

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

Verificação da Previsão do tempo em São Paulo com o Modelo Operacional WRF

Fabiani Denise Bender

Dissertação de Mestrado

Orientadora
Prof^ª Dra. Rita Yuri Ynoue

São Paulo
2012

Fabiani Denise Bender

Avaliação da Previsão do tempo em São Paulo com o Modelo Operacional WRF

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas.

Área de Concentração: Meteorologia

Orientadora: Prof^a Doutora Rita Yuri Ynoue

Versão Corrigida. A versão original se encontra arquivada no Serviço de Pós-Graduação do IAG.

São Paulo

2012

*Dedico esta dissertação aos meus pais, João Pedro e Lairdir,
Ao meu irmão Geuvani Luis e
aos meus avós , Léo e Maria Nelci.*

AGRADECIMENTOS

Em especial aos meus pais, *João Pedro* e *Laidir*, pela educação que recebi, pelo discernimento de caráter e por terem me dado todo o amor, carinho, atenção e condições necessárias para que eu pudesse chegar aonde cheguei. Tenho orgulho e satisfação de dizer que esta conquista é, em parte, de vocês.

Ao meu irmão *Geuvani Luis* que sempre me incentivou nos momentos mais difíceis. Tenho certeza que suas palavras de incentivo e carinho foram o alicerce para me manter batalhando dia após dia.

Aos meus avós, *Léo* e *Maria Nelsi*, pelo amor e incentivo depositados ao longo de toda minha vida. Aos meus familiares que sempre me deram amor e força, valorizando meus potenciais.

À minha orientadora, *Dra. Rita Yuri Ynoue*, pela proposta de pesquisa, orientação e motivação que contribuíram não só para o término desta jornada, mas para meu crescimento como pessoa. Claro, não poderia deixar de agradecer por sua atenção e paciência frente as minhas dificuldades, seu otimismo e a nossa amizade.

Agradeço a *Dra. Simone E. T. Ferraz* pelos primeiros ensinamentos durante a iniciação científica que sem dúvida, foi de grande valor em minha formação.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas, especialmente a *Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha*, pelas sugestões de grande valia dicas e auxílio sempre que possível. Ainda um agradecimento especial aos membros da banca do Exame de Qualificação, *Profs. Drs. Edimilson Dias de Freitas* e *Ricardo Camargo*, pelas críticas e sugestões, que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do IAG-USP pela dedicação, acompanhamento ao longo do curso e ensinamentos que contribuíram para meu crescimento científico.

Ao Laboratório MASTER (IAG/USP), em especial ao *Bruno*, por todo suporte com a ferramenta MODE.

Aos colegas e amigos *Cassiano* e *Luana* pela contribuição com relação ao software MATLAB.

Ao colega *Mercel* pelas constantes ajudas com seus conhecimentos em linguagem de programação.

À *Luana* e *Nadiara* pela companhia, amizade, apoio nesses dois anos que dividimos um lar!

A todos os meus amigos e amigas que sempre estiveram me aconselhando e incentivando com carinho e dedicação. Aos amigos da pós-graduação do IAG, os quais, de uma maneira ou de outra, contribuíram em muito para que eu pudesse chegar até aqui.

A todos os funcionários do IAG da seção de Informática, biblioteca, secretarias, gráfica, faxineiros e outros.

Ao *Dr. José Roberto Rozante*, tecnologista do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por ter fornecido os dados de precipitação diária (MERGE).

Agradecimento as Sistema Integrado de Hidrometeorologia no Estado de São Paulo (SIHESP) pelos dados de observações em superfície.

E por último e não menos importante, ao CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado e pelo apoio financeiro através do processo nº 132825/2010-4, cujos recursos possibilitaram dedicação a esta pesquisa.

“A essência do conhecimento científico é a sua aplicação prática.”

Confúcio (551-479 a.C.)

RESUMO

BENDER, F. D. **Avaliação da Previsão do tempo em São Paulo com o Modelo Operacional WRF**. 2012. 98f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Este estudo tem como objetivo a verificação das previsões diárias, das temperaturas máxima e mínima e precipitação acumulada, realizadas pelo modelo operacional de previsão numérica do tempo WRF (Weather Research Forecasting) para o estado de São Paulo. As condições iniciais e de fronteira fornecidas pela análise e previsão das 00UTC do modelo Global Forecast System (GFS), são usados no processamento do WRF, para previsões de 72 horas, em duas grades aninhadas (espaçamentos horizontais de grade de 50 km, D1, e 16,6 km, D2). O período avaliado foi de abril de 2010 a março de 2011. As comparações diárias das temperaturas máxima e mínima foram realizadas entre os valores preditos e observados nas estações de superfície de Registro, São Paulo, Paranapanema, Campinas, Presidente Prudente e Votuporanga (dados da CIIAGRO); através do erro médio (EM) e raiz do erro médio quadrático (REQM), para os prognósticos das 36, 60 e 72 horas. A precipitação acumulada diária é avaliada com relação ao produto MERGE, pela aplicação da ferramenta MODE, na previsão das 36 horas, para um limiar de 0,3 mm, no domínio espacial abrangendo o Estado de São Paulo e vizinhanças. Primeiramente, fez-se uma análise, comparando os pares de grade dos campos previsto e observado, utilizando os índices estatísticos de verificação tradicional de probabilidade de acerto (PA); índice crítico de sucesso (ICS); viés (VIÉS); probabilidade de detecção (PD) e razão de falso alarme (RFA). Posteriormente, foram analisados os campos de precipitação com relação à razão de área (RA); distância dos centroides (DC); razões de percentil 50 (RP50) e 90 (RP90). Os resultados evidenciaram que as saídas numéricas do modelo WRF com D2 tiveram desempenho melhor comparado à grade de menor resolução (maior espaçamento de grade horizontal, D1), tanto no prognóstico diário das temperaturas (máxima e mínima) quanto da precipitação acumulada. A temperatura apresentou um padrão de amortecimento, com temperaturas diárias máxima subestimada e mínima superestimada. Com relação à precipitação, as saídas numéricas do modelo GFS e WRF com D2 mostraram desempenho semelhante, com o D2 apresentando índices ligeiramente melhores, enquanto que as saídas numéricas do modelo WRF com D1 exibiram pior desempenho. Verificou-se um padrão de superestimativa, tanto em termos de abrangência espacial quanto em intensidade, para o modelo GFS e WRF em ambos os domínios simulados, ao longo de todo o período analisado. O percentil 50 é, geralmente, maior que o observado; entretanto, o percentil 90 é mais próximo ao observado. Os resultados também indicam que o viés dos modelos varia ao longo do ano analisado. Os melhores índices tanto com relação à precipitação quanto à temperatura foram obtidos para a estação de verão, com o modelo WRF com D2 apresentando melhores prognósticos. Entretanto, os modelos apresentam os maiores erros no inverno e no outono. Estes erros foram decorrentes de subestimativas das temperaturas máximas e superestimativas de área e intensidade de precipitação.

Palavras-chave: Previsão numérica do tempo operacional, verificação, Modelo WRF, Estado de São Paulo.

ABSTRACT

BENDER, F. D. **Review of weather in São Paulo with the WRF Operational Model.** 2012.98p. São Paulo: Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, 2012, xxxp. Master Dissertation in Meteorology.

Forecasts of daily maximum and minimum temperatures and rainfall performed by the operational numerical weather prediction WRF (Weather Research Forecasting) model in the São Paulo are evaluated. Initial and boundary conditions provided by the 00UTC Global Forecast System (GFS) Model and WRF run for 72 hours, with two nested grids (with horizontal grid spacing of 50 km, D1, and 16.6 km, D2). The study was made for April 2010 to March 2011 period. Daily maximum and minimum temperatures comparisons were made, between predicted and observed data of the surface weather stations of Registro, São Paulo, Paranapanema, Campinas, Presidente Prudente and Votuporanga (CIIAGRO Data), through the mean error (ME) and root mean square error (RMSE), for the 36, 60 and 72 hours forecasts. The daily accumulated rainfall is evaluated using MODE with respect to the MERGE product, for the 36 hours forecast, with threshold of 0.3 mm over the spatial domain covering the State of São Paulo and neighborhoods. First, an analysis was made comparing grid pairs of predicted and observed fields, through the traditional statistical verification indexes: accuracy (PA), critical success index (ICS), bias (VIES), probability of detection (PD) and false alarm ratio (RFA). Subsequently, we analyzed the precipitation field with respect to area ratio (AR), distance from the centroids (DC), ratio of the 50th percentile (RP50) and ratio of the 90th percentile (RP90). The WRF, with D2 nested grid, had better performance compared to the grid of lower space resolution (higher horizontal grid spacing, D1) for both, daily temperatures (maximum and minimum) and the accumulated rainfall forecasts. The temperature forecast presented a damped pattern, with underestimated maximum and overestimated minimum values. Rainfall was overall overestimated spatially and in intensity for the three models throughout the analyzed period. The forecasted 50th percentile is generally higher than that observed, however, the 90th percentile is closer to observations. The results also indicate that the bias of the models varies annually. The best performances for both rainfall and temperature were obtained for the summer season, with the D2 showing slightly better results. However, the models had the biggest errors during the winter and autumn seasons. These errors were due to underestimation of maximum temperatures and overestimation in area and intensity of precipitation.

Keywords: Operational numerical weather forecasting, verification, WRF Model, State of São Paulo.

ÍNDICE

Capítulo 1	
1. Introdução	1
1.1 Motivação-Justificativa.....	3
1.2 Objetivo	4
Capítulo 2	
2. Revisão da Literatura	5
2.1 Previsão Numérica do Tempo	5
2.2 Sistemas Meteorológicos que afetam a região de estudo	7
2.3 Previsão de temperatura e precipitação	9
2.4 Verificação das Previsões	10
Capítulo 3	
3.Dados e Metodologia	13
3.1 Modelo Atmosférico de Mesoescala.....	13
3.1.1 O modelo WRF	13
3.1.1.1 Coordenada Vertical e Variáveis	14
3.1.1.2 Equações Governantes.....	15
3.1.1.3 Discretização Temporal.....	16
3.1.1.4 Discretização Espacial.....	17
3.1.1.5 Condições iniciais e de fronteira.....	18
3.1.1.6 Aninhamento de grades.....	19
3.1.1.7 Processos Físicos.....	21
3.1.1.7.1 Microfísica.....	21
3.1.1.7.2 Parametrização de Cumulus.....	22
3.1.1.7.3 Camada Superficial.....	23
3.1.1.7.4 Cobertura de Solo.....	23
3.1.1.7.5 Camada Limite Planetária.....	24
3.1.1.7.6 Radiação.....	24

3.1.2 Configurações e processamento do modelo.....	25
3.1.2.1 Domínio.....	25
3.1.2.2 Pré Processamento do WRF.....	27
3.1.2.3 Inicialização.....	28
3.1.2.4 Parametrizações Físicas.....	29
3.1.2.5 Pós – Processamento.....	30
3.2 Verificação.....	30
3.2.1 Dados e Métodos.....	30
3.2.1.1 Análise Pontual.....	30
3.2.1.1.1 Dados.....	31
3.2.1.1.2 índices Estatísticos.....	32
3.2.1.1.3 Procedimento de Verificação.....	33
3.2.1.2 Análise espacial.....	34
3.2.1.2.1 Dados.....	35
3.2.1.2.2 Ferramenta MODE.....	36
3.2.1.2.2.1 Descrição do Método de avaliação Diagnóstica baseada em Objeto (MODE).....	38
3.3.1.2 Procedimento de Verificação.....	42
3.2.1.2.3.1 Exemplo da análise com relação a aplicação da ferramenta MODE 44.....	44
Capítulo 4	
4.Resultados.....	51
4.1 Análise da Temperatura.....	51
4.1.1 Análise diária.....	52
4.1.2 Análise mensal.....	56
4.1.2.1 GFS.....	62
4.1.2.2 WRF no D1.....	63
4.1.2.3 WRF no D2.....	63
4.1.2.4 Comparação entre modelos.....	64
4.1.3 Análise Trimestral.....	65
4.1.3.1 GFS 71.....	71
4.1.3.2 WRF no D1.....	71
4.1.3.3 WRF no D2.....	72
4.1.3.4 Comparação entre os modelos.....	73

4.2 Avaliação Espacial – Aplicação da ferramenta MODE.....	75
4.2.1 Análise diária.....	75
4.2.1.1 Verificação de índices Estatísticos Tradicionais.....	80
4.2.1.2 Verificação baseada em pares de polígonos comparados.....	81
4.2.2 Análise mensal e sazonal.....	81
4.3 Análise Geral.....	89
Capítulo 5	
5. Conclusões.....	90
Capítulo 6	
6.Sugestões para trabalhos futuros.....	91
BIBLIOGRAFIA.....	92
APÊNDICES.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Figura 1. 1 - Distribuição espacial da chuva média anual, no Estado de São Paulo, no período de 1947 a 1997. (Fonte: Prado <i>et al.</i> , 2006).....	9
Figura 1.2	- Precipitação média mensal no estado de São Paulo, calculada utilizando série temporal média espacial de precipitação no período de 1901 a 2007 (Fonte: Prado (2010)).....	10
Figura 3.1	- Coordenada Vertical η , (SKAMAROCK et al., 2008).....	14
Figura 3.2	- Grades horizontal e vertical do ARW. θ variável termodinâmica; u, v, w componentes zonal, meridional e vertical do vento (Adaptado de SKAMAROCK et al., 2008).....	17
Figura 3.3	- Zona especificada e zona de relaxação para uma grade, com uma coluna/linha de zona especificada e quatro colunas/linhas de zona de relaxação (adaptado SKAMAROCK et al., 2008).....	19
Figura 3.4	- Exemplos de aninhamentos de domínios permitidos no WRF, (adaptado de SKAMAROCK et al., 2008).....	20
Figura 3.5	- Exemplo de aninhamento de grades na grade C de Arakawa, com razão de resolução 3:1 (adaptado de SKAMAROCK et al., 2008).....	20
Figura 3.6	- Topografia, em metros, com espaçamento de grade de 50 km utilizada nas simulações. A região interior ao limite do retângulo vermelho representa o limite do domínio D1. A região interna ao retângulo verde representa o limite do domínio D2.....	26
Figura 3.7	- Topografia sobre o domínio D2, em metros, com resolução espacial de 16,6 km.....	27
Figura 3.8	- Esquema simplificado do pré-processamento do ARW-WRF. (Adaptado, SKAMAROCK et al., 2008).....	28
Figura 3.9	- (a) Regiões homogêneas quanto à precipitação, para o período de 1970-2003, obtidas com dados pentadais da Análise de Cluster. (b) Informações referentes às seis estações (Adaptado ANGELO, 2011).....	31
Figura 3.10	- Ilustração do procedimento realizado para a comparação dos dados de saída do modelo numérico WRF, nas previsões de 36, 60 e 72 horas.....	34

Figura 3.11	- Distribuição espacial dos pontos de observação da precipitação, das diferentes fontes, sobre a América do Sul (Adaptado ROZANTE et. al., 2010).....	35
Figura 3.12	- Exemplo de mapa de interesse, para a razão de intensidade mediana; (adaptado BROWN et. al, 2007).....	40
Figura 3.13	- Exemplo de uma aplicação da abordagem de identificação de objeto em um campo de precipitação do modelo WRF. a) Valores do campo de precipitação inicial, b) campo suavizado através da aplicação do filtro de convolução, c) campo em que foi aplicada a máscara, resultante da aplicação do limiar, d) campo final dos objetos, após a aplicação da suavização e do limiar ao campo de dados iniciais, em cada uma das grades dos objetos. Adaptado Brown et al.(2007).....	41
Figura 3.14	- Representação do domínio usado na avaliação das simulações com o MODE, delimitado pelo retângulo interno (em vermelho), o retângulo externo refere-se ao domínio de abrangência das simulações do D2.....	44
Figura 3.15	- Campo de distribuição espacial da precipitação acumulada diária simulada pelo GFS (a); observada pelo MERGE (b); para a precipitação acumulada diária, do dia 01/04/2010, ambas com as grades do domínio e resolução espacial considerada na aplicação do MODE com a resolução espacial horizontal de 0,25 ° de latitude/longitude.....	45
Figura 3.16	- Esquema dos objetos de área de chuvas prevista e observada identificados pelo MODE.....	46
Figura 3.17	- Esquema mostrando objetos de área de chuva prevista e objetos de área de chuva observada identificados pela ferramenta MODE, para o limiar de 0,3 $mm.dia^{-1}$, para a precipitação acumulada do dia 10/08/2010.....	49
Figura 4.1	- Temperatura máxima observada nas seis estações em superfície distribuídas sobre o Estado de São Paulo, de acordo com os dados obtidos da CIIAGRO; previsto pelo GFS e pelo WRF em ambos os domínios simulados, na integração das 36 horas, para o mês de fevereiro de 2011, (a) Registro; (b) São Paulo; (c) Paranapanema;	

	(d) Campinas; (e) Presidente Prudente; (f) Votuporanga.....	53
Figura 4.2	- Idem Figura 4.1, porém para a temperatura mínima.....	54
Figura 4.3	- Evolução das temperaturas médias diárias (a) máxima e (b) mínima, previstas pelo WRF no D2 seus respectivos EM associados (c, d) para as seis estações, com relação ao observado na integração das 36 horas.....	55
Figura 4.4	- Evolução dos índices estatísticos mensais da temperatura máxima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, f, g) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2 respectivamente, para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.....	57
Figura 4.5	- Idem à Figura 4.4, porém para integração das 60 horas.....	58
Figura 4.6	- Idem à Figura 4.4, porém para integração das 72 horas.....	59
Figura 4.7	- Evolução dos índices estatísticos mensais da temperatura mínima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, f, g) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2, respectivamente, para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.....	60
Figura 4.8	- Idem à Figura 4.7, porém para integração das 60 horas.....	61
Figura 4.9	- Evolução dos índices estatísticos trimestrais da temperatura máxima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, f, g) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2, respectivamente para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.....	66
Figura 4.10	- Idem à Figura 4.9, porém para integração das 60 horas.....	67
Figura 4.11	- Idem à Figura 4.9, porém para integração das 72 horas.....	68
Figura 4.12	- Evolução dos índices estatísticos trimestrais da temperatura mínima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, f, g) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2, respectivamente para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.....	69
Figura 4.13	- Idem à Figura 4.12, porém para a integração das 60 horas.....	70

Figura 4.14	- (a) Esquema mostrando objetos de áreas e observada identificados pela ferramenta MODE, para o limiar de $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, para a precipitação acumulada do dia 06/02/2011 sobre o domínio abrangendo o Estado de São Paulo, com precipitação observada pelo MERGE e prevista pelo modelo GFS, na integração das 36 horas, (b) o primeiro par de polígonos identificado no campo previsão-observação para os diferentes modelos é indicado pela cor vermelha.	76
Figura 4.15	- Idem à Figura 4.14, porém para a previsão do WRF em D1.....	76
Figura 4.16	- Idem à Figura 4.15, porém para a previsão do WRF em D2.....	76
Figura 4.17	- Evolução diária dos índices estatísticos de verificação tradicionais no mês de fevereiro, para o GFS, e WRF no D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Percentual de Acerto (PA), (b) Índice Crítico de Sucesso (ICS), (c) Viés (VIÉS), (d) Probabilidade de Detecção (PD) e (e) Razão de Falso Alarme (RFA).....	77
Figura 4.18	- Evolução diária dos índices sugeridos pelo MODE no mês de fevereiro, para o GFS e WRF no D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Razão de Área (RA), (b) Distância dos Centroides (DC), (c) Razão de Percentil 50 (RP50), (d) Razão de Percentil 90 (RP90).....	78
Figura 4.19	- Evolução mensal dos índices estatísticos de verificação tradicionais no mês de fevereiro, para o GFS e WRF no D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Percentual de Acerto (PA), (b) Índice Crítico de Sucesso (ICS), (c) Viés (VIÉS), (d) Probabilidade de Detecção (PD) e (e) Razão de Falso Alarme (RFA).....	82
Figura 4.20	- Evolução mensal dos novos índices propostos pelo MODE: Pontos de grade com precipitação, (a) Área Prevista, (b) Distância dos Centroides (DC), (c) Percentil 50 (P50), (d) Percentil 90 (P90).....	85
Figura 4.21	- Área de abrangência dos eventos de precipitação observada e prevista pelos modelos GFS e WRF com D1 e D2, em unidades de grade nos trimestres de (a) verão e (b) inverno.....	86
Figura 4.22	- Índices estatísticos de verificação para o verão/inverno de PA (a-b), ICS (c-d), VIÉS (e -f) e RFA (g - h).....	87
Figura A.1.1	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de	

	Percentual de Acerto, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	100
Figura A.1.2	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Percentual de Acerto, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	101
Figura A.2.1	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional do Índice	
Figura A.2.2	- Crítico de Sucesso, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	102
	Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional do Índice Crítico de Sucesso, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	103
Figura A.3.1	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Viés, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.	
Figura A.3.2	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Viés, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	104
Figura A.4.1	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Probabilidade de Detecção, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	105
Figura A.4.2	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Probabilidade de Detecção, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	106
Figura A.5.1	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Razão de Falso Alarme, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	107
Figura A.5.2	- Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Razão de Falso Alarme, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na	

	integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	108
Figura B.1.1	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Áreas, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	109
Figura B.1.2	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Áreas, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	111
Figura B.2.1	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Distância dos Centróides, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	112
Figura B.2.2	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Distância dos Centróides, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	113
Figura B.3.1	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 50, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	114
Figura B.3.2	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 50, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	115
Figura B.4.1	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 90, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.....	116
Figura B.4.2	- Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 90, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	- Características da grade utilizada nas simulações com o modelo WRF.....	27
Tabela 3.2	- Principais parâmetros de assimilação do WRF.....	29
Tabela 3.3	- Parametrizações físicas utilizadas nas simulações do WRF nas duas grades aninhadas.....	29
Tabela 3.4	- Tabela de contingência para a verificação da ocorrência ou não da previsão de chuva.....	37
Tabela 3.5	- Atributos dos pares de polígonos comparados entre campo previsto pelo GFS, na integração das 36 horas, e campo observado dado pelo MERGE para o caso do dia 01/04/2010, mostrado na Figura 3.16.....	49
Tabela C.1	- Avaliação da evolução diária dos índices estatísticos de verificação tradicional com relação aos pares de grade comparados entre campo previsto e observado para o mês de abril de 2010.....	120
Tabela C.2	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de maio de 2010.....	121
Tabela C.3	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de junho de 2010.....	122
Tabela C.4	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de julho de 2010.....	123
Tabela C.5	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de agosto de 2010.....	124
Tabela C.6	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de setembro de 2010.....	125
Tabela C.7	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de outubro de 2010.....	126
Tabela C.8	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de novembro de 2010.....	127
Tabela C.9	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de dezembro de 2010.....	127
Tabela C.10	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de janeiro de 2011.....	128
Tabela C.11	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de fevereiro de 2011.....	128
Tabela C.12	- Idem Tabela C.1, porém para o mês de março de 2011.....	129
Tabela D.1	- Avaliação da evolução diária dos índices estatísticos baseados na avaliação do primeiro par de polígonos identificado e comparado entre campo previsto e observado para o mês de abril de 2010.....	131
Tabela D.2	- Idem Tabela D.1, porém para o mês de maio de 2010.....	131
Tabela D.3	- Idem Tabela D.3, porém para o mês de junho de 2010.....	132

Tabela D.4	- Idem Tabela D.4, porém para o mês de julho de 2010.....	132
Tabela D.5	- Idem Tabela D.5, porém para o mês de agosto de 2010.....	133
Tabela D.6	- Idem Tabela D.6, porém para o mês de setembro de 2010.....	133
Tabela D.7	- Idem Tabela D.7, porém para o mês de outubro de 2010.....	134
Tabela D.8	- Idem Tabela D.8, porém para o mês de novembro de 2010.....	134
Tabela D.9	- Idem Tabela D.9, porém para o mês de dezembro de 2010.....	135
Tabela D.10	- Idem Tabela D.10, porém para o mês de janeiro de 2011.....	135
Tabela D.11	- Idem Tabela D.11, porém para o mês de fevereiro de 2011.....	136
Tabela D.12	- Idem Tabela D.12, porém para o mês de março de 2011.....	136

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AFWA	<i>Naval Research Laboratory</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
ARPS	<i>Advanced Regional Prediction System</i>
ARW	<i>Advanced Research WRF</i>
AFWA	<i>Department of Defense's Air Force Weather Agency</i>
CAPE	<i>Convective available potential energy</i>
CAPS	Center for Analysis and Prediction of Storm
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CERES	Clouds and Earth's Radiant Energy System.
CCM	Complexos convectivos de mesoescala
CIIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
CLP	Camada Limite Planetária
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
DC	Distância do centroide
D1	Domínio 1
D2	Domínio 2
EM	Erro Médio
ETA	Modelo Regional de escala vertical eta
ESRL	<i>Earth System Research Laboratory</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
GFS	<i>Global Forecast System</i>
GrADS	<i>Grads Analysis and Display System</i>
GRIB2	Gridded Binary
GTS	<i>Global Telecommunication System</i>
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
ICS	Índice Crítico de Sucesso
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIS	Lightning Imaging System
MATLAB	Matrix Laboratory
MET	<i>Model Evaluation Tools</i>
MMM	<i>Division Mesoscale and Microscale Meteorology</i>
MM5	<i>Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric</i>

	<i>Research Fifth Generation Mesoscale Model</i>
MODE	<i>Method for Objective-Based Diagnostic Evaluation</i>
NASDA	National Space Development Agency of Japan
NASA	National Aeronautics and Space Administration of United States
NETCDF	<i>Network Common Data Form</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research's</i>
NMM	<i>Nonhydrostatic Mesoscale Model</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration's</i>
NRL	<i>Naval Research Laboratory</i>
PA	Percentual de Acerto
PCDs	Plataformas de coleta de dados
PD	Probabilidade de Detecção
PR	Precipitation Radar
R	Raio de influência
RA	Razão de área
RAMS	<i>Regional Atmospheric Modeling System</i>
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio
RFA	Razão de falso alarme
RP50	Razão de percentil 50
RP90	Razão de percentil 90
RK3	<i>Runge-Kutta</i>
T	Limiar de precipitação
TMI TRMM	TMI TRMM Microwave Radiometer.
TRMM	<i>TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
VIÉS	VIRS Visible and Infra-Red Scanner
VIRS	Erro de deriva
WRF	<i>WRF Weather Research and Forecasting</i>
WPS	<i>Pre-Processing System</i>
WSM-3	Single-Moment 3-Class
YSU	<i>Yonsei University</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

1. Introdução

O comportamento da atmosfera afeta diretamente a vida cotidiana do homem. Prever as condições atmosféricas com antecedência é, cada vez mais, uma preocupação no meio científico, pois a previsão de eventos meteorológicos, com determinada antecedência, pode evitar perdas materiais e humanas, e tem um grande impacto no desenvolvimento econômico e social.

Os modelos numéricos globais e regionais são ferramentas de suma importância para a previsão do tempo. Os avanços da previsão numérica do tempo são indiscutíveis, entretanto, melhorias ainda devem advir com novos desenvolvimentos. Uma das opções para se obter melhores resultados é o uso de modelos regionais da atmosfera.

Embora os modelos numéricos de escala global consigam representar bem a circulação geral da atmosfera, com boa acurácia na representação de sistemas de larga escala, eles apresentam limitações, com relação às representações de fenômenos de meso e microescala. Nesse sentido, os modelos regionais ou de área limitada, conseguem representar melhor tais sistemas, pois, permitem simulações em maiores resoluções e, conseqüentemente, inserem com mais detalhes, fatores locais que afetam a circulação atmosférica, como topografia, linhas de costa, cobertura de solo, bem como processos de turbulência e microfísica.

O aumento da capacidade de processamento computacional, verificado nos últimos anos, tem permitido, cada vez mais, simular fenômenos atmosféricos com maior resolução espacial. No entanto, sabe-se que as previsões com modelos atmosféricos apresentam incertezas; que podem ser decorrentes da representação dos processos físicos do modelo, por não estarem ajustados às condições de determinados locais, ou mesmo, decorrentes da precisão dos cálculos.

Como os modelos numéricos atmosféricos apresentam as equações do fluido com aproximações, alguns processos físicos não conseguem ser resolvidos nas resoluções das grades usuais; como a interação com a superfície, a turbulência, as trocas radiativas, os processos microfísicos, etc. Deste modo tais processos são simplificados e incluídos de forma parametrizada.

Além das limitações no tratamento adequado dos fenômenos físicos, Lorenz (1963, 1965) observou que as integrações numéricas das equações dos movimentos atmosféricos apresentam uma forte dependência das condições iniciais. De acordo com a “Teoria do caos”, pequenos erros nas condições iniciais, após algum tempo de integração poderiam amplificar-

se, diminuindo a solução mínima da realidade, concordando com KALNAY (2003), que afirma que o efeito borboleta demonstra a impossibilidade de uma previsão perfeita e que sistemas têm um limite finito de previsibilidade.

A utilização de modelos de mesoescala, visando aumentar o detalhamento das previsões geradas por modelos globais, possibilita a análise de fenômenos meteorológicos de menor escala. Apesar do contínuo desenvolvimento técnico dos computadores, os modelos de escala regional ainda não conseguem simular algumas características e variações atmosféricas. Nesse contexto, a avaliação contínua das previsões é imprescindível, pois o conhecimento dos erros dos modelos proporciona sua melhor utilização e a identificação das possíveis melhorias que podem e ou devem ser introduzidas.

Para verificar o desempenho dos modelos de previsão numérica do tempo, determinando a qualidade das previsões, faz-se necessário o uso de métodos de avaliação e verificação desses modelos (ANTHES, 1983). Os centros de previsão, por exemplo, aplicam interpretações estatísticas nas previsões do tempo, visando a melhora no desempenho da representação dos fenômenos atmosféricos dos modelos de previsão do tempo.

A interpretação estatística das previsões numéricas dos modelos também permite levar em conta particularidades locais e localizações geográficas, através de relações estatísticas que permitem melhor a acurácia das previsões de chuva, temperatura e outros fenômenos (ARAVÉQUIA e QUADRO, 2003). Segundo Rozante *et al.* (2010), as observações de estações de superfície são geralmente utilizadas como referência nas avaliações; porém, as observações e os produtos numéricos apresentam escalas espaciais distintas. A rede de estações de superfície, distribuída irregularmente no espaço, representa características ambientais pontuais; enquanto os modelos numéricos produzem campos médios em grades regulares.

Neste capítulo serão incluídas a motivação e os objetivos específicos do trabalho. No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a previsão numérica do tempo, e os principais sistemas meteorológicos (nas diferentes escalas espaço-temporal) que atuam/influem na região de estudo; bem como uma descrição da previsão e verificação das variáveis meteorológicas de temperatura e precipitação. No capítulo 3 é descrito, o modelo numérico utilizado nas simulações, sua configuração bem como a descrição da metodologia de verificação utilizada. No capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos, para as verificações pontuais e espaciais. No capítulo 5 apresentam-se as conclusões e, no capítulo 6 algumas sugestões para trabalhos futuros.

1.1 Motivação-justificativa

Precipitação e temperatura a 2 m da superfície são variáveis meteorológicas que têm grande importância sobre os impactos na sociedade humana (FAN e VAN DEN DOOL, 2011). Os órgãos de previsão normalmente apresentam, dentre outros, as temperaturas mínima e máxima e a precipitação acumulada esperada para o período de 24 horas, de um determinado dia.

Nas previsões numéricas do tempo, próximo à superfície terrestre, os modelos apresentam erros sistemáticos (em que variáveis meteorológicas apresentam padrão de superestimativa ou subestimativa) dependentes da localização geográfica devido a parametrizações físicas inadequadas dos modelos numéricos e da disposição espacial das estações meteorológicas em superfície (subgrade) com relação à grade do modelo, (ARAVÉQUIA e QUADRO, 2003).

Sabe-se que as condições de tempo interferem nas mais variadas atividades da sociedade, como transporte de cargas, na execução de serviços, previsão de consumo energético, épocas de plantio e colheita. O conhecimento prévio das condições meteorológicas permite, por exemplo, que indústria, comércio, navegação, agricultura, possam planejar suas atividades, além da proteção civil e de bens materiais. Nesse contexto, uma previsão de tempo com alto índice de acerto, e, voltada para as necessidades do Estado de São Paulo, é extremamente importante para os mais diversos setores econômicos e sociais.

