12Z



(p) 07/09/2006 - 18Z

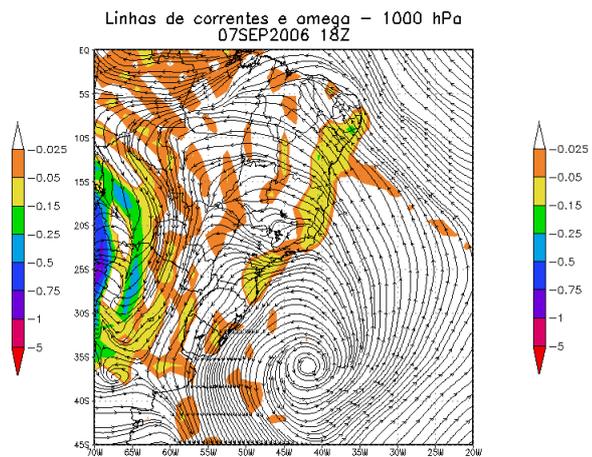
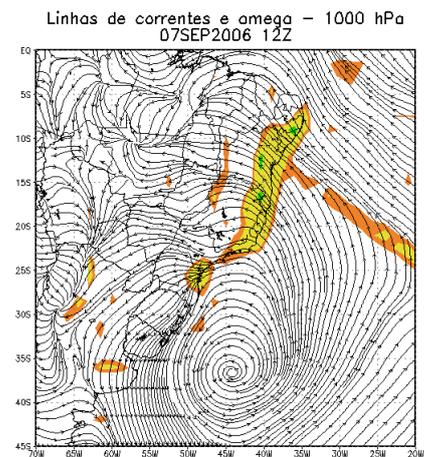
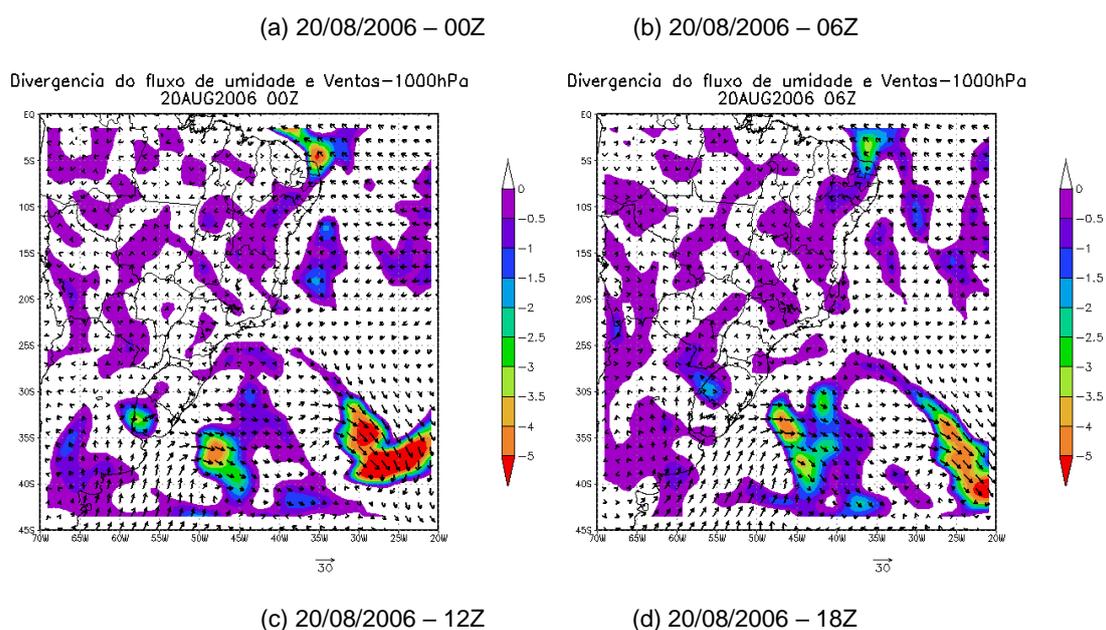
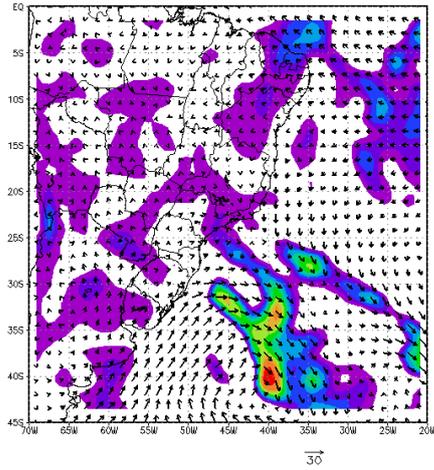


Figura 21: campo composto por linhas de corrente (linha contínua) com omega (sombreado): (a) 04/09/2006 – 00 Z, (b) 04/09/2006 – 06 Z, (c) 04/09/2006 – 12 Z, (d) 04/09/2006 – 18 Z, (e) 05/09/2006 – 00 Z, (f) 05/09/2006 – 06Z, (g) 05/09/2006 – 12Z, (h) 05/09/2006 – 18Z, (i) 06/09/2006 – 00Z, (j) 06/09/2006 – 06Z, (k) 06/09/2006 – 12Z, (l) 06/09/2006 – 18Z, (m) 07/09/2006 – 00Z, (n) 07/08/2006 – 06Z, (o)07/09/2006 – 12Z, (p) 07/09/2006 – 18Z

Os campos (Figura 22) a seguir mostram a divergência do fluxo de umidade e a direção do vento em 1000h Pa para o evento do mês de Agosto. Cabe ressaltar que os valores negativos neste campo representam convergência de umidade. Observa-se que nesse período não há convergência de umidade no início do dia 20 (Figura 22a e Figura 22b). Com a proximidade do sexto SF deste mês e seu acoplamento ao quinto SF que se encontrava sobre o Rio de Janeiro, ocorre convergência (Figura 22c). Nota-se que os maiores índices de convergência de umidade são registrados na região do ciclone associado ao SF. Na Figura 22 I, há divergência sobre a cidade do Rio de Janeiro. A partir deste período, apesar de muito fraca, volta à convergência sobre a cidade (Figura 22 m até Figura 22 p).

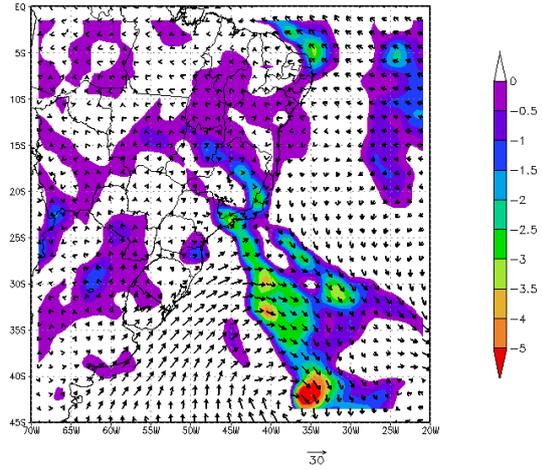


Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
20AUG2006 12Z



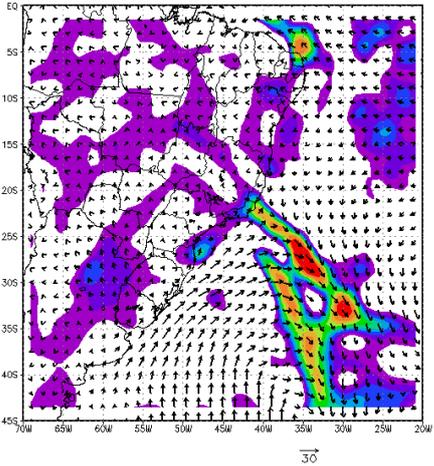
(e) 21/08/2006 – 00Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
20AUG2006 18Z



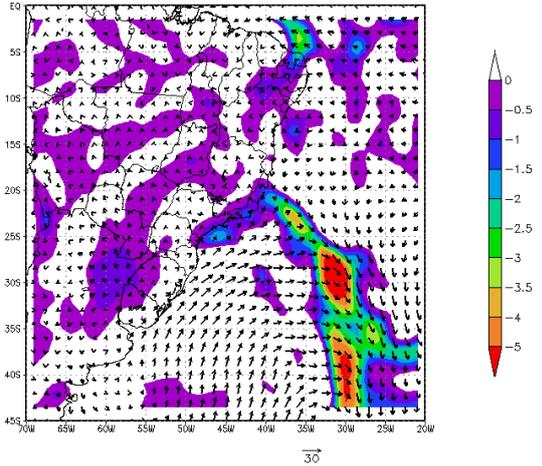
(f) 21/08/2006 – 06Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
21AUG2006 00Z



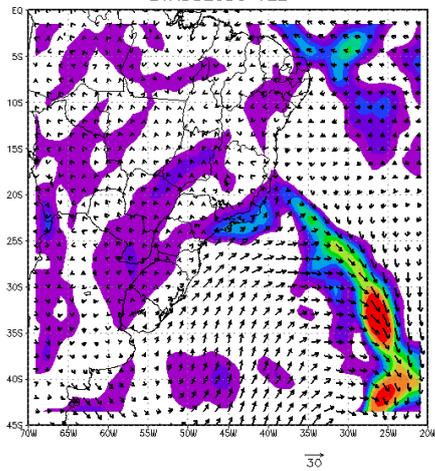
(g) 21/08/2006 – 12Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
21AUG2006 06Z

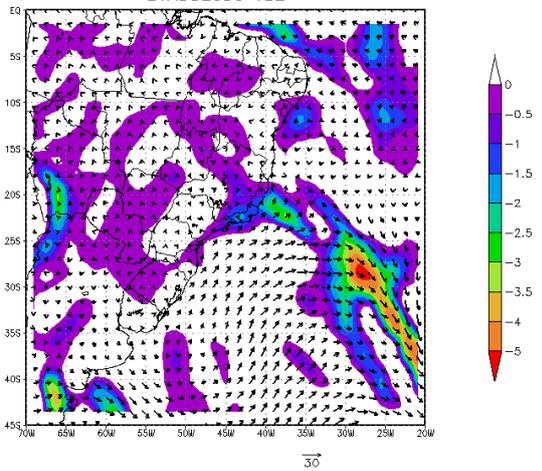


(h) 21/08/2006 – 18Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
21AUG2006 12Z

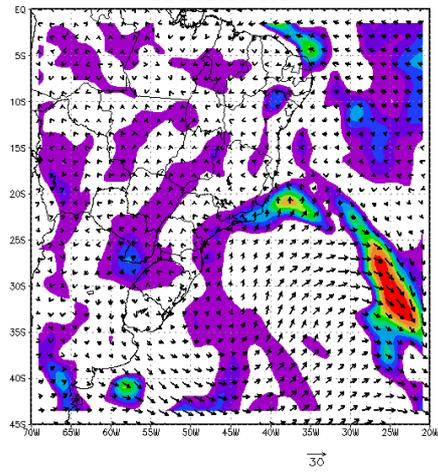


Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
21AUG2006 18Z



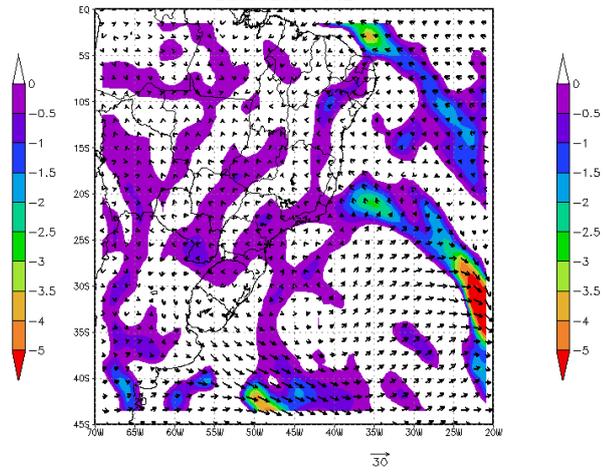
(i) 22/08/2006 – 00Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
22AUG2006 00Z



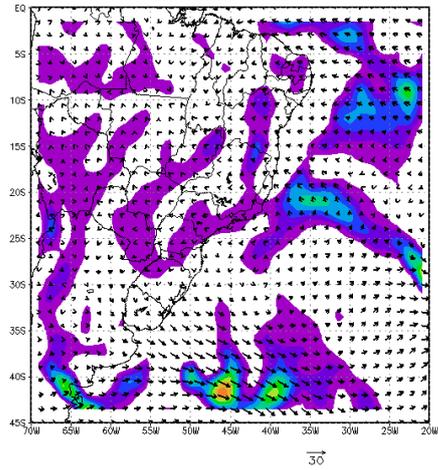
(j) 22/08/2006 – 06Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
22AUG2006 06Z



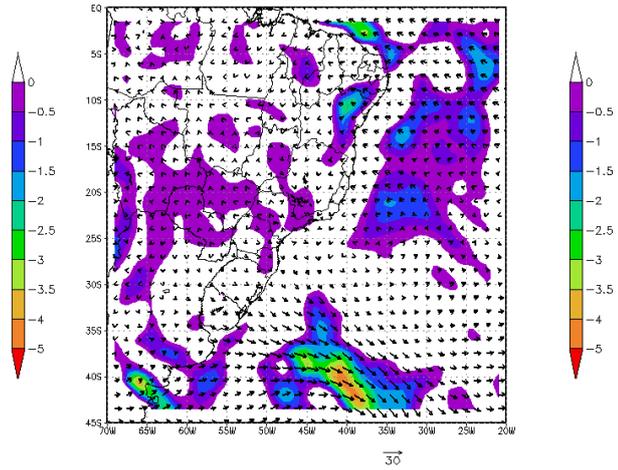
(k) 22/08/2006 – 12Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
22AUG2006 12Z



(l) 22/08/2006 – 18Z

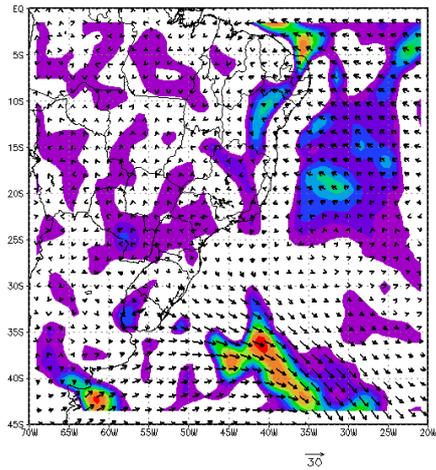
Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
22AUG2006 18Z



(m) 23/08/2006 – 00Z

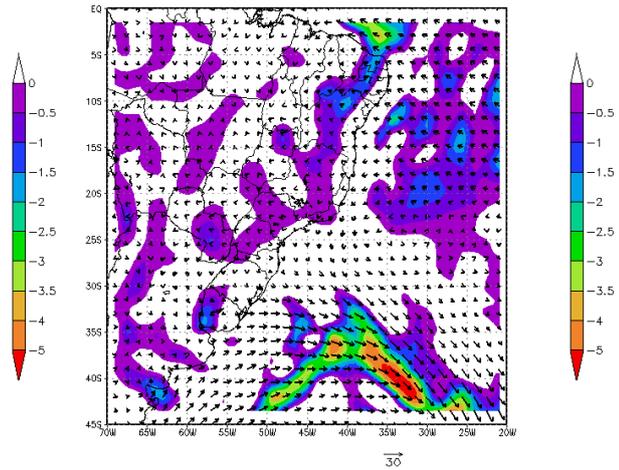
(n) 23/08/2006 – 06Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
23AUG2006 00Z



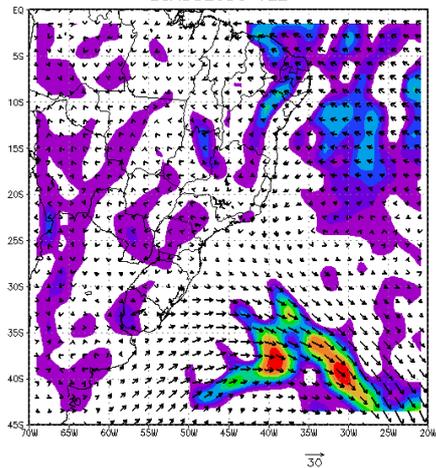
(o) 23/08/2006 – 12Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
23AUG2006 06Z



(p) 23/08/2006 – 18Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
23AUG2006 12Z



Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
23AUG2006 18Z

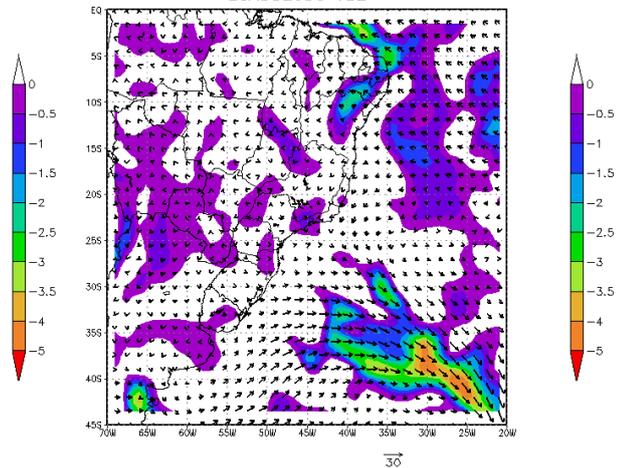


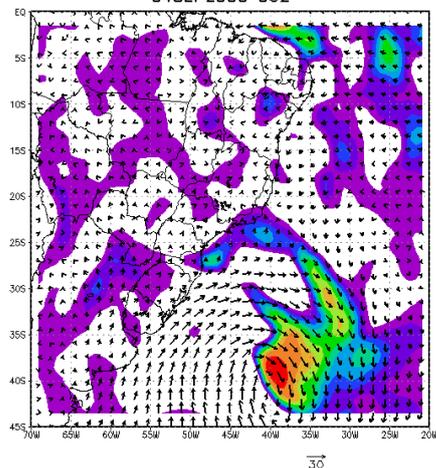
Figura 22: Campo composto por Ventos (vetor) com a divergência do fluxo de umidade (sombreado): (a)20/08/2006-00Z, (b)20/08/2006-06Z, (c)20/08/2006-12Z, (d)20/08/2006-18Z, (e)21/08/2006-00 Z, (f)21/08/2006-06Z, (g)21/08/2006-12Z, (h)21/08/2006 -18Z, (i)22/08/2006 - 00Z, (j)22/08/2006-06Z, (k)22/08/2006-12Z,(l)22/08/2006 - 18Z, (m) 23/08/2006-00Z, (n)23/08/2006-06Z, (o)23/08/2006-12Z,(p)23/08/2006-18Z.