As previsões da precipitação e temperatura são as informações mais utilizadas pelo público em geral. Como as previsões dos modelos atmosféricos apresentam incertezas, torna-se plenamente justificável o esforço em avaliar e comparar, objetivamente, essas grandezas meteorológicas previstas, pois a análise pode mostrar algumas tendências e erros sistemáticos, que podem estar sendo produzidos pelas deficiências dos modelos numéricos. Ainda, de acordo com Brown *et al.* (2007) questões de verificação de previsões espaciais são de particular relevância em previsões de alta resolução espacial. Desse modo, o conhecimento e a avaliação prévia das previsões numéricas permite, ao meteorologista, a tomada de decisões para melhorar a previsão do tempo (DERECZYNSKI *et al.*, 2010).

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar, de forma objetiva e estatística, o desempenho do modelo WRF na previsão operacional do tempo, no Estado de São Paulo, no prognóstico de variáveis meteorológicas. Previsões de até 72 horas do modelo WRF são comparados com observações convencionais, para o período de 01 de abril de 2010 a 31 de março de 2011.

Como objetivos específicos têm-se:

- 1) Verificar as previsões de temperaturas máxima e mínima diária, de até 72 horas do modelo WRF, comparando as com as das estações de superfície.
- 2) Comparar e analisar a distribuição espacial dos campos de precipitação acumulada diária, na integração de até 36 horas.
- 3) Comparar as previsões de 72 horas do modelo global, com as previsões do modelo regional.

Portanto, propôs-se a desenvolver o estudo utilizando dados observados entre abril de 2010 a março de 2011, visando verificar o desempenho do modelo operacional WRF e fornecer suporte às atividades operacionais da previsão do tempo.

2. Revisão da Literatura

2.1 Previsão Numérica do Tempo

As ideias básicas da previsão numérica e dos modelos climáticos foram concebidas e desenvolvidas há cerca de um século, muito antes do primeiro computador eletrônico ser construído.

Uma das primeiras análises da previsão do tempo sob o ponto de vista científico, foi realizada pelo físico e meteorologista norueguês Vilhelm Bjerknes. Em 1904, Bjerknes estabeleceu que a previsão resultava de duas etapas: uma etapa diagnóstica, em que o estado inicial da atmosfera é determinado pela observação; e uma etapa prognóstica, em que as equações dos movimentos atmosféricos são usadas para calcular como o estado atmosférico avança ao longo do tempo. Ele propôs que o estado da atmosfera poderia ser descrito a partir de sete variáveis básicas: pressão, temperatura, densidade, umidade e as três componentes da velocidade do vento. Deste modo, a previsão do tempo era vista como um problema de valor inicial, ou seja, uma vez conhecendo-se o estado inicial da atmosfera em um único instante de tempo, seria possível resolver as equações para um instante posterior (NEBEKER, 1995; LYNCH, 2008).

A partir de 1913, Lewis Fry Richardson, meteorologista britânico, iniciou seu árduo trabalho na previsão do tempo. Em 1922 publicou os resultados de previsão obtidos (a mão) através de solução numérica das equações propostas por Bjerknes. Em sua previsão, ele determinou que a mudança da pressão na superfície, ao longo de dois pontos da Europa Central, seria de 145 milibares; um valor irreal com erro de duas ordens de grandeza, (LYNCH, 2008), devido às simplificações das equações propostas por Bjerknes.

Entre os anos de 1946 e 1952 Jonh Von Neumann e Jule Gregory Charney trabalharam conjuntamente, no desenvolvimento de computadores e de programas computacionais que pudessem resolver, numericamente, o movimento atmosférico. No início dos anos 50 Charney, integrou computacionalmente um algoritmo numérico para resolver o movimento atmosférico através de um sistema de equações que ele propôs, e cuja integração numérica de 24 horas levava em torno de 24 horas computacionais (LYNCH, 2008).

Os modelos de circulação geral ainda são, até o presente, obrigados a ter espaçamento de grade relativamente grande, e conseqüentemente são incapazes de representar os modos de

pequeno comprimento de onda. Devido a baixa resolução espacial, muitos fenômenos não conseguem ser explicitamente resolvidos nos modelos globais, tendo de ser parametrizados.

Uma maneira de aumentar a resolução dos modelos globais é acoplando a estes, modelos de mesoescala, com espaçamento de grade menor que o usado em modelos globais, o que permitirá a representação de fenômenos de mesoescala não simulados em modelos globais. Ressalta-se, entretanto, que mesmo com modelos de mesoescala, ainda não se consegue resolver fenômenos como a formação de nuvens individuais, as circulações internas dentro de sistemas de nuvens, a turbulência, etc, que são parametrizados.

Sabe-se que os modelos numéricos regionais são ferramentas importantes para ampliar o conhecimento dos fenômenos em escala regional e que possibilitam ampliar o detalhamento de características atmosféricas locais (ROZANTE e CAVALCANTI, 2008). Eles são de grande importância no prognóstico de previsão do tempo, principalmente em regiões que sofrem efeitos de topografia que influem nas condições meteorológicas.

Os modelos de área limitada, com alta resolução, permitem representar com maiores detalhes fenômenos de escalas espaciais e temporais menores, comparados aos modelos globais de baixa resolução. De acordo com Bustamante *et al.* (2005), os modelos de área limitada requerem condições iniciais e de contornos laterais, que são fornecidas por modelos globais de baixa resolução, de modo que os erros provenientes destes contornos, também são fatores limitantes na utilização dos modelos de área limitada, além de um determinado prazo de previsão.

Alguns modelos de área limitada que vêm sendo mais difundidos e utilizados são o RAMS - Regional Atmospheric Modeling System (PIELKE *et al.*, 1992), o ARPS - Advanced Regional Prediction System (XUE *et al.*, 2000), o MM5 - Penn State Mesoscale Model (GRELL *et al.*, 1994) e mais recentemente, o WRF - Weather Research and Forecasting (MICHALAKES *et al.*, 1998), sucessor do MM5.

Sousounis *et al.* (2004) mostram os resultados das simulações de diferentes modelos (MM5, WRF, ARPS, Eta), sob diferentes configurações com relação às parametrizações, na previsão de eventos de precipitação convectiva. Os modelos foram integrados com resoluções horizontais de 36 e 12 km, para a região continental dos Estados Unidos, e as grandes planícies, respectivamente. Os resultados da verificação para a resolução de 36 km, mostraram que o MM5 e o WRF apresentaram os melhores desempenhos. Através da técnica denominada “acuity-fidelity”, mostraram que o WRF foi mais hábil que o MM5 com a resolução espacial de 36 km. Também mostraram que a habilidade do WRF, com resolução espacial de 12 km foi melhor, comparada à resolução de 36 km.

Ruiz *et al.* (2010) testaram a sensibilidade do modelo WRF com diferentes esquemas de parametrização sobre a América do Sul, no período de verão, com grades de resolução horizontal de 40 km. Eles mostraram que os melhores esquemas de parametrização de cobertura do solo e da camada limite planetária foram os esquemas Noah e YSU, que melhor representaram a temperatura, umidade e profundidade, respectivamente.

Com o aumento da capacidade de processamento computacional, a resolução espacial dos modelos operacionais também aumentou (MASS *et al.*, 2002). Nesse sentido, nos últimos anos, abordagens de previsão têm se tornado mais complexas e aplicadas a escalas espaciais com maiores resoluções (DAVIS *et al.*, 2006 - a). Entretanto, uma das maiores questões que vem sendo discutida e abordada pela comunidade meteorológica diz respeito aos benefícios de se aumentar a resolução horizontal em modelos de previsão numérica do tempo de curto prazo (1-3 dias). Mass *et al.* (2002) afirmaram que ao diminuir o espaçamento de grade em modelos de mesoescala, para menos de 10-15 km de resolução horizontal, há uma melhor representação dos sistemas atuantes mas não necessariamente implica na melhora da acurácia das previsões.

2.2 Sistemas Meteorológicos que afetam o tempo da região de estudo

Orlanski (1975) propôs a classificação dos fenômenos atmosféricos de acordo com a sua escala espaço-temporal; dividindo-os em escala sinótica (dinâmica de grande escala), de milhares de km e duração de uma semana; escala sub-sinótica ou mesoescala, contendo processos de 10 a 1000 km e dias; e microescala, abrangendo processos da ordem de vários metros e minutos. Essa separação, em diferentes escalas facilita o processo de classificação de eventos meteorológicos, assim como o entendimento dos movimentos atmosféricos. é importante observar que os sistemas meteorológicos, de diferentes escalas, podem interagir entre si, por exemplo, um sistema sinótico, como a frente fria, pode estar associada à uma linha de instabilidade, que é um sistema meteorológico de mesoescala.

A região sudeste (não de forma isolada) é afetada por diversos sistemas de escala sinótica e de mesoescala; inclusive por fatores associados à circulação de grande escala e circulações locais. Na escala sinótica podemos destacar os sistemas frontais (SATYAMURTY *et al.*; FERREIRA e GAN, 1990) e Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (ROCHA e GANDU, 1996). Na mesoescala, os principais sistemas que produzem chuva são os

Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM (GUEDES e SILVA DIAS, 1984; VELASCO e FRITSH, 1987), Linhas de instabilidade (SCOLAR e SILVA DIAS, 1982) e as brisas marítimas (PERREIRA FILHO, 1999; FREITAS, 2003). Na microescala, as chuvas são produzidas pelas pequenas células convectivas e também devido à convecção forçada, pela orografia local que são intensificadas pelas ilhas de calor das regiões metropolitanas.

Prado *et al.* (2006), mostraram que a distribuição do regime anual de precipitação sobre o Estado de São Paulo, determinado com dados dos postos pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo – DAEE, coletados no período de 1947 a 1997, apresenta uma grande variabilidade espacial conforme ilustrado na Figura 1.1; em que as latitudes e longitudes estão indicadas nos eixos das coordenadas no mapa; a escala de cores indica a precipitação acumulada em mm. Os maiores valores acumulados nas regiões onde há o efeito topográfico é marcante. Os totais pluviométricos elevados no nordeste do estado devem-se ao efeito topográfico, enquanto que os da região litorânea possuem contribuição da brisa marítima e da circulação de vale montanha.

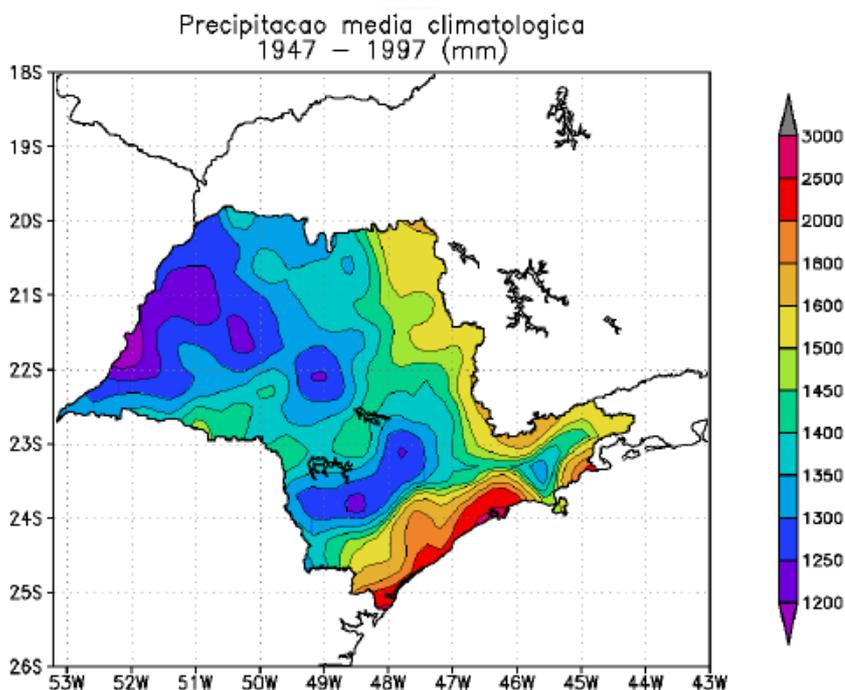


Figura 1. 1 - Distribuição espacial da chuva média anual, no Estado de São Paulo, no período de 1947 a 1997. (Fonte: Prado *et al.*, 2006).

Através de curvas de correlação, Prado *et al.* (2008), observaram que para o Estado de São Paulo a estação seca compreende os meses de maio a setembro e a estação chuvosa compreende os meses de outubro a abril; com abril identificado como mês da estação

chuvosa, devido à influência de sistemas convectivos. Nery *et al.* (1999) também mostraram que a precipitação no estado de São Paulo é marcada por um ciclo anual; com máximos em dezembro, janeiro e fevereiro (verão) e mínimos em junho, julho e agosto (inverno).

Na Figura 1.2 mostra-se a distribuição mensal do regime de precipitação, sobre o Estado de São Paulo apresentado por Prado (2010). Os maiores totais pluviométricos, registrados foram durante o mês de janeiro, apresentando um valor médio superior a 240 mm e os meses de julho e agosto, com os menores totais pluviométricos, da ordem de 40 mm.

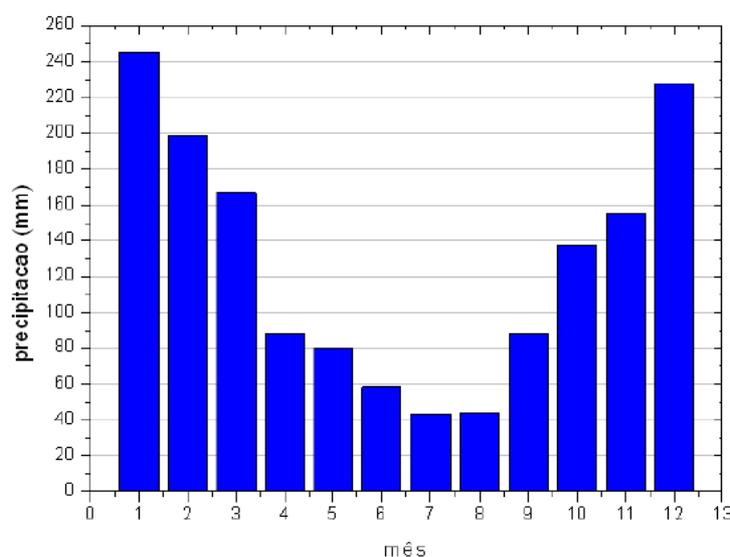


Figura 1.2 - Precipitação média mensal no estado de São Paulo, calculada utilizando série temporal média espacial de precipitação no período de 1901 a 2007 (Fonte: PRADO, 2010).

2.3 Previsão de temperatura e precipitação

A qualidade de um sistema de previsão, para um determinado local, é altamente dependente de vários fatores como: topografia e proximidade dos oceanos, hora do dia, e estação sazonal (WERTH e GARRETT, 2011). Quando comparado com outras variáveis meteorológicas, a precipitação é uma das mais difíceis de ser prevista, devido à sua natureza altamente descontínua tanto no espaço como no tempo (FAN e VAN DEN DOOL, 2011; NERY *et al.* 2009; CASATI, 2004). A temperatura a 2 m da superfície, por outro lado, geralmente é melhor prevista que a precipitação; pelo fato de ser uma variável com distribuição espaço – temporal mais homogênea; mas não é esta a razão de ser mais fácil de prever, pois esta é fortemente influenciada por condições de contorno inferiores (tais como

superfícies da terra e água, propriedades do solo, cobertura vegetal e topografia). Outra variável difícil e complexa de prever é a variação da temperatura a superfície com a variação da altitude, embora simplificações sejam possíveis em algumas circunstâncias (MAHRT, 2006). Uma das grandes fontes de erro em dados de modelos de previsão global diz respeito a elevação das estações que pode ser diferente daquela interpolada por modelos que apresentam resolução de espaçamento de grade menor e portanto menor resolução de grade (WERTH e GARRETT, 2011).

Cartwright e Krishnamurti (2007) mostram que a precipitação diária na estação quente é comumente forçada por convecção, que é difícil de ser prevista com precisão (local e temporal) por modelos numéricos, devido à natureza de pequena escala que atua no disparo do processo de formação.

2.4 Verificação das Previsões

As questões relativas à verificação das previsões espaciais são particularmente relevantes para previsões de tempo resultantes de processamento de modelos de alta resolução (BROWN *et al.*, 2007). Conforme Davis *et al.* (2006 - a), a verificação é uma componente crítica no desenvolvimento e uso da previsão. Como a qualidade das previsões está intimamente relacionada com o valor previsto, as verificações desempenham um papel importante na avaliação do valor previsto para determinada variável (MURPHY, 1993). A verificação dos campos das variáveis previstas apresentam vários desafios, especialmente quando se trata de altas resoluções (GILLELAND *et al.*, 2010).

O prognóstico de temperatura é usualmente avaliado pela análise do erro médio e raiz quadrada do erro médio. Quanto à precipitação, métodos de verificação tradicional têm sido baseados na sobreposição de grades, nas quais valores nos pontos de grade são comparados com aqueles sobre as grades ou conjunto de pontos de observação. Dessa sobreposição, uma variedade de medidas de verificação, tais como percentual de acerto, probabilidade de detecção, razão de falso alarme, índice crítico de sucesso e viés podem ser determinados (WILKS, 2006).

Recentemente há um interesse crescente na acurácia das previsões de chuva, devido ao grande impacto na agricultura, atividades ao ar livre, trânsito, geração de energia hidrelétrica, ou precauções contra alagamentos. Medidas de verificação tradicionais, por compararem

apenas pontualmente as variáveis sem considerarem as informações espaciais, são significativamente influenciadas por erros espaciais e temporais, assim como pela carência na cobertura espacial da rede de observações utilizadas (MASS *et al.* 2002; GILLELAND, 2010). Por exemplo, uma previsão com tamanho e estrutura correta pode fornecer escores de verificação de pouco desempenho se a estrutura estiver ligeiramente deslocada no espaço.

Sabe-se que a precipitação é altamente descontínua no espaço e tempo (CASATI *et al.*, 2004) e, devido a sua significativa variabilidade espacial, sua estrutura e localização podem ser de difícil previsão (BROWN *et al.*, 2007; BIAZETO e SILVA DIAS, 2012); de modo que as medidas de verificação tradicionais penalizam a performance dos modelos. Além disso, de acordo com Davis *et al.* (2006 - a), essas medidas não fornecem informações específicas relacionadas à forma na qual a previsão da variável não foi boa.

Como as questões de verificação espacial das previsões são particularmente relevantes, para modelos de alta resolução ou modelos de mesoescala (BROWN *et al.*, 2007), novas técnicas vêm sendo aplicadas para analisar, espacialmente, simulações numéricas onde critérios como localização, intensidade e evolução dos sistemas são consideradas. Uma das técnicas aplicada na análise dos campos espaciais da precipitação é o *Method for Objective-Based Diagnostic Evaluation* (MODE) (Brown *et al.*, 2007), disponível no software de verificação *Model Evaluation Tools* (MET). Essa técnica consiste na abordagem baseada em objetos; onde as áreas de precipitação da previsão e observação são representadas e comparadas como objetos, caracterizados por atributos como a localização, tamanho e sua intensidade (DAVIS *et al.*, 2006 – a; BROWN *et al.*, 2007).

Cartwright e Krishnamurti (2007) aplicaram uma técnica de previsão regional por conjunto eles utilizaram seis modelos, para a estação de verão de 2003 sobre o sudoeste dos Estados Unidos, e avaliaram suas habilidades na previsão de precipitação, através do índice crítico de sucesso e razão de falso alarme. Os resultados indicaram que há a tendência da maioria dos modelos em superestimar a precipitação fraca a moderada e em subestimar a de forte intensidade.

Werth e Garrett (2011) validaram as previsões, do modelo *Global Forecast System* (GFS), para variáveis meteorológicas de superfície, com as estações de superfície sobre todo o globo, no período de 01/03/2005 a 01/02/2006. Os autores mostram que valores típicos de raiz quadrada do erro quadrático médio são, da ordem de 3°C para a temperatura do ar, 2-3 mb para a pressão a nível médio do mar, 3,5° C para temperatura de ponto de orvalho e 2,5 $m.s^{-1}$ para velocidade do vento. Os maiores vieses obtidos foram associados a estações localizadas nas faixas de montanhas e áreas com topografia acentuada, e os maiores erros

coincidindo com os períodos mais frios do ano.

Fan e Van Den Doll (2011) aplicaram um método de correção, com remoção do viés na previsão operacional por conjunto (20 membros) do GFS, para o período de 01/01/2008 a 31/03/2010, para as variáveis de precipitação (nas regiões da América do Norte, América do Sul, Ásia – Austrália e África) e temperatura a 2 m da superfície (sobre os Estados Unidos). Mostraram que há uma grande variação no prognóstico de precipitação e temperatura que varia dia-a-dia e apresenta um ciclo sazonal, com maior/menor desempenho das previsões na estação fria/quente, com tendência de os membros produzirem muito mais áreas de chuva em grande parte das regiões.

Avaliação baseada em objetos, nas simulações realizadas com os dois núcleos do modelo *Weather Research and Forecasting (WRF) – Advanced Research WRF (ARW)* e *Nonhydrostatic Mesoscale Model (NMM)*, com resolução de grades de 4 km e 4,5 km, de 9 simulações realizadas no verão de 2005 sobre os Estados Unidos, foram apresentadas por Davis *et al.* (2009). Os autores mostram que os modelos, além de simularem maior número de áreas de precipitação, tendem a apresentar intensidades maiores. Considerando o percentil de distribuição de precipitação igual a 90, as precipitações de maior intensidade apresentaram viés positivo para ambos os modelos.

Ruiz *et al.* (2010) testaram diferentes configurações de parametrizações do modelo WRF sobre a América do Sul, com resolução espacial de 30 km, no período de 15 de dezembro de 2002 a 15 de fevereiro de 2003, para duas regiões, região 1, ao sul, abrangendo o Sudeste da Argentina, Uruguai, região Sul do Brasil e Sul do Paraguai e, região 2 ao norte, abrangendo o Sudeste do Paraguai, Leste da Bolívia, região centro-oeste e parte oeste da região Sudeste do Brasil. Mostraram que o ciclo diurno de temperatura é amortecido, com temperaturas mínimas mais altas na região 1 e temperaturas máximas mais baixas na região 2 comparadas as observações.

3. Dados e Metodologia

Neste capítulo a descrição do modelo numérico utilizado nas simulações, os dados, assim como a metodologia empregada na verificação das previsões geradas, para o Estado de São Paulo e vizinhanças serão apresentados.

3.1 Modelo Atmosférico de Mesoescala

Uma breve descrição do modelo de previsão do tempo em mesoescala *Weather Research and Forecasting* (WRF) utilizado, assim como as configurações escolhidas nas simulações são abordados.

3.1.1 O modelo WRF

O modelo atmosférico WRF é parte de um sistema integrado, desenvolvido para a simulação numérica da atmosfera, para fins de pesquisa dos fenômenos atmosféricos de mesoescala, bem como para a previsão operacional do tempo em mesoescala. Ele foi desenvolvido nos Estados Unidos, pela união de esforços de diversas instituições e agências governamentais: a *Mesoscale and Microscale Meteorology* (MMM), Division do *National Center for Atmospheric Research* (NCAR); o *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e o *Earth System Research Laboratory* (ESRL) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA); os departamentos de defesa da *Air Force Weather Agency* (AFWA) e *Naval Research Laboratory* (NRL); o *Center for Analysis and Prediction of Storms* (CAPS), sediado na Universidade de Oklahoma e a *Federal Aviation Administration* (FAA), (SKAMAROCK *et al.*, 2008).

O WRF apresenta um código portátil e flexível, eficiente em ambientes de processamento paralelo, usa *software* livre e de domínio público (<http://wrf-model.org/users/users.php>). O sistema de modelagem apresenta dois núcleos dinâmicos: *Advanced Research WRF* (ARW) que vem sendo desenvolvido como projeto pelo NCAR,

inicialmente implementado de forma semelhante ao projeto consolidado do *Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research Fifth Generation Mesoscale Model* (MM5) e, o *Nonhydrostatic Mesoscale Model* (NNM) desenvolvido pelo NCEP a partir do modelo operacional hidrostático Modelo Regional de escala vertical *eta* (ETA).

O desenvolvimento deste trabalho será feito utilizando o núcleo WRF-ARW versão 3.1, disponibilizado em junho de 2008. Ele resolve as equações de Euler não-hidrostáticas, em uma atmosfera compressível, em coordenada vertical que acompanha o contorno da superfície do terreno e com integração temporal do tipo *time-split*. Nos próximos sub-itens serão apresentados a coordenada vertical utilizada pelo modelo, as equações governantes, a discretização temporal e espacial e também os esquemas de parametrizações utilizadas, como a parametrização de cumulus, camada superficial, cobertura de solo, camada limite planetária e radiação de onda curta e longa.

3.1.1.1 Coordenada Vertical e Variáveis

No ARW a coordenada vertical η é definida por:

$$\eta = (p_h - p_{ht}) / \mu, \text{ onde } \mu = p_{hs} - p_{ht} \quad (1)$$

onde p_h é a componente hidrostática da pressão, p_{hs} e p_{ht} se referem aos valores de pressão hidrostática na superfície e topo, respectivamente.

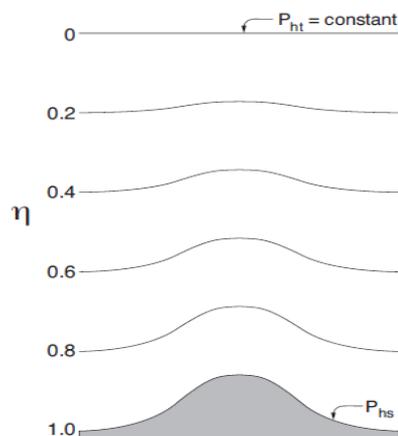


Figura 3.1- Coordenada Vertical η , (SKAMAROCK et al., 2008).

A coordenada definida na equação (1) é a tradicional coordenada σ usada nos modelos atmosféricos hidrostáticos e varia entre os valores 1 na superfície e 0 no topo da atmosfera conforme mostrado na Figura 3.1

3.1.1.2 Equações Governantes

Nas equações de Euler utilizadas no ARW, para uma atmosfera úmida, redefine-se o termo μ como μ_d e a relação diagnóstica de pressão é determinada pela pressão total (ar seco mais vapor). Além disso, para a integração, as equações são reescritas em termos de perturbações, diminuindo-se assim os erros de truncamento e de arredondamento no cálculo dos gradientes de pressão horizontal e vertical, respectivamente (GOZZO, 2010). As equações do fluido atmosférico resolvidas pelo ARW, são:

Equações da conservação da quantidade do movimento:

$$\frac{\partial}{\partial t} U + m \left[\frac{\partial}{\partial x} (Uu) + \frac{\partial}{\partial y} (Vu) \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} (\Omega u) + \left(\mu_d \alpha \frac{\partial}{\partial x} p' + \mu_d \alpha' \frac{\partial}{\partial x} \bar{p} \right) + \left(\frac{\alpha}{\alpha_d} \right) \left(\mu_d \frac{\partial}{\partial x} \phi' + \frac{\partial}{\partial \eta} p' \frac{\partial}{\partial x} \phi - \mu_d' \frac{\partial}{\partial x} \phi \right) = F_U \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} V + m \left[\frac{\partial}{\partial x} (Uv) + \frac{\partial}{\partial y} (Vv) \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} (\Omega v) + \left(\mu_d \alpha \frac{\partial}{\partial y} p' + \mu_d \alpha' \frac{\partial}{\partial y} \bar{p} \right) + \left(\frac{\alpha}{\alpha_d} \right) \left(\mu_d \frac{\partial}{\partial y} \phi' + \frac{\partial}{\partial \eta} p' \frac{\partial}{\partial y} \phi - \mu_d' \frac{\partial}{\partial y} \phi \right) = F_V \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} W + m \left[\frac{\partial}{\partial x} (Uw) + \frac{\partial}{\partial y} (Vw) \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} (\Omega w) - m^{-1} g \left(\frac{\alpha}{\alpha_d} \right) \left[\frac{\partial}{\partial \eta} p' - \bar{\mu}_d (q_v + q_c + q_r) \right] + m^{-1} \mu_d' g = F_W \quad (4)$$

Equações da conservação da massa

$$\frac{\partial}{\partial t} \mu_d' + m^2 \left[\frac{\partial}{\partial x} U + \frac{\partial}{\partial y} V \right] + m \frac{\partial}{\partial \eta} \Omega = 0 \quad (5)$$

Equação geopotencial

$$\frac{\partial}{\partial t} \phi' + \mu_d^{-1} \left[m^2 \left(U \frac{\partial}{\partial x} \phi + V \frac{\partial}{\partial y} \phi \right) + m \Omega \frac{\partial}{\partial \eta} \phi - mgW \right] = 0 \quad (6)$$

Equação de conservação da temperatura potencial e outros campos escalares:

$$\frac{\partial}{\partial t} \Theta + m^2 \left[\frac{\partial}{\partial x} (U\theta) + \frac{\partial}{\partial y} (V\theta) \right] + m \frac{\partial}{\partial \eta} (\Omega\theta) = F_{\Theta} \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} Q_m + m^2 \left[\frac{\partial}{\partial x} (Uq_m) + \frac{\partial}{\partial y} (Vq_m) \right] + m \frac{\partial}{\partial \eta} (\Omega q_m) = F_{Q_m} \quad (8)$$

Relação hidrostática:

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \phi' = -\bar{\mu}_d \alpha'_d - \alpha'_d \mu'_d \quad (9)$$

Equação do estado, diagnóstica, para uma parcela de ar úmida:

$$p = p_0 \left(\frac{R_d \theta_m}{p_0 \alpha'_d} \right)^\gamma \quad (10)$$

A variável m das equações acima se refere ao fator de mapa que é dado pela razão entre a distância computacional e a distância correspondente sobre a superfície da Terra. α'_d é o volume específico do ar seco, Q_m é a soma das razões de mistura para vapor de água (q_v), chuva (q_c) e gelo (q_i).

3.1.1.3 Discretização Temporal

O núcleo ARW usa um esquema de integração do tipo *time-split*, em que modos de baixa frequência são integrados utilizando o esquema *Runge-Kutta* (RK3) de terceira ordem, enquanto os modos acústicos, de alta frequência, são integrados com passo de tempo menor para manter a estabilidade numérica. Os modos acústicos de alta frequência, de propagação horizontal são resolvidos com um esquema de integração *forward-backward* e os de propagação vertical com um esquema implícito.

Definindo as variáveis prognósticas no núcleo ARW como $\Phi = (U, V, W, \Theta, \phi', \mu', Q_m)$ e as equações do modelo, $\Phi_i = R_i(\Phi)$, o esquema RK3 requer três passos de tempo para avançar uma solução de $\Phi(t)$ para $\Phi(t + \Delta t)$:

$$\Phi^* = \Phi^t + \frac{\Delta t}{3} R(\Phi^t) \quad (11)$$

$$\Phi^{**} = \Phi^t + \frac{\Delta t}{2} R(\Phi^*) \quad (12)$$

$$\Phi^{t+\Delta t} = \Phi^t + \Delta t R(\Phi^{**}) \quad (13)$$

onde Δt é o passo de tempo nos modos de baixa frequência. Este esquema possui precisão, de terceira ordem para equações lineares e segunda ordem para equações não lineares.

3.1.1.4 Discretização Espacial

O núcleo ARW usa uma grade do tipo C de Arakawa (ARAKAWA e LAMB, 1977) na discretização espacial das variáveis. As velocidades normais são escalonadas a meio comprimento de grade das variáveis termodinâmicas, conforme a Figura 3.2.

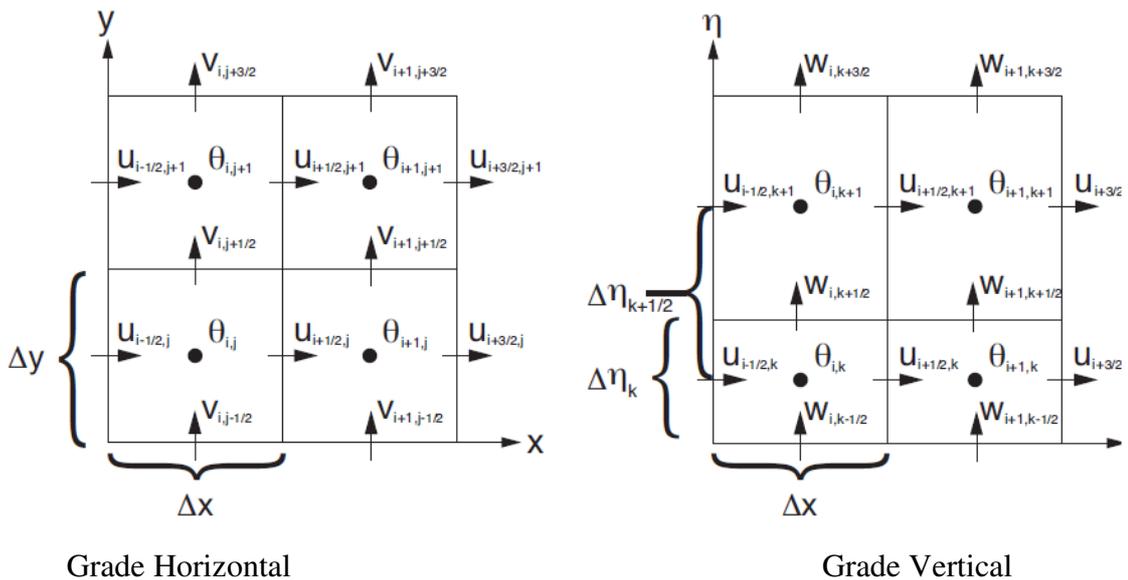


Figura 3.2- Grades horizontal e vertical do ARW. θ variável termodinâmica; u, v, w componentes zonal, meridional e vertical do vento (Adaptado de SKAMAROCK *et al.*, 2008).

A camada vertical $\Delta\eta$ é especificada na configuração do modelo, com $\eta=1$ na superfície e $\eta=0$ no topo. O espaçamento nos níveis verticais é variável, com maior resolução próximo ao solo e menor nos níveis superiores, ou seja, o espaçamento entre cada camada vai aumentando com a altura em uma proporção pré-determinada.

Na formulação do modelo, os espaçamentos horizontais da grade Δx e Δy , são constantes; no entanto eles variam de acordo com os diferentes tipos de projeções da esfera terrestre utilizados. O ARW suporta quatro projeções: Lambert Conformal, Polar Esfereográfica, Mercator e Projeção latitude-longitude HALTNER e WILLIAMS (1980). O ARW implementa as variações nos comprimentos de grade por um fator de mapa, definido pelo quociente entre a distância no espaço computacional e a distância correspondente na superfície terrestre.

3.1.1.5 Condições iniciais e de fronteira

O WRF requer condições de fronteira laterais que representem, dentro do possível, o estado real da atmosfera ao longo do tempo de integração das equações dinâmicas. Essas condições podem ser fornecidas por um modelo de previsão numérica do tempo em escala global. O estado inicial é obtido por interpolação espacial dos dados de análise do modelo global, aqui referido como arquivo externo.

As condições de fronteira laterais são obtidas através do método de relaxação, que consiste em forçar as bordas do domínio, durante todo o período de integração. Este processo ocorre dentro de duas zonas definidas nas fronteiras como “zona especificada” (que assume o valor das variáveis fornecido pelo arquivo externo) e a “zona de relaxação” (onde as previsões do modelo são “relaxadas” para os valores do arquivo externo), conforme Figura 3.3.

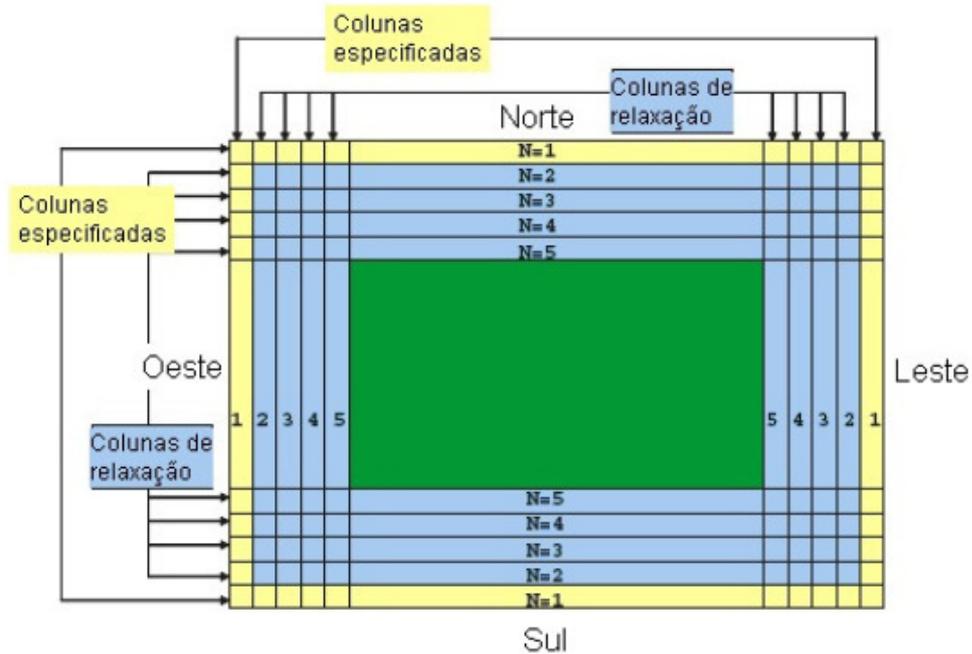


Figura 3.3 - Zona especificada e zona de relaxação para uma grade, com uma coluna/linha de zona especificada e quatro colunas/linhas de zona de relaxação (adaptado SKAMAROCK *et al.*, 2008).

3.1.1.6 Aninhamento de grades

Quando se deseja analisar mais detalhadamente uma região compreendendo um domínio de interesse inserida em um domínio de abrangência espacial maior, é possível fazer um aninhamento de grades. O ARW suporta o aninhamento (*nesting*) de um domínio de menor abrangência, com resolução espacial maior, no interior de um domínio de maior abrangência espacial com resolução espacial menor. A vantagem em utilizar grades aninhadas é, possibilitar o processamento simultâneo, “*2-way nesting*”, e dispor de prognósticos de uma área, com alta resolução espacial, sem que o modelo tenha que ser processado com um Δx menor. Desta forma, os sistemas atmosféricos de larga escala são modelados a partir da grade com menor resolução e que vão interagir com os sistemas de mesoescala resolvidos na grade com maior resolução, no processamento “*2-way*”. A Figura 3.4 mostra exemplo de aninhamentos possíveis domínios de integração no WRF.

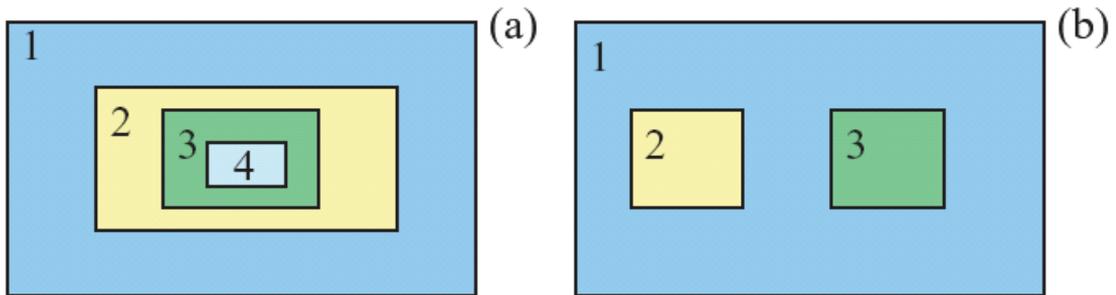


Figura 3.4 - Exemplos de aninhamentos de domínios permitidas no WRF, (adaptado de SKAMAROCK et al., 2008).

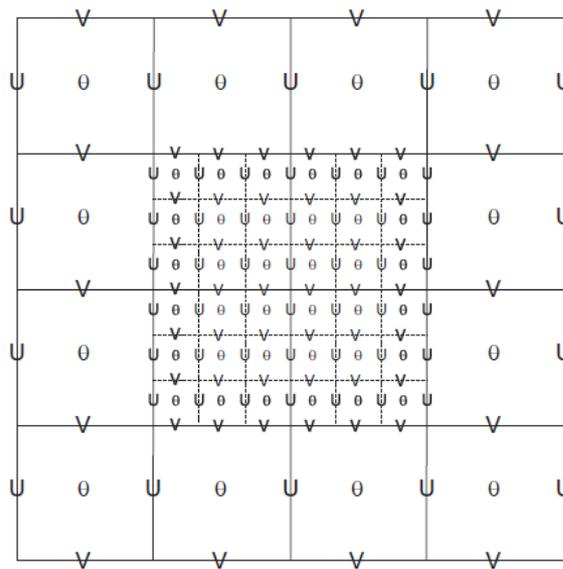


Figura 3.5 - Exemplo de aninhamento de grades na grade C de Arakawa, com razão de resolução 3:1 (adaptado de SKAMAROCK et al., 2008).

O aninhamento dos domínios apresenta duas opções: “*one-way*” ou “*two-way*”. Em ambas as opções, as condições de contorno do domínio aninhado (*nest*) são interpoladas a partir do domínio principal (*parent*), ou seja, as grades maiores e de menor resolução espacial são utilizadas para modelar o ambiente das grades menores e de maior resolução espacial. No aninhamento do tipo “*one-way*”, as informações são passadas apenas do domínio 1 para o domínio 2 (condições de contorno) e não ocorre *feed-back* do domínio 2 para o domínio 1. Assim, no exemplo da Figura 3.4 em (a), o fluxo é de $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$, em (b), é de $1 \rightarrow 2$ e $1 \rightarrow 3$. No aninhamento “*two-way*”, a solução do domínio 2 substitui o domínio 1 para os pontos de grade que se encontram dentro do domínio com grade fina ao término de cada incremento de tempo do domínio principal, portanto ocorre *feed-back* entre as grades dos

domínios. Isso possibilita, por exemplo, que se simulem simultaneamente fenômenos de grande escala no domínio mãe e processos de mesoescala no domínio aninhado. Na Figura 3.5 é apresentado um exemplo de aninhamento de domínio, a grade C de Arakawa. Recomenda-se que no aninhamento de grades do tipo *two-way*, o segundo domínio apresente grades com resolução na razão de 1/3 da grade do primeiro domínio, para manter a estabilidade a razão de aninhamento deve ser ímpar.

3.1.1.7 Processos Físicos

As parametrizações consistem em representar nos modelos numéricos, os processos físicos que não conseguem ser resolvidos; sendo assim, necessário relacionar processos de subgrade com as variáveis de prognóstico das equações dinâmicas. Portanto, empregam-se esquemas de parametrizações para estimar o efeito de determinado processo físico de subgrade, a partir das variáveis resolvidas pelo modelo dinâmico.

No âmbito da Meteorologia de mesoescala os processos que afetam as condições atmosféricas e que devem ser parametrizados são: as trocas radiativas (na atmosfera, nas nuvens e na superfície terrestre); a convecção na troposfera; os mecanismos de atrito turbulento junto à superfície; as trocas turbulentas de calor (sensível e latente) e de vapor de água, entre a superfície e a camada de atrito, no interior da camada limite, e entre esta e a atmosfera livre; as trocas de calor por condução e as trocas de umidade, observadas no solo; a evapotranspiração; a evaporação e a condensação de água associada à formação de nevoeiro, neblina e geada; a microfísica das nuvens e a precipitação (chuva, neve ou granizo), (SAKAMOTO, 2009). No WRF as categorias físicas incorporadas são: microfísica, parametrização de cumulus, camada superficial, modelo de cobertura de solo, camada limite planetária e radiação (onda longa e onda curta).

3.1.1.7.1 Microfísica

Resolve a fase em que a água se encontra na atmosfera, quantitativamente, qualitativamente e distribuição dos diferentes hidrometeoros. Existem três camadas na

atmosfera que são bem definidas pelos modelos em termos de fase de água: camada abaixo do nível de 0°C (presença de vapor de água e gotículas de água), a camada no nível com temperatura entre 0°C e -40°C (presença de cristais de gelo e gotículas de água super-resfriada), e acima do nível de -40° C (apenas com presença de cristais de gelo e neve). Em termos de parametrizações da microfísica foi utilizado o esquema WRF Single-Moment 3-Class (WSM-3) (HONG et al., 2004), onde são consideradas cinco categorias de hidrometeoros: vapor, água/gelo de nuvem e chuva/neve.

3.1.1.7.2 Parametrização de Cumulus

Essa parametrização consiste em estimar o efeito em escala de subgrade das nuvens cumulus no modelo de mesoescala; redistribuindo verticalmente calor e umidade em uma coluna de ar atmosférica, quando o modelo cria uma região convectivamente instável e a resolução de grade é muito grosseira, para o modelo resolver adequadamente as circulações convectivas.

Estudos apontam a necessidade de usar esquemas de parametrização convectiva para grades com espaçamento horizontal maior que 10 km, para simular com maior realismo os processos convectivos. Usualmente, em resoluções maiores (com espaçamento de grade horizontal inferior a 4 km), certos tipos de convecção organizada podem ser simulados pela microfísica, sem a necessidade de esquemas convectivos de escala de subgrade. Portanto, fica evidente que a parametrização de cumulus desempenha um papel importante na qualidade da simulação.

De acordo com os perfis de umidade e calor da atmosfera, em conjunto com os movimentos ascendentes e descendentes do vento, o modelo simula a formação ou não de nuvens. Todos os esquemas de parametrizações de nuvens cumulus disponíveis são do tipo massa-fluxo, diferenciando apenas nos parâmetros utilizados, para descrever os movimentos de vento ascendente e descendente, nos processos de entranhamento e desentranhamento, e eficiência na precipitação. O controle dinâmico que é feito no esquema numérico, é baseado na energia potencial disponível para a convecção (*CAPE - convective available potential energy*) e também na convergência de umidade.

A parametrização de cumulus utilizada foi a parametrização de Grell-Devenyi (GRELL e DEVENYI, 2002), baseada em um conjunto de vários esquemas de representação

de cumulus, e computado para uma média dos resultados. Nesse esquema, as nuvens são representadas por fluxos ascendentes e descendentes e sem entranhamento.

3.1.1.7.3 Camada Superficial

Os esquemas da camada superficial calculam a velocidade de fricção e a mudança dos coeficientes, que permitem obter os fluxos de calor e umidade relacionados com o modelo de superfície terrestre e cisalhamento superficial, no esquema de Camada Limite Planetária (CLP). Sobre a água, o fluxo superficial é computado no próprio esquema de camada superficial. Os esquemas da camada superficial não fornecem qualquer tendência, mas sim as informações sobre a dependência da estabilidade, que serão utilizada nos esquemas de tipo de cobertura do solo e CLP. Atualmente, cada opção de esquema de camada superficial está vinculada a um determinado esquema de CLP; mas a tendência é que não haja mais essa dependência nas novas versões do modelo WRF.

No processamento foi utilizado o esquema da teoria da similaridade (derivado do modelo MM5). O esquema da teoria da similaridade (MM5) usa diversas funções de estabilidade (DYER e HICKS, 1970; PAULSON, 1970; WEBB, 1970), para calcular os coeficientes de mudanças superficiais de calor, umidade e momentum. A velocidade de convecção é obtida segundo descrito por Beljaars (1994) e utilizada para computar as mudanças superficiais dos fluxos de calor e umidade.

3.1.1.7.4 Cobertura do Solo

Esquema de cobertura do solo trata das trocas de calor e de água no interior do solo. É um esquema que está diretamente ligado a outros esquemas de parametrização. Eles utilizam informações como propagação térmica e de umidade entre múltiplas camadas do solo; forçante radiativa do esquema de radiação e forçante de precipitação dos esquemas de microfísica e convecção, para estimar fluxos de calor e umidade.

Nos processamentos do WRF foi utilizado o esquema NOAH LSM que é o sucessor do OSU LSM descrito por Chen e Dudhia (2001). É um modelo de 4 camadas de temperatura

e umidade do solo, com a inclusão de considerações sobre superfícies cobertas por água e neve. Ele inclui zona com raízes, evapotranspiração, drenagem do solo, escoamento superficial; considerando categorias de vegetação, fração mensal de vegetação e textura do solo. Além disso, prevê os fluxos de calor sensível e latente para os esquemas de camada limite.

3.1.1.7.5 Camada Limite Planetária

A parametrização da camada limite planetária (CLP) trata das trocas turbulentas, não apenas na camada, mas também em toda a coluna vertical do modelo. A função dos esquemas de CLP é transportar as propriedades atmosféricas, como o momentum, temperatura, massa, etc., através dos fluxos turbulentos; onde os gradientes das variáveis meteorológicas são condicionantes, para gerar movimentos verticais ou horizontais na atmosfera. Alguns dados como os fluxos superficiais são obtidos pelos esquemas de camada superficial e de cobertura do solo.

No processamento foi utilizado o esquema Yonsei University (YSU) (HONG e LIM, 2006). Esse esquema usa o fluxo contra-gradiente, para o calor e a umidade em condições instáveis. Além disso, utiliza coeficientes de fluxo vertical, valores esses determinados a partir do número de Richardson.

3.1.1.7.6 Radiação

O esquema radiativo calcula o aquecimento atmosférico devido à convergência do fluxo radiativo e balanço de energia radiativa na superfície. Ele trata das trocas radiativas de ondas curtas (visível) e de onda longa (infravermelho).

Para o esquema de radiação de onda longa são considerados os processos de emissão radiativa pela terra e atmosfera; e também a absorção pela atmosfera. Para o balanço de onda longa foi utilizado o esquema numérico de *Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) Longwave*, baseado no estudo de Mlawer et al. (1997). Trata-se de um esquema do tipo banda espectral, que usa Tabelas pré-configuradas para representar os processos de radiação de onda

longa, devido ao vapor de água; dióxido de carbono; ozônio e gases traços (quando presentes), considerando também a estimativa da profundidade óptica da nuvem.

A radiação de onda curta é tratada em um esquema baseado em Dudhia (1989), com integração simples do fluxo de radiação descendente, que é obtida computando os efeitos de espalhamento por gases, absorção por vapor de água bem como o albedo e a absorção por nuvens.

3.1.2 Configurações e processamento do modelo

A configuração do modelo é determinada pelo estabelecimento dos domínios de integração e das parametrizações descritas.

As previsões quantitativas envolvem as etapas de obtenção de prognósticos numéricos do modelo *Global Forecast System* (GFS), interpolação dos dados para a grade do WRF (através do pré-processamento WPS), a simulação propriamente dita e o pós-processamento da saída numérica.

3.1.2.1 Domínio

O modelo WRF foi processado para domínios aninhados. Eles foram definidos de modo a permitir a simulação dos sistemas atmosféricos que atuam sobre o estado de São Paulo, e são mostradas na Figura 3.6 e 3.7, com suas respectivas topografias representadas. O domínio 1 (D1) abrange uma grande área, devido ao interesse de um projeto vinculado ao estudo da influência da Alta Subtropical no Sudeste Brasileiro. O domínio 2 (D2) foi definido de modo a evitar efeitos de borda, relacionados aos fenômenos de grande escala. Assim, o domínio D1, com resolução espacial de 50 km, abrange praticamente toda a América do Sul; parte do Oceano Pacífico e grande parte do Oceano Atlântico, até a costa Africana, delimitada entre: 94,6°W a 18,8°E de longitude e 46,2°S a 3,9°N de latitude. O domínio D2, com resolução horizontal de 16,6 km com a razão 1/3 em relação ao D1, (conforme descrição 3.1.1.6) cobre, além do Estado de São Paulo, praticamente toda a região sudeste do Brasil,

parte da região sul e centro-oeste brasileira e, parte do Oceano Atlântico, delimitada por: 54,8°W a 40,4°W de longitude e 27,9°S a 17,5°S de latitude.

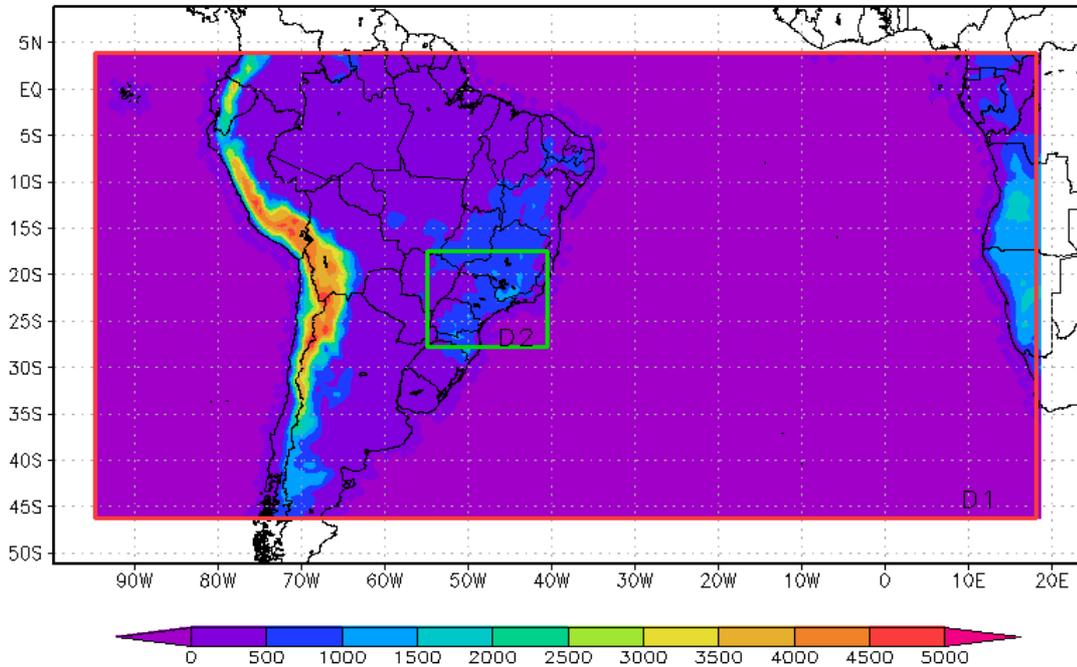


Figura 3.6 – Topografia em metros, com espaçamento de grade de 50 km utilizada nas simulações. A região interior ao limite do retângulo vermelho representa o limite do domínio D1. A região interna ao retângulo verde representa o limite do domínio D2.

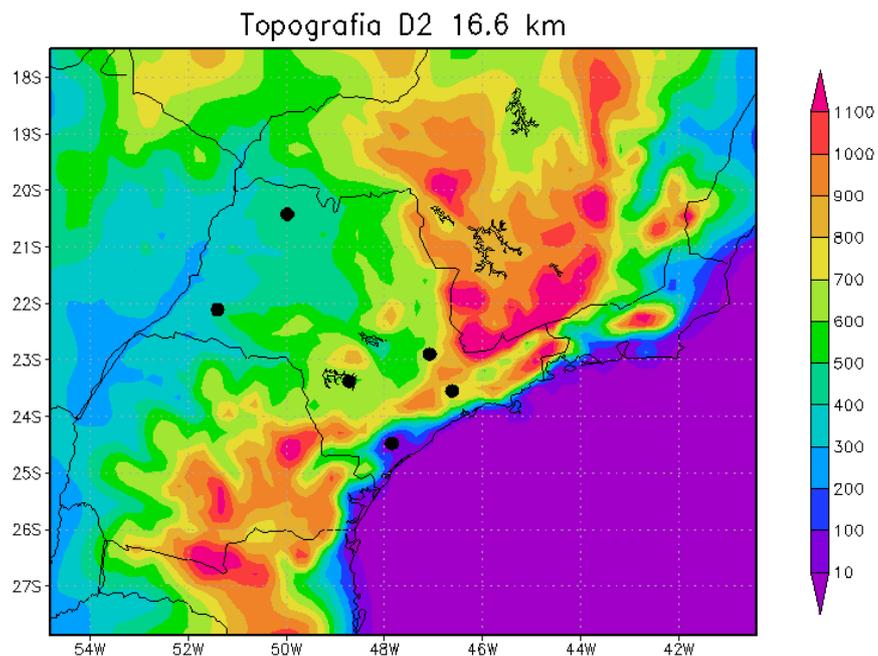


Figura 3.7 - Topografia em metros sobre o domínio D2, com resolução espacial de 16,6 km.

3.1.2.2. Pré Processamento do WRF

A versão do WRF utilizado foi a ARW 3.1, e o módulo WRF *Pre-Processing System* (WPS) para o pré-processamento.

O pré-processamento possui uma estrutura modular composta por alguns programas auxiliares, responsáveis pela geração de informações necessárias para a simulação: GEOGRID, UNGRIB, METGRID.

O módulo GEOGRID é o primeiro módulo do pré-processamento, e é responsável pela definição dos domínios da simulação (localização, espaçamento de grade, números de pontos, tipo de projeção). As principais características dos domínios estabelecidos estão descritas na Tabela 3.1 abaixo:

Tabela 3.1- Características da grade do WRF.

Características da grade		
Domínios	D1	D2
Pontos x, y	220, 110	85, 67
Espaçamento (km)	50	16,6
Projeção	Mercator	Mercator

No módulo UNGRIB é feita a interpolação dos dados terrestres (como a topografia, cobertura vegetal, uso e tipos de solo) e a descompressão dos dados do GFS, que estão em formato GRIB2, para os domínios de integração;

O módulo METGRIG realiza a interpolação dos dados meteorológicos do modelo global para os domínios da simulação. Os resultados da interpolação são usados no processamento do programa de inicialização *real.exe*.

Na Figura 3.8, a sequência do esquema, simplificado, do pré-processamento do núcleo ARW é apresentado.

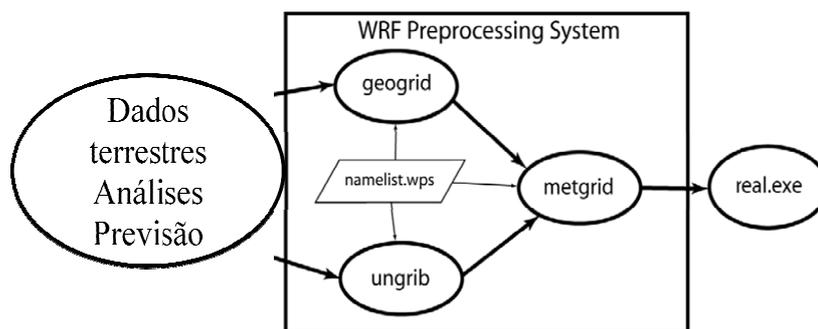


Figura 3.8 - Esquema simplificado do pré-processamento do ARW-WRF. (Adaptado, SKAMAROCK et al., 2008).

No pré-processamento são gerados arquivos binários, no formato *Network Common Data Form* (NETCDF), com as condições iniciais e de contorno que serão utilizados pelo modelo WRF.

3.1.2.3 Inicialização

As condições iniciais e de contorno para o modelo WRF são preparadas com as análises e os prognósticos do modelo atmosférico global *Global Forecast System* (GFS). O GFS foi desenvolvido no final da década de 70 (SELA, 1980), e implementado para fins de previsão numérica do tempo em escala global na década de 80. Os prognósticos gerados pelo modelo GFS são disponibilizados na internet pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP).

As simulações com o modelo WRF foram realizadas utilizando as previsões do GFS inicializados às 00 UTC, com resolução espacial de 1,0° de latitude/longitude, temporal de 3 horas com horizonte de simulação de 72 horas (3 dias), domínio vertical em coordenada do tipo sigma. Os arquivos são obtidos via *ftp* e estão em formato *Gridded Binary* (GRIB2).

As simulações numéricas estão inseridas em uma rotina operacional, com o modelo WRF instalado no IAG/USP. Ele é processado diariamente para os dois domínios de integração, desde abril de 2010, e gera saídas horárias para o domínio D2 e a cada 3 horas para o domínio D1, em um horizonte temporal de 72 horas. Os arquivos da saída do modelo são armazenados em formato NETCDF. Os principais parâmetros de assimilação do WRF estão apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Principais parâmetros de assimilação do WRF.

Parâmetros de assimilação		
	D1	D2
Tempo de simulação (horas)	72	72
Resolução temporal de saída (horas)	3	1
Passo de tempo (segundos)	300	100
Níveis na vertical	35	35
Número de pontos na fronteira lateral onde é aplicado o <i>nudging</i>	5	5

3.1.2.4 Parametrizações Físicas

Tabela 3.3 - Parametrizações físicas utilizadas nas simulações do WRF nas duas grades aninhadas.

Parametrizações Físicas	
Esquema de microfísica	WSM-3 (HONG <i>et al.</i> , 2004)
Onda longa	RRTM (MLAWER <i>et al.</i> , 1997)
Onda curta	Dudhia (DUDHIA, 1989)
Camada superficial	Monin-Obukhov (DYER e HICKS, 1970; PAULSON, 1970; WEBB, 1970)
Cobertura de solo	Noah (CHEN e DUDHIA, 2001)
Camada limite	YSU (HONG <i>et al.</i> , 2006)
Parametrização de cumulus	Grell-Devenyi (GRELL e DEVENYI, 2002)

Nos dois domínios de integração foram utilizados os mesmos esquemas de parametrizações físicas conforme Tabela 3.3.

3.1.2.5 Pós – Processamento

Após a execução do modelo, foi utilizado um programa de *pós-processamento* em linguagem *FORTRAN* (ARWpost), em que os arquivos da saída do modelo WRF, para ambos os domínios, são convertidos do formato NETCDF para o formato binário do GRADS. Nesse processamento os prognósticos numéricos, gerados em coordenada η pelo WRF, são interpolados para níveis de pressão constante pré-estabelecidos.

3.2 Verificação

A verificação da previsão numérica do tempo operacional é feita pela análise, com relação às variáveis de temperatura e precipitação acumulada diária (nas duas grades aninhadas) para o Estado de São Paulo, para o período de 01/04/2010 a 31/03/2011. As variáveis da temperatura máxima diária e mínima diária são analisadas estatisticamente, em relação aos dados pontuais observados em superfície; enquanto que a precipitação acumulada é analisada espacialmente, como descritas nos itens 3.2.1.1 e 3.2.1.2, respectivamente.

3.2.1 Dados e Métodos

Nessa seção serão descritos os métodos utilizados nos diferentes processos de avaliação (pontual e espacial) das simulações realizadas; dados observados utilizados nas verificações, assim como, a metodologia de tratamento dos dados previstos e observados, a fim de possibilitar as comparações.

3.2.1.1 Análise pontual

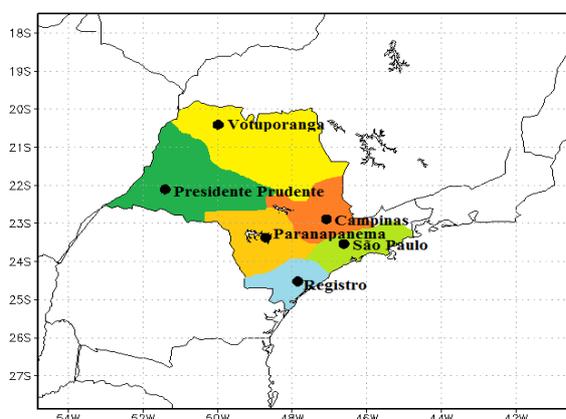
A análise consiste em avaliar pontualmente, através de índices estatísticos (descritos no item

3.2.1.1.2), as variáveis das temperaturas máxima mínima diária simuladas, em relação aos dados observados nas estações meteorológicas de superfície.

3.2.1.1.1 Dados

Para avaliar o desempenho do modelo numérico de previsão do tempo WRF, foram utilizados dados de superfície de estações meteorológicas do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), pertencentes ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). O banco de dados é composto por dados de 146 localidades ou pontos de coleta, distribuídos sobre o Estado de São Paulo. Eles estão em formato *.txt* dispostos da seguinte forma (em colunas): dia, mês, ano, precipitação diária acumulada, temperatura máxima diária e temperatura mínima diária.

(a)



b)

Estação	Observação			D1	D2
	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Altitude (m)	Altitude (m)
Registro	-24,48	-47,85	25	101	43
São Paulo	-23,55	-46,61	792	829	713
Paranapanema	-23,38	-48,71	610	612	589
Campinas	-22,90	-47,08	674	614	675
Presidente Prudente	-22,11	-52,40	475	294	301
Votuporanga	-20,42	-50,40	525	315	308

Figura 3.9 – (a) Regiões homogêneas quanto à precipitação, para o período de 1970-2003, obtidas com dados pentadiais da Análise de Cluster. (b) Localizações referentes às seis estações (Adaptado

ANGELO, 2011).

As comparações foram realizadas para seis cidades do Estado de São Paulo: Registro, São Paulo, Paranapanema, Campinas, Presidente Prudente e Votuporanga. Essas estações foram escolhidas de acordo com o descrito em Angelo (2011), dividindo o Estado de São Paulo em seis regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação. Em seu trabalho, a caracterização das seis regiões, consistiu em dados pluviométricos pentadai de 93 estações, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), que foram submetidas a uma Análise de Cluster. A Figura 3.9 mostra cada uma destas regiões e suas respectivas cidades representativas.