Para o mês de setembro como mostra a Figura 23, a convergência do fluxo de umidade é mais intensa que o mês de Agosto. Novamente, sobre a região do ciclone e do seu SF associado são observados os maiores índices. Na região do município do Rio de Janeiro, observa-se convergência desde a passagem do SF em 04 00Z, Figura 23 a, até 07 00Z (Figura 23m). Neste caso do mês de setembro de 2006 a convergência sobre a cidade foi mais intensa que a registrada no caso do mês de Agosto. Nota-se também que no período do reinício da chuva sobre a cidade havia convergência de umidade (Figura 23l).

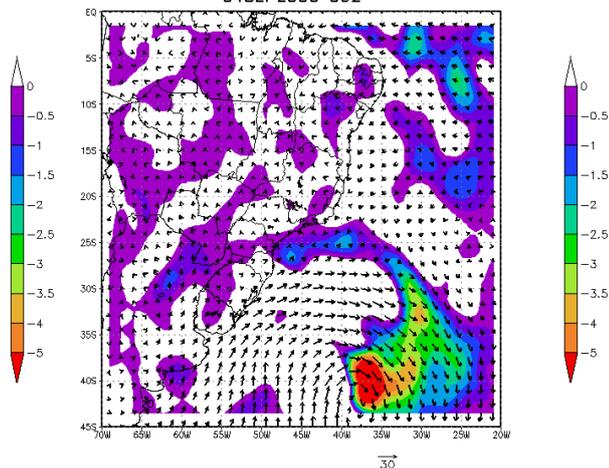
(a) 04/09/2006 – 00Z

(b) 04/09/2006 – 06Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventos-1000hPa
04SEP2006 00Z



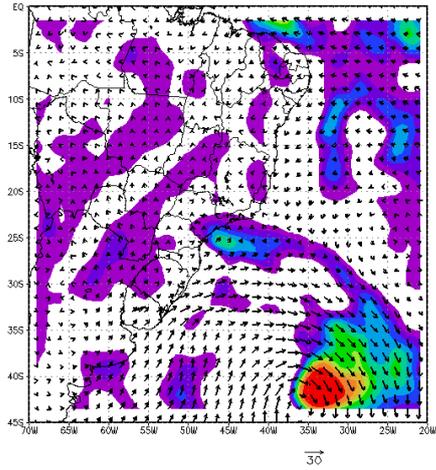
Divergência do fluxo de umidade e Ventos-1000hPa
04SEP2006 06Z



(c) 04/09/2006 – 12Z

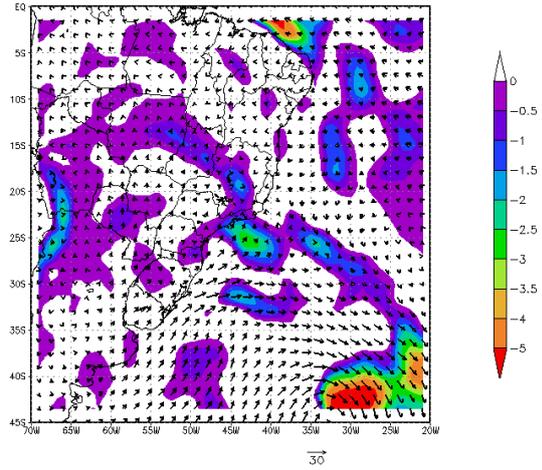
(d) 04/09/2006 – 18Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
04SEP2006 12Z



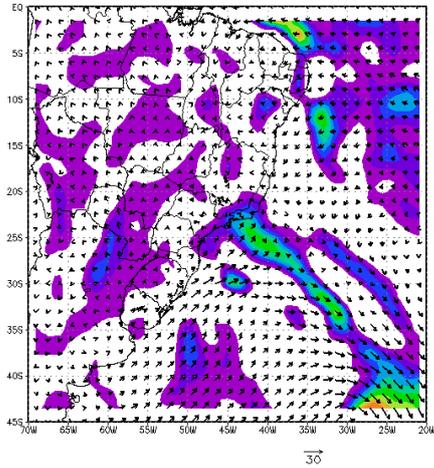
(e) 05/09/2006 - 00Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
04SEP2006 18Z



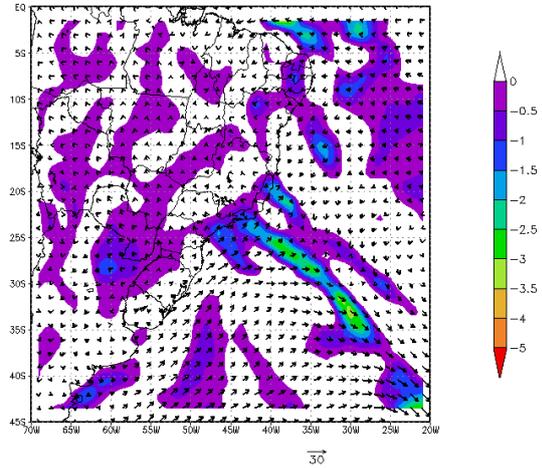
(f) 05/09/2006 - 06Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
05SEP2006 00Z



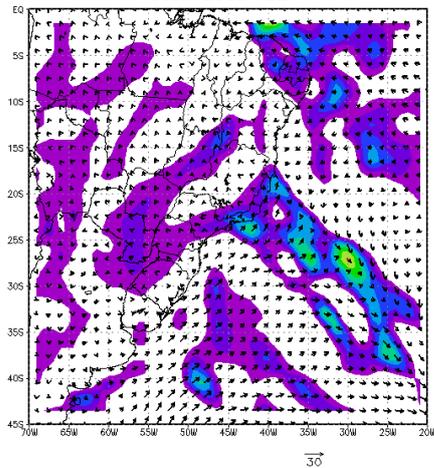
(g) 05/09/2006 - 12Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
05SEP2006 06Z



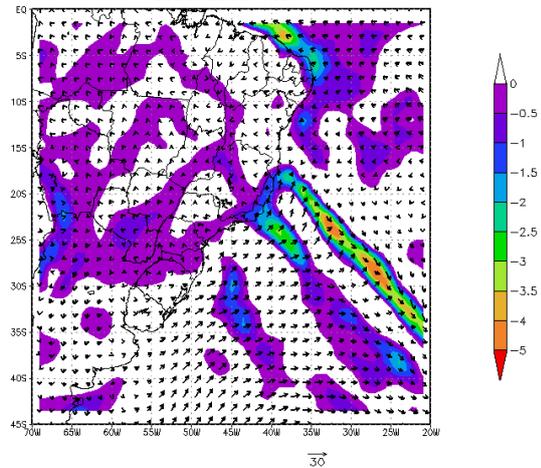
(h) 05/09/2006 -18Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
05SEP2006 12Z



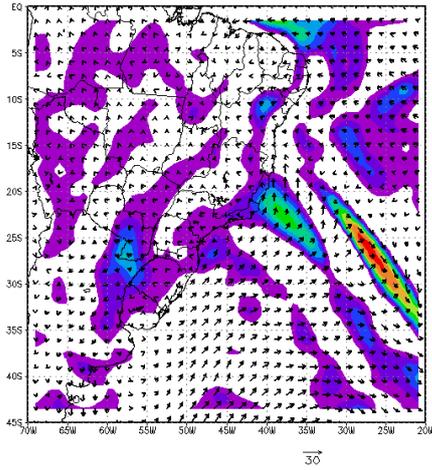
(i) 06/09/2006 - 00Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
05SEP2006 18Z



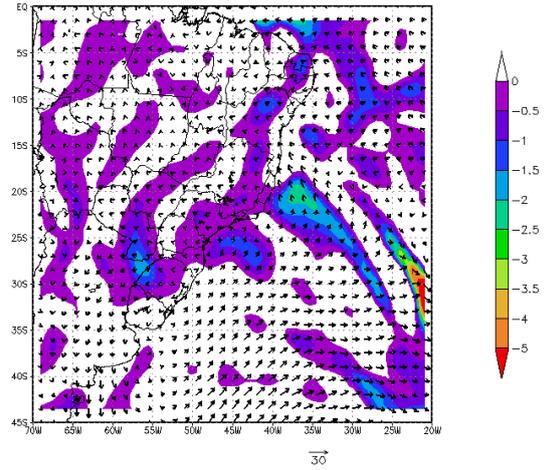
(j) 06/09/2006 - 06Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
06SEP2006 00Z



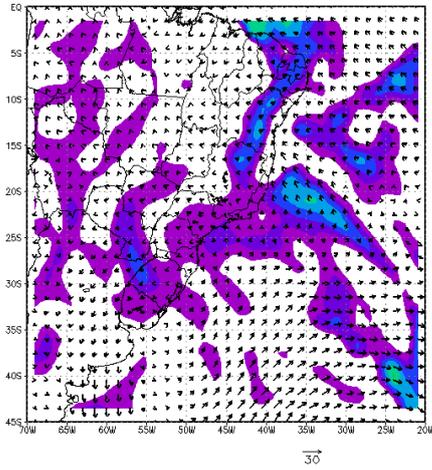
(k) 06/09/2006 – 12Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
06SEP2006 06Z



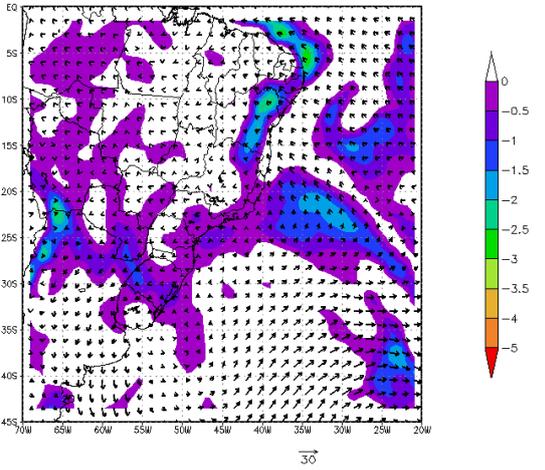
(l) 06/09/2006 – 18Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
06SEP2006 12Z



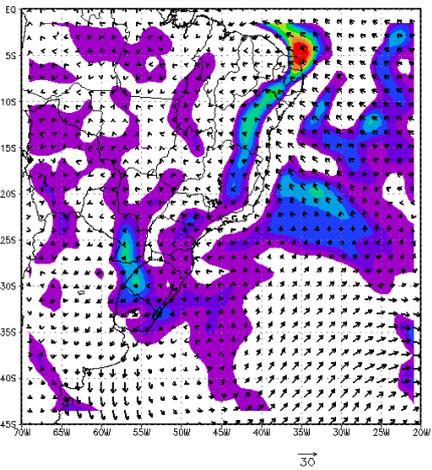
(m) 07/09/2006 – 00Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
06SEP2006 18Z

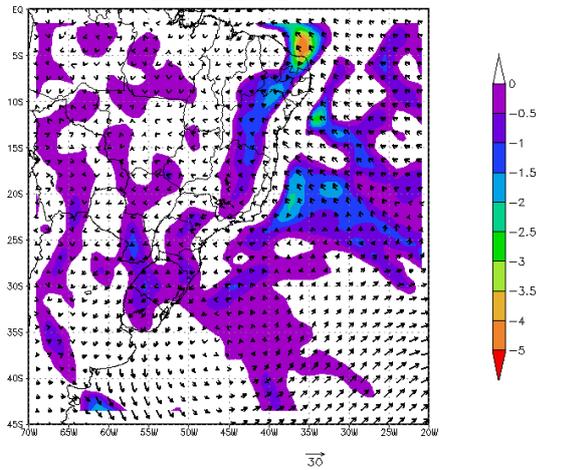


(n) 07/09/2006 – 06Z

Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
07SEP2006 00Z



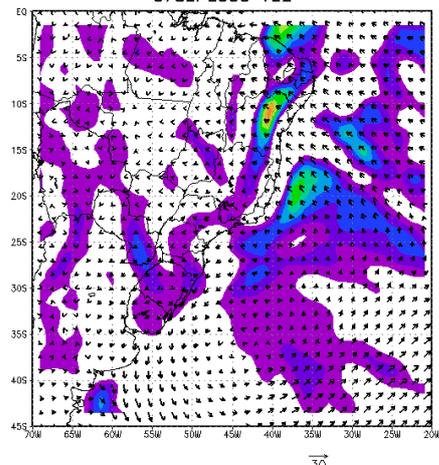
Divergencia do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
07SEP2006 06Z



(o) 07/09/2006 – 12Z

(p) 07/09/2006 – 18Z

Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
07SEP2006 12Z



Divergência do fluxo de umidade e Ventas-1000hPa
07SEP2006 18Z

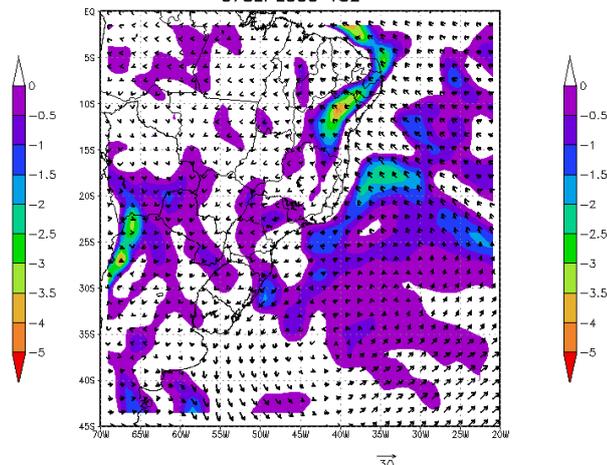
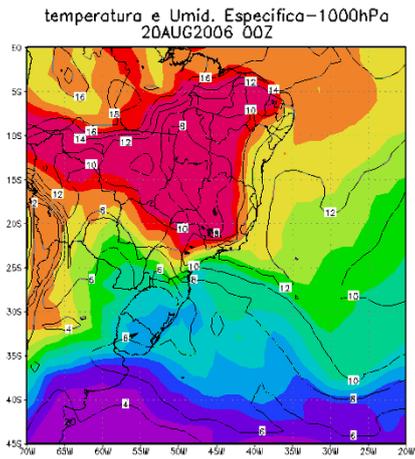


Figura 23: Campo composto por Ventos (vetor) com a divergência do fluxo de umidade (sombreado): (a)04/09/2006-00Z, (b)04/09/2006-06Z, (c)04/09/2006-12Z, (d)04/09/2006-18Z, (e)05/09/2006-00 Z, (f)05/09/2006-06Z, (g)05/09/2006-12Z, (h)05/09/2006-18Z, (i)06/09/2006-00Z, (j)06/09/2006-06Z, (k)06/09/2006-12Z, (l)06/09/2006-18Z, (m) 07/09/2006 -00Z, (n)07/08/2006 -06Z, (o) 07/09/2006-12Z, (p)07/09/2006-18Z

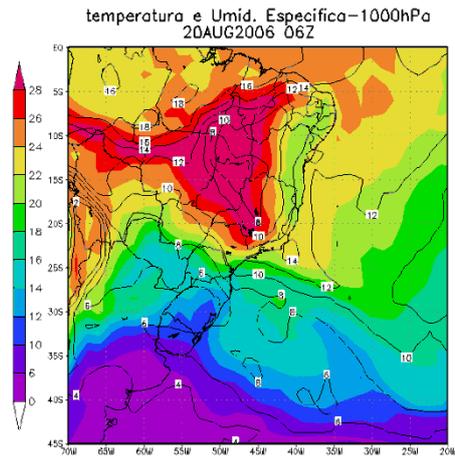
A seqüência de mapas da Figura 24 mostra os campos de temperatura do ar e umidade específica em 1000 hPa para o caso de Agosto. Nota-se que a temperatura e a umidade específica sofrem queda após a passagem do sexto SF do mês pelo Rio de Janeiro, registrando-se uma queda na temperatura do ar de 24°C no dia 20 00Z (Figura 46 a) para 16°C no dia 22 00Z. Com relação à umidade específica esta variou entre 12 a 14 g.Kg⁻¹ no dia 20 00Z, caindo entre 8 e 10 g.Kg⁻¹ no dia 22 00Z.