3.2.1.1.2 Índices Estatísticos

Para verificar a performance do modelo com relação à temperatura foram utilizados índices estatísticos: erro médio, raiz do erro quadrático médio e raiz do erro quadrático médio. A remoção do erro médio, para a quantificação de erros e tendências, foi feita de acordo com a metodologia sugerida por Aravéquia e Quadro (2003) e descritas por Wilks (2006).

O erro médio (EM) mostra a tendência das previsões, ou seja, no caso de valores maiores que zero, na média, as previsões estão superestimadas enquanto valores menores que zero subestimadas. O cálculo desse índice é dado pela Equação (14):

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{pr} - T_{obs}) \quad (14)$$

onde T_{pr} é a temperatura prevista, T_{obs} a temperatura observada na superfície e N é o número de dados analisados.

A Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) é uma das medidas padrões, da acurácia das previsões, capaz de indicar a magnitude do erro e pode ser obtida através de verificações, usando dados observacionais ou análises. Valores grandes representam grandes erros nos campos previstos e valores próximos a zero, indicam uma previsão quase perfeita. Elevando ao quadrado o termo da diferença, o REQM tende a dar maior peso às grandes discrepâncias entre os campos observados e previstos. Ela é obtida pela Equação (15):

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{pr} - T_{obs})^2} \quad (15)$$

3.2.1.1.3 Procedimento de Verificação

Nessa secção, será descrito o procedimento do tratamento aplicado aos dados previstos e observados, para a posterior avaliação pontual das simulações fornecidos pelo GFS e pelo WRF nos domínios D1 e D2.

Os arquivos com os prognósticos das simulações do WRF obtidos no pós-processamento estão em formato binário do GRADS, enquanto os arquivos do GFS foram convertidos, através de um script em linguagem perl (*g2ctl.pl*), que nos possibilita gerar um arquivo descritor *.ctl* a partir dos dados GRIB2. Com o objetivo de comparar a saída dos modelos WRF e GFS com os dados observados, apenas para os pontos de grade correspondentes às latitudes e longitudes, referentes às estações em superfície, a extração dos dados diários dos arquivos de previsão, foi feita por um *script gs* do GRADS (GRADS Script – GS). É importante ressaltar que a saída dos modelos não fornece a temperatura máxima e mínima, mas sim a evolução da temperatura horária (dados horários para a grade do D2 e a cada 3 horas para a grade do D1 e do GFS, com previsão de até 72 horas); por isso, extrai-se a variável temperatura dos arquivos de previsão, para posteriormente extrair as temperaturas máxima e a mínima de cada estação.

Como a leitura dos dados meteorológicos nas estações é realizada às 12UTC, e a previsão é inicializada às 00UTC, para que os períodos de comparação entre simulação e observação fossem correspondentes, procedeu-se da seguinte forma:

- as primeiras 12 horas de simulação não foram consideradas nas verificações.

O período para extração dos dados de temperaturas mínima e máxima e para o acumulado da precipitação diária como mostra a Figura 3.10, foram:

- das 12 às 36 horas de simulação
- das 37 às 60 horas de simulação
- as últimas 12 horas de simulação (período de 61 a 72 horas) foram utilizadas apenas para a extração da temperatura máxima.

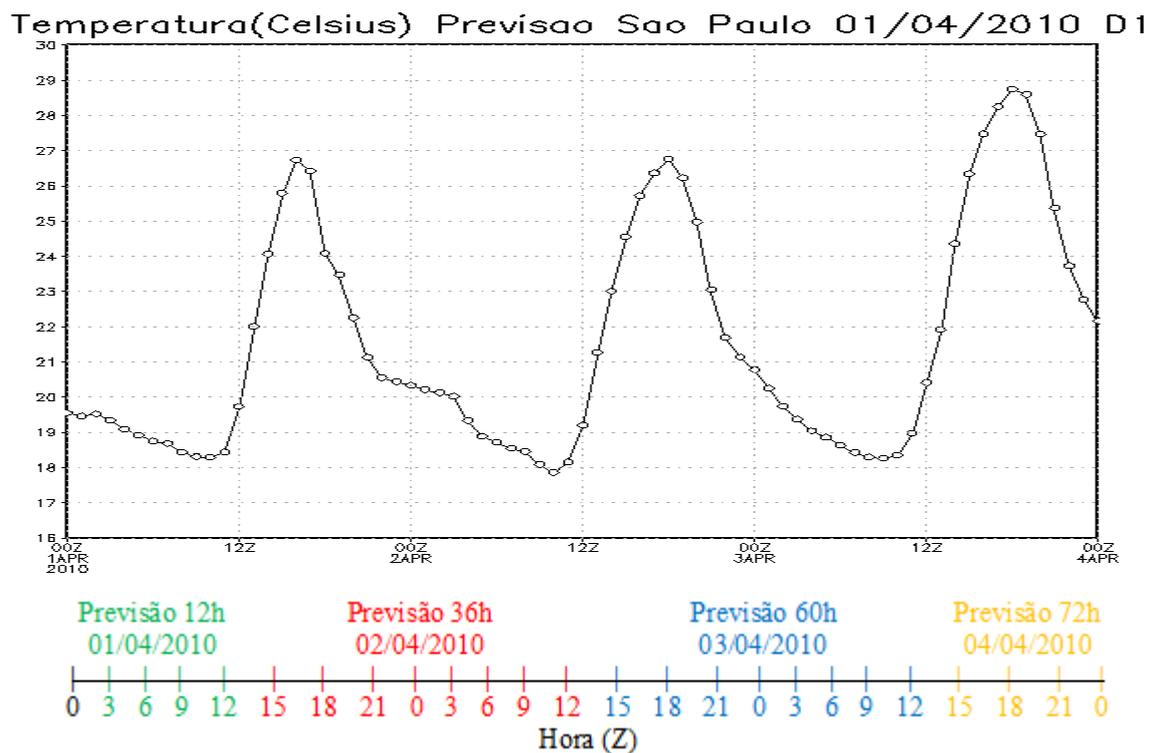


Figura 3.10 - Ilustração do procedimento realizado para a comparação dos dados de saída do modelo numérico, nas previsões de 36, 60 e 72 horas.

Às 12 horas iniciais não foram utilizadas nas avaliações, para eliminar prognóstico com erros derivados do *spin-up*, sendo consideradas como o tempo mais que suficiente para eliminar problemas, de ajuste do modelo às variáveis atmosféricas. Os dados diários de temperaturas máxima e mínima, para arquivos de diferentes prazos de integração (36, 60 e 72 horas) foram extraídos por meio de um código computacional em FORTRAN-90 e, posteriormente, foram feitas as análises estatísticas através de um software iterativo de cálculo numérico em MATLAB. Uma vez determinados os índices estatísticos, os resultados foram visualizados graficamente com o software GNU PLOT.

3.2.1.2 Análise espacial

A análise aplicada à variável precipitação consiste em reduzir o campo de precipitação acumulada diária, da previsão e da observação em objetos e, posteriormente, comparar os campos das áreas entre si; por meio da ferramenta MODE, a ser descrita no item 3.2.1.2.2.

3.2.1.2.1 Dados

Para avaliar o desempenho do modelo numérico de previsão do tempo WRF, com relação à variável precipitação, foram utilizados os dados do produto MERGE, propostos por Rozante *et al.* (2010); o qual consiste na interpolação de dados de superfície com os dados de estimativa de satélite, para o campo da precipitação sobre a América do Sul. A descrição que se segue, sobre o MERGE, foi realizada com base no trabalho desses autores. No intuito de minimizar os problemas que ocorrem nas interpolações, como o do produto TRMM, os autores propõem uma composição dos dados observados, nas redes pluviométricas (GTS-*Global Telecommunication System*, PCDs – plataformas de coleta de dados e centros regionais) com a estimativa da precipitação TRMM (3B42RT);obtendo assim o campo da precipitação “observada na América do Sul”.

Os dados de estimativa de precipitação usados foram o produto 3B42RT do TRMM, que usa estimativas de precipitação por microondas do imageador de microondas (TMI), corrigidas pelas informações da estrutura vertical das nuvens, obtidas do radar de precipitação (PR).

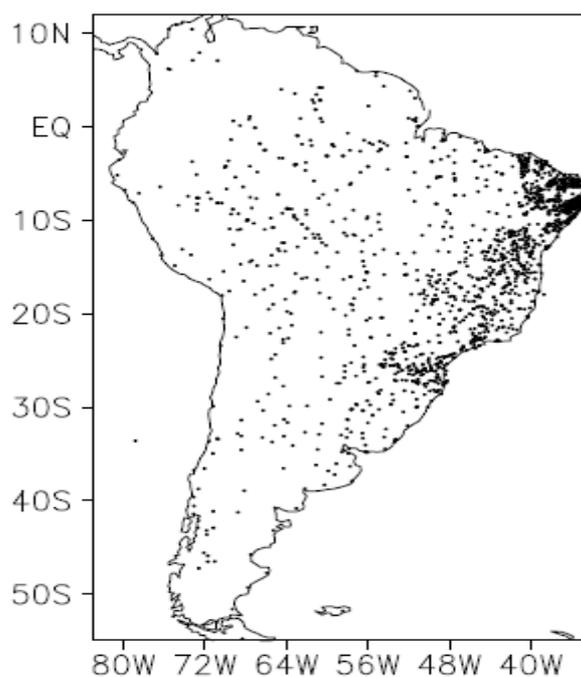


Figura 3.11 - Distribuição espacial dos pontos de observação da precipitação, das diferentes fontes de dados sobre a América do Sul (Adaptado ROZANTE *et al.*, 2010).

A Figura 3.11 mostra a distribuição espacial dos pontos de observação de precipitação utilizados na interpolação; dados pluviométricos provenientes do GTS, PCDs e centros regionais.

A metodologia utilizada para a combinação dos dados de precipitação acumulada observada de 24 horas e a estimada pelo satélite TRMM, também de 24 horas, consiste em desconsiderar os dados de estimativa de precipitação, nos pontos de grades onde existem observações e também nos pontos de grades que estão em torno da estação. No processo de espacialização dos dados de precipitação, os autores utilizaram duas interações do esquema de Barnes, que consiste em atribuir um peso para a observação em função da distância entre a observação e o centro do ponto de grade. Por fornecer resultados mais confiáveis sobre o continente, o produto MERGE possibilita uma maior confiabilidade na comparação dos resultados dos modelos numéricos. Este produto está sendo utilizado, no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), na avaliação de prognósticos dos modelos, através da análise da diferença entre o campo de precipitação acumulada diária prevista pelo modelo Eta e os dados observados, ambos interpolados para a grade de 20 km. Os dados desse produto, foram obtidos mediante *ftp*. Os dados estão em formato binário do GRADS, com arquivos diários do acumulado do campo da precipitação com resolução de grade horizontal de 0,20° de latitude e longitude, e não 0,25° como descrito na metodologia do estudo. De acordo com o primeiro autor, a resolução dos dados em grade de espaçamento de 0,20° se deve ao fato do produto ser utilizado para avaliar o campo de precipitação, com relação ao modelo numérico de previsão do tempo Eta, cuja resolução horizontal de grade da saída da previsão está em 0,20°.

3.2.1.2.2 Ferramenta MODE

Normalmente as técnicas de verificação têm sido baseadas na sobreposição de grades, em que a previsão é comparada com a observação, ou um conjunto de pontos de observação. A partir dessas sobreposições, os pares de previsão-observação são comparados e avaliados, através na Tabela de contingência 2 x 2 (WILKS, 2006), conforme mostrada na Tabela 3.4, na determinação de variáveis de medida como probabilidade de detecção (PD), razão de falso alarme (RFA) e índice crítico de sucesso (ICS). Ainda, de acordo com Davis *et al.* (2006-a), essas medidas tradicionais não fornecem informações específicas relativas à forma na qual a

previsão foi errônea ou bem prevista.

Tabela 3.4: Tabela de contingência, para a verificação da ocorrência ou não da previsão de chuva.

		Observação	
		Chuva	Não-Chuva
Previsão	Chuva	a	b
	Não-Chuva	c	d

A partir da Tabela de contingência alguns índices de verificação mais comuns são obtidos:

O percentual de acerto (PA), que representa o percentual de previsões corretas, para a ocorrência ou não de precipitação. Seu valor ideal é igual a unidade, valor esse que, quando atingido, indica a perfeição das previsões. Este índice é calculado de acordo com a equação:

$$PA = \frac{a + d}{n} \quad (16)$$

onde “a” e “d” são os totais de evento de acordo com a Tabela de contingência e “n” o número total de casos considerados;

O índice crítico de sucesso (ICS), que é ideal para a verificação de previsões onde a ocorrência do evento, a ser previsto, é muito menos frequente que a não ocorrência. A previsão aproxima-se mais da observação, quando o valor deste índice é próximo à unidade. O cálculo deste índice é feito de acordo com:

$$ICS = \frac{a}{a + b + c} \quad (17)$$

O erro de deriva (VIÉS), que representa a razão entre o total de casos previstos e o total de casos observados na categoria “chover”. Porém o VIÉS não é uma medida de precisão. O valor de referência é a unidade, indicando que o evento foi previsto no mesmo número de vezes em que foi observado. Um VIÉS maior (menor) que a unidade indica superestimativa (subestimativa) na ocorrência de precipitação. Ele é calculado de acordo com:

$$VIÉS = \frac{a + b}{a + c} \quad (18)$$

A probabilidade de detecção (PD), que é a probabilidade de ocorrência de um evento supostamente previsto; representa a capacidade das fontes preverem corretamente a ocorrência de precipitação, quando esta realmente é observada. A indicação de melhor

desempenho é quando a PD se aproxima à unidade. Este índice é calculado de acordo com:

$$PD = \frac{a}{a + c} \quad (19)$$

A razão de falso alarme (RFA), que é a fração de alertas falsos, em relação ao total de ocorrências previstas. Valores próximos à unidade indicam que a previsibilidade de chuva é ruim. A razão de falso alarme é calculada de acordo com:

$$RFA = \frac{b}{a + b} \quad (20)$$

Algumas das grandes dificuldades, associadas ao diagnóstico de erros da previsão usando abordagens de verificação padrão já foram reportadas anteriormente (na revisão bibliográfica) e descritas em Davis *et al.* (2006 – a). Por isso, a distribuição estatística de precipitação dentro de áreas de chuva, análise espacial, tem sido apresentada como melhor avaliação em vez da análise pontual.

De acordo com Brown *et al.* (2007), pelo fato da variável precipitação apresentar uma variabilidade espacial significativa, sua estrutura e localização específica pode ser de difícil previsão. Esse fato faz com que as medidas de verificação tradicionais das previsões (como, por exemplo, PD, RFA, ICS) sejam penalizadas por esse tipo de erro. Isso tem sido, nos últimos anos, foco do desenvolvimento de novas ferramentas de avaliação espacial da precipitação. Neste contexto, uma das técnicas que é aplicada nas análises do campo de precipitação é o *Method for Object-based Diagnostic Evaluation* (MODE), proposto por Brown *et al.* (2007), que esta disponível no software de verificação *Model Evaluation Tools* (MET – www.dtcenter.org/met/users/). Essa ferramenta de avaliação de modelos (MET) consiste em reduzir áreas de precipitação da previsão e, observação em objetos e posteriormente, estas áreas são comparadas entre si, levando em consideração a localização, o tamanho e a intensidade dos sistemas.

3.2.1.2.2.1 Descrição do Método de avaliação Diagnóstica baseada em Objeto (MODE)

De acordo com Brown *et al.* (2007), a motivação inicial para o desenvolvimento da ferramenta MODE foi, de fornecer uma ferramenta capaz de imitar a análise humana na avaliação do desempenho da previsão; no sentido de inferir a qualidade das previsões – por exemplo, se a previsão da área foi muito deslocada, muito grande ou não suficientemente

intensa em relação ao observado.

O MODE usa campos definidos em pontos de grade como conjunto de dados previsto e observado. O processo de comparação, entre diferentes campos deve ser realizado na mesma grade de espaçamento horizontal; com os arquivos de dados em formato GRIB1. Há três arquivos de saídas com formatos distintos: texto (.txt), PostScript (.ps) e NetCDF (.nc). O procedimento realizado pelo MODE são os seguintes:

a) Identificação dos objetos;

O primeiro passo no MODE é converter os valores de precipitação nos pontos de grade, em objetos de precipitação. Esse passo é realizado em duas etapas: aplicação de um filtro de convolução e de um limiar. O primeiro processo consiste em suavizar os dados brutos iniciais, enquanto no segundo, um limiar é aplicado para criar objetos que se assemelham.

O campo de dados inicial é primeiramente suavizado, com uma função filtro simples:

$$C(x, y) = \sum_{u,v} \varphi(u, v) f(x - u, y - v) \quad (21)$$

onde, f é o campo de dados, φ é a função de filtro, C é o resultado do campo suavizado. Os pares (x, y) e (u, v) são coordenadas dos pontos grade. A partir do campo suavizado, C , aplica-se um limiar T , para criar um campo de “máscara” e, finalmente, os dados iniciais são representados por objetos. Dois parâmetros controlam, desta forma, todo o processo de resolução de objetos no campo de dados inicial. O raio de influencia, R , e o limiar T . Limiares podem ser ajustados para distinguir áreas com maior tamanho de precipitação e intensidade daquelas que são mais fracas e mais isoladas, (DAVIS *et al.*, 2006-a). A utilização de um valor de T grande eliminará áreas com precipitação de baixa intensidade e resultará em objetos menores; O uso de um valor de T pequeno resultará em áreas mais amplas de precipitação, e vários objetos (BROWN *et al.*, 2007).

b) Medida dos atributos dos objetos;

Uma vez identificados os objetos, são, a eles, atribuídos várias propriedades, para fins de categorização e avaliação. De acordo com Brown *et al.* (2007), os atributos de objetos de precipitação são utilizados para três propósitos: i) juntar objetos dentro de um mesmo campo de previsão ou observação; ii) comparar objetos de previsão e observação; iii) resumir o desempenho da previsão pela comparação de atributos entre objetos previstos e observados. Davis *et al.* (2006-a) define as propriedades de objeto xde acordo com a intensidade, área, centroide, ângulo de eixo e curvatura.

c) Fusão dos objetos do mesmo campo ou entre campo previsto e observado; que consiste em associar um ou mais objetos do mesmo campo ou entre campo previsto e observado.

O processo de fusão de objetos dentro de um mesmo campo, e a comparação de objetos entre campos observado e previsto, é realizada através de uma abordagem de lógica difusa; onde pesos são atribuídos a características relevantes como, a intensidade, posição e tamanho, distância de separação e a orientação espacial. Uma vez que os atributos de objetos $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, são definidos, mapas de interesse l_i , são aplicados aos atributos individuais, α_i , para convertê-los em valores de interesse. Os mapas tipicamente assumem valores entre o intervalo $[0,1]$, com o valor zero indicando nenhum interesse, e 1 de grande interesse. (BROWN *et al.*, 2007).

Um exemplo de mapa de interesse é mostrado na Figura 3.12. Nesse mapa, a razão da intensidade média entre 0,7 e 1,5 é atribuída ao valor de interesse 1. Valores menores que 0,7 e maiores que 1,5 são associados com valores de interesse menores; decrescendo respectivamente para zero para a razão 0 e 4, Brown *et al.* (2007).



Figura 3.12 - Exemplo de mapa de interesse, para a razão de intensidade mediana; (adaptado BROWN *et al.*, 2007).

O próximo passo consiste em definir mapas de confiança, C_i , para cada atributo. Esses mapas (com valores entre zero e um) refletem o quão confiante está o cálculo do valor do atributo. Eles são geralmente, funções vetoriais de todos os atributos $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$; ao contrário do mapa de interesse, onde cada l_i é uma função apenas de cada α_i . Pesos escalares, w_i , são associados a cada atributo. Atribuindo um valor zero a alguns pesos escalares “desliga”, efetivamente, a contribuição de α_i no resultado final (Brown *et al.*, 2007).

Finalmente, todos esses ingredientes são coletados em uma única função de interesse total:

$$T(\alpha) = \frac{\sum_i w_i C_i(\alpha) I_i(\alpha)}{\sum_i w_i C_i(\alpha)} \quad (22)$$

A essa função de interesse total é então aplicado um limiar e pares de objetos, que têm valores de interesse total, acima de determinado limiar, são fundidos (se estiverem no mesmo campo) ou comparados (se eles estiverem em campos diferentes).

A Figura 3.13 mostra um exemplo do tratamento que é realizado em um campo inicial de precipitação na identificação de objetos.

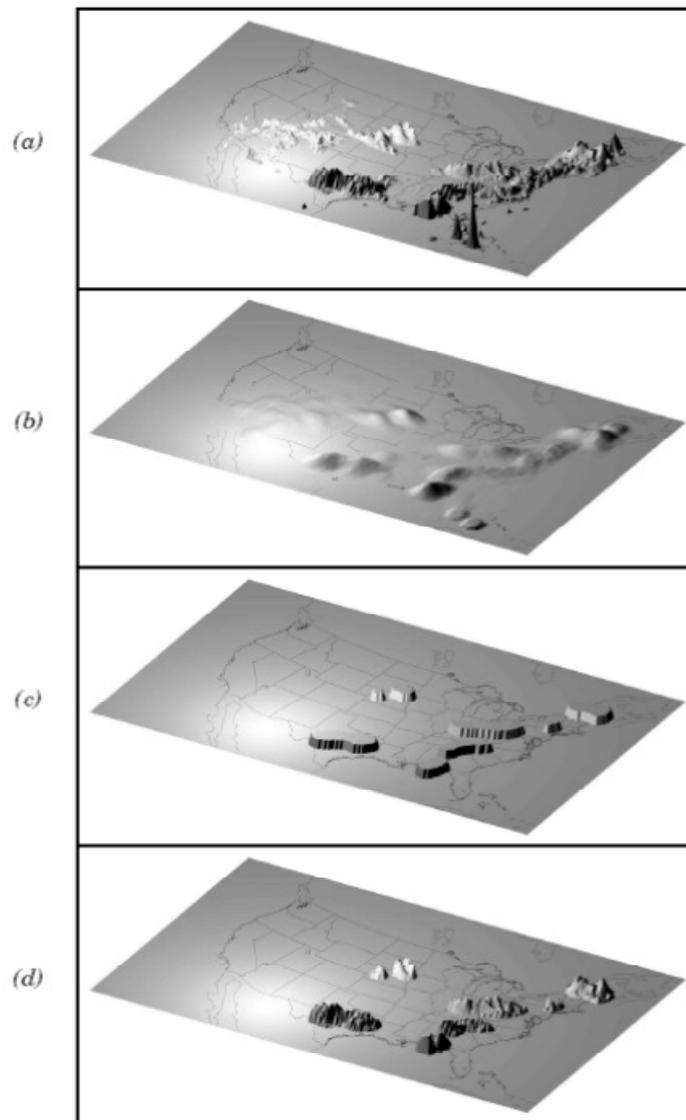


Figura 3.13 - Exemplo de uma aplicação da abordagem de identificação de objeto, em um campo de precipitação do modelo WRF. a) Valores do campo de precipitação inicial, b) campo suavizado através da aplicação do filtro de convolução, c) campo em que foi aplicada a

máscara, resultante da aplicação do limiar, d) campo final dos objetos, após a aplicação da suavização e do limiar ao campo de dados iniciais, em cada uma das grades dos objetos. Adaptado Brown *et al.* (2007).

Maiores detalhes sobre o processo de identificação e comparação dos objetos observados e previstos são dados em Santos (2012).

3.2.1.2 Procedimento de Verificação

Como campos observados optaram pela utilização dos dados do MERGE. Como campo previsto, além das saídas do modelo WRF em ambos os domínios simulados, também foram consideradas as previsões do GFS; no intuito de verificar se há alguma modulação na variável precipitação prevista pelos dados de entrada.

Para a aplicação da ferramenta de avaliação espacial da precipitação com o MODE, foi necessário refazer todo o pós-processamento para as saídas do modelo WRF, nos dois domínios simulados. Esse procedimento foi necessário uma vez que para a análise espacial realizada no MODE, a variação do espaçamento em ponto de grade (latitude/longitude) deve ser regular, sendo que no primeiro pós-processamento realizado, o *namelist* do *ARWpost* havia sido especificado com espaçamento de grade não-regular.

Para avaliar o desempenho das previsões de precipitação diária dos modelos, com o MODE, foi necessário que as grades dos dados de precipitação prevista e observada estivessem com o mesmo domínio e a mesma resolução espacial na horizontal. Desta forma, foram aplicados métodos de interpolação e recorte, utilizando o *software* GRADS nos dados de precipitação do produto MERGE; nas saídas dos modelos WRF e GFS; para que as comparações entre os pontos de grade simulados e observados fossem possíveis. Nesse estágio, uma nova grade com espaçamento horizontal de 0,25 x 0,25 graus de latitude-longitude, e domínio compreendido entre 53,6°W a 43,6°W de longitude e 25,6°S a 19,4°S de latitude, como mostra a Figura 3.14 foi estabelecida.

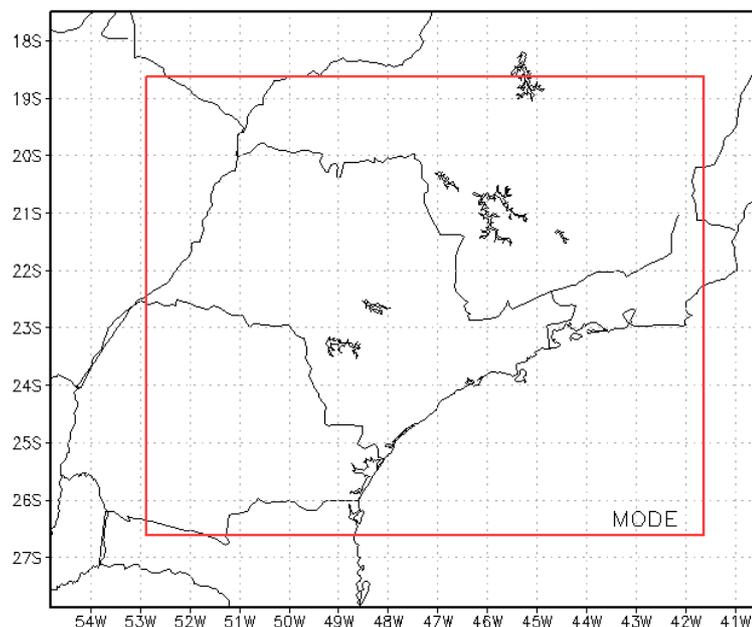


Figura 3.14: Representação do domínio usado na avaliação das simulações com o MODE, delimitado pelo retângulo interno (em vermelho), o retângulo externo refere-se ao domínio de abrangência das simulações do D2.

As saídas dos modelos GFS e WRF para o D1, cuja resolução é de $1,0 \times 1,0$ e $0,50 \times 0,50$ graus de latitude-longitude, respectivamente, tiveram suas resoluções espaciais aumentadas, através de interpolação bilinear. Por outro lado, enquanto que o espaçamento de grade da previsão do WRF para o D2 e a observação do produto MERGE, cuja resolução espacial é de $0,16 \times 0,16$ e $0,20 \times 0,20$ graus de latitude-longitude, respectivamente, foi degradada, através do método box averaging. Ambos métodos são intrínsecos, no software de visualização gráfica GRADS.

Simultaneamente à interpolação e recorte dos dados de chuva prevista e observada, determinou-se com relação à precipitação simulada, o acumulado diário para os diferentes prazos de integração. Essa análise foi limitada à integração de 36 horas. Deste modo as avaliações foram realizadas sobre o domínio espacial abrangendo o Estado de São Paulo e vizinhanças. A escolha deste domínio deve-se ao interesse em obter o máximo possível das feições dos sistemas meteorológicos que provocam chuva, bem como possíveis deslocamentos de sistemas precipitantes. Além disso, a escolha ficou limitada pelo domínio de abrangência das simulações realizadas com o WRF para a segunda grade aninhada, conforme descrito no item 3.1.2.1. Para essa resolução de grade, o MODE considerou 1440 pares de grade correspondentes entre o campo previsto e observado.

Com a interpolação e recorte para o domínio de interesse, em relação aos arquivos

diários de saída das previsões e observação, foram criados os respectivos descritores através de um *shell script*. No entanto, como o MODE requer arquivos em formato .grib, converteu-se os arquivos criados na interpolação e recorte no GRADS para o formato .grib, também por meio de um *shell script*, utilizando o CDO CDO. Na sequência, automatizou-se o processo de execução por um *shell script*.

Antes da execução da ferramenta, foram definidos os parâmetros R , o limiar T e um raio de convolução igual a 2, em unidades de grade. O raio de círculo poderia ser maior mas, de acordo com trabalhos anteriores (DAVIS *et al.* 2006 - a, b) mostrou-se que esta escolha gera áreas de chuva similares ao que um ser humano identificaria. Como a resolução espacial dos dados previstos e observados é de 25 km, um raio maior poderia suavizar alguns sistemas meteorológicos de interesse (como sistemas convectivos mais localizados).

Após suavizar o campo de chuva, foram retidos apenas os pontos de grade com precipitação que excederam um limiar de $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$; removendo com valores menores que esse limiar. A escolha do limiar de $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$ deve-se ao fato de alguns trabalhos já terem utilizado esse limiar de intensidade de precipitação na avaliação de modelos numéricos para a ocorrência ou não de chuva; como Chou e Justi da Silva (1999) que avaliaram o desempenho do modelo ETA, com relação à variável precipitação, na região da América do Sul, e também utilizado na avaliação de modelos pelo NCEP.

A primeira análise consistiu em comparar pares de grade entre campo previsto e observado. Ela foi feita para determinar o desempenho do modelo, através de categorias definidas pela Tabela de contingência, em que os acertos e erros de precipitação são baseados, na ocorrência ou não do evento chuva, no domínio da verificação. A segunda análise consistiu em analisar alguns atributos com relação a pares de polígonos entre previsto e observado. Uma vez obtidos os dados dos índices de interesse, nas duas análises realizadas, estes foram plotados com o GNUPLOT. Esse processo também foi automatizado por *shell script* e uso do comando *cat* para criar um arquivo específico.

3.2.1.2.3.1 Exemplo da análise com relação a aplicação da ferramenta MODE

Como exemplo, mostra-se a aplicação do MODE na identificação de objetos e a posterior associação de objetos, dentro de um mesmo campo; assim como a comparação, entre

pares de polígonos de campo previsto e observado, bem como a posterior demonstração dos atributos associados. Por fim, mostra-se uma situação em que o primeiro par de polígonos, identificados entre o campo previsto e observado, nos diferentes modelos de previsão foi diferente.

A Figura 3.15 mostra o campo da distribuição espacial da precipitação acumulada, do dia 01/04/2010, prevista pelo GFS (na integração das 36 horas) e observada no MERGE, para o domínio e resolução de espaçamento de grade considerados na aplicação do MODE.

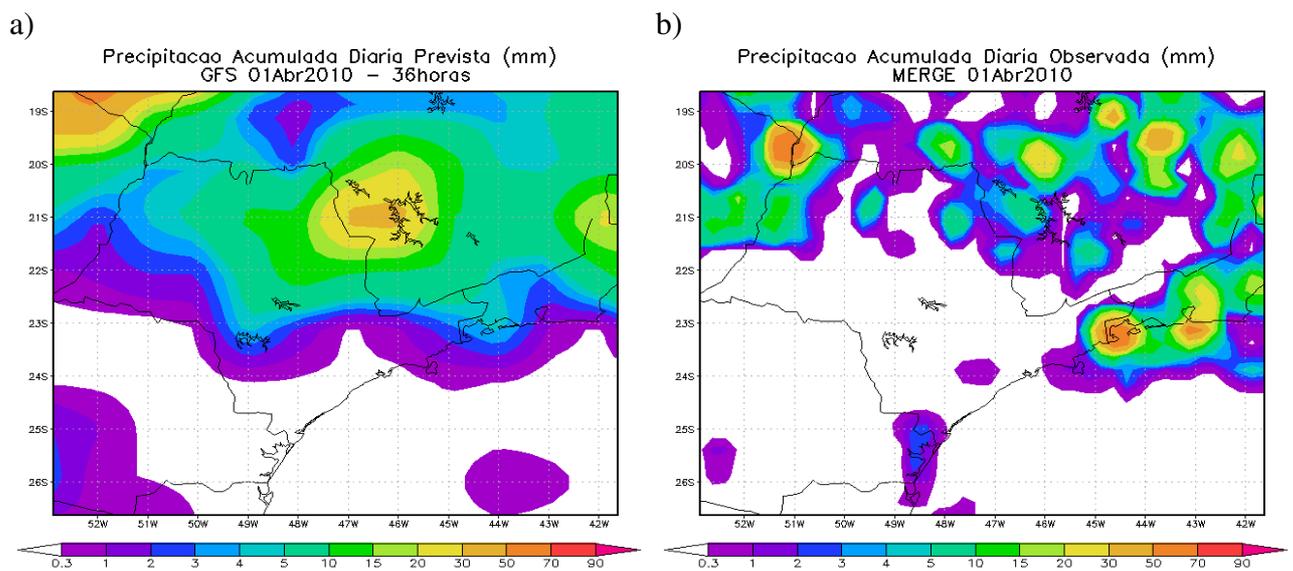


Figura 3.15 - Campo de distribuição espacial da precipitação acumulada diária simulada pelo GFS (a); observada pelo MERGE (b); para a precipitação acumulada diária, do dia 01/04/2010, ambas com as grades do domínio e resolução espacial considerada na aplicação do MODE com a resolução espacial horizontal de $0,25^\circ$ de latitude/longitude.

Na Figura 3.16, mostra-se a aplicação do MODE, baseada em pares de polígonos comparados, para os campos observado e previsto da precipitação acumulada, do dia 01/04/2010, apresentada para o limiar de $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, sobre o domínio abrangendo o Estado de São Paulo, na Figura 3.15. Com precipitação observada pelo MERGE e prevista pelo GFS, na integração das 36 horas, com a matriz de interesse correspondente no lado direito. Polígonos com a cor verde e vermelha são comparados, enquanto os objetos na cor azul, denotam nenhum tipo de comparação. Hipoteticamente, os valores de interesse maiores que 0,7 são destacados, com os números em negrito na matriz.

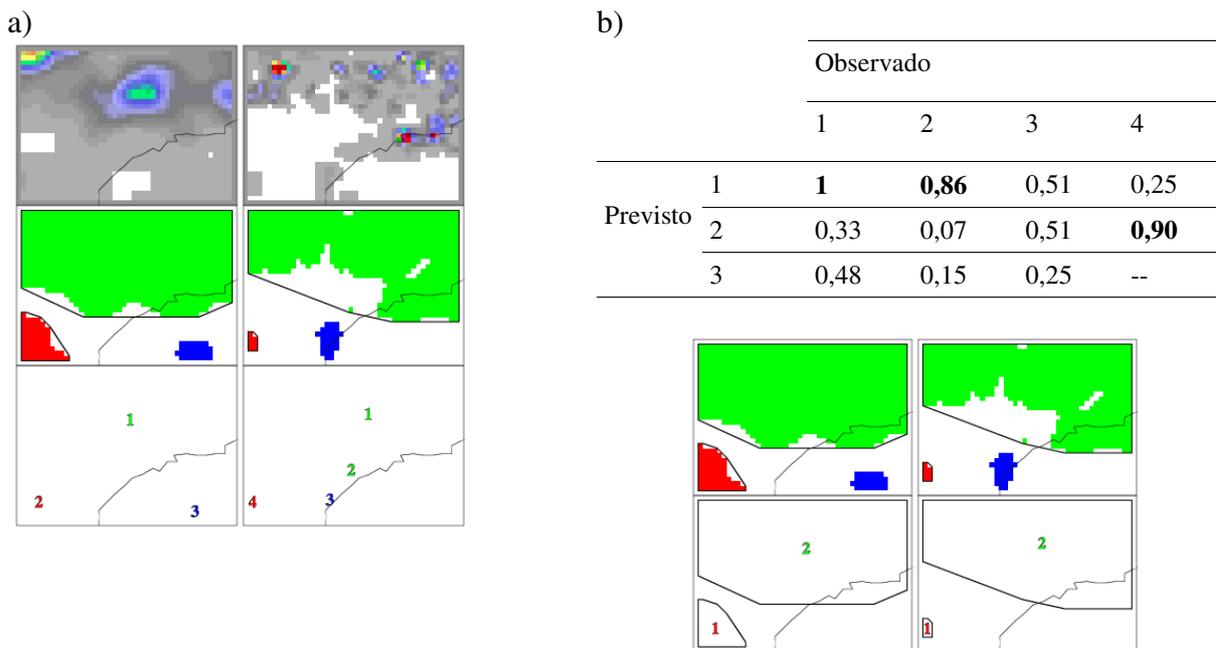


Figura 3.16. Esquema dos objetos de área de chuvas prevista e observada identificados pelo MODE.

Mostra-se a identificação dos objetos no campo previsto e observado, bem como a posterior identificação, dos pares de objetos comparados entre os campo previsto e observado. No campo previsto há três áreas de precipitação prevista; enquanto o campo observado apresenta quatro áreas de precipitação observada; sendo que uma das quais é notavelmente muito menor que as demais. Cada área dentro do campo analisado é referenciada como sendo um objeto. Também se mostram os valores de interesse total, para cada um dos pares de objeto de previsão-observação. A comparação ocorre quando o índice de interesse tem valores iguais ou superiores a 0,7. Usando esse valor de interesse, o objeto previsto 1 é comparado com os objetos observados 1 e 2. Objeto previsto 2 é comparado com o objeto observado 4. O objeto previsto 3 não é comparado com nenhum objeto observado, porque apresenta interesse inferior a 0,7, em relação a todos os pares de objetos do campo observado.

As comparações realizadas se referem à comparação entre polígonos do campo previsto e observado. Elas foram feitas quando um polígono é composto por um único objeto, ou pela combinação de objetos dentro do mesmo campo, em que estes objetos necessariamente apresentam interesse igual ou superior a 0,7 em relação a pelo menos um objeto do campo comparado. Assim, por definição, um polígono é um conjunto de um ou mais objetos, no mesmo campo, que é comparado com um conjunto de um ou mais objetos no outro campo. A combinação de objetos considera que os objetos individuais simples, no

mesmo campo, podem ser associados, antes da comparação, formando assim um grande composto.

No esquema de cores utilizado pelo MODE, cada objeto é indicado por uma cor distinta, sendo que aqueles a serem combinados, dentro do mesmo campo, apresentam a mesma cor. Com relação aos polígonos, dentro de um mesmo campo analisado, quando identificado cada um deles é indicado por uma cor diferente apresentando um entorno na cor preta. Polígonos de mesma core, entre campo previsto e observado, indicam pares de polígonos comparados.

No exemplo apresentado, têm-se dois pares de polígonos que foram comparados. O primeiro par, identificado pela cor vermelha, é composto apenas por objetos simples, do campo previsto (objeto previsto 2 em vermelho) e do campo observado (objeto observado 4, na cor vermelha). O segundo par, identificado pela cor verde, consiste da comparação de um único objeto do campo previsto (objeto previsto 1, na cor verde) com dois objetos combinados do campo observado (objetos 1 e 2, ambos em cor verde). Os objetos na cor com a tonalidade azul escura, do campo previsto e observado, não se associaram a nenhum outro objeto dentro do respectivo campo e nem mesmo foram comparados.

Na Tabela 3.5, apresentam-se os valores dos atributos dos pares de polígonos comparados para o caso descrito. O primeiro par de polígonos comparado, entre o campo previsto e observado, apresenta interesse 0,90, enquanto o segundo par de polígonos comparados tem interesse 0,95. Para o primeiro par de polígonos comparados, a área do polígono previsto foi de 81 unidades de grade; enquanto que o polígono observado apresentou área de 14 unidades de grade, com a razão de áreas 5,79; indicando, portanto, que a área prevista foi superestimada, com razão superior a cinco. Para o segundo par de polígonos comparados a área prevista se aproximou mais da área observada, de modo que a razão entre a área prevista e observada foi 1,19, portanto, ainda com a persistência do padrão de superestimativa.

Os menores valores da distância entre os centroides e a diferença angular, respectivamente, para o conjunto 2 de par de polígonos, com valores de 2,59 e 8,35, comparado ao par do conjunto 1, com valores iguais a 2,69 e 30,72; indica que a localização das áreas de chuva previstas para o conjunto 2 esteve mais aproximada da observação. Valores iguais à zero do atributo de distância do invólucro convexo, para os dois pares de polígonos comparados, indica que os polígonos previstos e observados comparados, apresentaram áreas (em unidades de grade) de interseção. Mesmo apresentando área de

interseção, os centroides dos polígonos previstos e observados se encontram em posições distintas; como pode ser verificado pela distância dos centroides descrita.

Com relação às intensidades dos acumulados de precipitação, as razões de percentil 50 e 90, indicam superestimativa para os dois pares de polígonos comparados. As maiores superestimativas estão associadas ao percentil da categoria 50. O percentil 90, mesmo superestimando a intensidade simulada, se apresentou muito mais do observado para os dois pares de polígonos comparados.

Tabela 3.5: Atributos dos pares de polígonos comparados, entre campo previsto na integração das 36 horas pelo GFS e campo observado pelo MERGE, para o caso de 01/04/2010, mostrado na Figura 3.16.

Atributos	Pares de Polígonos Comparados	
	1	2
Interesse Total	0,90	0,95
Área prevista GFS	81	943
Área observada MERGE	14	790
Razão entre as área	5,79	1,19
Interseção de áreas	14	761
União de áreas	81	972
Distância entre os centroides	2,69	2,59
Distância do Invólucro Convexo	0	0
Diferença Angular	30,72	8,35
Percentil 50 GFS	0,45	4,93
Percentil 50 MERGE	0,32	2,36
Razão entre percentis 50	1,41	2,09
Percentil 90 GFS	1,30	16,79
Percentil 90 MERGE	1,08	16,06
Razão entre percentis 90	1,2	1,05

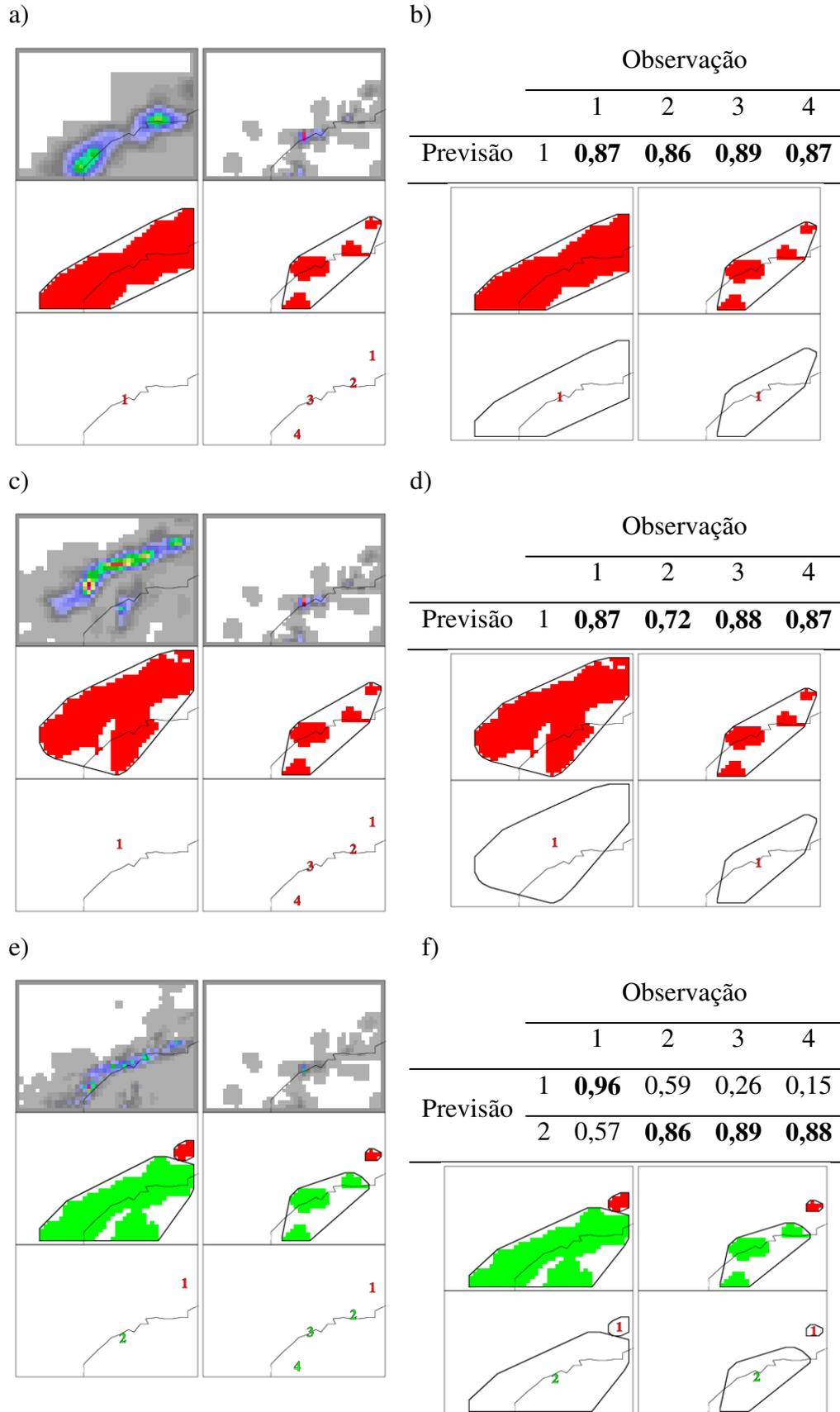


Figura 3.17 Esquema mostrando objetos de área de chuva prevista e objetos de área de chuva observada identificados pela ferramenta MODE, para o limiar de $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, para a precipitação acumulada do dia 10/08/2010.

Observou-se que em alguns casos, o primeiro par de polígonos identificado e comparado, entre campo de previsão e observação, foi diferente para os três modelos avaliados. A exemplo do que ocorre, para o dia 10/08/2010; que tem apenas um par de polígonos sendo identificado entre o campo previsto e observado, em relação à previsão do GFS e WRF no D1; enquanto na previsão do WRF no D2, são identificados dois pares de polígonos. Deste modo o primeiro e único par de polígonos identificados e comparados entre as previsões do GFS e WRF no D1 diferem do primeiro par identificado, no campo da previsão do D2, conforme pode ser observado na Figura 3.17.

Os resultados apresentados referem-se ao primeiro par de polígonos comparados entre o campo previsto e observado. Dias nos quais não se teve polígonos comparados, se referem a dias sem chuva entre simulação e observação. Eles representam o evento de chuva previsto/não previsto, que não foi/foi observado, ou mesmo em situações nas quais os objetos entre campo previsto e observado não apresentaram valor de interesse satisfatório. O domínio considerado abrange o Estado de São Paulo e vizinhanças, com dados observados, referente ao produto MERGE e da previsão, relativos às saídas das simulações realizadas pelo GFS e pelo WRF para o D1 e D2.

4. Resultados

As análises realizadas em ponto de grade e na área espacial são apresentadas na sequência, no intuito de verificar o desempenho das simulações numéricas realizadas, para as variáveis meteorológicas das temperaturas máxima, e mínima diária e a precipitação acumulada diária; para o período de 01 de abril de 2010 a 31 de março de 2011. Essa análise é feita de forma pontual, com relação à variável temperatura (subseção 4.1), enquanto a variável precipitação é avaliada espacialmente (subseção 4.2).

A análise pontual consiste em avaliar o desempenho, tanto do modelo WRF quanto do modelo GFS para ambos os domínios simulados, em seis estações de superfície, distribuídas no estado de São Paulo, com relação às temperaturas máxima e mínima diárias. A verificação dessa variável foi realizada através de índices estatísticos de verificação, para a quantificação de erros e tendências, tais como o erro médio (EM) e a raiz do erro quadrático médio, conforme descrito no item 3.2.1.1.2.

A análise espacial consiste em avaliar o desempenho dos modelos WRF e GFS, em relação à distribuição espacial do campo de precipitação acumulada diária em superfície. Ela foi feita através da aplicação da ferramenta de avaliação de modelos baseada em objetos (MODE), descrita no sub-item 3.2.1.2.2; que consiste em reduzir os campos de precipitação acumulada diária previstos e observados em objetos. Além da avaliação com relação aos índices estatísticos de verificação tradicionais, para os objetos identificados nos campos previstos e observados, também se fez uma análise com relação à razão de áreas; distância dos centroides e razão dos percentis, 50 e 90 para o primeiro par de polígonos comparados entre campo previsto e observado.

4.1 Análise da Temperatura

A análise da temperatura foi realizada para o período simulado, para as integrações das 36 horas e 60 horas, com relação à temperatura mínima diária e para as integrações das 36 horas, 60 horas e 72 horas, com relação à temperatura máxima diária. No entanto, optou-se por apresentar os índices estatísticos dos valores diários, apenas para o mês de fevereiro de 2011, para a integração de 36 horas. Em seguida, são mostradas as temperaturas médias

diárias, para as 6 estações de observação, para cada dia do período total analisado; bem como o seu erro médio. No fim é feita uma análise da variação mensal e trimestral, para os diferentes horários de integração.

4.1.1 Análise diária

Mostra-se nas Figuras 4.1 a 4.2 as temperaturas máxima, e mínima em relação ao observado, prognóstico do GFS e simulado pelo WRF nos dois domínios de integração, para as seis estações de superfície analisadas; na integração das 36 horas, para o mês de fevereiro de 2011.

Da Figura 4.1, para a temperatura máxima no mês de fevereiro, verifica-se que a estação de Registro, Figura 4.1 (a), apresenta um erro sistemático de subestimativa, da ordem de até 3° C, com relação ao prognóstico do WRF, e de 5° C para o GFS, evidenciando a melhora do prognóstico com o modelo regional. A estação de São Paulo (Figura 4.1 (b)) mantém um padrão de subestimativa, com o D2 com temperaturas máximas mais próximas ao observado. O padrão de subestimativa também pode ser observado, nas estações de Paranapanema, Campinas e Presidente Prudente, Figura 4.1 (c) - (e), respectivamente, com o GFS apresentando maior subestimativa e o modelo regional para o D1, por vezes apresentando subestimativa ainda maior; porém com o D2 aproximando o prognóstico ao da variável observada. Para a estação de Votuporanga (Figura 4.1 (f)) o modelo regional não apresentou melhora com relação ao modelo global, mantendo-se todas as simulações com valores subestimados.

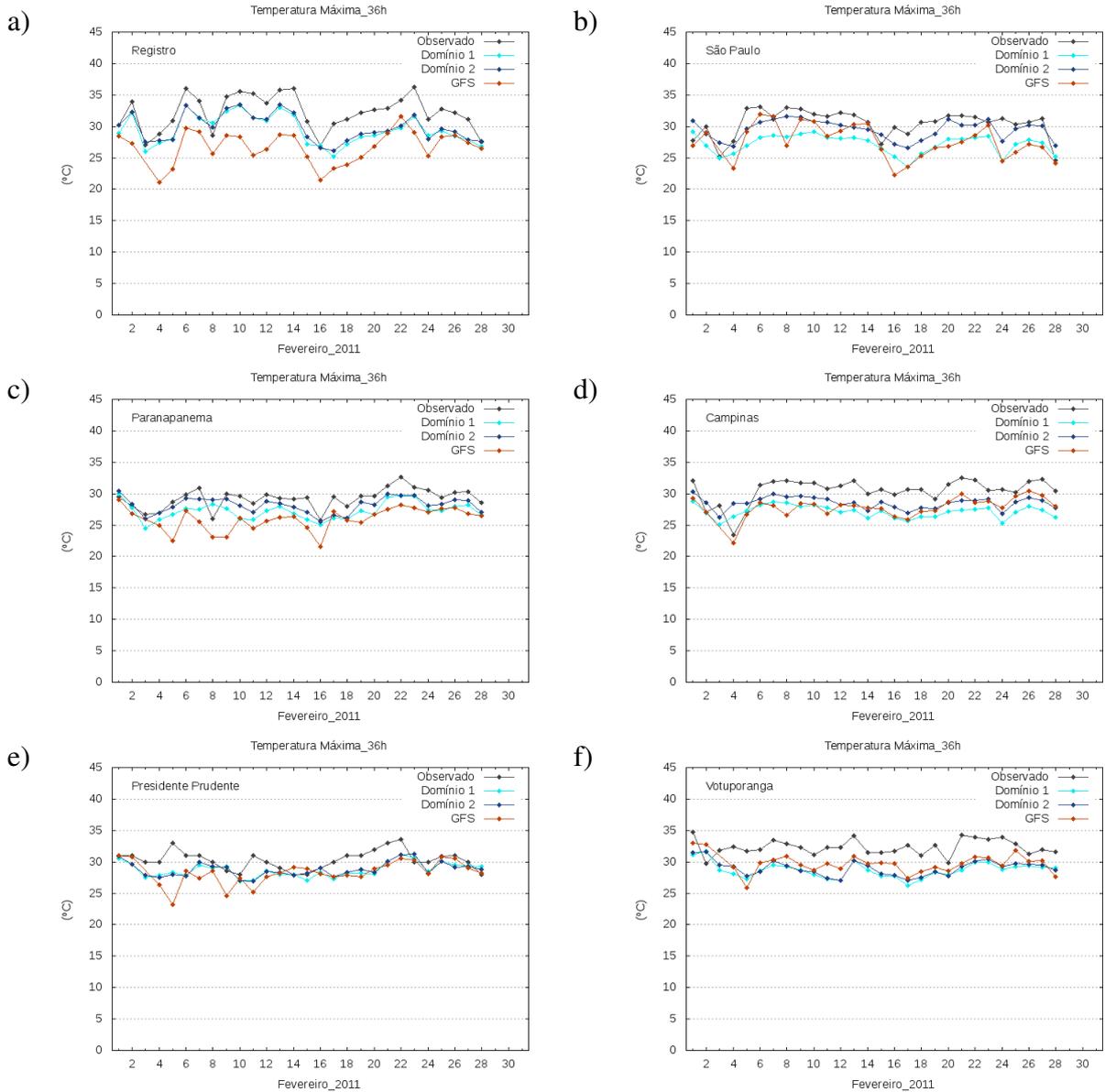


Figura 4.1 - Temperatura máxima observada nas seis estações em superfície distribuídas sobre o Estado de São Paulo, de acordo com os dados obtidos da CIAGRO; previsto pelo GFS e pelo WRF em ambos os domínios simulados, na integração das 36 horas, para o mês de fevereiro de 2011, (a) Registro; (b) São Paulo; (c) Paranapanema; (d) Campinas; (e) Presidente Prudente; (f) Votuporanga.

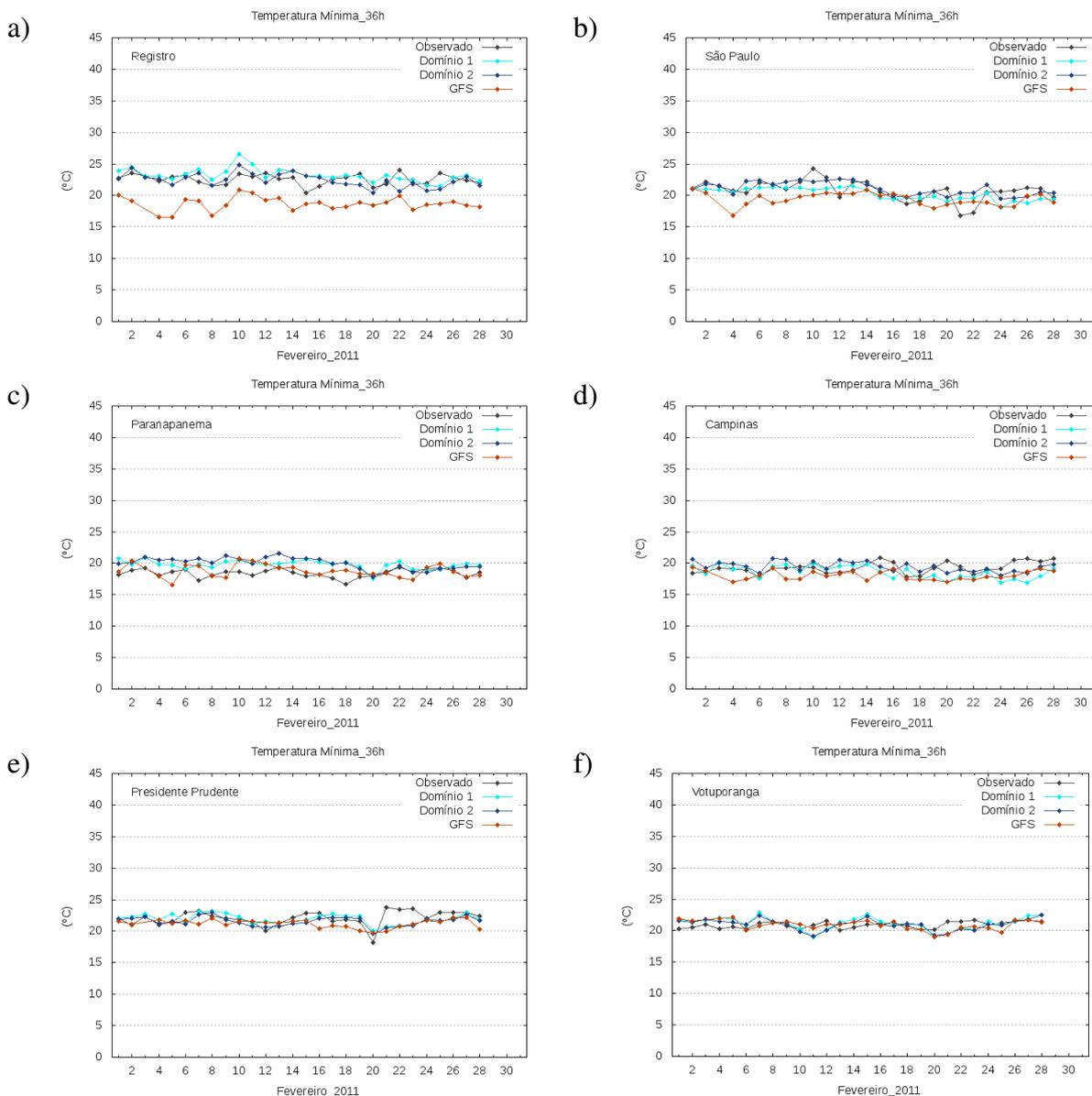


Figura 4.2 – Idem Figura 4.1, porém para a temperatura mínima.

Da Figura 4.2, para a variável de temperatura mínima no mês de fevereiro, verifica-se que, para a estação de Registro, Figura 4.2 (a), o GFS apresenta um erro sistemático de subestimativa (em grande parte superior a 2° C) e as simulações do WRF, para ambos os domínios, conseguem melhorar o prognóstico. A estação de São Paulo (Figura 4.2 (b)) apresenta um comportamento semelhante; porém, com magnitude de erro (de subestimativa) menor, comparado ao erro da estação de Registro. O padrão de subestimativa também pode ser observado nas estações de Campinas. Entretanto, para estas estações, bem como para as estações de Paranapanema, Presidente Prudente e Votuporanga, os prognósticos são bastante

próximos aos valores observados, como mostram as Figuras 4.2 (c), (e) e (f), respectivamente; com o WRF apresentando valores mais próximos ao observado.

A fim de sintetizar os padrões de temperatura prevista pelo WRF no D2, e observada nas diferentes estações de superfície, mostra-se na Figura 4.3 as temperaturas médias da máxima e mínima diária e seus respectivos EM associados em 4.3 c e 4.3 d, nas seis estações de superfície, com relação ao da integração das 36 horas.

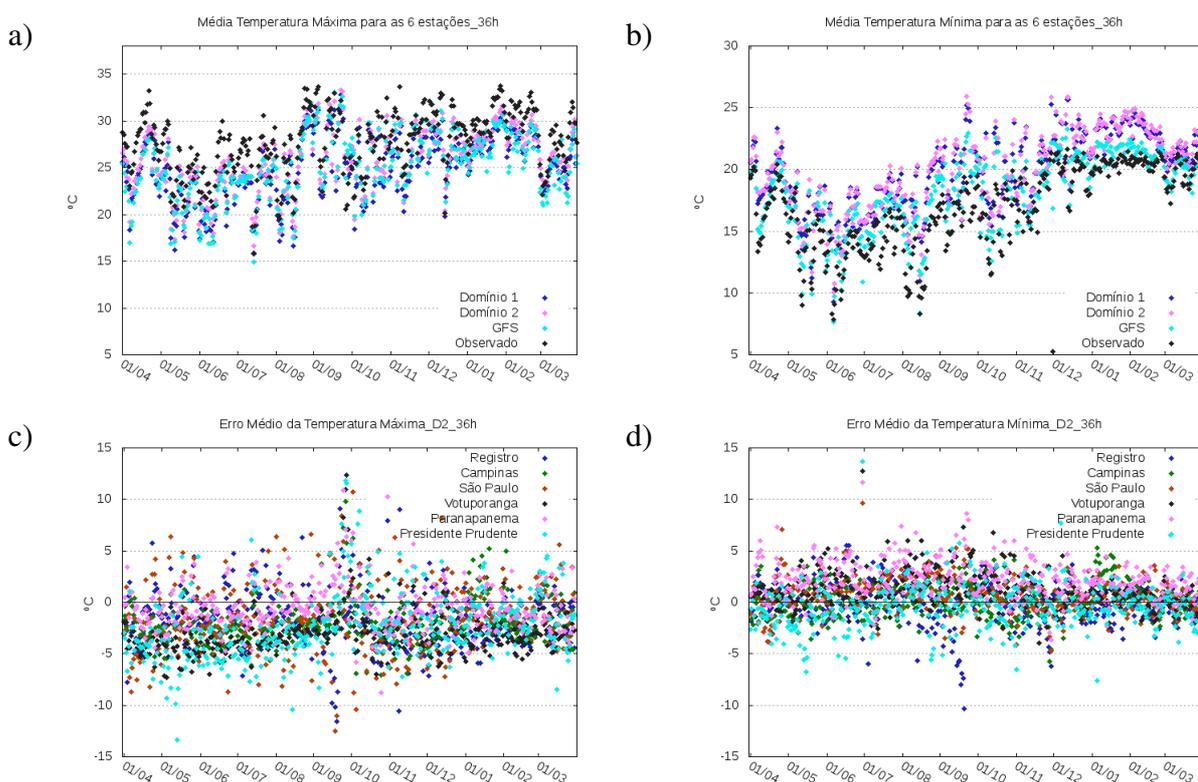


Figura 4.3 - Evolução das temperaturas médias diárias (a) máxima e (b) mínima, previstas pelo WRF no D2 seus respectivos EM associados (c, d) para as seis estações, com relação ao observado na integração das 36 horas.

Para a média da temperatura máxima nas seis estações de superfície tem-se um padrão de subestimativa para os três modelos na integração das 36 horas (Fig. 4.3 (a)). Entretanto, a temperatura mínima apresenta um padrão de superestimativa (Fig. 4.3 (b)). O EM associado, mostra que na maior parte do ano e em quase todas as estações de superfície, a temperatura máxima é subestimada (Fig.4.3 (c)) e a temperatura mínima superestimada (Fig.4.3 (d)), com a temperatura mínima apresentando magnitude de erro médio associado menor, ou seja, a temperatura mínima é melhor prevista. Nota-se também, que há uma certa modulação com

relação ao EM ao longo do ano: maiores subestimativas entre abril e junho e entre novembro e janeiro; e menores subestimativas entre setembro e outubro. Além disso, os EM têm magnitudes maiores, para as temperaturas máximas, quando comparado aos EM das temperaturas mínimas. Para o período analisado a temperatura máxima é subestimada, praticamente em todas as estações de observação, enquanto que, a temperatura mínima, apresenta superestimativas, exceto na estação de Presidente Prudente.

4.1.2 Análise mensal

As Figuras 4.4 a 4.6 mostram a evolução dos índices estatísticos mensais, para a temperatura máxima diária, com o prazo de previsão de 36, 60 e 72 horas, respectivamente. O EM e REQM foram calculados, para todas as estações em superfície, com relação às previsões do GFS e WRF nos domínios D1 e D2. As Figuras 4.7 e 4.8 mostram a evolução destes índices para a temperatura mínima, nas integrações das 36 e 60 horas, respectivamente. Os índices, com relação às previsões do GFS, também são mostrados, como intuito de verificar se as previsões do modelo regional apresentaram ganho de qualidade sobre as do modelo global; e se estas sofrem alguma influencia das condições de contorno e iniciais.