(a) 20/08/2006 – 00Z

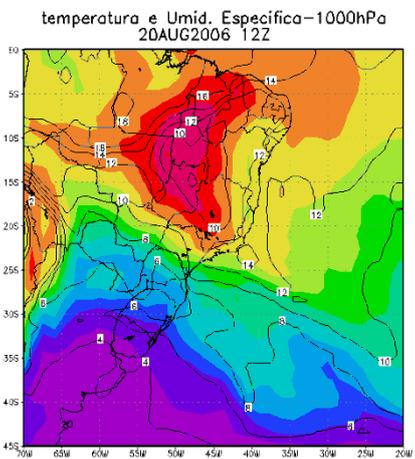
(b) 20/08/2006 – 06Z



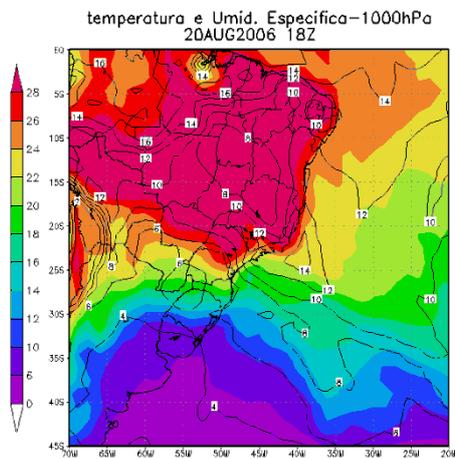
(c) 20/08/2006 – 12Z



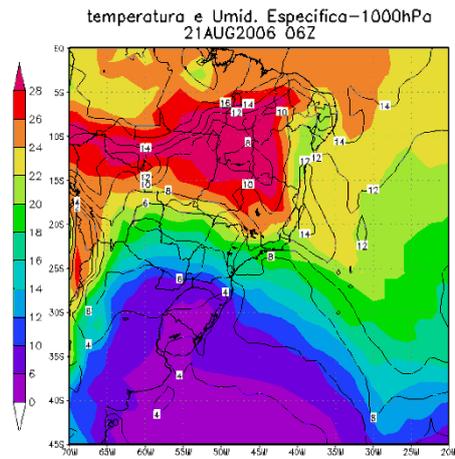
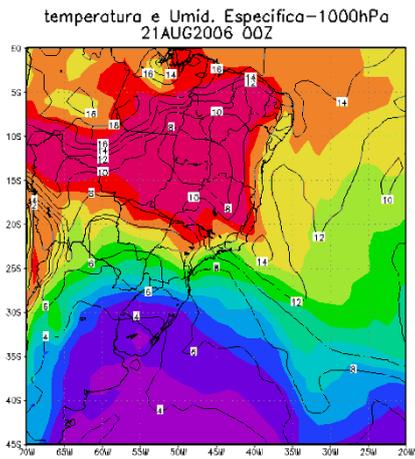
(d) 20/08/2006 – 18Z



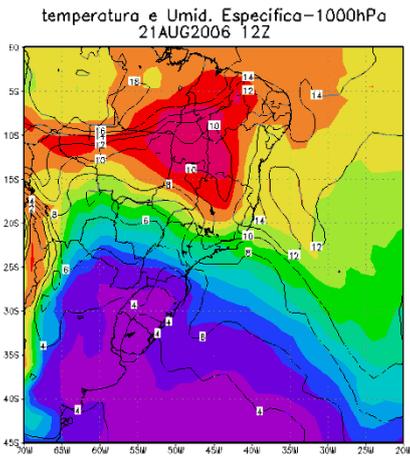
(e) 21/08/2006 – 00Z



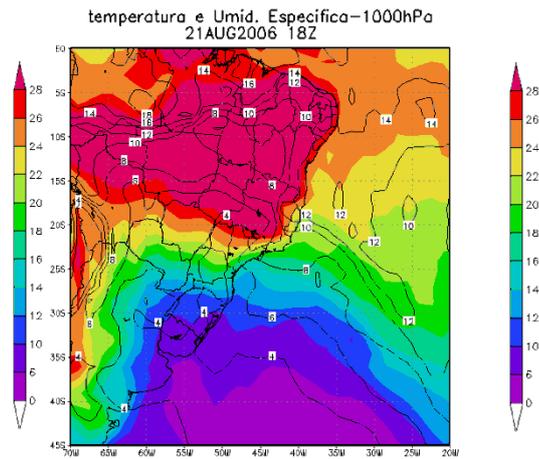
(f) 21/08/2006 – 06Z



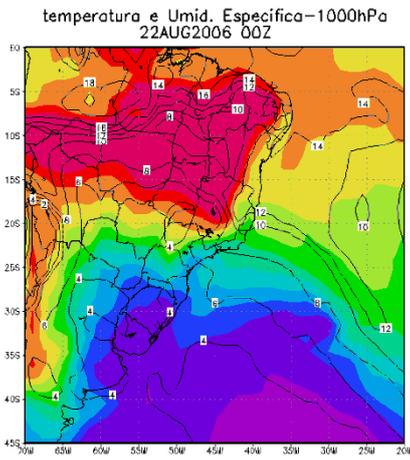
(g) 21/08/2006 – 12Z



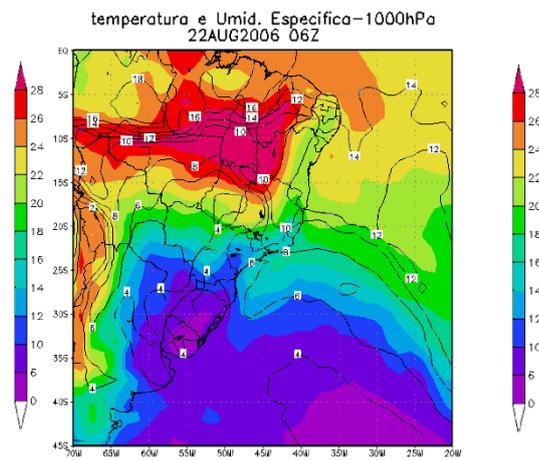
(h) 21/08/2006 – 18Z



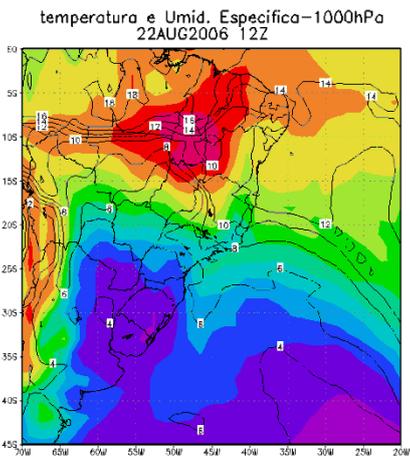
(i) 22/08/2006 – 00Z



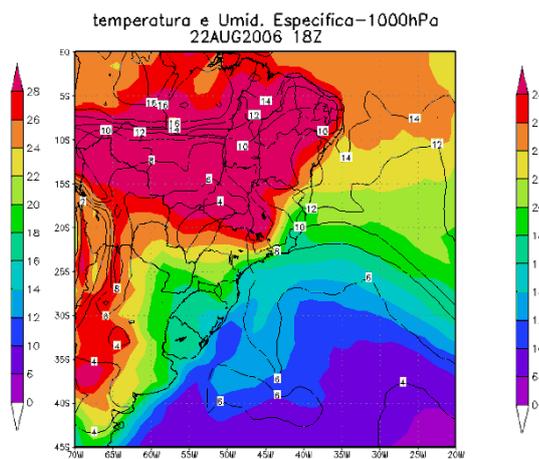
(j) 22/08/2006 – 06Z



(k) 22/08/2006 – 12Z



(l) 22/08/2006 – 18Z



(m) 23/08/2006 – 00Z



(n) 23/08/2006 – 06Z



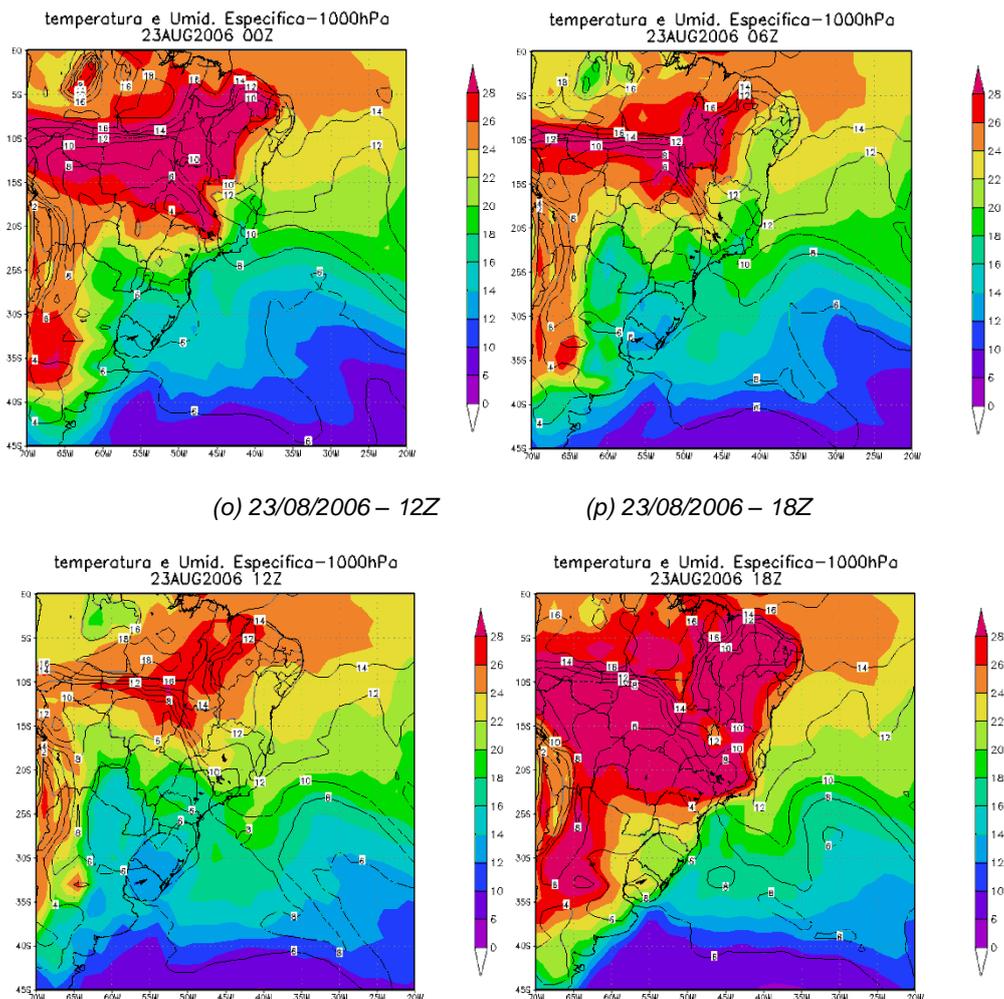
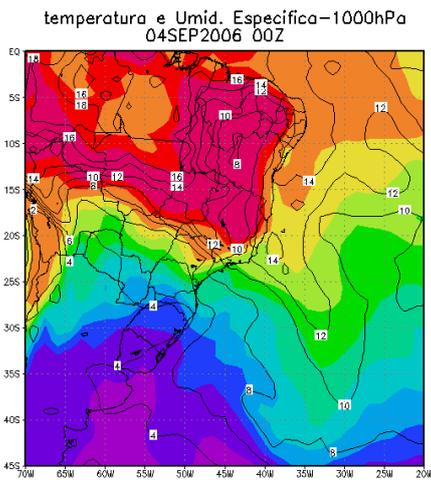


Figura 24: Campo composto por umidade específica (linha contínua) com a temperatura (sombreado): (a)20/08/2006–00Z, (b)20/08/2006–06Z, (c)20/08/2006–12Z, (d)20/08/2006–18Z, (e)21/08/2006–00 Z, (f)21/08/2006–06Z, (g)21/08/2006–12Z, (h)21/08/2006 –18Z, (i)22/08/2006 – 00Z, (j)22/08/2006–06Z, (k)22/08/2006–12Z,(l)22/08/2006 – 18Z, (m) 23/08/2006–00Z, (n)23/08/2006–06Z, (o)23/08/2006–12Z,(p)23/08/2006–18Z

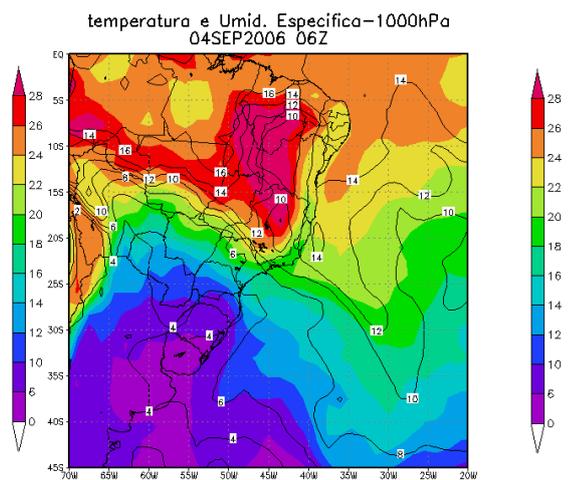
Na seqüência da Figura 25 são apresentados os campos de temperatura do ar e umidade específica em 1000 hPa para o caso de Setembro de 2006. Nota-se que em comparação ao caso de agosto, este caso do mês de setembro apresenta temperaturas mais amenas em todo o país. No Rio de Janeiro, as temperaturas no dia 04 00Z caem de 20°C (Figura 25a) para 12°C no dia 06 00Z (Figura 25i). Neste período, a umidade específica também apresenta valores inferiores aos observados em agosto, chegando a atingir 6 g.Kg⁻¹ no dia 06 00Z. Contudo, no caso de setembro, no horário da precipitação

tanto a temperatura do ar quando a umidade específica sofrem ligeiro aumento, com valores de 16-20°C para a temperatura do ar e 8 g.Kg⁻¹ para a umidade específica.