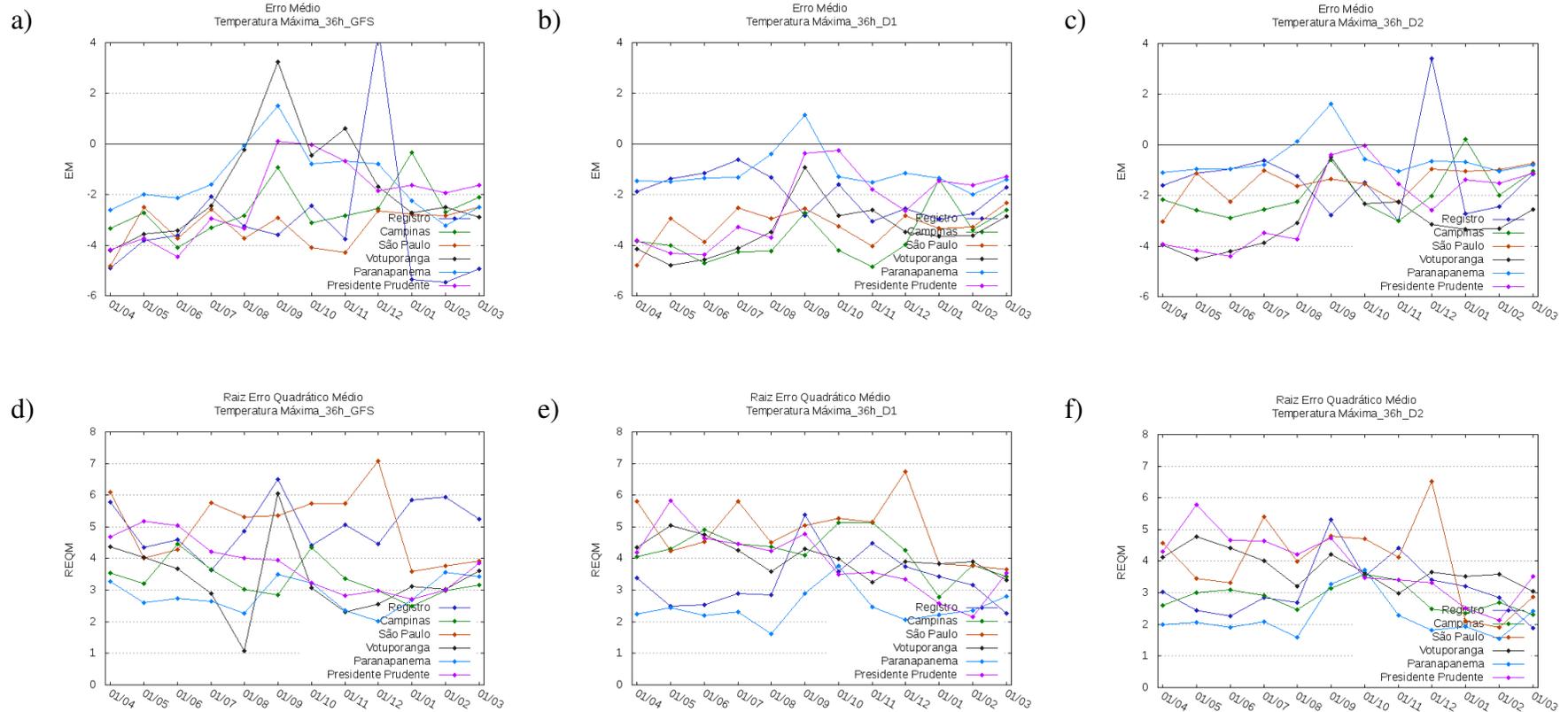


Figura 4.4 - Evolução dos índices estatísticos mensais da temperatura máxima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, e, f) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2, respectivamente, para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.

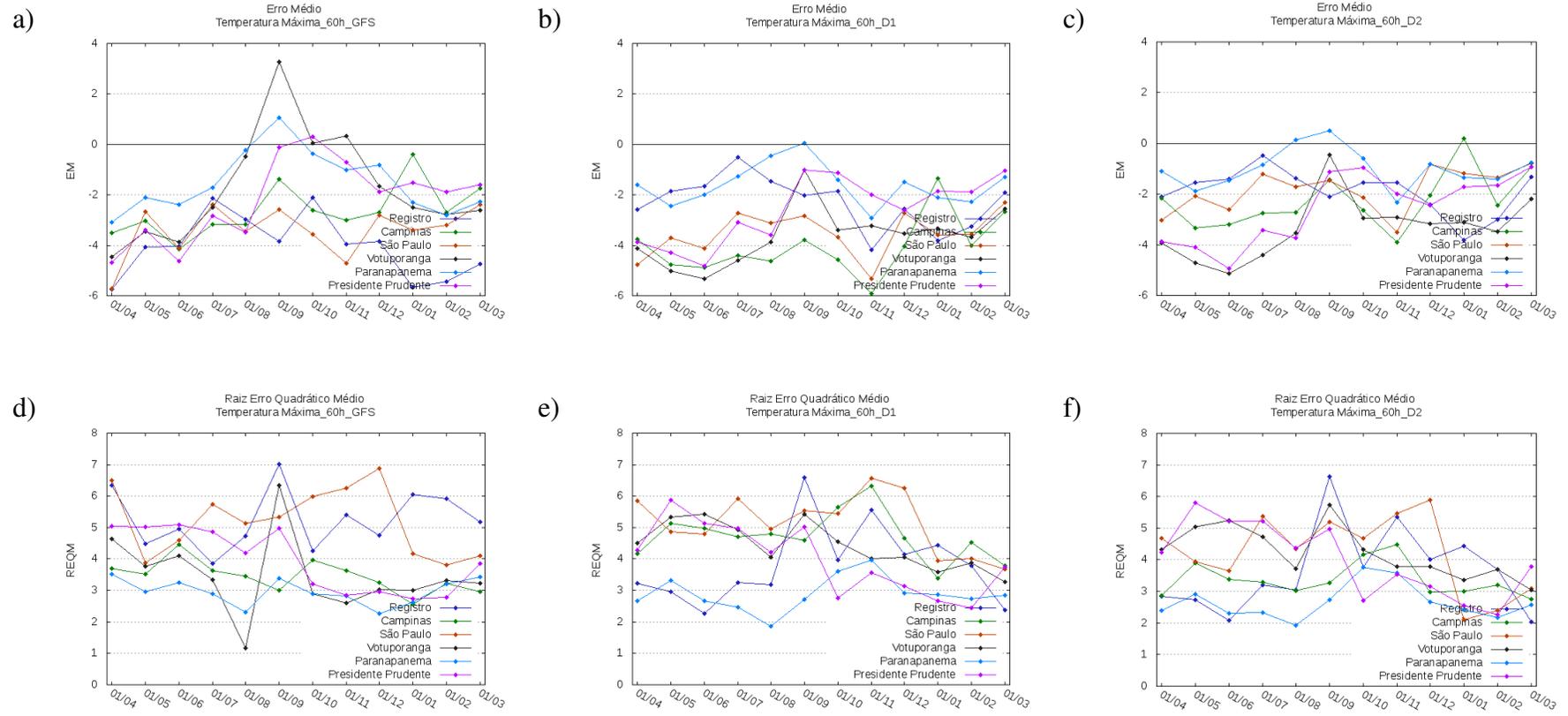


Figura 4.5 - Idem à Figura 4.4, porém para integração das 60 horas.

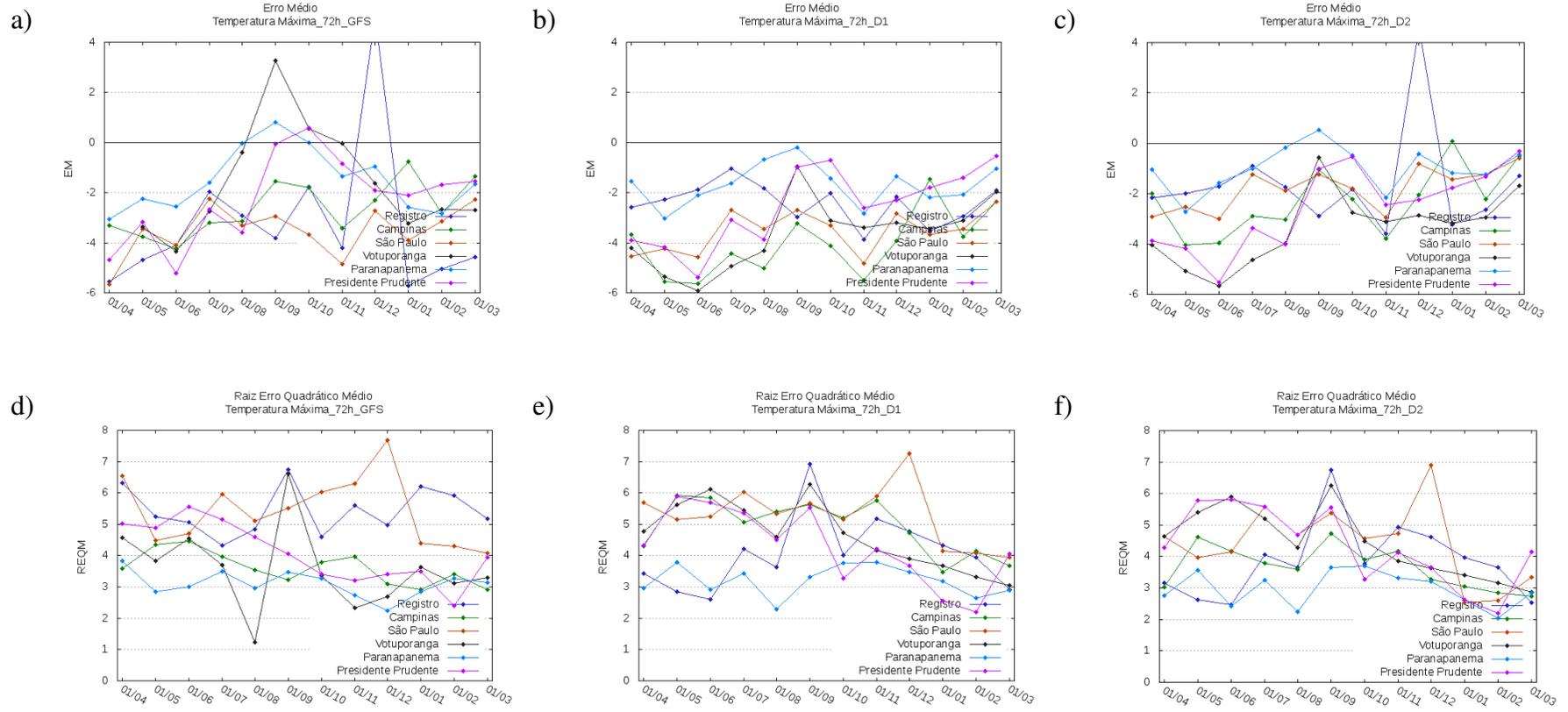


Figura 4.6 - Idem à Figura 4.4, porém para integração das 72 horas.

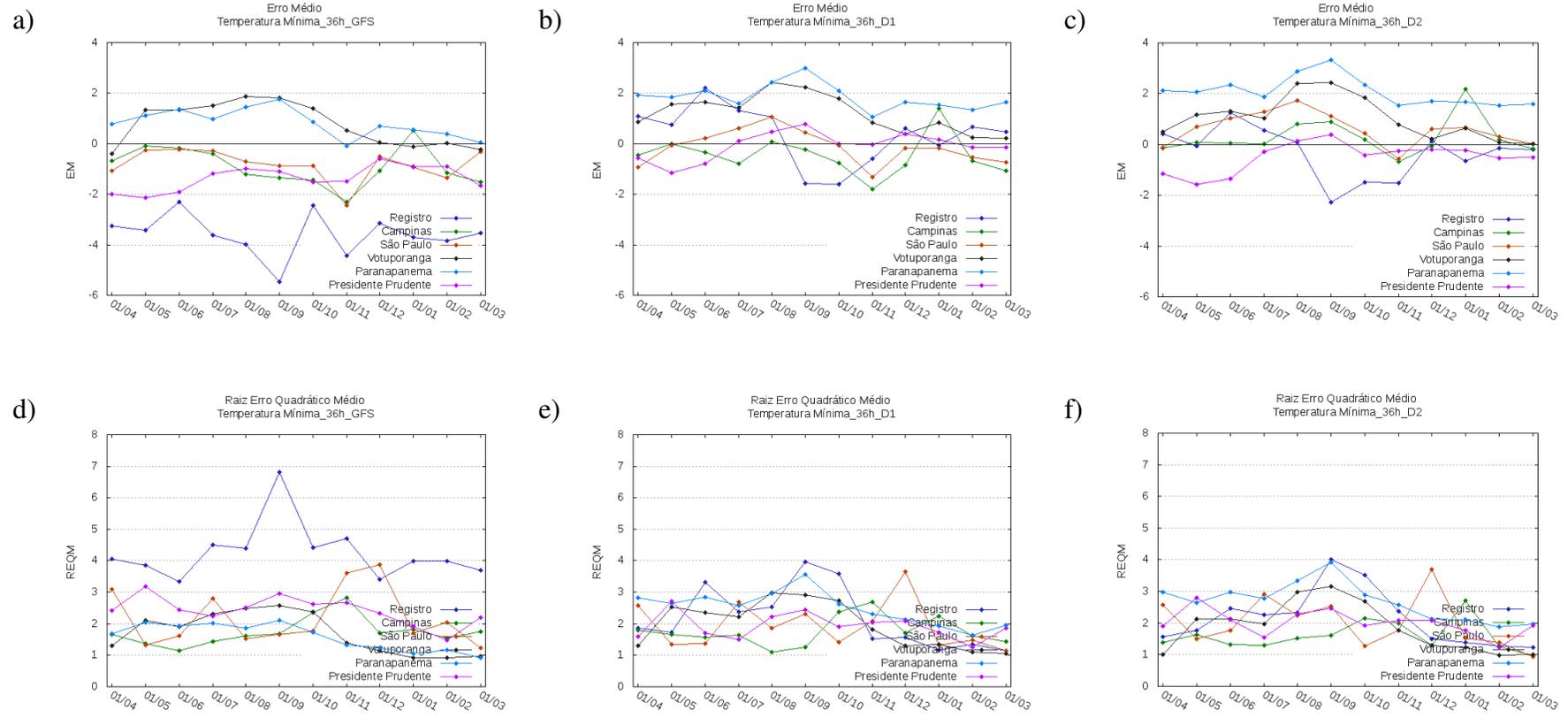


Figura 4.7 - Evolução dos índices estatísticos mensais da temperatura mínima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, e, f) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2, respectivamente, para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.

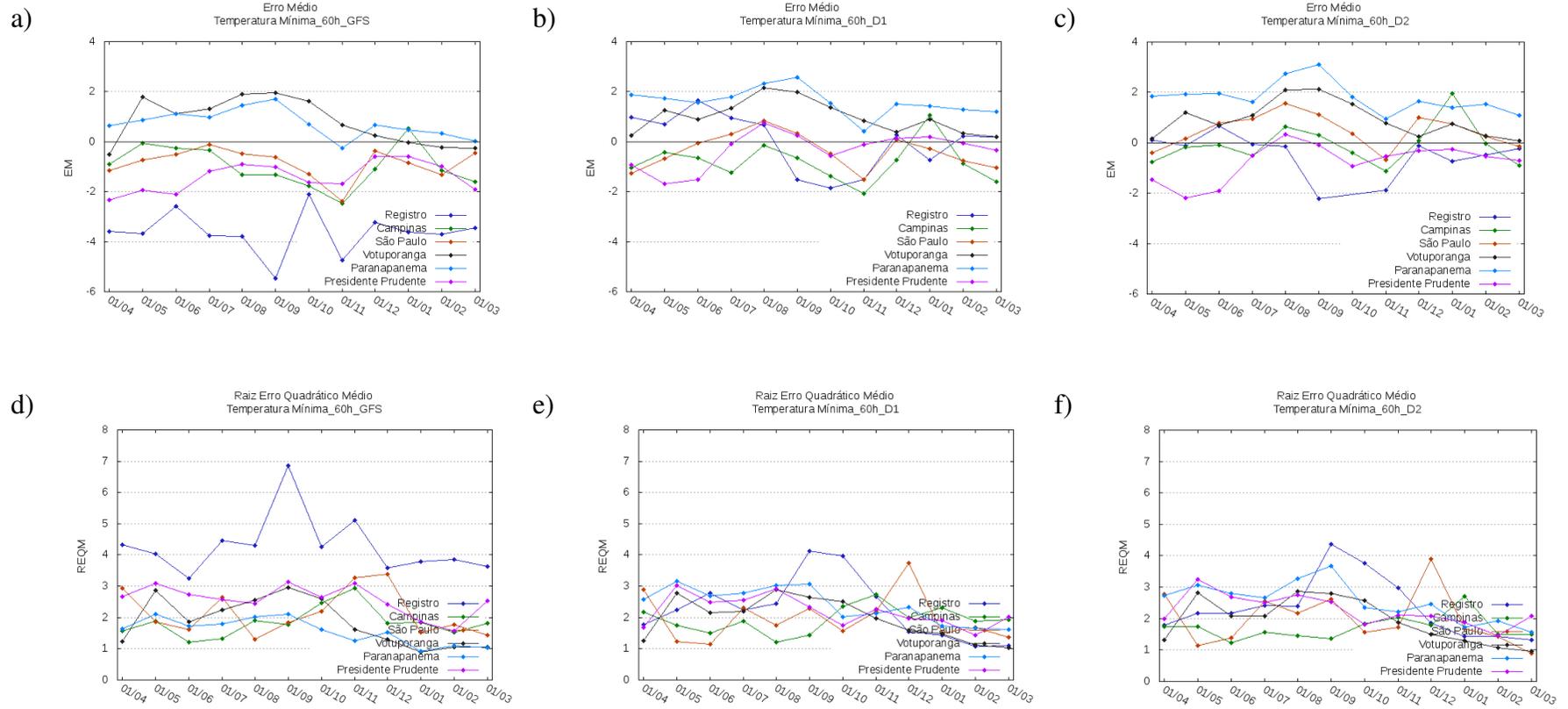


Figura 4.8 – Idem à Figura 4.7, porém para integração das 60 horas.

4.1.2.1 GFS

A análise do EM da temperatura máxima mensal, com relação ao prognóstico do GFS, para todas as estações em superfície, mostra uma tendência da mesma ser subestimada para as integrações das 36 horas, 60 horas e 72 horas; com valores máximos de EM da ordem de 5 °C, principalmente na estação de Registro, nos meses de janeiro a março.

No que diz respeito à REQM, da temperatura máxima do GFS, em concordância com o EM para a integração das 36 horas, a estação que apresentou os valores simulados mais próximos aos observados, considerando todos os meses do ano, foi a estação de Paranapanema. Os maiores valores de REQM, coincidem com as estações localizadas no leste do Estado de São Paulo – Registro e São Paulo.

O EM da temperatura mínima prevista pelo GFS, nas integrações das 36 horas e 60 horas, mostra que a estação de Paranapanema apresentou temperatura mínima mensal superestimada, exceto para o mês de novembro, em que ela se aproxima bastante ao observado. Na estação de Votuporanga também predomina um padrão de superestimativa, com valores próximos ao observado, nos meses de dezembro a abril. Para as estações de Registro, Campinas, São Paulo e Presidente Prudente persistem o padrão de subestimativa, para ambas as horas de integração; exceto em Campinas no mês de janeiro. As maiores subestimativas, portanto com maiores valores de EM, ocorrem na estação de Registro, com EM máximo superior a 4°C, no mês de setembro.

Com relação à REQM da temperatura mínima do GFS, são evidentes os maiores índices de REQM, na estação de Registro, para as integrações das 36 horas e 60 horas; ou seja, para essa estação há uma perda na previsibilidade, em comparação às demais estações em superfície analisadas.

Em magnitude a REQM do GFS da temperatura máxima foi superior ao da temperatura mínima. Para o mês de setembro, as estações localizadas no leste do Estado de São Paulo (Registro e São Paulo) apresentaram os maiores índices, tanto para a temperatura máxima, quanto para a temperatura mínima; também, com magnitude do erro associado à temperatura máxima maior que da temperatura mínima.

4.1.2.2 WRF no D1

A evolução do EM mensal da temperatura máxima prevista pelo WRF no D1, em todas as horas de integração, mantém a tendência de subestimativa, para todas as estações de superfície (exceto para Paranapanema, na integração das 36 e 60 horas no mês de setembro). A estação de Paranapanema apresentou os menores valores de EM e, portanto, de REQM. Merece destaque a estação de Registro, que apresentou uma melhora significativa com relação a REQM do GFS; evidenciando, portanto, que o padrão local está sendo melhor representado pelo modelo regional.

O EM da temperatura mínima para o modelo WRF no D1 evidencia a superestimativa em todos os meses para as estações de Paranapanema e Votuporanga, nos dois instantes de tempo de integração (padrão semelhante ao GFS, porém com magnitude de EM ligeiramente maior), com valores mais próximos ao observado na integração das 60 horas.

A REQM da temperatura mínima do WRF no D1, em concordância com o EM para a integração das 36 horas, mostra que a estação, que apresentou valores previstos mais próximos aos observados em superfície, foi a estação de Campinas.

4.1.2.3 WRF no D2

Com relação ao EM da temperatura máxima WRF no D2 para todas as estações em superfície, verifica-se uma tendência na perda da qualidade, ao longo do tempo de integração das simulações. Nota-se que, de maneira geral, o modelo tende a subestimar a temperatura máxima, com maiores magnitude de erro, da ordem de 4°C, associadas à estação de Votuporanga e Presidente Prudente.

No que diz respeito à REQM da temperatura máxima, associada às previsões do WRF no D2, a estação que apresentou valores simulados mais próximos aos observados em superfície, foi a estação de Paranapanema.

O EM da temperatura mínima do WRF no D2 apresenta a tendência de superestimar as temperaturas mínimas, com padrão de superestimativa em todos os meses em Paranapanema e Votuporanga; e com superestimativa máxima da ordem de 3 °C em Paranapanema.

4.1.2.4 Comparação entre os modelos

O padrão de subestimativa da temperatura máxima, em relação ao observado em superfície para as seis estações analisadas, nos horários de integração considerados, tanto com o GFS quanto para as saídas das simulações realizadas com o modelo WRF, para ambos os domínios foi evidente.

A temperatura mínima, apesar do padrão de subestimativa da mesma em relação ao observado em superfície, no prognóstico do GFS; nas estações de Registro, São Paulo, Campinas e Presidente Prudente, para todos os meses, nas integrações das 36 horas e 60 horas, o padrão não se repetiu nas saídas das simulações realizadas com o modelo WRF. O GFS e o WRF superestimam a temperatura mínima nas estações de Votuporanga e Paranapanema.

A simulação com o WRF melhora as previsões das temperaturas máxima e mínima, na maior parte das estações e na maior parte do período, como se pode verificar, pelos valores de REQM menores para o WRF no D1 e D2 comparados ao do GFS.

Ao compararmos o EM mensal, da temperatura máxima, nos diferentes horários de integração, para cada uma das estações de superfície, verificamos que o EM, associado às saídas das simulações com relação ao WRF no D2, apresentaram os menores valores comparados às saídas do WRF no D1. Esse fato evidencia que as simulações realizadas para o domínio com menor espaçamento horizontal (maior resolução de grade), conseguiu simular melhor, alguns fatores locais, que não conseguiram ser tão bem representados pelo WRF no D1; sendo que, o EM do WRF foi bastante influenciado pelo GFS. Além disso, as melhoras significativas da simulação do WRF no D1 e D2 ocorreram, para as estações de superfície de São Paulo, Paranapanema e Campinas (estações de maior altitude em superfície).

Na estação de observação de São Paulo, as simulações realizadas pelo WRF no D1 apresentaram um EM semelhante ao do GFS; porém, as simulações realizadas com o WRF no D2 conseguiu melhorar a previsão da temperatura máxima na superfície; apresentando os menores índices de EM associado. Observa-se que ocorre uma tendência do GFS apresentar menores índices de EM, para a temperatura máxima nos meses de julho a dezembro para Votuporanga. Porém, o mesmo comportamento não é observado com relação à temperatura mínima simulada pelo WRF no D1, em que nas estações de São Paulo, Paranapanema e Presidente Prudente nas integrações das 36 e 60 horas, apresentam prognóstico mais próximas ao observado em superfície. Verifica-se inclusive, uma tendência do modelo regional prever temperaturas mínimas mais altas em relação ao GFS; com maior magnitude da diferença

associada à estação de Registro. Na estação de Paranapanema, o melhor prognóstico é fornecido pelo modelo global.

A evolução mensal do EM da temperatura máxima, com relação às simulações realizadas com o modelo WRF, mostra que as simulações sobre o D2 se aproximam mais ao observado em superfície, comparado ao sobre o D1. Este comportamento concorda com o observado por Mass *et al.* (2010), que avaliaram a acurácia das previsões do modelo de mesoescala MM5 processado sobre o noroeste do Pacífico; mostrando que o prognóstico da temperatura a 2 m da superfície melhora com o espaçamento de grade diminuindo, de 36 para 12 km. Apesar do WRF no D1, por vezes, apresentar erros superiores ao GFS, as simulações deste se fazem necessárias para as simulações do WRF no D2, com menor espaçamento de grade horizontal.

A grade com maior resolução espacial consegue resolver melhor os fatores de escala local. Constata-se melhora significativa, nas simulações realizadas com o WRF, com o D2 comparado ao D1 ocorrem nas estações de São Paulo, Paranapanema e Campinas; que são estações de altitude relativamente elevada, comparadas às demais estações em superfície analisadas.

4.1.3 Análise Trimestral

Nas Figuras 4.9 a 4.13 são mostradas a evolução dos índices estatísticos trimestrais do EM e REQM, para todas as estações de superfície verificadas nas previsões do GFS e WRF no D1 e D2. A temperatura máxima é verificada para as integrações das 36 (Fig. 4.9), 60 (Fig. 4.10) e 72 (Fig. 4.11) horas; enquanto a temperatura mínima, para as integrações das 36 (Fig. 4.12) e 60 (Fig. 4.13) horas. Para as análises trimestrais realizadas, consideraram-se como trimestre de verão, os meses de janeiro, fevereiro, março (JFM); trimestre de outono, os meses de abril, maio, junho (AMJ); trimestre de inverno, os meses de julho, agosto, setembro (JAS) e primavera, os meses de outubro, novembro e dezembro (OND).

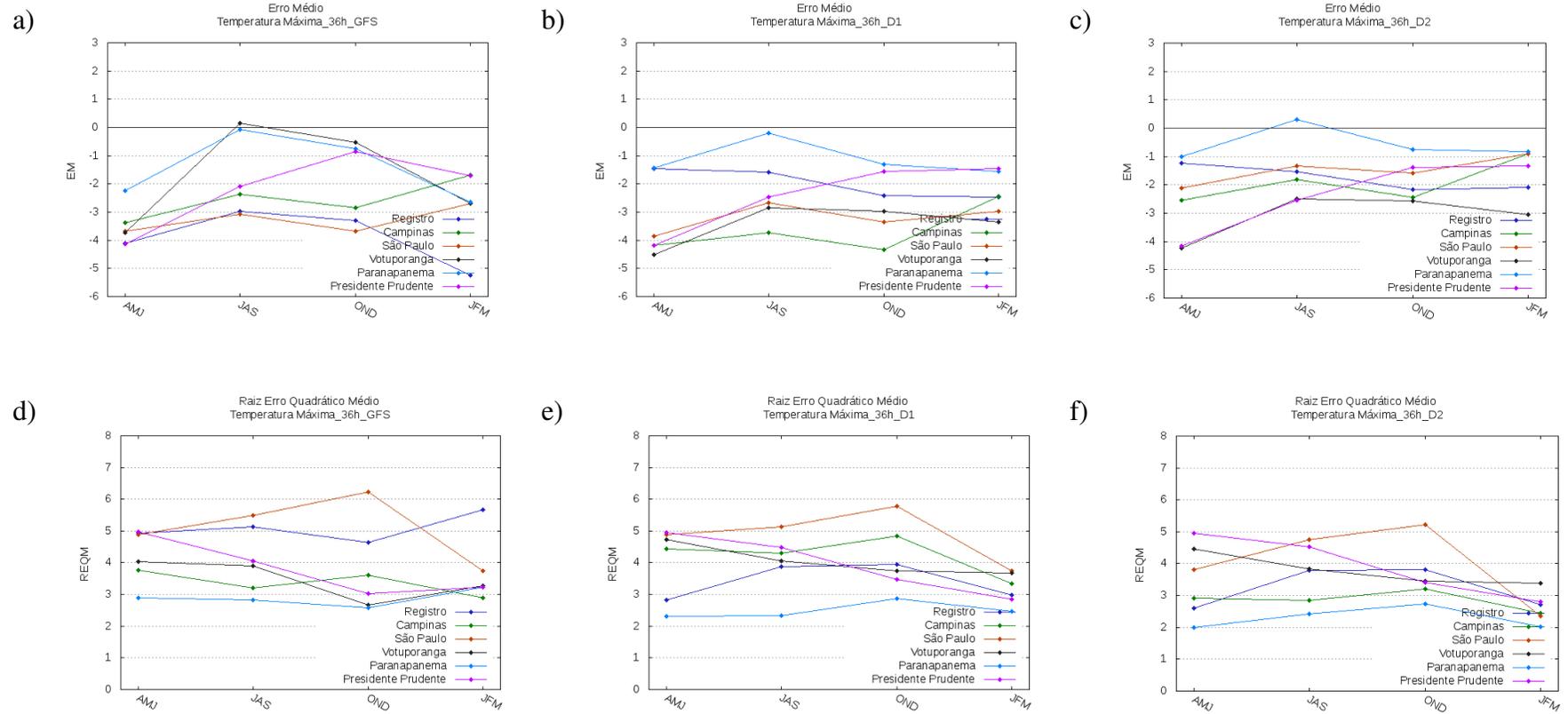


Figura 4.9 - Evolução dos índices estatísticos trimestrais da temperatura máxima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, e, f, g) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2, respectivamente para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.

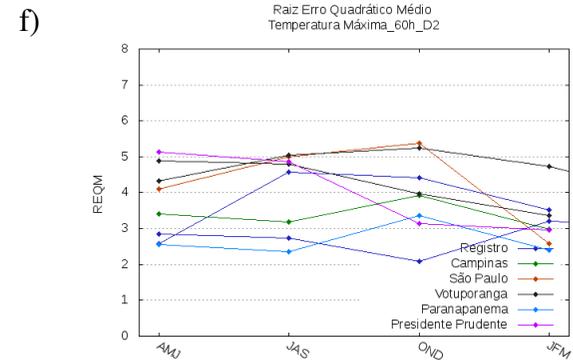
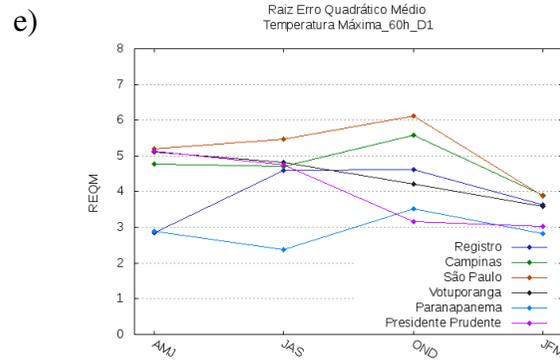
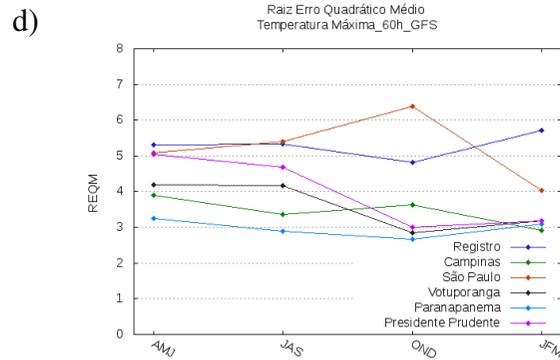
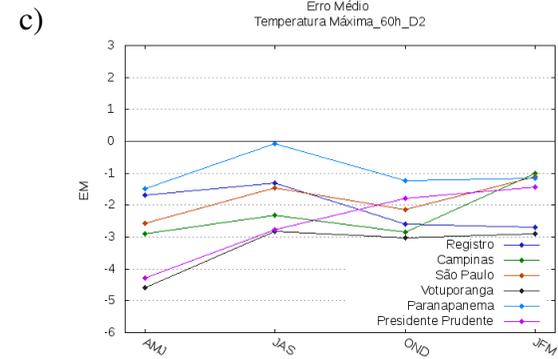
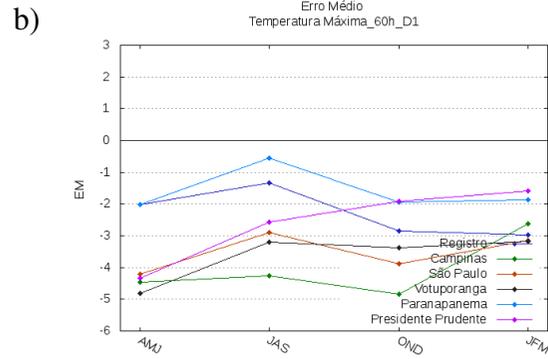
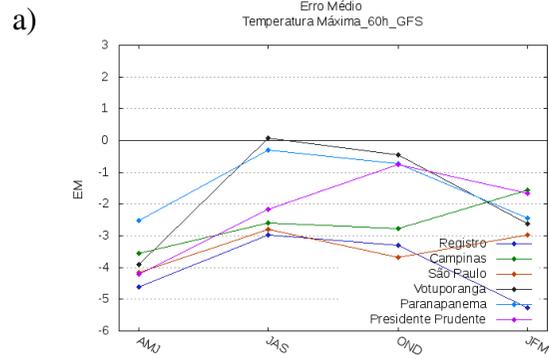


Figura 4.10 – Idem à Figura 4.9, porém para integração das 60 horas.

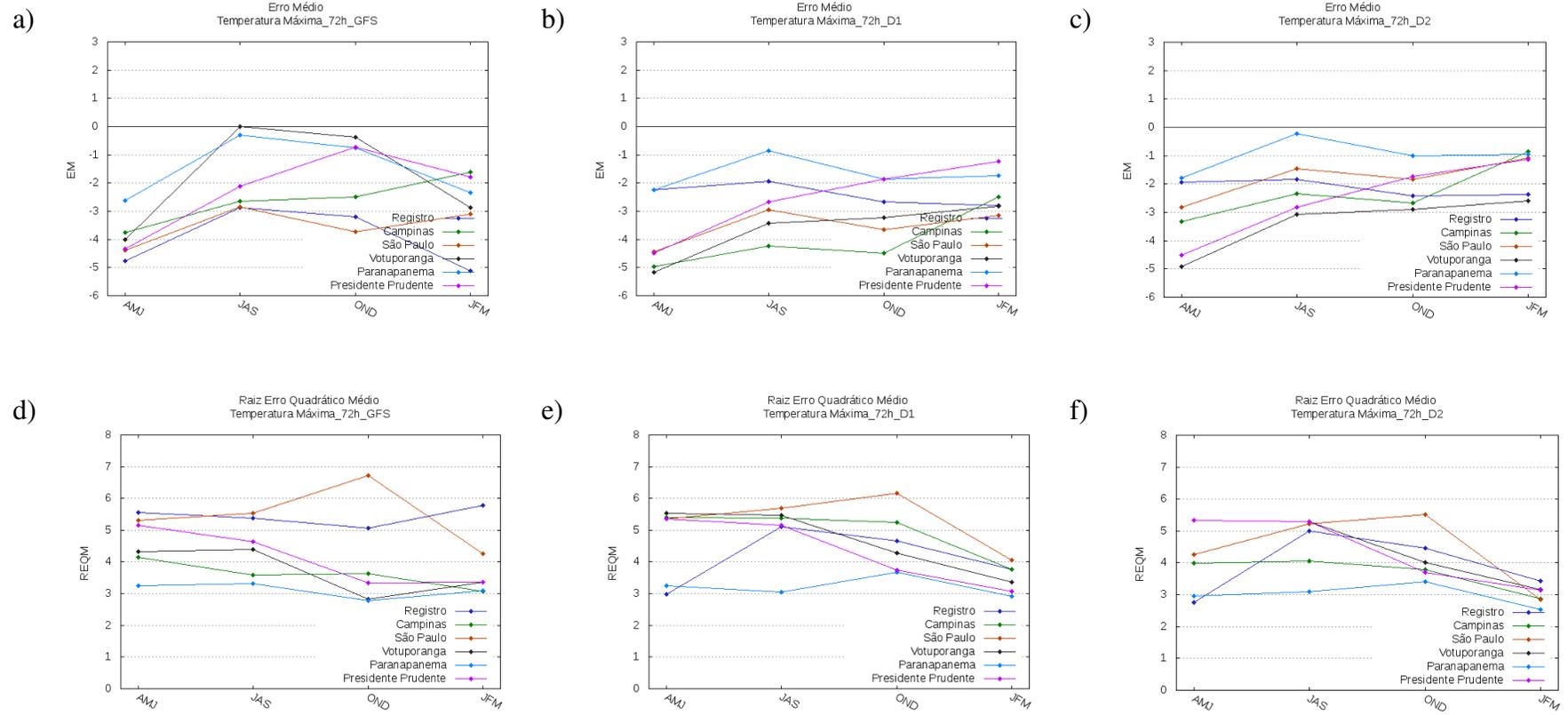


Figura 4.11 – Idem à Figura 4.9, porém para integração das 72 horas.

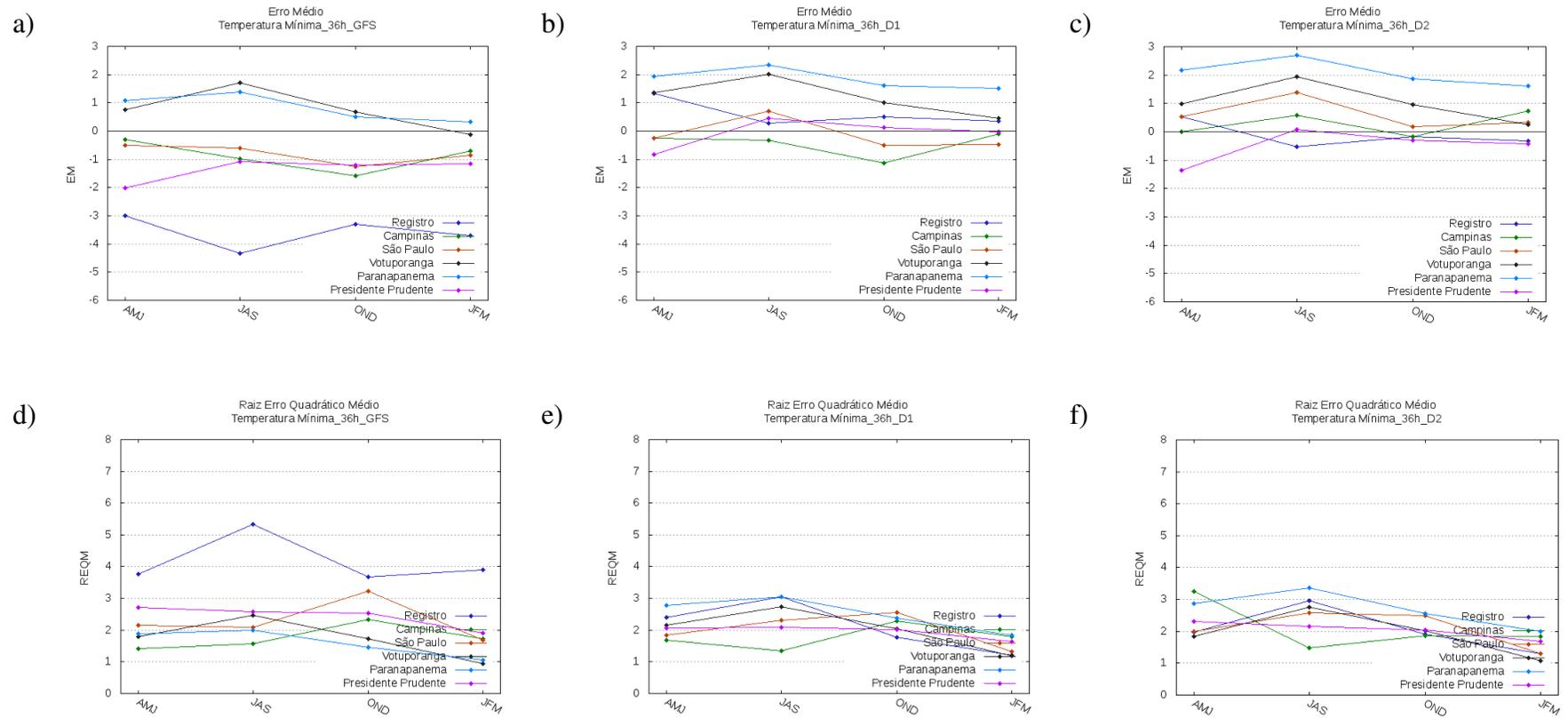


Figura 4.12 - Evolução dos índices estatísticos trimestrais da temperatura mínima na integração das 36 horas para o EM (a, b, c) e REQM (d, f, g) verificadas nas previsões do GFS e WRF com D1 e D2, respectivamente para as seis estações em superfície do Estado de São Paulo.

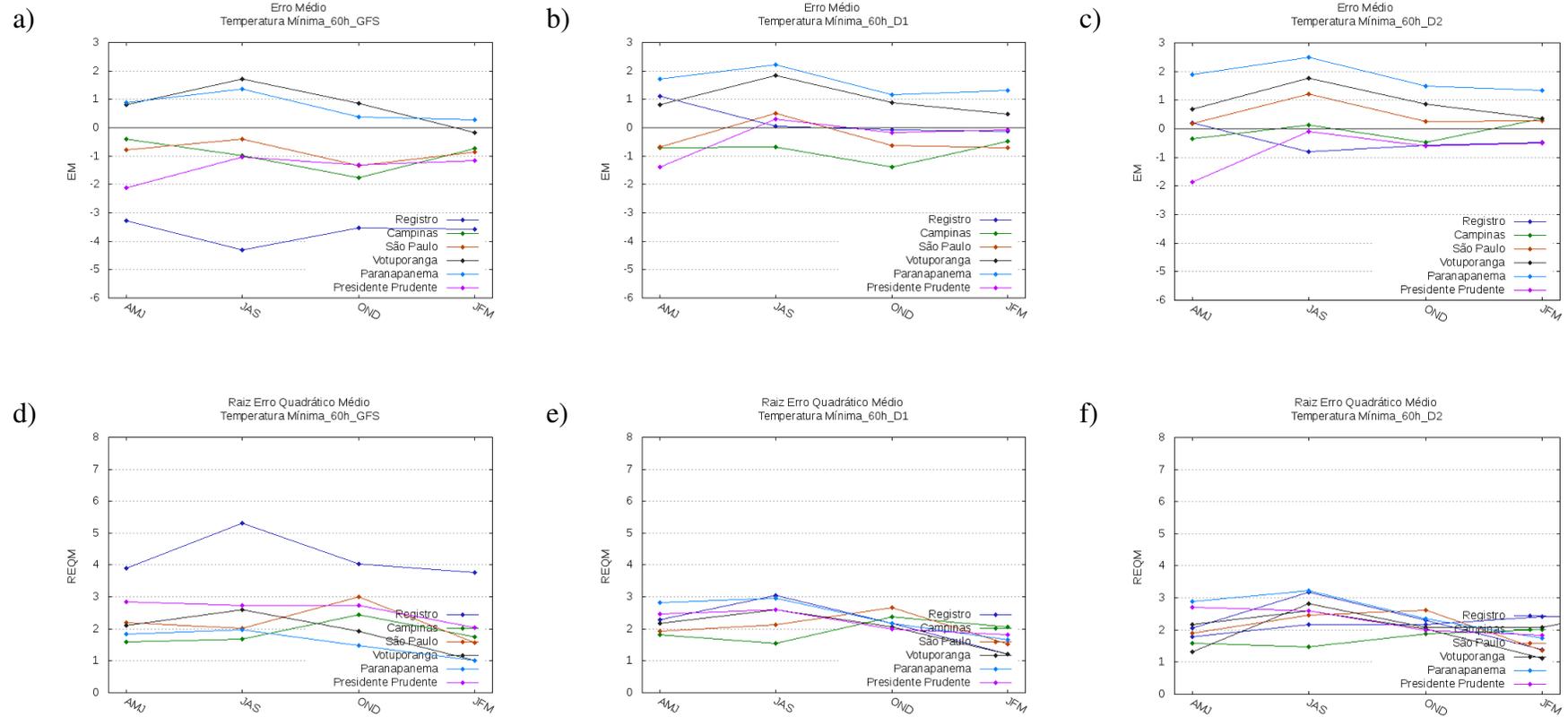


Figura 4.13 – Idem à Figura 4.12, porém para a integração das 60 horas.

4.1.3.1 GFS

Ao analisarmos o EM da temperatura máxima do modelo GFS, para todas as estações de superfície, verifica-se a tendência com subestimativa, em todas as estações sazonais e em todas as horas de integração, em 36 horas, 60 horas e 72 horas.

A REQM da temperatura máxima do modelo GFS, nas integrações das 36, 60 e 72 horas, apresenta os maiores valores que coincidem com a estação de Registro e de São Paulo nos trimestres de verão (JFM) e de primavera (OND), respectivamente.

O EM para a temperatura mínima, prevista pelo GFS, apresentou subestimativa em todas as estações sazonais, para as integrações das 36 horas e 60 horas; exceto em Votuporanga e Paranapanema que apresentaram tendência de superestimativa. Se compararmos a magnitude do EM, da temperatura máxima em relação à temperatura mínima, verifica-se uma tendência de erros com maior magnitude associados à temperatura máxima.

As estações de Registro, Paranapanema e Votuporanga apresentam os maiores valores de REQM para temperatura mínima no trimestre de inverno (JAS). Para as estações de São Paulo e Campinas, os valores coincidem com a primavera, e para a estação de Presidente Prudente no outono. Merece destaque os altos valores de REQM da temperatura mínima, associada à estação de Registro em todos os trimestres do período analisado.

4.1.3.2 WRF no D1

Ao analisarmos o EM da temperatura máxima, prevista pelo WRF no D1 para todas as estações de superfície, verificamos que ela foi subestimada, em todas as estações sazonais; em todas as horas de integração. Esse mesmo padrão foi observado também em relação ao prognóstico fornecido pelo GFS. Verifica-se a tendência de aumento do EM, com o aumento do tempo de integração. A estação de Paranapanema apresentando-se com os menores valores de erro no prognóstico da temperatura máxima, em relação ao observado, bem como de REQM.

O erro médio da temperatura mínima apresentou superestimativa em Paranapanema e Votuporanga, para as integrações das 36 e 60 horas em todos os trimestres; com EM de superestimativa superior ao do GFS. Há uma melhora significativa, em relação ao prognóstico da temperatura mínima em Registro, se comparado ao prognóstico fornecido pelo GFS. Em termos de magnitude, o EM associado à temperatura máxima prevista pelo WRF em D1 é muito maior que o EM da temperatura mínima. Esse padrão também é observado nas

previsões do GFS. Portanto o desempenho do modelo numérico em relação à simulação da temperatura mínima é melhor do que em relação à temperatura máxima.

Para a temperatura mínima, observa-se uma tendência dos menores valores de REQM durante o verão, exceto nas estações de São Paulo e Campinas, em que os menores valores ocorrem nos trimestres AMJ e JAS, respectivamente. No trimestre de inverno, têm-se os maiores valores de REQM (Registro, Paranapanema e Votuporanga).

Para a REQM da temperatura máxima do WRF em D1, os maiores índices são encontrados no trimestre de JAS, para as integrações das 36, 60 e 72 horas na estação de Registro. Nas estações de São Paulo, Paranapanema e Campinas, os maiores índices coincidem com o do trimestre OND, nos três horários de integração considerados. Para a estação de Presidente Prudente e Votuporanga, os maiores valores coincidem com o trimestre AMJ, também nos três horários de integração. Com relação à temperatura mínima, para as simulações do WRF em D1, considerando as integrações das 36 e 60 horas, os maiores valores de REQM ocorrem no inverno, para as estações de Registro, Paranapanema e Votuporanga. Em São Paulo e Campinas os maiores valores ocorrem na estação de primavera, enquanto que em Presidente Prudente eles ocorrem no outono e inverno.

4.1.3.3 WRF no D2

A temperatura máxima no D2 do WRF é subestimada, em todas as estações sazonais, para todas as horas de integração, em todas as estações de superfície, exceto em Paranapanema, para a integração das 36 horas no trimestre JAS; com tendência de aumento do EM, com o aumento do tempo de integração. Portanto, persiste o padrão de subestimativa da temperatura máxima verificado no modelo GFS e do WRF em D1. O EM da temperatura mínima do WRF em D2, nas estações de São Paulo, Votuporanga e Paranapanema, para as duas horas de integração (36 e 60 horas), indica superestimativa, com tendência de EM menor na integração das 60 horas. Presidente Prudente apresenta, por outro lado, subestimativa da temperatura mínima; porém com EM associado, de pouca magnitude, exceto no trimestre AMJ, quando é da ordem de 2 °C.

Se analisarmos todas as estações de superfície com respeito à temperatura máxima, prevista pelo WRF em D2, observa-se uma tendência do aumento da REQM ao longo do tempo de integração. Observa-se uma tendência da temperatura mínima apresentar os

menores índices de erro para o verão, nas duas horas de integração (36 e 60 horas). Observa-se que a temperatura máxima apresenta os maiores índices de erro se comparada com a temperatura mínima. A REQM demonstra, tanto para as temperaturas máxima quanto para a mínima, que os prognósticos de temperatura do modelo numérico são melhores no verão.

Verifica-se que os maiores valores de REQM do WRF em D2, em relação à temperatura máxima, em São Paulo, Registro, Paranapanema e Campinas coincidem com a estação de primavera e para Presidente Prudente e Votuporanga no outono, nas 3 integrações. Com relação à REQM da temperatura mínima, nas integrações das 36 e 60 horas, os maiores índices coincidem com o do trimestre de inverno, nas estações de Registro, Paranapanema e Votuporanga. Para a estação de Presidente Prudente e Campinas, os maiores índices coincidem com o do trimestre de outono. Em São Paulo os maiores valores se encontram no inverno e na primavera, na integração das 36 horas e na primavera na integração das 60 horas.

4.1.3.4 Comparação entre os modelos

O índice de EM trimestral para a temperatura máxima, com relação ao modelo global GFS e modelo regional WRF, nas horas de integração consideradas são, na maior parte das vezes, negativo. Ou seja, as previsões do modelo global e regional subestimam a temperatura máxima, em relação ao observado na superfície. Pelo contrário, a temperatura mínima apresenta uma tendência de ser superestimada, em relação ao observado em superfície. Além disso, a magnitude do erro médio, associado à temperatura máxima, é muito maior em relação ao erro médio da temperatura mínima.

Em contraste com o menor erro associado à temperatura máxima, para a estação de Paranapanema, nas simulações do WRF, verifica-se que esta estação apresenta os maiores erros associada à temperatura mínima; para todos os horários de integração e trimestres considerados.

Pela análise das simulações realizadas com o WRF, para as diferentes horas de integração, a REQM da temperatura máxima apresenta valores máximos no trimestre OND (primavera), para as estações de São Paulo e Campinas (estações de maior altitude em superfície), em AMJ (outono) para as estações de Presidente Prudente e Votuporanga (menor

altitude). Assim, os maiores índices de REQM são encontrados nos trimestres de AMJ e OND (outono e primavera), que são meses com estações de transição.

A análise da temperatura mínima revela que os maiores índices de REQM coincidem no trimestre JAS para as estações de Registro, Paranapanema e Votuporanga, AMJ e OND nas estações de São Paulo, Campinas e Presidente Prudente. Portanto, a temperatura mínima tem os maiores REQM, nas estações de outono e inverno. Esses resultados estão consistentes com as análises de Werth e Garrett (2011), que avaliaram a temperatura média sobre duas regiões: Europa e oeste dos Estados Unidos.

Os maiores índices de REQM no período mais frio decorrem, provavelmente, da dificuldade do modelo em prever a temperatura máxima, que pode atingir valores elevados, considerando dentre outros a influência dos sistemas de alta pressão na região de estudo.

Constata-se uma forte modulação dos valores com relação ao REQM do WRF em D2 pelo D1, que provê as condições na fronteira das simulações sobre o D2. Os REQM do WRF em D2, tanto para as temperaturas máxima quanto mínima, tendem a apresentarem valores menores, comparados aos índices do WRF em D1; o que evidencia uma melhora nas simulações realizadas com o modelo WRF para a grade aninhada com maior resolução espacial. Também fica evidente na análise apresentada, que o modelo regional WRF quase sempre apresenta resultados mais próximos ao observado que os do modelo global GFS.

Para a temperatura máxima, há uma perda de qualidade, na sua previsibilidade, com o aumento do tempo de integração. Entretanto, para as simulações realizadas com o WRF em D2, a temperatura mínima mostrou-se mais próxima ao observado nas integrações das 60 horas, comparada à integração das 36 horas.

Os resultados encontrados para a temperatura evidenciam a melhora no prognóstico da variável com o modelo WRF. Concordando com resultados de Werth e Garrett (2011), o modelo GFS, com resolução espacial de 1° é adequado para prever sistemas de tempo de grande escala, uma vez que ele não consegue levar em consideração as circulações resultantes da interação às características topográficas locais (pequena e meso escala).

Assim como foi por Werth e Garrett (2011), os erros associados ao modelo global e regional apresentam uma variação ao longo do ano com maiores erros nas estações do ano com menores temperaturas.

Tanto na análise mensal quanto na trimestral, o ciclo diurno apresenta uma tendência de ser amortecido, devido a temperaturas mínimas maiores e máximas menores, comparadas ao observado; concordando com o resultado apresentado por Ruiz et al. (2010).

4.2 Avaliação Espacial – Aplicação da ferramenta MODE

O MODE foi aplicado ao campo de precipitação acumulada diária, no período compreendido de abril de 2010 a março de 2011, na saída da integração de 36 horas, das simulações do GFS e WRF para o D1 e D2; bem como dos dados observados do produto MERGE, interpolados para a grade de 0,25 graus de latitude/longitude, para o domínio abrangendo o Estado de São Paulo e vizinhanças, conforme descrito na sub-seção 3.3.2.

Avaliou-se o campo de precipitação com relação a índices de verificação tradicionais, baseados na ocorrência ou não do evento de chuva. Posteriormente, fez-se uma análise, entre pares de polígonos comparados entre campo previsto e o observado, com relação às grandezas como a distância do centroide, razão de áreas, e intensidade para percentis de 50 e 90. Inicialmente, foi feita uma análise diária, para cada mês analisado e em seguida a análise das médias mensal e sazonal dos índices.

4.2.1 Análise diária

Para adquirir os conhecimentos e assimilar a técnica da aplicação da ferramenta MODE, foi selecionado o dia 6 de fevereiro de 2011.

As Figuras 4.14 a 4.16 mostram os campos da precipitação acumulada do dia 06/02/2011 previstos pelo GFS, e WRF no D1 e D2 (na integração das 36 horas) e da precipitação observada no MERGE após a aplicação da ferramenta MODE para os limiares de 0,1 (1ª. linha) e 0,3 mm.dia⁻¹ (2ª. linha). Os índices tradicionais: Percentual de Acerto (PA), Índice Crítico de Sucesso (ICS), Viés (VIÉS), Razão de Falso Alarme (RFA) e Probabilidade de Detecção (PD) são calculados com base no limiar de 0,3 mm.dia⁻¹; ou seja, feita com base na área vermelha da 2ª. linha das Figuras, para cada ponto de grade. Os novos índices sugeridos pelo MODE: Razão de Área (RA); Distância dos Centroides (DC) e Razão entre os percentis 50 e 90 (RP50 e RP90) também são calculados com base no limiar de 0,3 mm.dia⁻¹, porém a análise é feita com base nos polígonos, correspondentes a região interna delimitada pela linha em preto (2ª linha) (Fig. 14 (b), 15 (b) e 16 (b)).

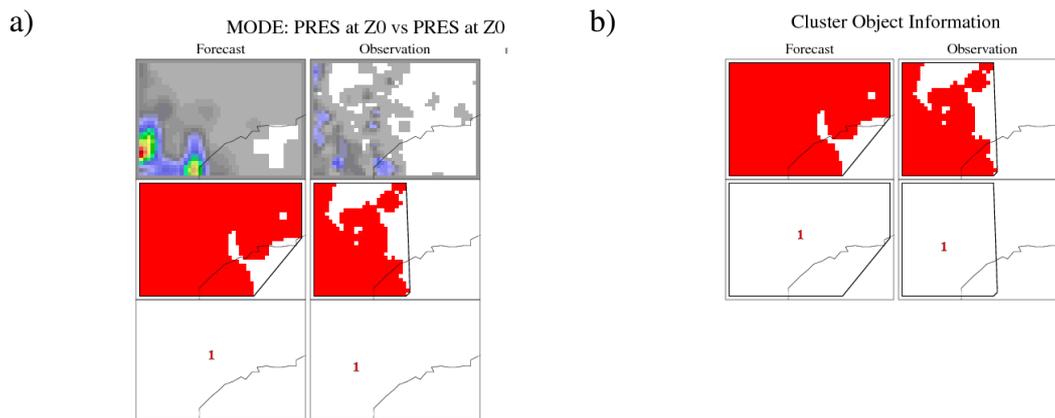


Figura 4.14 – (a) Esquema mostrando objetos de áreas de chuva prevista e observada identificados pela ferramenta MODE, para o limiar de $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, para a precipitação acumulada do dia 06/02/2011 sobre o domínio abrangendo o Estado de São Paulo, com precipitação observada pelo MERGE e prevista pelo modelo GFS, na integração das 36 horas, (b) o primeiro par de polígonos identificado no campo previsão-observação para os diferentes modelos é indicado pela cor vermelha.

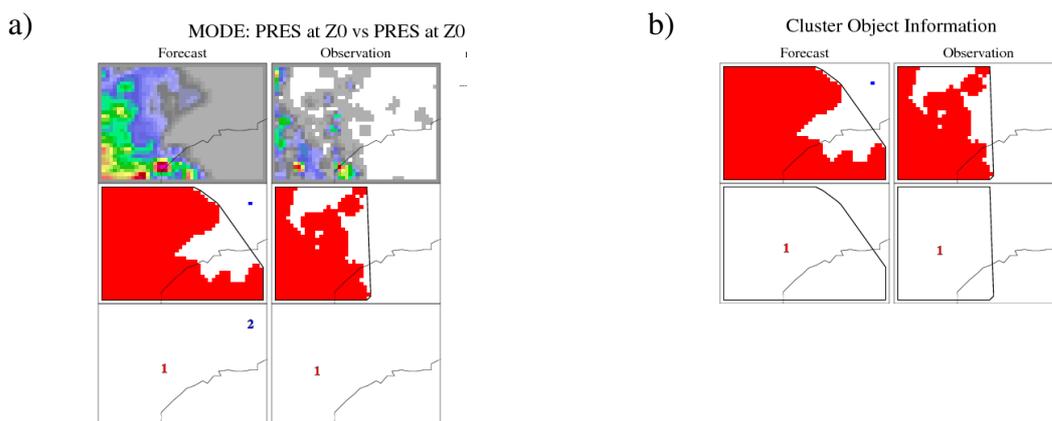


Figura 4.15 – Idem à Figura 4.14, porém para a previsão do WRF em D1.

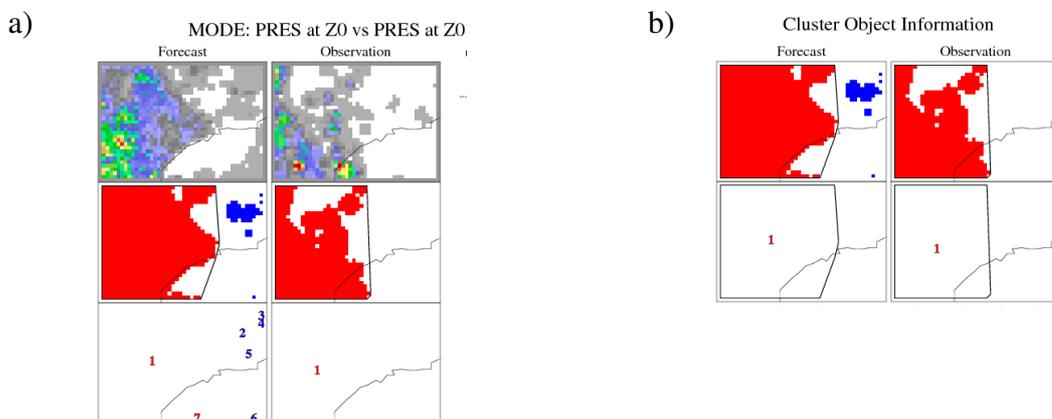


Figura 4.16 – Idem à Figura 4.15, porém para a previsão do WRF em D2.

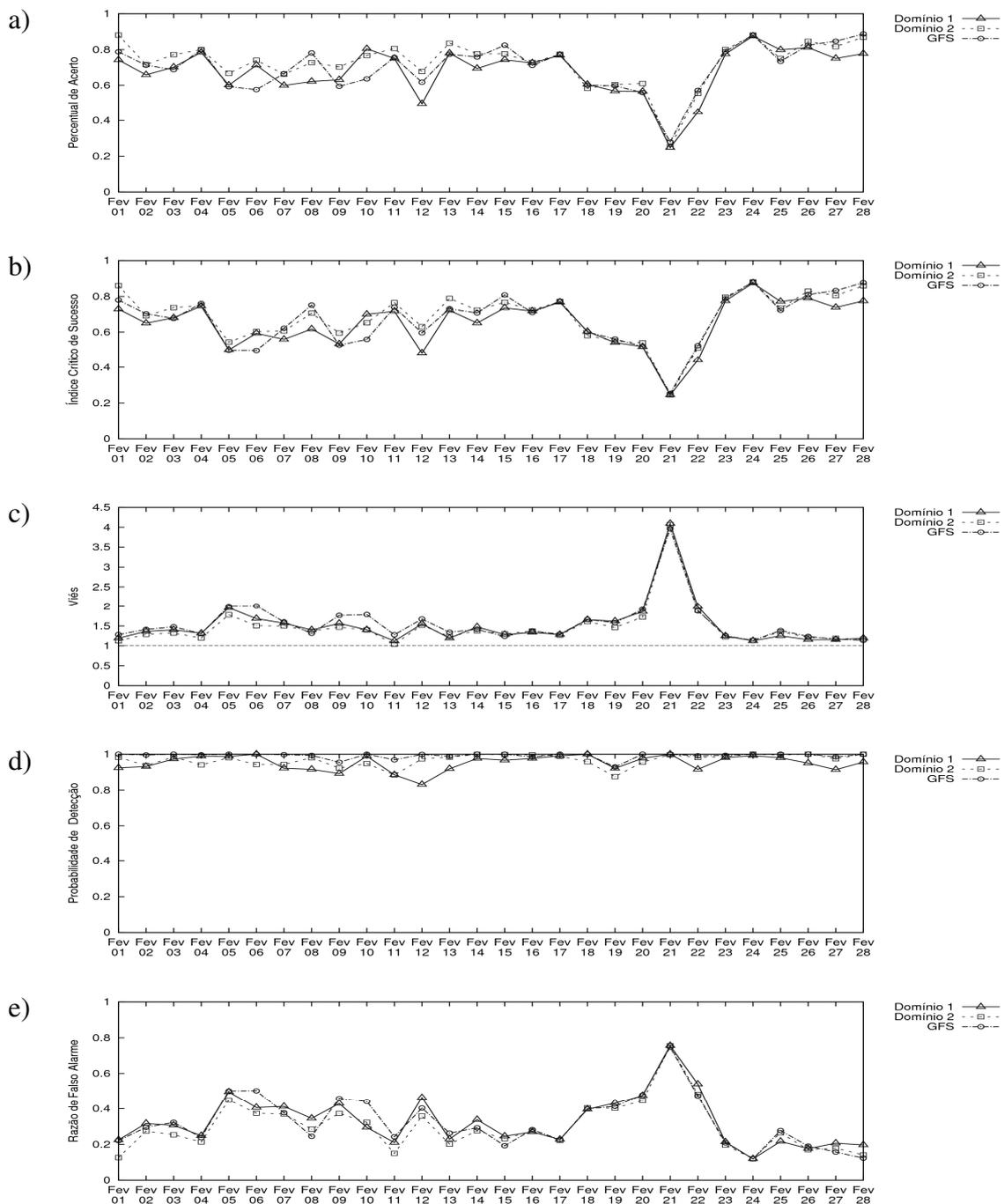


Figura 4.17 – Evolução diária dos índices estatísticos de verificação tradicionais no mês de fevereiro, para o GFS, D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Percentual de Acerto (PA), (b) Índice Crítico de Sucesso (ICS), (c) Viés (VIÉS), (d) Probabilidade de Detecção (PD) e (e) Razão de Falso Alarme (RFA).