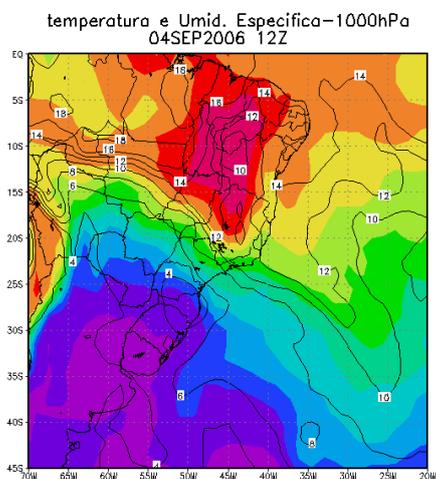
(a) 04/09/2006 – 00Z



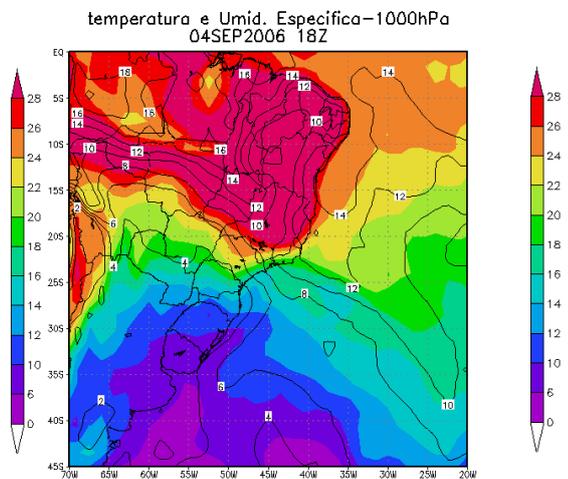
(b) 04/09/2006 – 06Z



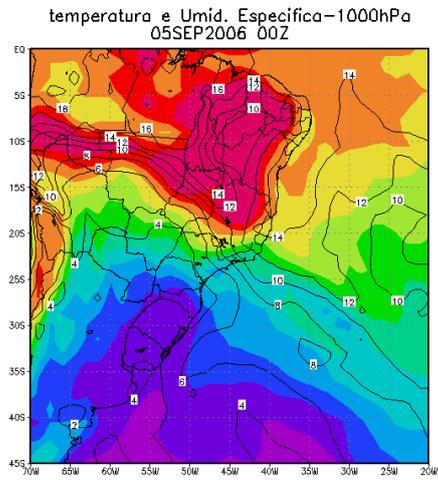
(c) 04/09/2006 – 12Z



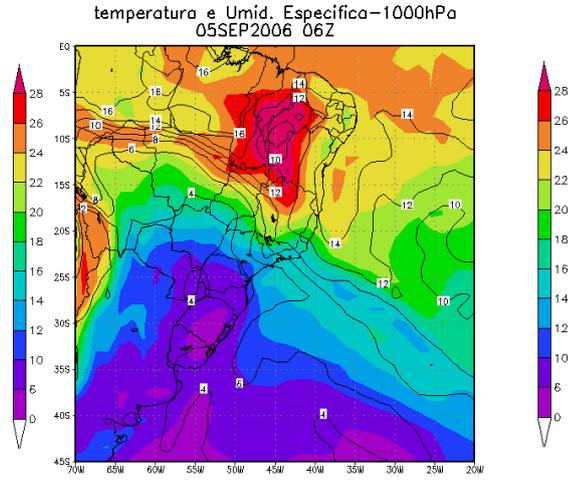
(d) 04/09/2006 – 18Z



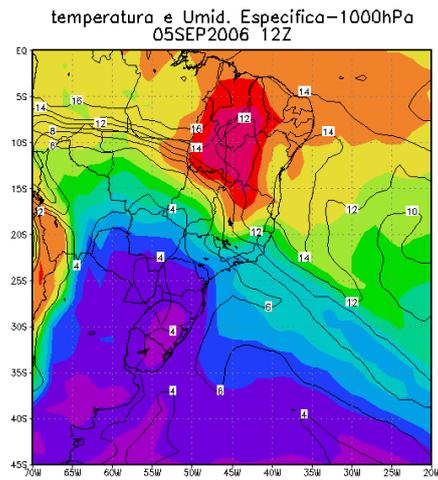
(e) 05/09/2006 – 00Z



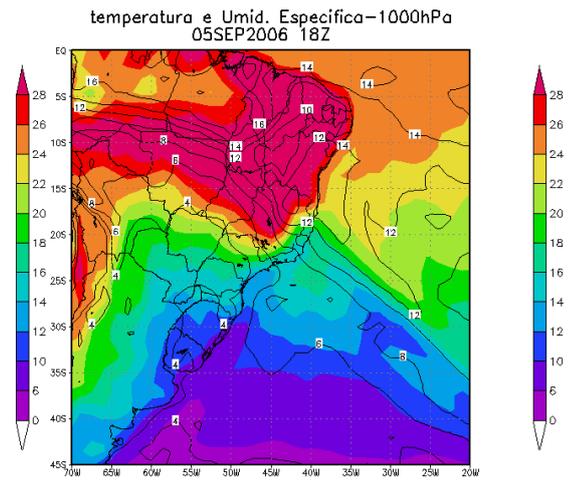
(f) 05/09/2006 – 06Z



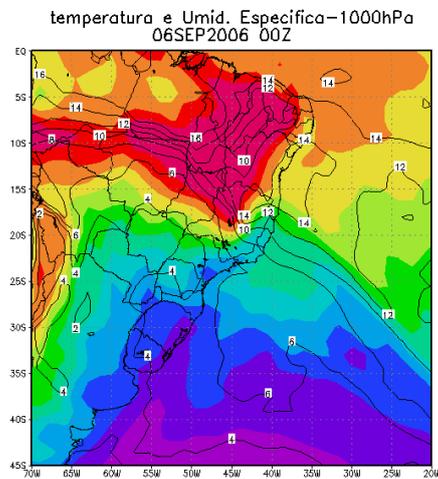
(g) 05/09/2006 – 12Z



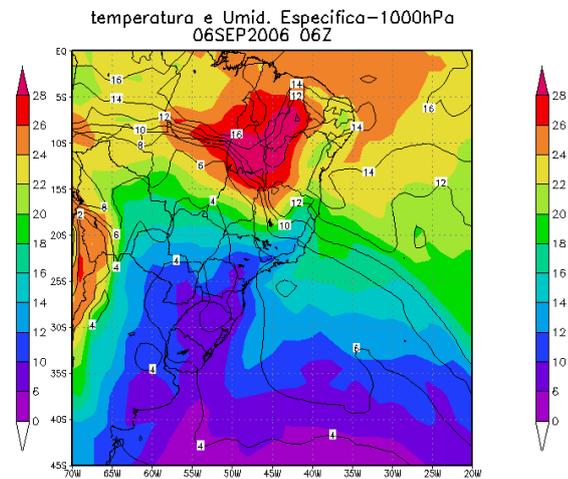
(h) 05/09/2006 – 18Z



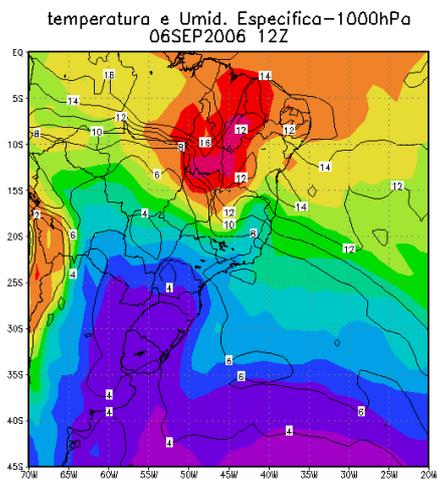
(i) 06/09/2006 – 00Z



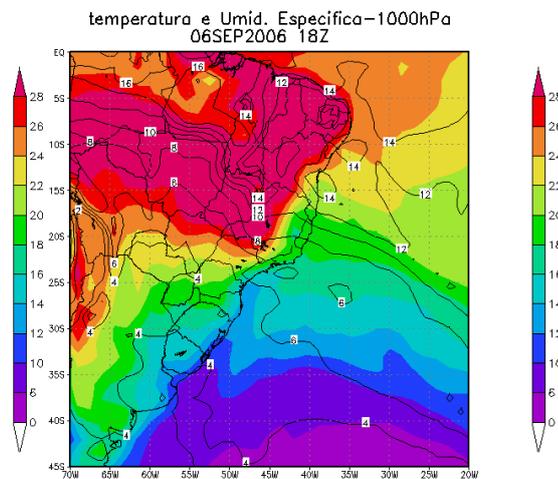
(j) 06/09/2006 – 06Z



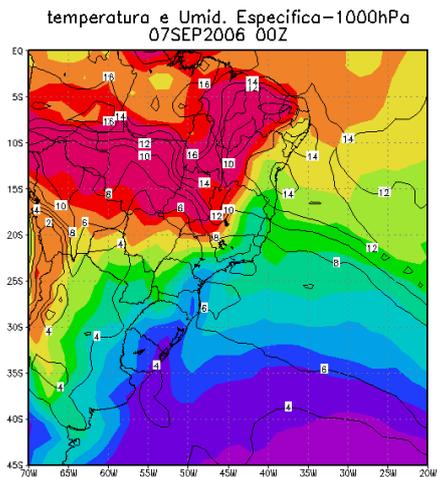
(k) 06/09/2006 – 00Z



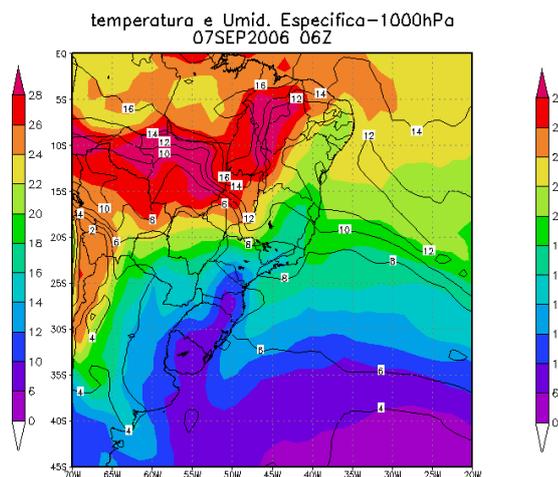
(l) 06/09/2006 – 18Z



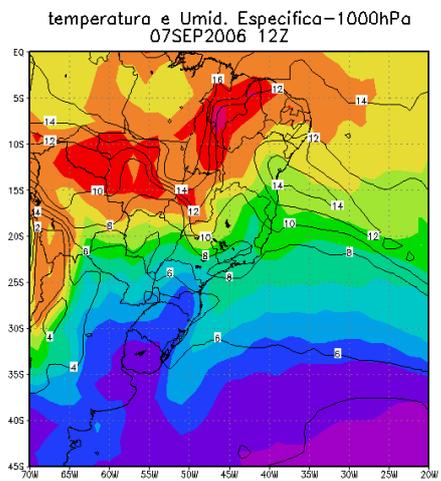
(m) 07/09/2006 – 00Z



(n) 07/09/2006 – 06Z



(o) 07/09/2006 – 12Z



(p) 07/09/2006 – 18Z

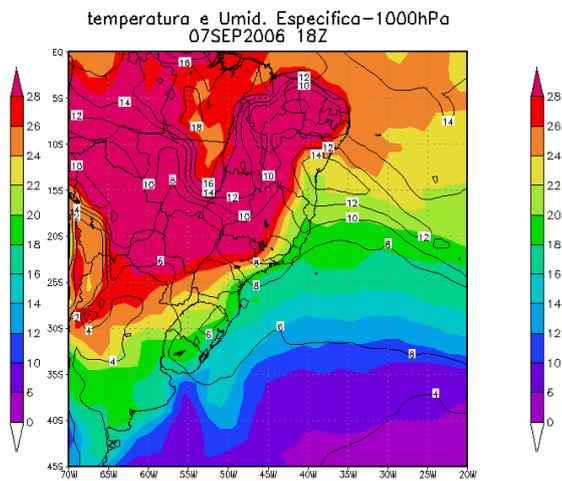
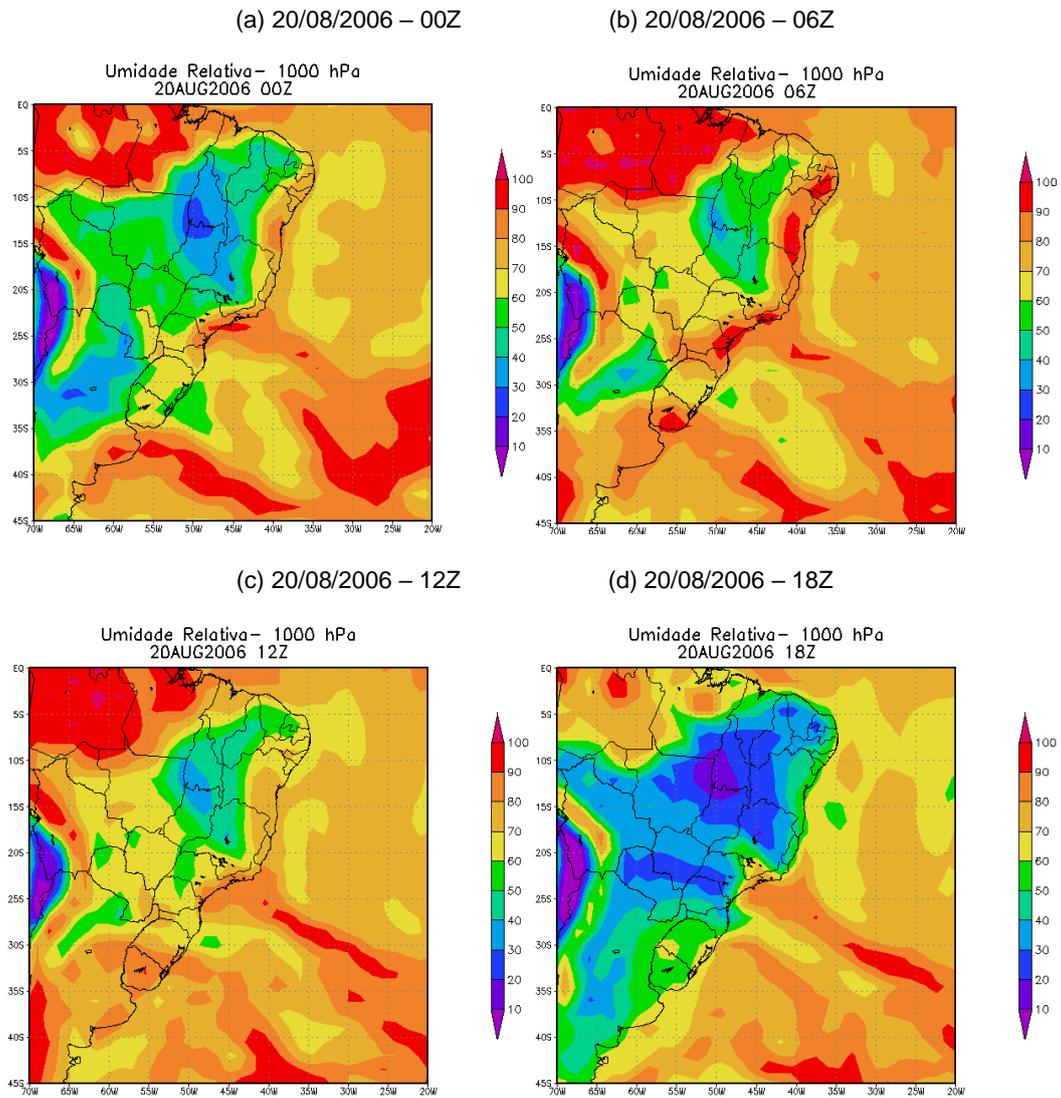
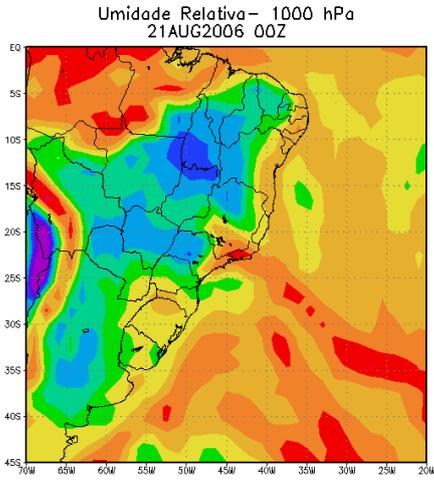


Figura 25: Campo composto por umidade específica (linha contínua) com a temperatura (sombreado): (a)04/09/2006–00Z, (b)04/09/2006–06Z, (c)04/09/2006–12Z, (d)04/09/2006–18Z, (e)05/09/2006–00 Z, (f)05/09/2006–06Z, (g)05/09/2006–12Z, (h)05/09/2006-18Z, (i)06/09/2006–00Z, (j)06/09/2006–06Z, (k)06/09/2006–12Z, (l)06/09/2006–18Z, (m) 07/09/2006 –00Z, (n)07/08/2006 –06Z, (o)07/09/2006–12Z, (p)07/09/2006–18Z

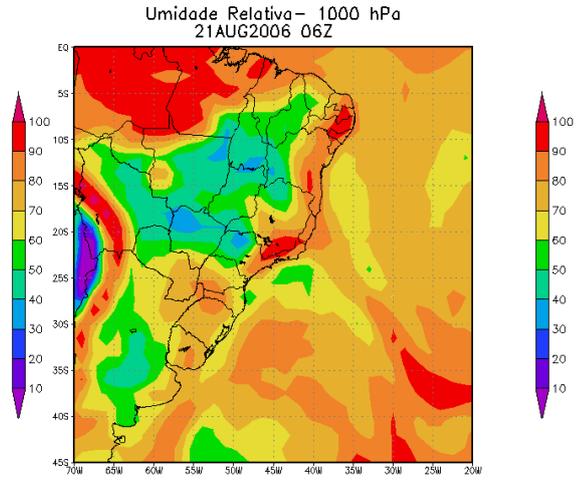
Os campos de umidade relativa do ar para o caso de Agosto de 2006 são apresentados na Figura 26. Nota-se que os valores de umidade relativa do ar são elevados na região frontal e após sua passagem, permanecem valores elevados no município do Rio de Janeiro, predominantemente entre 70 e 80%.



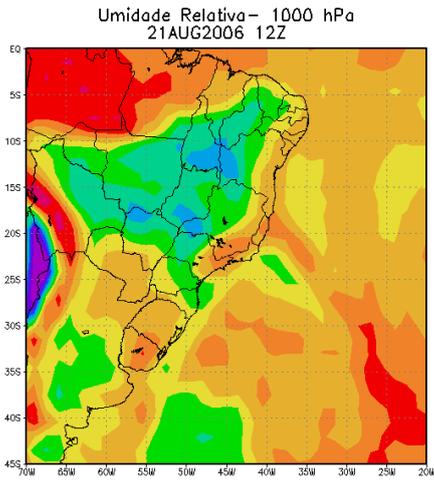
(e) 21/08/2006 – 00Z



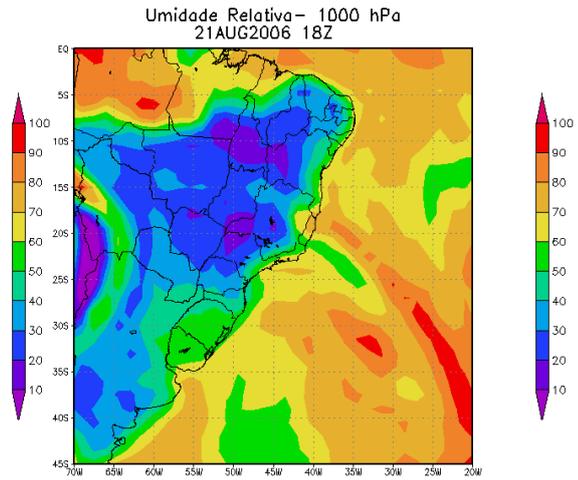
(f) 21/08/2006 – 06Z



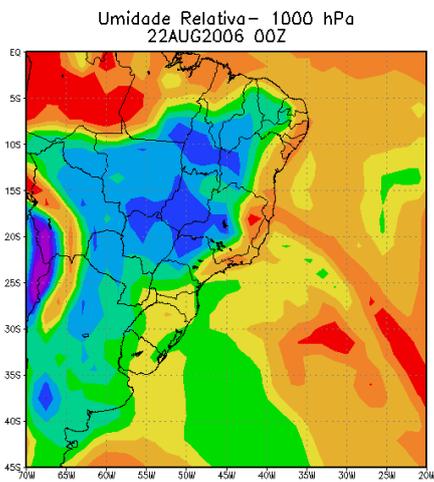
(g) 21/08/2006 – 12Z



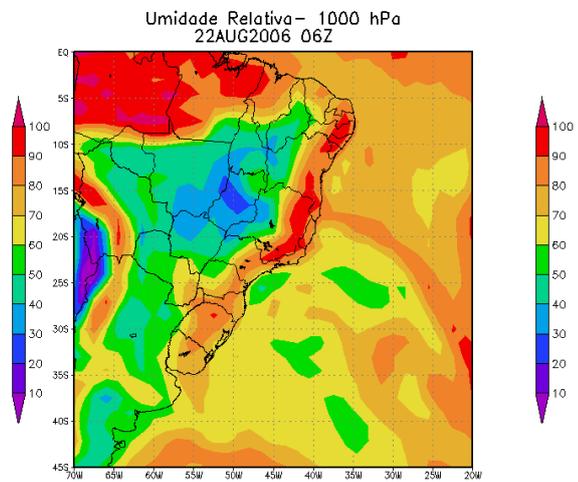
(h) 21/08/2006 – 18Z



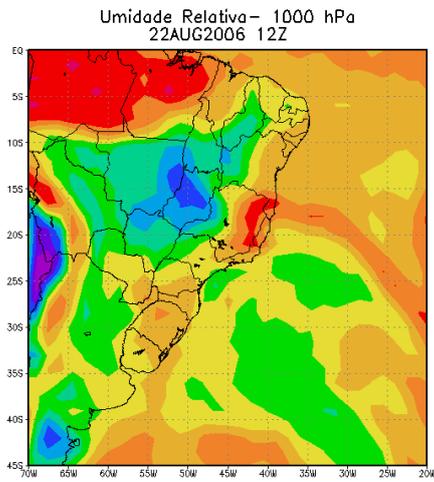
(i) 22/08/2006 – 00Z



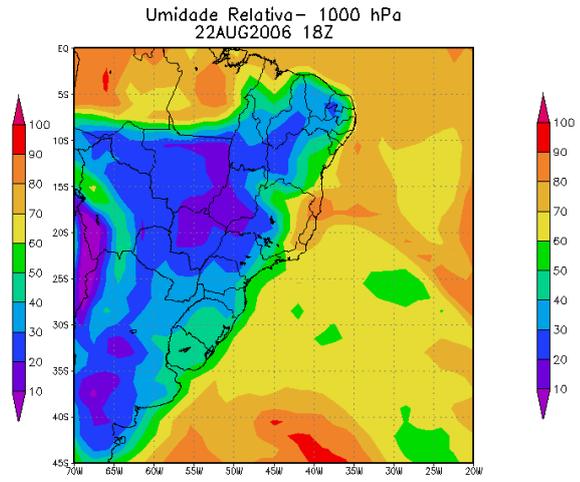
(j) 22/08/2006 – 06Z



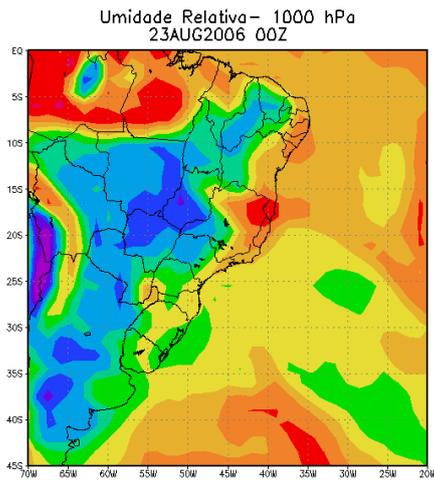
(k) 22/08/2006 – 12Z



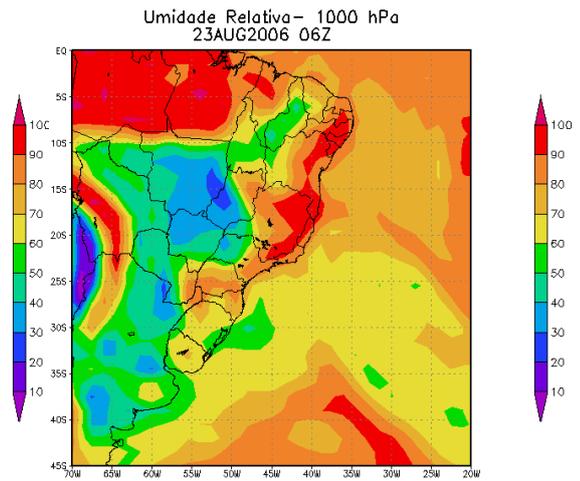
(l) 22/08/2006 – 18Z



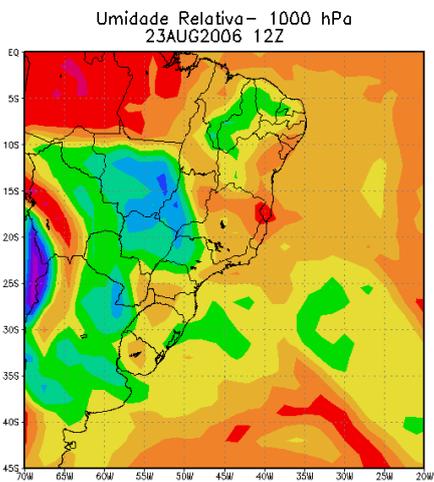
(m) 23/08/2006 – 00Z



(n) 23/08/2006 – 06Z



(o) 23/08/2006 – 12Z



(p) 23/08/2006 – 18Z

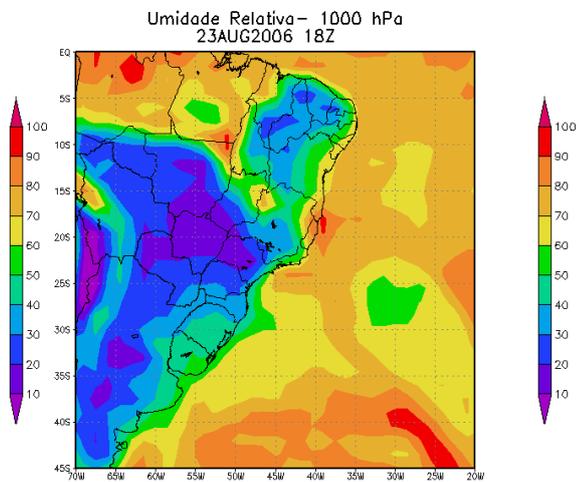
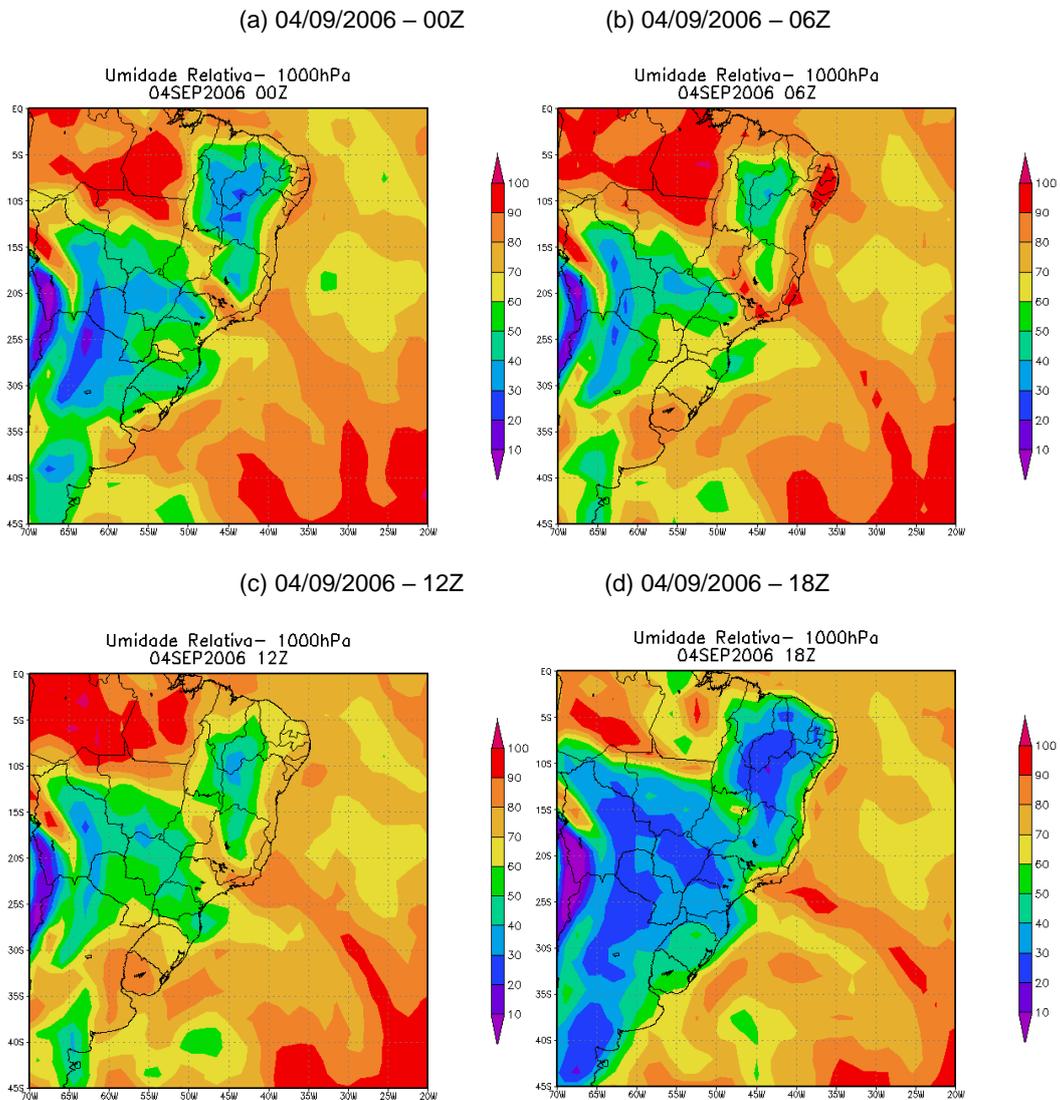
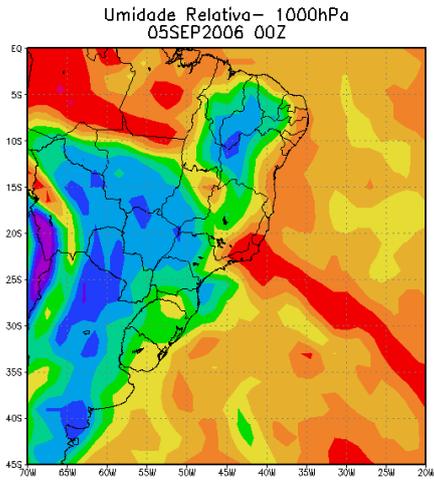


Figura 26: Campo de Umidade Relativa (sombreado): (a)20/08/2006-00Z, (b)20/08/2006-06 Z, (c)20/08/2006 -12Z, (d)20/08/2006-18Z, (e)21/08/2006-00Z, (f)21/08/2006-06Z, (g)21/08/2006-12Z, (h)21/08/2006-18Z, (i)22/08/2006-00Z, (j)22/08/2006-06Z, (k)22/08/2006-12Z, (l)22/08/2006-18Z, (m)23/08/2006-00Z, (n)23/08/2006-06Z, (o)23/08/2006-12Z,(p)23/08/2006-18Z.

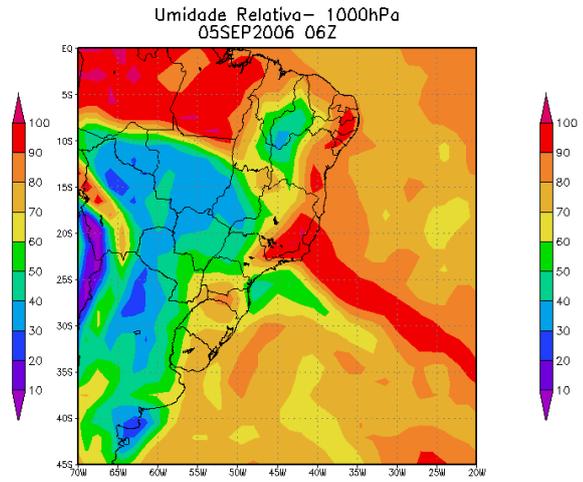
Na Figura 27 são apresentados os campos de umidade relativa do ar para o caso de Setembro de 2006. Nota-se neste caso que o SF ficou bem mais delineado, com valores elevados de umidade relativa do ar, próximo à saturação e que no Rio de Janeiro no horário da precipitação a umidade relativa do ar caiu para faixa entre 60 e 70%.