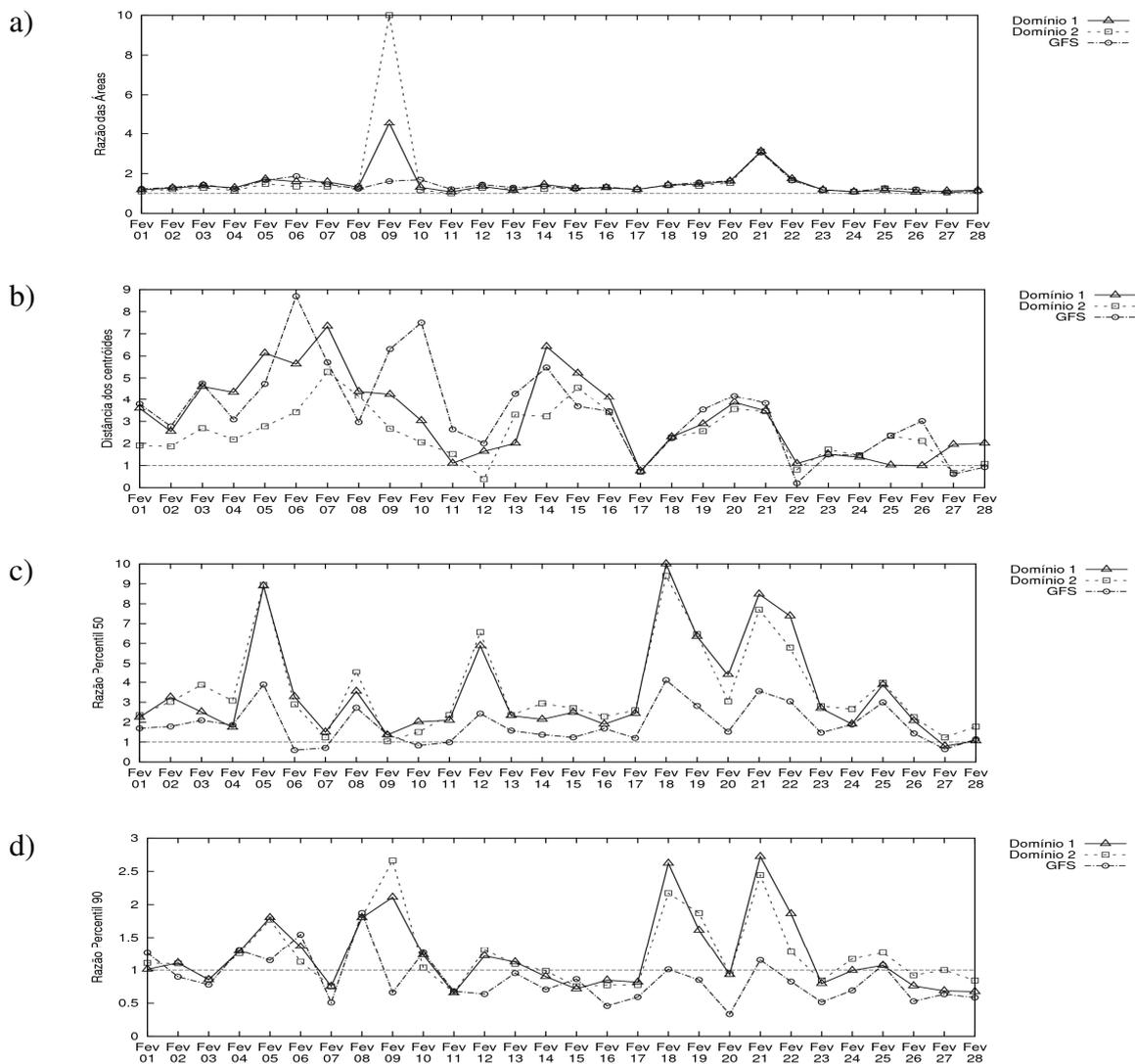


Figura 4.18 – Evolução diária dos índices sugeridos pelo MODE no mês de fevereiro, para o GFS, D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Razão de Área (RA), (b) Distância dos Centróides (DC), (c) Razão de Percentil 50 (RP50), (d) Razão de Percentil 90 (RP90).

Nota-se que a área de precipitação prevista pelo GFS abrange quase todo o domínio; o WRF em D1 deixa uma pequena região sem precipitação e o WRF em D2, uma região maior sem precipitação. A precipitação observada se aproxima mais da precipitação simulada pelo D2. Com isso, o PA (Fig. 4.17 (a)) fica em torno de 74% para o D2, 72% para o D1 e 60% para o GFS. O ICS (Fig. 4.17 (b)) varia entre 60% (D1 e D2) e 50% (GFS). As superestimativas de área com precipitação são identificadas pelo VIÉS (Fig. 4.17 (c)): cerca de 2 vezes maior (GFS) a 1,5 vezes maior (D1 e D2). A PD (Fig. 4.17 (d)), mostra os melhores índices para o GFS e D1 (100%) e um pouco pior para o D2 (94%). Esse fato se deve porque os 2 primeiros colocam a precipitação em uma grande área, abarcando a área de

precipitação observada; enquanto o D2 coloca uma área menor; e em alguns pontos de grade (canto inferior direito do objeto identificado em vermelho) há precipitação prevista, mas não observada. A RFA (Fig. 4.17 (e)) tem maiores valores para o GFS (50%) e o menor para o D2 (40%).

A análise feita com relação aos novos índices é feita para os pares de polígonos, ou seja, para os objetos mostrados nas Figs. 4.14, 15, 16. No dia 06/02/2011, o objeto observado identificado foi o mesmo, para o GFS, e WRF no D1 e D2, como pode ser visto pelo polígono à direita da Fig. 4.14, 15, 16 - b. A RA (Fig. 4.18 (a)) é maior para o GFS (cerca de 2 vezes) que com relação aos outros modelos; mas todos superestimam a área observada. A DA (Fig. 4.18 (b)) é de 9 pontos de grade para o GFS, 6 para o D1 e 3 para o D2. Verifica-se, além disso, que a área de precipitação com maiores intensidades simulada pelo GFS é menor que as simuladas pelo WRF, em ambos os domínios, resultando em RP50 (Fig. 4.18 (c)) em torno de 3,5 para o WRF e de 0,3 para o GFS. Entretanto, RP90 (Fig. 4.18 (d)) varia de 1,7 (GFS) a 1,2 (D2); mostrando que o GFS simula mais valores “extremos” de precipitação que o WRF.

Ao observar a evolução dos índices tradicionais e os novos propostos, para o mês de fevereiro de 2011 (Figs. 4.17 e 4.18), nota-se que o GFS, WRF em D1 e WRF em D2 mostram bom desempenho; com PA acima 60%, ICS acima de 50%, VIÉS abaixo de 2, PD acima de 85%, RFA abaixo de 50%, RA menor que 2, DC menor que 5, RP50 menor que 5 e RP90 menor que 2. Entretanto, o dia 21 de fevereiro apresenta baixo desempenho: PA e ICS de 20%, VIÉS maior que 4, RFA de 80%, RA em torno de 3, DA em torno de 4 pontos de grade, RP50 em torno de 9 para D1 e D2 e RP90 em torno de 2,5 para D1 e D2. Neste dia, a precipitação observada na superfície apresenta pequena cobertura espacial, comparada aos demais dias de fevereiro. O WRF nos domínios, D1 e D2, superestimam tanto a área como a intensidade da precipitação. Com isso, todos os modelos apresentaram PD de 100%. De uma forma geral, para o mês de fevereiro, é evidente o padrão dos modelos em superestimar a intensidade de precipitação acumulada diária. Observa-se que, em grande parte dos dias, o GFS apresenta os menores valores de superestimativa; com os maiores valores de RP50 associados às previsões do WRF, tanto para o D1 quanto D2. Merecem destaque os dias 05, 12, 18 e 21, que apresentam as maiores superestimativas associadas às previsões do WRF, para o D1 e D2. Para a razão de percentil 90, no entanto, verifica-se, às vezes, um padrão de superestimativa e em outras um padrão de subestimativa. Entre os dias 18 e 21/02, mesmo com o GFS apresentando padrão de subestimativa, as previsões do WRF apresentam superestimativa de intensidade, porém com valores bem inferiores aos do RP50. Com relação

às previsões do WRF, ainda persiste o padrão de superestimativa mais significativa para os dias 18 e 21; indicando que, para esses dias, as intensidades previstas foram maiores que as observadas. Isso ocorreu para ambos os percentis analisados, porém com superestimativas de intensidades maiores associadas ao percentil de 50.

As análises diárias para outros meses são apresentadas nos Apêndices A-D.

4.2.1.1 Verificação de índices Estatísticos Tradicionais

Os índices estatísticos de verificação tradicionais, que consistem da análise espacial entre os pares de grade foram comparados entre o campo previsto e observado, no período de abril de 2010 a março de 2011 (apresentados Apêndice A). A análise revelou que ocorreu uma tendência do percentual de acerto, com relação ao GFS e as saídas das simulações realizadas com o WRF para o D2, apresentando desempenho superior ao obtido com relação às saídas das simulações realizadas com o modelo WRF para a grade do D1. Esse menor desempenho do WRF com D1 está relacionado ao fato das simulações apresentarem maior superestimativa da área de precipitação prevista em relação ao observado.

O desempenho com relação aos índices estatísticos de verificação tradicionais apresentou-se mais satisfatório para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, dentro do período anual analisado de abril de 2010 a março de 2011. Os modelos GFS e WRF no D2 foram os que apresentaram os melhores resultados. Contudo, é evidente que o desempenho entre os modelos varia consideravelmente de dia para dia; assim, há dias que eles apresentam resultados muito parecidos.

4.2.1.2 Verificação baseada em pares de polígonos comparados

O índice da razão de área dos pares de polígonos identificados, entre previsão e observação (apresentados no Apêndice B-C), apresentaram valores mais próximos da unidade para o período de novembro a março. Nesse período os sistemas precipitantes, tanto os previstos quanto observados, tinham maior abrangência espacial no domínio analisado.

Considerando-se a tendência dos três modelos em superestimarem a área de abrangência dos eventos de precipitação, ao longo de todo o período avaliado, a área prevista mais próxima da área observada ocorreu no referido período.

Proporcionalmente à razão de áreas dos pares de polígonos comparados, a distância dos centroides, também, apresenta valores de magnitude menor para o período de novembro a março.

Apesar das previsões do WRF no D1 não serem tão boas quanto as do GFS, o domínio D1 é importante para a condição de fronteira do D2, com maior resolução horizontal. Uma das razões para o pior desempenho do WRF no D1 foi a maior área de precipitação prevista, porém não observada (falso alarme). Portanto, ambos os modelos apresentam uma tendência em superestimar a área de precipitação em relação ao observado. Objetivando investigar se os modelos tendem a superestimar os acumulados, em relação aos valores médios ou valores extremos de acumulado, foram comparadas as razões para os percentis 50 e 90. Encontrou-se um viés positivo, para os ambos os modelos comparados, nos dois percentis avaliados. Entretanto, a superestimativa na intensidade, associada ao percentil 50 foi muito maior, comparada a superestimativa do percentil 90. Portanto, têm-se muito mais áreas de chuva com intensidade superior, que as observadas, para o percentil de 50, que em relação ao percentil de 90. Assim, a superestimativa, em relação à precipitação de acumulados diários moderados, é maior que para acumulados diários grandes. Esse fato pode ser justificado, em parte, porque os modelos superestimam áreas de precipitação prevista em relação ao observado; concordando com o índice de razão de área e, também, o viés que apresenta valores acima da unidade, em grande parte dos dias analisados.

4.2.2 Análise mensal e sazonal

Com o intuito de quantificar a magnitude dos índices estatísticos de verificação avaliados, mostra-se a evolução mensal para PA, ICS, VIÉS, PD e RFA, para cada mês; assim como para as estações de verão e inverno.

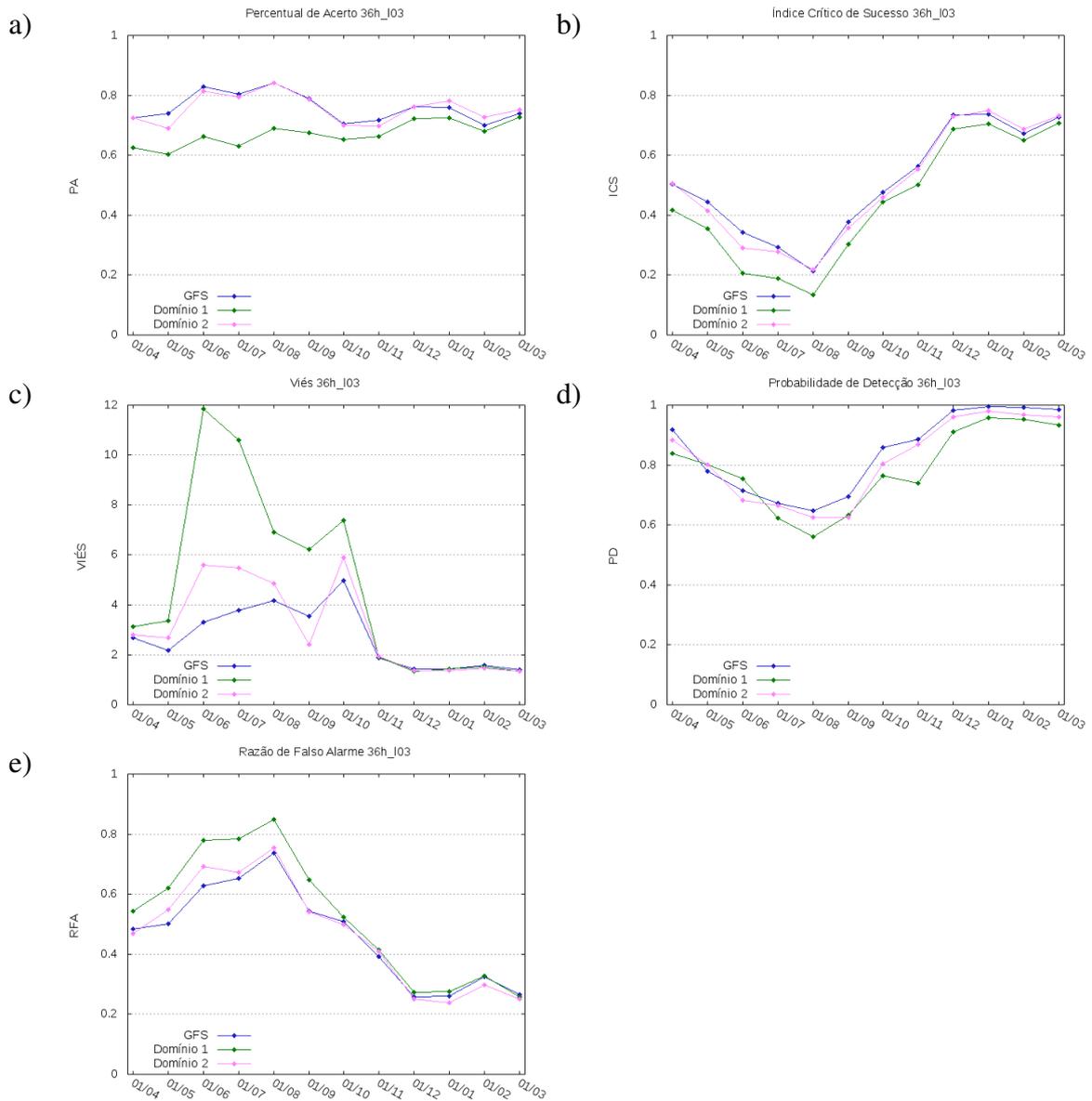


Figura 4.19 – Evolução mensal dos índices estatísticos de verificação tradicionais no mês de fevereiro, para o GFS, e WRF em D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Percentual de Acerto (PA), (b) Índice Crítico de Sucesso (ICS), (c) Viés (VIÉS), (d) Probabilidade de Detecção (PD) e (e) Razão de Falso Alarme (RFA).

Conforme ilustrado na figura 4.19, a PA, para todos os meses avaliados, ficou acima de 60% para os três modelos. Isso mostra que os modelos contribuem, de forma razoável, para a previsibilidade de chuva e não chuva. Para o GFS e o WRF no D2 o PA ficou em torno de 80%, nos meses compreendidos entre maio a setembro (estação seca). O WRF no D1 apresentou os menores índices de acerto em todo o período considerado. O ICS, por ter relação direta com a ocorrência da chuva, apresentou resultados satisfatórios, maiores que

70%, nos meses de verão (dezembro a março); enquanto que, os menores índices, abaixo de 50%, ocorrem nos meses de estação seca (maio a setembro), para os três modelos. Para os meses do período seco (maio a setembro), em que os totais pluviométricos acumulados mensais são inferiores a 90 mm, os resultados não foram satisfatórios. Os meses de junho, julho e agosto apresentaram ICS da ordem de 34, 29 e 21% (média entre os três modelos), respectivamente.

Os três modelos verificados, apresentaram VIÉS superior a 1, tanto no período chuvoso como seco (Figura 4.19 (c)). Portanto, eles superestimam a área de abrangência da precipitação diária, maior ou igual a 0,3 mm, em relação ao observado. Os maiores valores de superestimativa (acima de 3) ocorrem de abril a outubro, abrangendo portanto todo o período da estação seca (maio a setembro); sendo que, o VIÉS máximo é de 12 no mês de junho para o WRF no D1, mas para o GFS e o WRF no D2, o máximo ocorre em outubro (entre 4 e 6). Apesar da superestimativa nos meses de verão, os três modelos apresentam valores próximos da unidade. No período considerado, as maiores superestimativas estão associadas ao WRF no D1. Diferente de McBride e Ebert (2010), as maiores superestimativas de viés, estão associadas ao período seco, quando se tem a menor quantidade de número de grades com precipitação (tanto observada quanto prevista).

O desempenho em relação à PD, Figura 4.19 (d), tem os melhores escores no período entre outubro a maio, com valores superiores a 80%.

A RFA apresentou valores inferiores a 30% nos meses de dezembro a março, ou seja, na estação de verão. Nos meses compreendidos entre maio a setembro, a RFA assume os maiores valores; superiores a 50%, indicando, portanto que nesse período os eventos de chuva prevista, em termos de área, apresentam alto risco de alarme falso (Figura 4.19 (e)).

Com base nos resultados dos índices, conclui-se que os modelos tem uma representatividade razoável quando leva em consideração o percentual de acerto. Os melhores índices de previsibilidade de eventos de chuva ocorrem nos meses de dezembro a março (compreendendo o trimestre JFM - verão), com valores altos de ICS, PD e menores VIÉS e RFA. Os meses de maio a setembro (estação seca) tiveram o pior desempenho; com menores valores de ICS, PD e uma acentuada superestimativa de viés e alta RFA. Desta forma, há a necessidade de ajustes nas parametrizações do modelo, para que se tenha melhor performance na região de estudo.

Apesar dos índices de previsibilidade de chuva ser pequena, no período de maio a setembro se obteve os maiores valores de PA para o GFS e WRF no D2. Isso decorre de duas

situações: a primeira, com maior frequência de dias sem chuva prevista/observada, e a segunda, quando, tanto a chuva prevista quanto a observada, apresentam pouca abrangência espacial. Assim, se a previsão e a observação se apresentam em localizações distintas, apesar de PA ser alto, a RFA também é alta, mas ICS e PD são menores.

A Figura 4.20 mostra a evolução mensal dos índices propostos pelo MODE: Pontos de grade com precipitação, DC, P50 e P90 com relação aos três modelos. Observa-se que há maior número de pontos de grade com precipitação prevista e observada, no período de outubro a março que abrange a estação chuvosa, principalmente no trimestre de verão (JFM) (Figura 4.20 (a)). Ambos modelos apresentam um número de pontos de grade com precipitação superior ao observado. O WRF no D2 apresentou o desempenho mais próximo ao observado, nos meses de junho a março, exceto no mês de novembro. O WRF no D1 apresenta uma tendência de prever eventos de precipitação com maior número de grades comparado ao GFS e WRF no D2.

Da evolução mensal da distância dos centroides, Figura 4.20 (b), as menores distâncias, entre os pares de polígonos comparados entre os campos previsto e observado, ocorrem no período que compreende a estação chuvosa; coincidindo com maiores área de abrangência da precipitação.

É interessante notar que o percentil 50 Fig. 4.20 (c) apresenta maior superestimativa de outubro a março em todos os modelos. Entretanto, o percentil 90 é muito similar tanto entre os modelos, quanto com a observação.

O menor desempenho, com relação aos índices estatísticos de verificação, ou seja, menores valores de ICS e PD e maiores valores de VIÉS e RFA, ocorre no período da estação seca. Isso normalmente decorre do fato das áreas dos eventos de chuva serem menores, em unidades de grade, de tal forma que estes eventos apresentam maior dificuldade de serem previstos corretamente, em termos de localização e, portanto, apresentam maior razão de falso alarme.

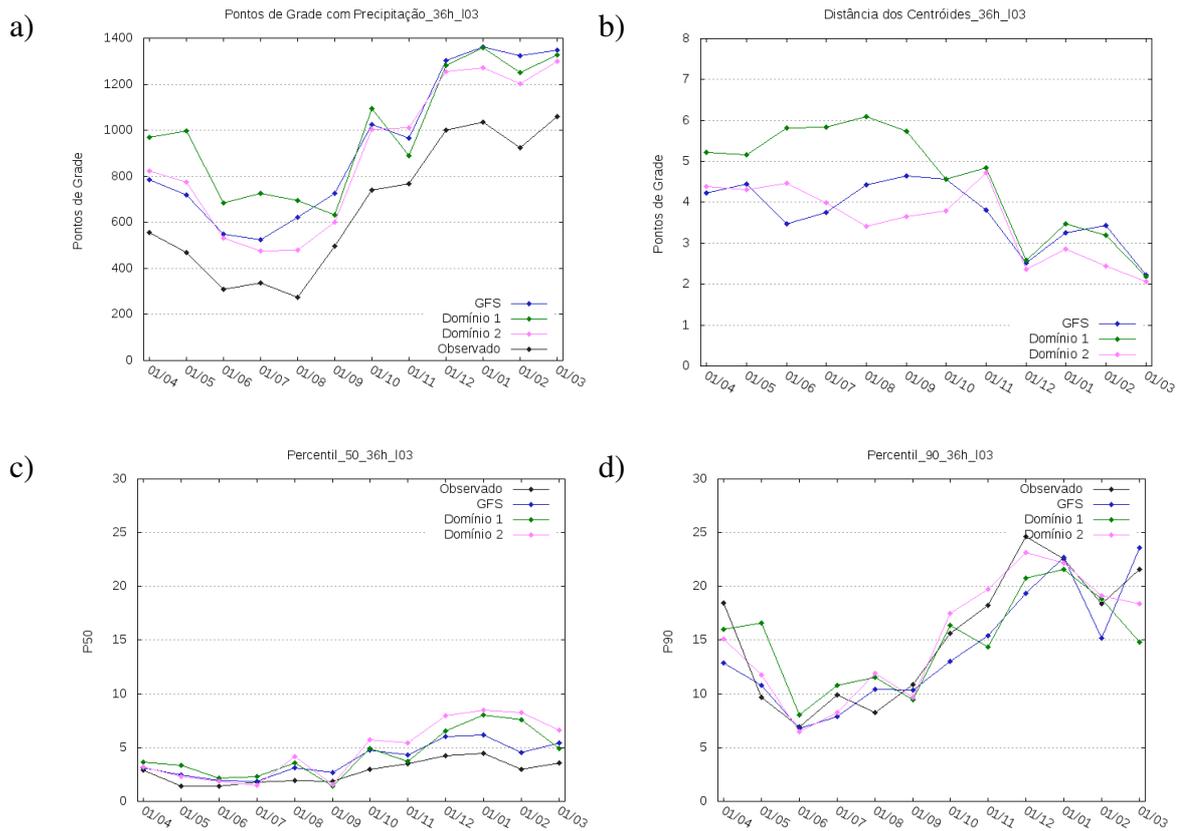


Figura 4.20 - Evolução mensal dos novos índices propostos pelo MODE: Pontos de grade com precipitação, (a) Área Prevista, (b) Distância dos Centróides (DC), (c) Percentil 50 (RP50), (d) Percentil 90 (RP90).

Fazendo-se a média trimestral entre as áreas previstas e observada, em unidade de pontos de grade, para as estações de verão e inverno, fica evidenciado, mais uma vez (Figura 4.21), que a área de precipitação no verão é maior que no inverno e com razão igual ou superior a 2. Ambos modelos superestimam a área; com o GFS apresentando maiores valores em unidades de grade e o modelo WRF no D2 com área mais próxima ao observado, tanto no inverno quanto no verão.

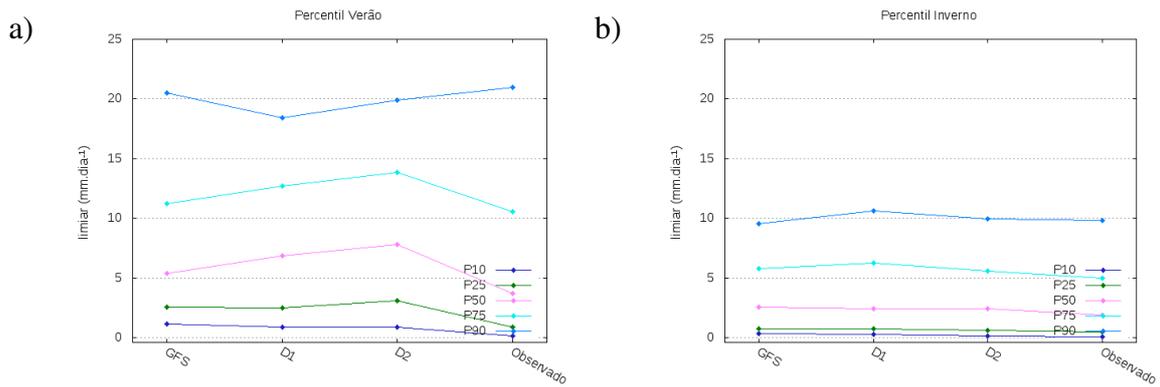


Figura 4.21 – Área de abrangência dos eventos de precipitação observada e prevista pelos modelos GFS, e WRF no D1 e D2, em unidades de grade nos trimestres de (a) verão e (b) inverno.

Sabendo-se que a precipitação é superestimada a Figura 4.21 mostra uma análise com relação aos diferentes percentis de 10, 25, 50, 75 e 90%.

Da Figura 4.21(a), observa-se que os P10, P25, P50, P75 e P90 para o trimestre JFM (verão), correspondem aos valores observados de 0,2; 0,9; 3,7; 10,5 e 21,0 mm, respectivamente. No trimestre JAS (inverno) estes mesmos percentis são 0,1; 0,4; 1,9; 5,0 e 9,8 mm. Como esperado, percentis correspondentes apresentam valores inferiores no inverno (estação seca), comparado aos do verão (estação chuvosa). No verão, os 3 modelos superestimam os percentis 10 a 75. O P90 é subestimado pelo WRF no D1 e D2. No inverno, também há uma superestimativa dos percentis 10 a 75, entretanto, o P90 é apenas ligeiramente superestimado pelo D1. Verifica-se, portanto, que tanto no verão quanto no inverno, as maiores superestimativas, na intensidade, estão associadas a chuvas de fraca a moderada intensidade.

Uma vez que o P90, para as estações de verão/inverno, correspondem aos valores observados de 20/10 mm, a Figura 4.22 mostra os índices estatísticos de verificação para diferentes limiares (0,3; 2,5; 5; 10; 15 e 20 mm no verão; 0,3; 2,5; 5 e 10 mm no inverno).

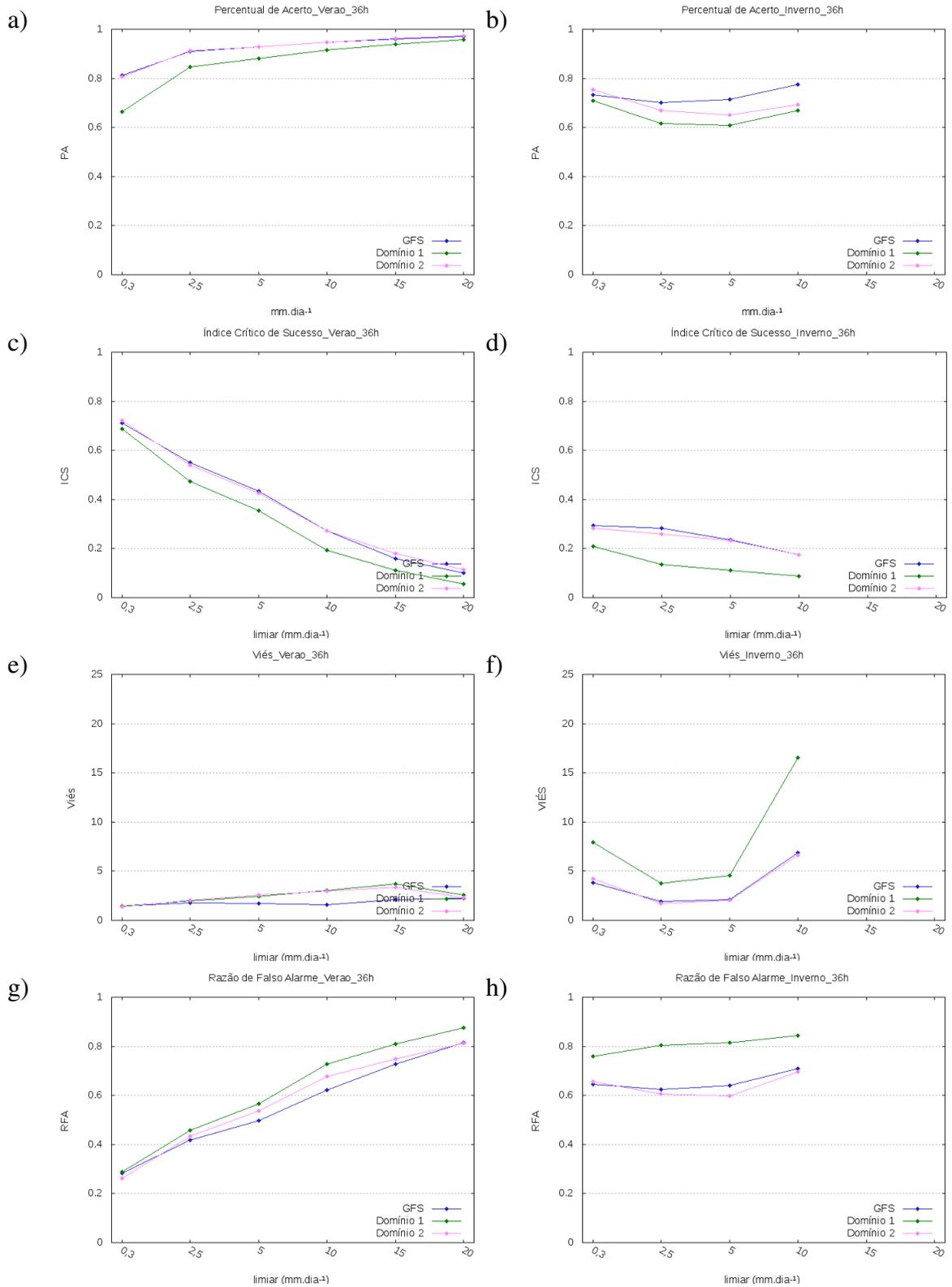


Figura 4.22 - Índices estatísticos de verificação tradicionais para verão/inverno de PA (a-b), ICS (c-d), VIÉS (e -f) e RFA (g - h).

Pelo Figura 4.22 (a -b), nota-se que quanto maior o limiar, melhor o PA. No verão, as regiões de precipitação mais intensa são menores e, portanto, há menos pontos de grade com chuva superior aos maiores limiares. Assim, o número de pontos de grade “sem evento de chuva” (para este limiar maior) aumenta, tanto para as chuvas observada como prevista, aumentando assim o PA. No inverno, o maior valor está associado à menor frequência de eventos de chuva.

O ICS, Figura 4.22 (c-d) mostra que, no verão, ao se utilizar um limiar baixo (por exemplo, 0,3mm), a previsão do evento de chuva é melhor que para limiares mais altos. No inverno, ele é menor e não varia tanto com o limiar, porque as chuvas são menos intensas.

O VIÉS, Figura 4.22 (e -f) mostram