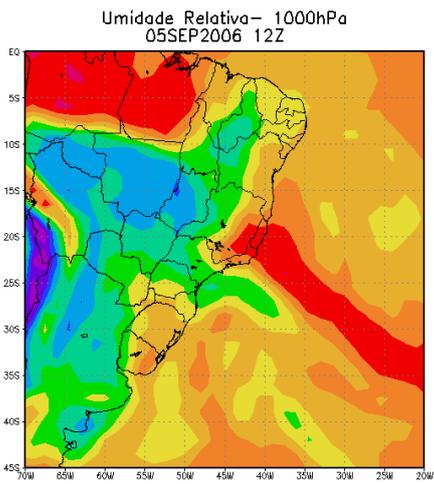
(e) 05/09/2006 – 00Z



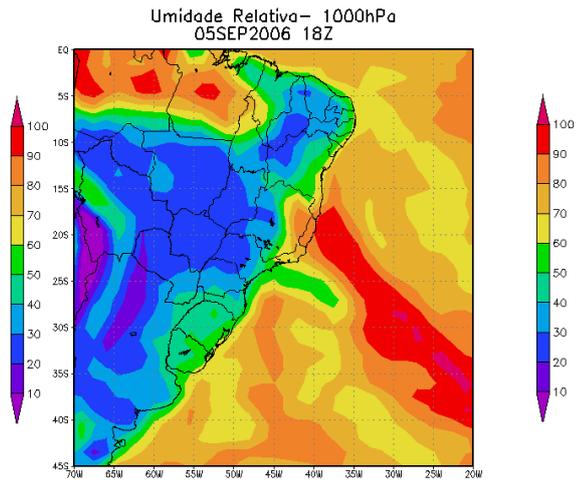
(f) 05/09/2006 – 06Z



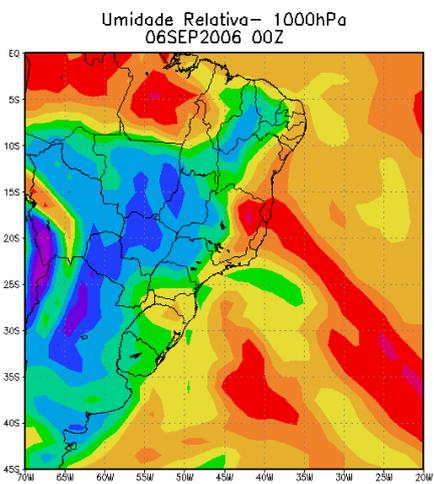
(g) 05/09/2006 – 12Z



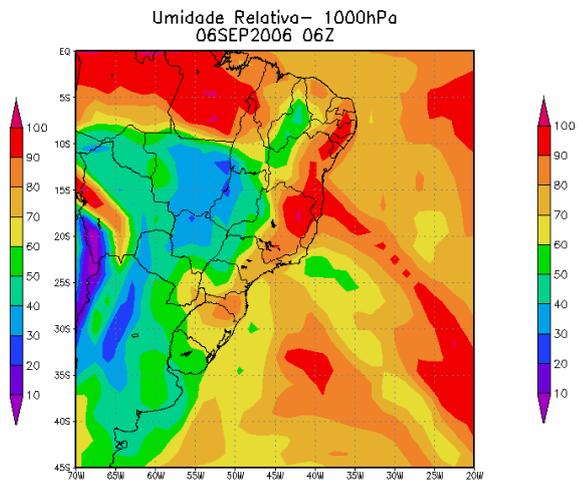
(h) 05/09/2006 – 18Z



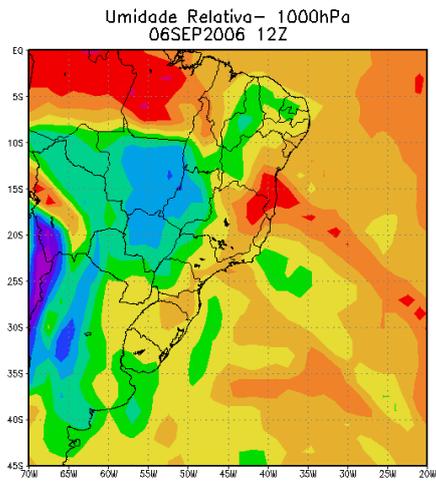
(i) 06/09/2006 – 00Z



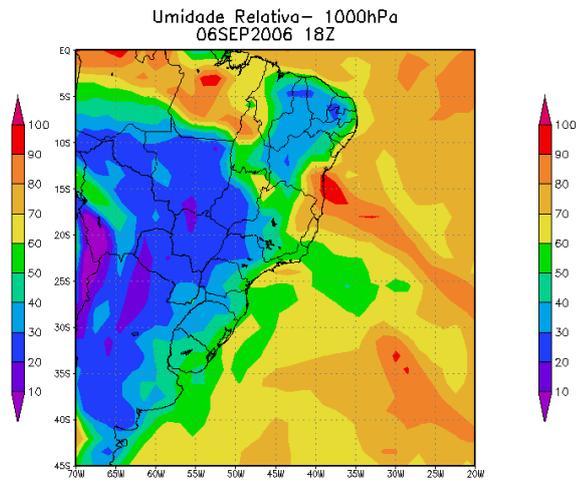
(j) 06/09/2006 – 06Z



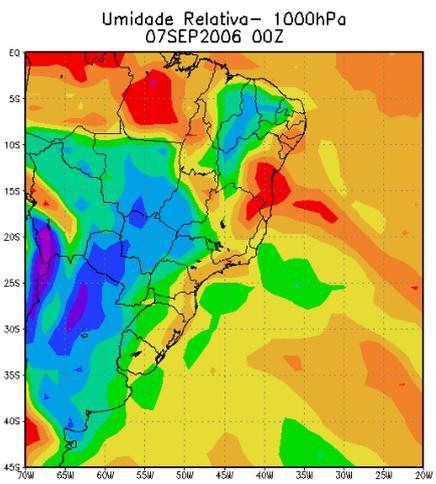
(k) 06/09/2006 – 12Z



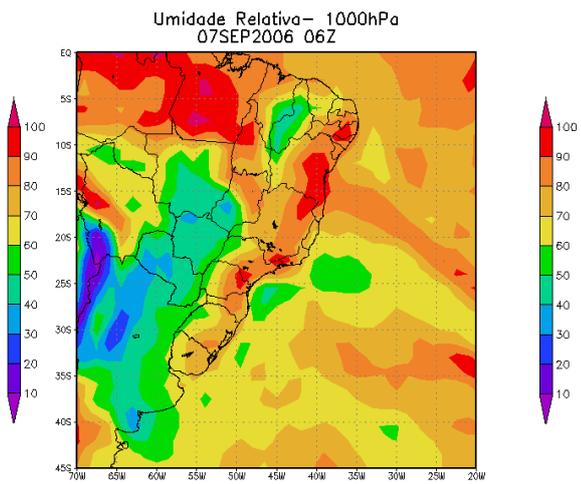
(l) 06/09/2006 – 18Z



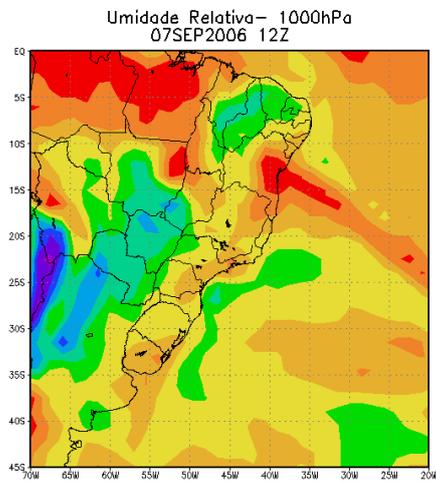
(m) 07/09/2006 – 00Z



(n) 07/09/2006 – 06Z



(o) 07/09/2006 – 12Z



(p) 07/09/2006 – 18Z

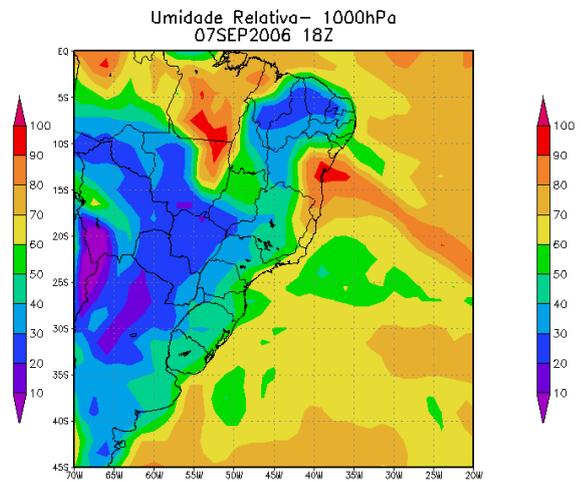


Figura 27: Campo de Umidade Relativa (sombreado): (a)04/09/2006–00Z, (b)04/09/2006–06Z, (c)04/09/2006–12Z, (d)04/09/2006–18Z, (e)05/09/2006–00 Z, (f)05/09/2006–06Z, (g)05/09/2006–12Z, (h)05/09/2006–18Z, (i)06/09/2006–00Z, (j)06/09/2006–06Z, (k)06/09/2006–12Z, (l)06/09/2006–18Z, (m)07/09/2006–00Z, (n)07/08/2006 06Z, (o)07/09/2006 –12Z, (p)07/09/2006–18Z

Os campos analisados anteriormente, a partir da Reanálise do ERA-Interim, não indicam que o caso de setembro pudesse ter condições mais favoráveis para ocorrência de precipitação do que o caso de Agosto. Isto ficou mais evidente a partir da análise dos campos de umidade específica, umidade relativa e temperatura do ar, onde os valores encontrados para o caso de agosto apresentaram melhores condições para uma eventual precipitação do que em setembro. Isto indica que para fenômenos de mesoescala como este de setembro, em que a precipitação é provocada pela intensificação da brisa marítima, as análises de modelos numéricos em escala sinótica não são capazes de detectar características da atmosfera condizentes com a instabilidade observada. Nesta análise de baixa resolução espacial ($1,5^\circ$ de latitude x $1,5^\circ$ de longitude) e temporal (campos a cada 6 h), a posição da alta migratória, gerando ventos de quadrante sul, e conseqüentemente perpendiculares ao litoral do Rio de Janeiro, foi o único indício de que poderia haver instabilidade na região. Tais fenômenos devem ser então simulados com modelos numéricos regionais de maior resolução espacial e temporal. Desta forma, neste trabalho foram analisados também dados observacionais obtidos no município do Rio de Janeiro, a fim de investigar se fenômenos locais poderiam estar atuando no sentido de produzir a precipitação observada em setembro. Uma das hipóteses seria a intensificação da brisa marítima como forçante para iniciar a precipitação. Tal análise é realizada no próximo tópico.

4.4 Análise de Dados Observacionais do Município do Rio de Janeiro

Pela influência de fatores como localização geográfica, topografia, maritimidade, entre outros, os ventos observados em regiões como o Rio de Janeiro, diferem de uma localidade a outra. Nota-se que em situações normais, ou seja, sem a presença de sistemas transientes, o padrão de ventos sofre influência dos sistemas locais, notadamente as brisas terrestre e marítima. Entretanto, quando sistemas de escala sinótica estão atuantes sobre uma

região, eles passam a influir diretamente nos sistemas locais sobrepondo-se a estes. Ou seja, o padrão da escala sinótica passa a predominar.

Com o objetivo de analisar o papel da brisa e suas influências no município do Rio de Janeiro no evento chuva pós-frontal de setembro, foram construídas rosas dos ventos (Figura 28, Figura 29, Figura 30 e Figura 31) para os períodos da brisa terrestre e brisa marítima com os dados observacionais horários de direção e velocidade dos ventos dos aeroportos Afonsos (SBAF), Galeão (SBGL), Jacarepaguá (SBJR) e Santos Dumont (SBRJ). Para a brisa terrestre o período utilizado foi entre 03Z a 14Z (0 h até 11 h local), o que corresponderia aos horários de madrugada e manhã. Já para a brisa marítima o período da composição ficou entre 15Z e 23Z (o que corresponde a 12 h até 23 h local). No dia 06/09 esse período se estendeu até 02Z do dia 07/09.

No evento do mês de setembro, o padrão de escoamento de quadrante sul é dominante mesmo nos horários de atuação da brisa terrestre. No dia 06 Figura 28 os aeroportos do SBGL e SBRJ apresentam predomínio de ventos de quadrante norte com máximo entre 9 nós e 11nós em SBRJ, enquanto os ventos em SBAF e SBJR apresentaram ventos de sul também com máximo entre 9nós e 11nós em SBJR. Com o passar do dia a brisa marítima começa sua atuação (Figura 29). Associado à alta migratória os ventos em todos os aeroportos sopram de quadrante sul, como era o esperado para o horário da brisa marítima, com máximos entre 11nós e 13nós em SBAF. Entretanto, no início do horário de atuação da brisa terrestre, já na madrugada do dia 07 de setembro (Figura 30), os ventos permanecem soprando com predomínio de quadrante sul, influenciados pelo padrão de grande escala.

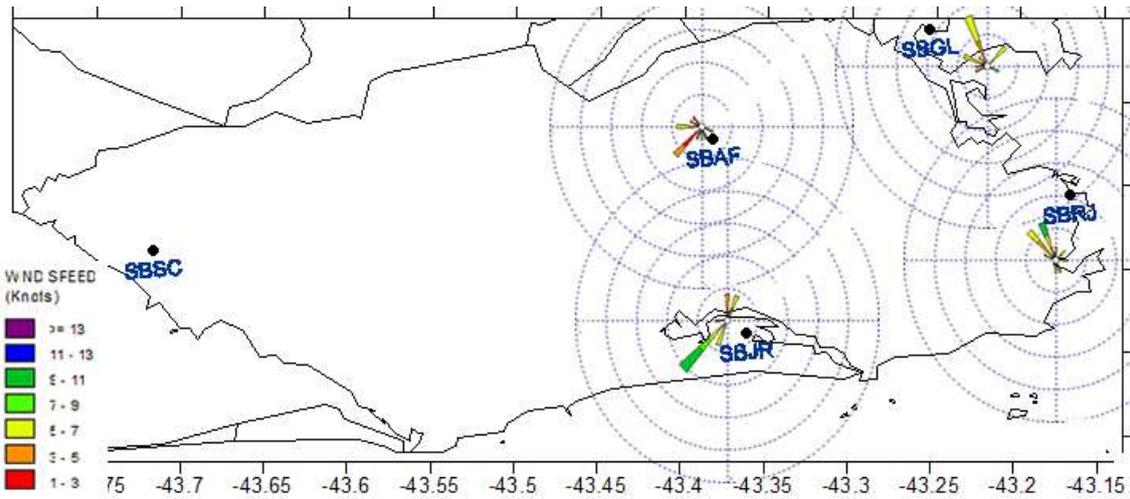


Figura 28: Rosa dos ventos para o dia 06 de setembro (03 Z até 14 Z)

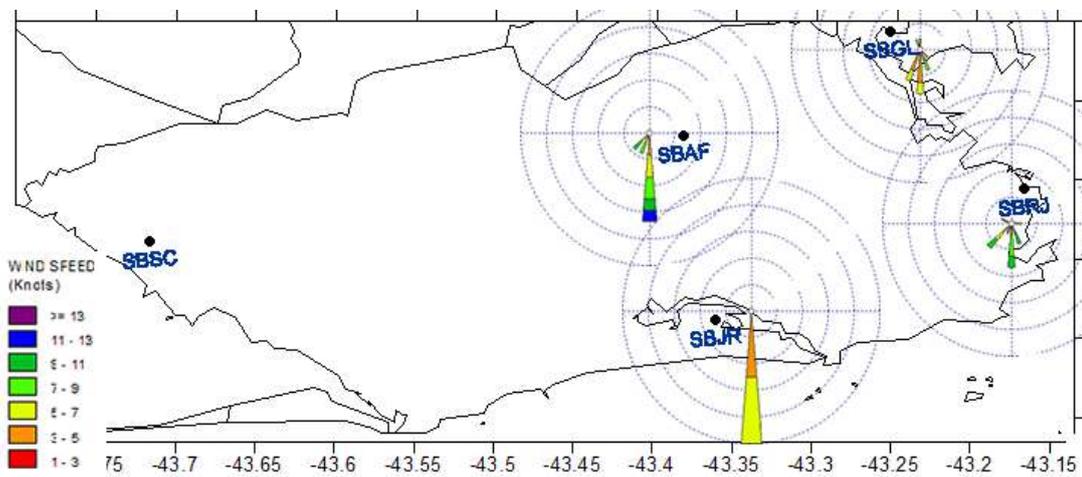


Figura 29: Rosa dos ventos para o período de 15 Z do dia 06 de setembro até 02 Z do dia 07 de setembro

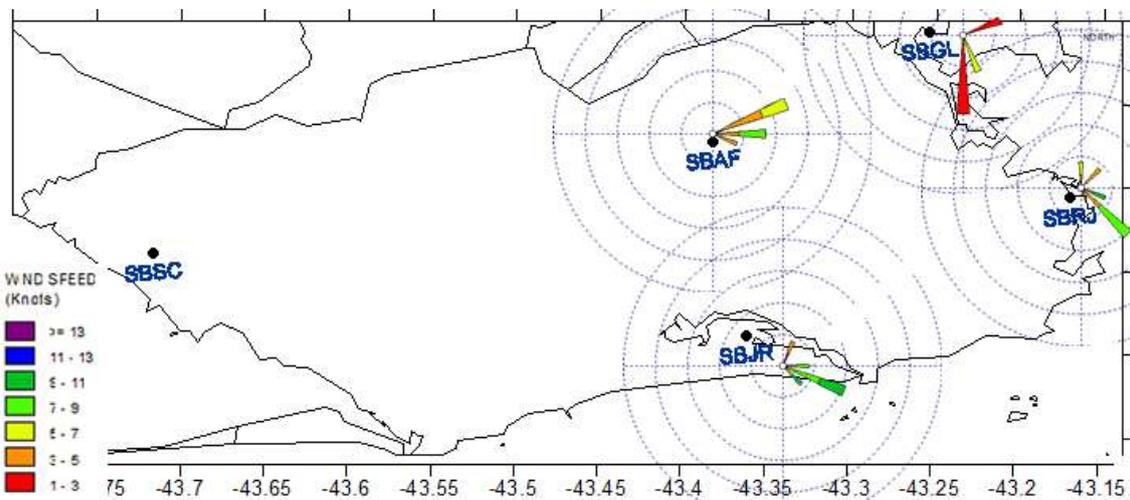


Figura 30: Rosa dos ventos para o período de 03 Z até 14 Z para o dia 07 de setembro

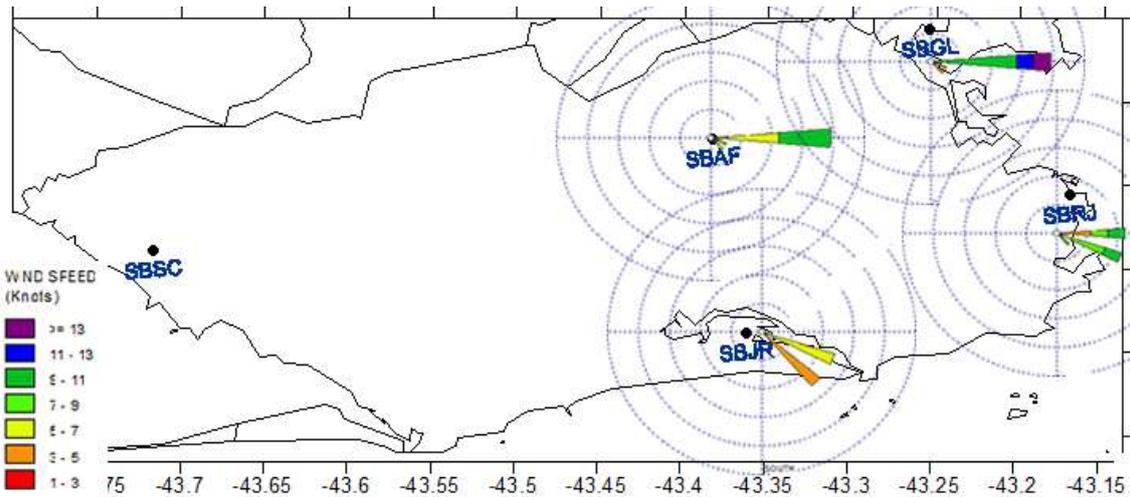
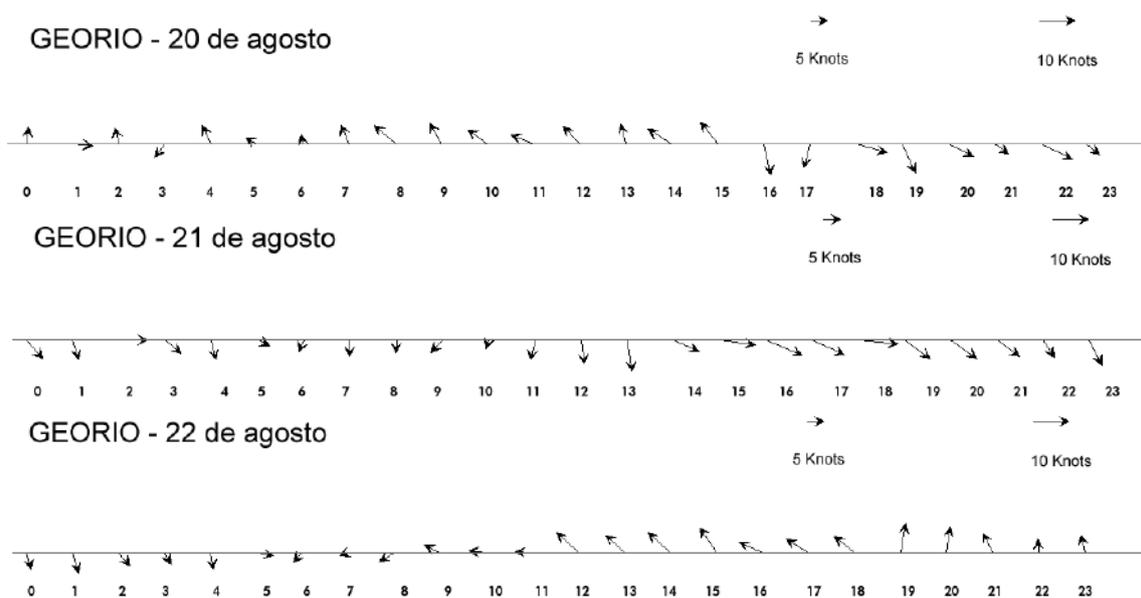


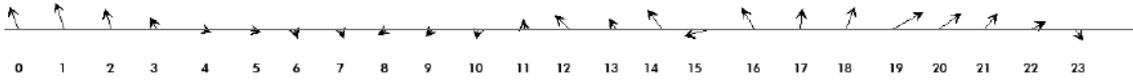
Figura 31: Rosa dos ventos para o período de 15 Z até 23 Z do dia 07

A seguir, na Figura 32, Figura 33 e Figura 34 serão mostradas as distribuições temporais dos ventos nas estações de GEORIO, Guaratiba e Maracanã, para os eventos de agosto e setembro. Tal distribuição segue o comportamento observado nos aeroportos, ou seja, no período da brisa marítima os ventos de quadrante sul sofrem um aumento de intensidade. No caso do evento de chuva, mesmo no horário de atuação da brisa terrestre, os ventos apresentam uma tendência de seguir o padrão da brisa marítima.



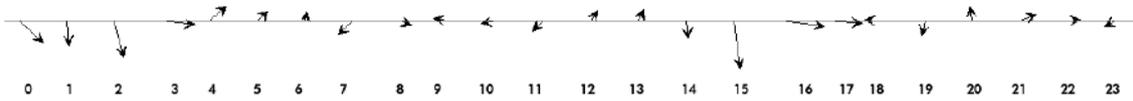
GEORIO - 23 de agosto

→ 5 Knots → 10 Knots



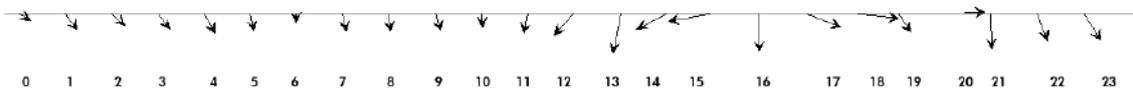
GEORIO - 4 de setembro

→ 5 Knots → 10 Knots



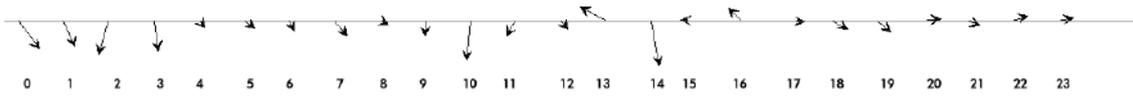
GEORIO - 5 de setembro

→ 5 Knots → 10 Knots



GEORIO - 6 de setembro

→ 5 Knots → 10 Knots



GEORIO - 7 de setembro

→ 5 Knots → 10 Knots

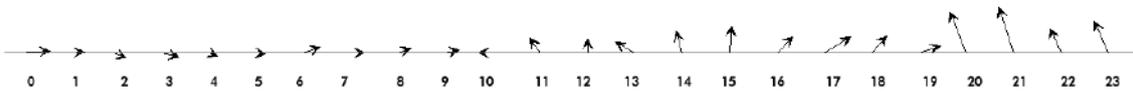


Figura 32: Plotagem diária por hora (UTC) dos ventos, direção e magnitude, na estação da GEORIO. Fonte: www.rio.rj.gov.br

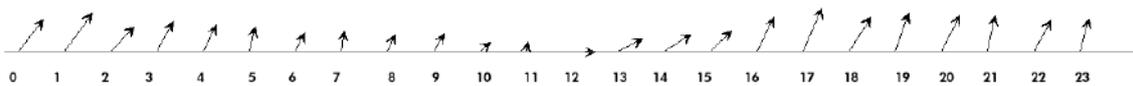
Guaratiba - 20 de agosto

→ 5 Knots → 10 Knots



Guaratiba - 21 de agosto

→ 5 Knots → 10 Knots



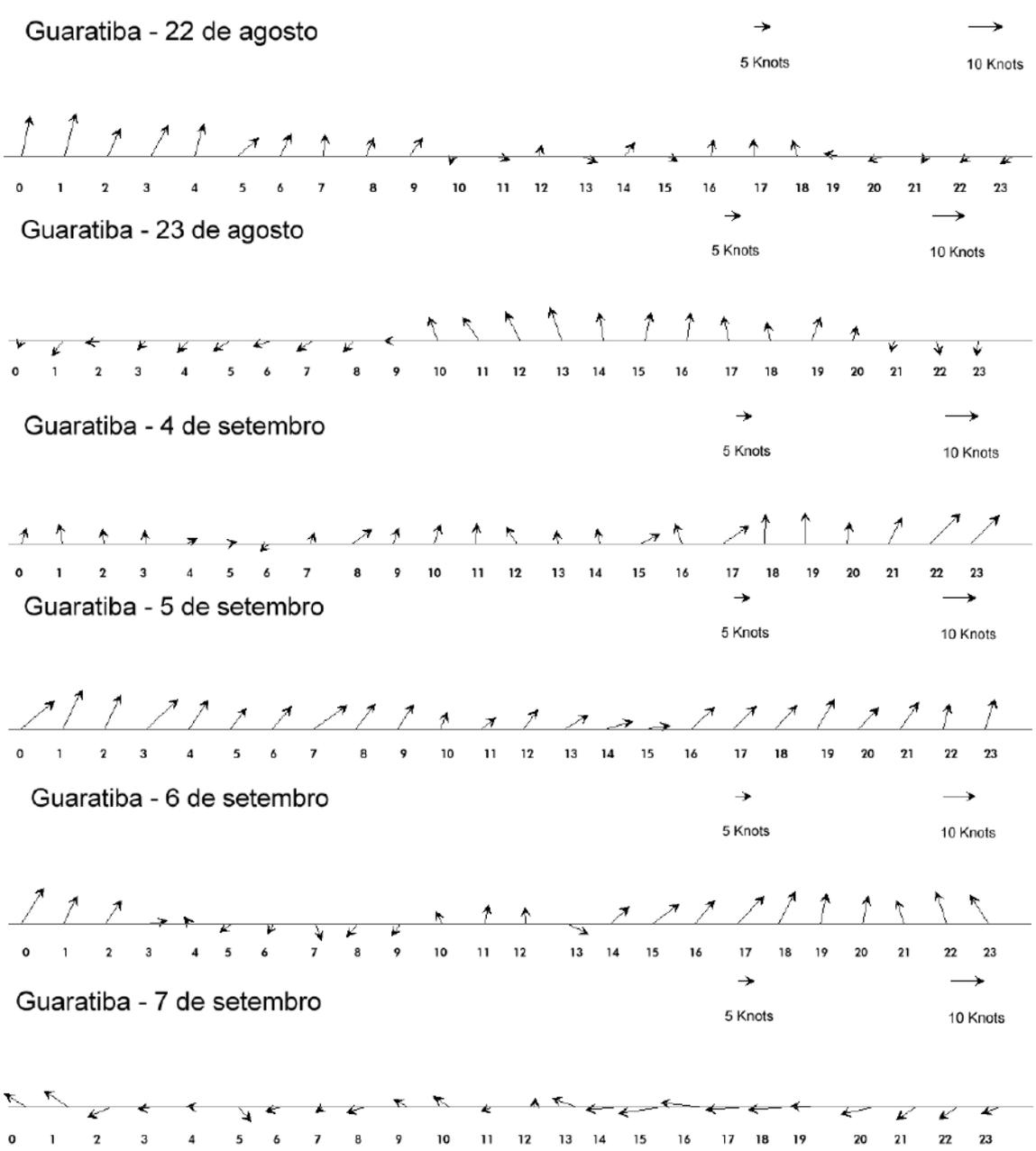
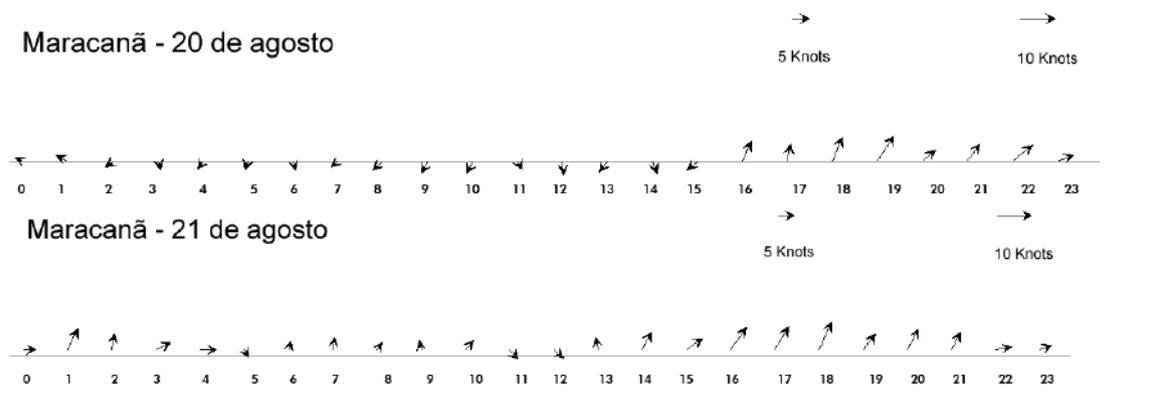


Figura 33: Plotagem diária por hora (UTC) dos ventos, direção e magnitude, na estação de Guaratiba. Fonte: www.rio.rj.gov.br



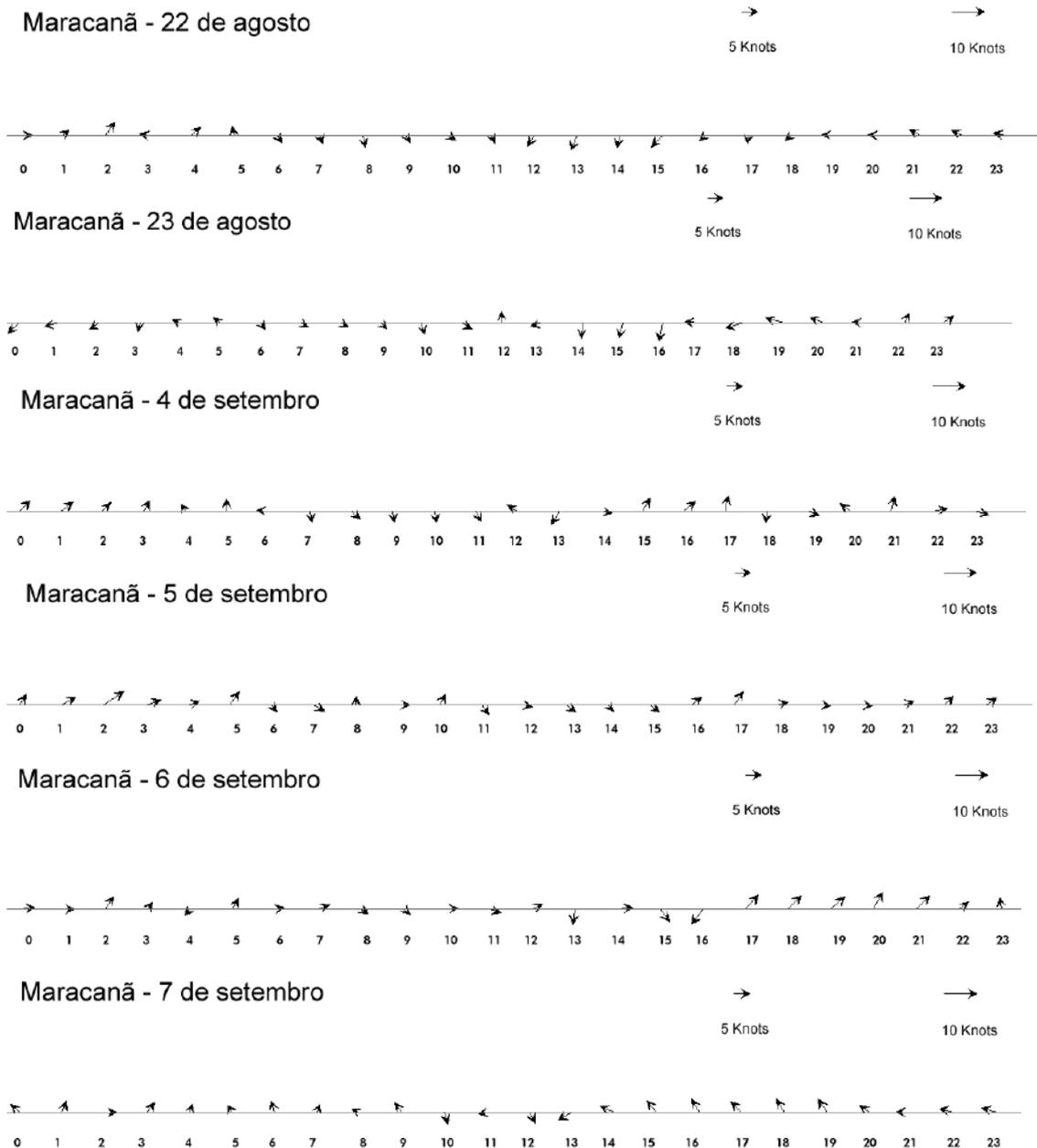


Figura 34: Plotagem diária por hora (UTC) dos ventos, direção e magnitude, na estação do Maracanã. Fonte: www.rio.rj.gov.br

Analisando as figuras apresentadas anteriormente, pode-se notar que no período do mês de agosto referente à passagem do SF, nas três estações, os ventos passam a soprar de quadrante sul e no período da brisa marítima ficam mais intensos tanto no mês de agosto quanto no mês de setembro.

A estação que pode fornecer uma melhor visualização do comportamento dos ventos e, em consequência, da brisa é a estação de Guaratiba que está mais próxima a costa. Na Figura 33, podemos ver que nos dias 20 e 21 de agosto os ventos sopram de quadrante sul, pela passagem do SF pela cidade e no horário da brisa marítima são verificados os ventos de maiores intensidades. Quando o SF já se encontra fora de atuação da cidade do Rio (no dia 06 e 07 de setembro), os ventos passam a soprar de quadrante norte, mesmo no horário da brisa. Em setembro, com a passagem do SF, os ventos sopram predominantemente de quadrante sul e mesmo após ter se deslocado, como é visto nos dias 05 e 06. Os ventos apresentam-se mais intensos no período da tarde e da noite.

Mesmo, não sendo muito perceptível, no período de atuação da brisa, o vento sopra de quadrante sul na estação do Maracanã (Figura 34) no dia 06 de setembro, contrastando com padrão de norte do dia 22 de agosto.

Esse padrão de sul é importante para o transporte de umidade do oceano para o interior da cidade. Com a presença do relevo, permite que o ar se eleve e se resfrie formando nuvens e como consequência chuvas.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste trabalho foi elaborada uma comparação da evolução das condições sinóticas entre dois casos de passagens de SFs pelo Rio de Janeiro.

Nos dois casos os SFs deslocam-se pelo município, provocando chuvas moderadas e a seguir tais SFs se dissipam sobre o oceano Atlântico, na altura do sul da Bahia. A diferença é que no primeiro caso (agosto de 2006) não ocorre chuva pós-frontal e no segundo caso (setembro de 2006) as chuvas recomeçam, mesmo com o SF localizado no sul da Região Nordeste do Brasil. No caso de setembro de 2006, as chuvas concentraram-se no litoral, totalizando-se mais de 40,0 mm no Itanhangá, Jardim Botânico, São Conrado e Sumaré. O objetivo de tal comparação é investigar as causas para ocorrência dessas chuvas do caso de Setembro de 2006, popularmente denominada pelos meteorologistas locais de “precipitação por efeito de circulação marítima”. Para realização desse estudo foram utilizados os conjuntos de dados da Reanálise do ERA-Interim e dados observacionais de ventos e precipitação coletados no município do Rio de Janeiro.

Os resultados mostraram que no caso de setembro de 2006 (caso com chuva pós-frontal) houve atuação direta e prolongada do centro da alta pressão migratória que estava na retaguarda do sistema frontal. Tal sistema de alta pressão gerou ventos de quadrante sul no município do Rio de Janeiro, e tais ventos associados com a atuação da brisa marítima podem ter contribuído para acentuar a convergência junto à costa, promovendo elevação do ar úmido próximo ao maciço da Tijuca, gerando então as chuvas a barlavento do maciço. Contudo, tais resultados não estão de acordo com os resultados obtidos a partir da análise dos campos da Reanálise do ERA-Interim que mostraram baixos teores de umidade específica e relativa e também baixos valores de temperatura do ar, indicando que a massa de ar migratória, da retaguarda do SF era muito fria e seca, com menor possibilidade de ocorrência de

instabilidades do que no caso de agosto de 2006. Isto sugere que a baixa resolução espacial e temporal da Reanálise do ERA-Interim não permite uma análise adequada deste fenômeno de escala regional.

Este trabalho buscou além de seu objetivo principal que era o de identificar as causas e características dos eventos de ocorrência de precipitação após a passagem de SF, como o caso abordado de Setembro, servir como incentivo à pesquisa e catalogação de tais casos no município do Rio de Janeiro. Seguindo, dessa forma, a iniciativa de estudos realizados para os Estados de São Paulo e da Flórida, nos Estados Unidos, (mencionados no capítulo 2 deste trabalho) para a melhoria dos princípios físicos e dos modelos numéricos de previsão do tempo.

Desta forma, recomenda-se para trabalhos futuros a simulação desses dois casos utilizando-se um modelo regional de maior resolução a fim de avaliar com mais detalhes a influência da brisa marítima na acentuação da precipitação no litoral do município do Rio de Janeiro.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMANI, G., R. TAVARES, B. N. ROCHA, B. N. *A influência das brisas marítima e terrestre na gênese das chuvas no transecto Cubatão-São Paulo-SP*, 2006; XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia; CBMET; Florianópolis-SC; BRASIL.

- BAKER, R. D., B. H. Lynn, A. Boone, W.-K. Tao, and J. Simpson, *The influence of soil moisture, coastline curvature, and land-breeze circulations on sea-breeze initiated precipitation*, *J. Hydrometeorol.*, in press, 2001
- BOLETIM CLIMANÁLISE. São José dos Campos: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), Vol. 21, N. 8, Jan. 2006.
- BOLETIM CLIMANÁLISE. São José dos Campos: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), Vol. 21, N. 9, Jan. 2006.
- BOSILOVICH, M. G., W.-Y. Sun, Numerical simulation of the 1993 midwestern flood: Land-atmosphere interactions, *J. Clim.*, 12, 1490–1505, 1999.
- BUCKLEY, R.L., R.J. Kurzeja, 1997: *An Observational and Numerical Study of the Nocturnal Sea Breeze*. Part I: Structure and Circulation. *J. Appl. Meteor.*, 36, 1577–1598.
- CAVALCANTI, I. F. A. *Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais*. Dissertação de Mestrado (PI-INPE 2492 - TDL 097) - INPE São José dos Campos, 113 p., 1982.
- CARRERA, C. V. M., Silva Dias, P. L.; 1990: *Estudo da entrada da brisa marítima no estado de São Paulo*; In: CONGR.BRAS. de METEOROLOGIA, 6o, v.1, p 315 - 319
- CARRILO, A. M.;MORAIS, M.;LANDULFO, E.; CAMARGO,R.;UEHARA,S.;MARIANO, G.;PETTO JR, S.: *Identificação da intrusão da brisa marítima sobre a região metropolitana de São Paulo através da técnica LIDAR aliada à análise meteorológica*. Ciência e Natura, ed. VBrazilian Micrometeorology Workshop, Santa Maria, p. 411-414. 2007
- DERECZYNSKI, C.P., J. S. DE OLIVEIRA E C. O. MACHADO, 2008: *Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro*. Submetido para RBMET em 30/01/2008.
- DOMINGUES, I. P. E C. P. DERECZYNSKI. *Estudo de caso de chuva no Rio de Janeiro por efeito de circulação marítima*. IX Congresso Argentino de Meteorologia (IX CONGREMET), 2005.

- ESTOQUE, M. A.: 1962, *The Sea Breeze as a Function of the Prevailing Synoptic Situation*, *J. Atmos. Sci.* **19**, 244–250.
- FREITAS, E. D., SILVA DIAS, P. L. *Desenvolvimento da brisa marítima sob diferentes situações de grande escala*. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, Ceará, 29 de agosto a 03 de setembro de 2004 (CDROM), 2004.
- JOURDAN, P. *Caracterização do regime de ventos próximo à superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Monografia submetida ao corpo docente da UFRJ, 2007.
- KALNAY, E., M. KANAMITSU, R. Kistler et al., 1996: *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 77, 437-471.
- MELLO, G. M. S., Oliveira ; DEREZYNSKI, C. P. . *Estudos de casos de precipitação no Rio de Janeiro provocados pela intensificação da brisa marítima*. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.
- OLIVEIRA, A. P. e Silva Dias, P. L.; 1982: *Aspectos Observacionais da brisa marítima em São Paulo*; In: CONGR.BRAS. de METEOROLOGIA, 2o, Pelotas, 1982, v.1, p 129 – 161.
- OLIVEIRA, A.P.; DIAS, P.L.S. *Aspectos Observacionais da Brisa Marítima em São Paulo*. II Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais**, p. 129-161, Pelotas, RS, Vol. II, Outubro, 1982.
- PEREIRA FILHO, A. J. *Chuvas de Verão e as Enchentes na Grande São Paulo: El Niño, Brisa Marítima e Ilha de Calor*. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais**, p. 1391-1398, Rio de Janeiro, RJ, Outubro, 2000.
- PEREIRA FILHO, A. J., M. T. L. Barros, R. Hallak e A. W. Gandu, 2004: *Enchentes na Região Metropolitana de São Paulo: aspectos de mesoescala e avaliação de impactos*. XIII CBMET, Fortaleza, CE. Anais CDROM.
- SATYAMURTY, P., C. A. NOBRE e P. L. da SILVA DIAS, 1998: *Meteorology of the Southern Hemisphere: Chapter 3C, South America*. In *Meteorological Monographs*. Vol. 27, No. 49. 119-139.

SOARES, J.R. & DIAS, M.A.F.S. Probabilidade de ocorrência de alguns eventos meteorológicos extremos na cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo*, V.2, n.1, p. 67-75,1986.

WALLACE, J. M., and P. V, HOBBS, 1977: *Atmospheric Science*. Academic Press.

ANEXOS

Tabela 2 Chuva acumulada em 24 horas para o caso do mês de agosto de 2006

Acumulado 24 horas para cada estação pluviométrica (13Z a 12Z) em mm				
AGOSTO				
	20/08/2006	21/08/2006	22/08/2006	23/08/2006
Anchieta	2,2	33,8	0,8	0
Urca	0,6	8,6	0,4	0
Vidigal	1,4	5	0,6	0
Jardim B.	1,2	8	2	0
Bangu	3	18,6	0,2	0
Cachambi	1,4	11,8	0	0
Campo Grande	3,2	21,6	0	0
Cidade de Deus	2,2	11	0,6	0

Copacabana	0,6	3,6	0	0
Georio	1	8,2	0	0
Gericinó	2,8	39,2	0	0
Grajaú	1,2	7,8	0	0
Grota Funda	2,8	3,4	0	0
Guaratiba	0	2,8	0	0
Ilha	0,4	21,8	0	0
Irajá	0,8	19,6	0	0
Itanhangá	2,6	3,4	0	0
Itaúna	2,2	2,8	0	0
Tijuca	1,2	7,2	0	0
Laranjeiras	1,8	10,8	0,6	0
Madureira	1,8	23,2	0	0
Mendanha	2,8	28,8	0	0
Penha	1	24,8	0	0
Piedade	2	19,4	0	0
Riocentro	1,8	4,2	0	0
Santa Cruz	0,8	20,8	0	0
Santa Teresa	1,6	6	0	0
São Conrado	2	4,6	1,2	0
Saúde	1,2	9,8	0	0
Sepetiba	4	7,2	0	0
Sumaré	3,6	19,2	2	0
Tanque	1,8	11,2	0	0

Fonte: Dados da rede de estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio

Tabela 3 Chuva acumulada em 24 horas para o caso do mês de agosto de 2006

Acumulado 24 horas para cada estação pluviométrica (13Z a 12Z) em mm					
	SETEMBRO				
	04/09/2006	05/09/2006	06/09/2006	07/09/2006	08/09/2006
Anchieta	9	9,2	0	0	0
Urca	18,2	27	0,2	4,2	0,4
Vidigal	27,4	41	0,6	14,4	0
Jardim B.	18,2	45,8	0,4	40,4	0
Bangu	13,6	3	0	0	0
Cachambi	7,6	9	0	3,6	0
Campo Grande	10,8	11	0	0	0

Cidade de Deus	16,2	21,6	0	4,2	0
Copacabana	20,2	21	0	11	0
Georio	7,4	5,4	0	6,8	0
Gericinó	12,6	6,8	0,2	0	0
Grajaú	10,2	7,4	0	4,8	0
Grota Funda	13,2	29	0,4	2,4	0
Guaratiba	12,6	6,8	0	3,8	0
Ilha	12	11,4	0	0,4	0
Irajá	7,2	3,6	0	0	0
Itanhangá	24,6	30,4	0	46,6	5,8
Itaúna	18	18,8	0,4	6,4	0
Tijuca	11,4	15,8	0	21,2	0
Laranjeiras	13,2	39	0	16,6	0
Madureira	10	6,4	0	3,4	0
Mendanha	13,4	35,8	0	0,2	0
Penha	8,4	4,2	0,2	1,6	0
Piedade	8,6	22,8	0	1,8	0
Riocentro	18,4	34	0,2	6,6	0
Santa Cruz	19,6	6,8	0	0	0
Santa Teresa	9	21,6	0	31	0
São Conrado	25,6	54	1	44,8	0
Saúde	7,2	6	0	19,4	0
Sepetiba	10	5,4	0	0	0
Sumaré	26	65,8	1,2	40,4	0,2
Tanque	10,4	11	0	2	0

Fonte: Dados da rede de estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio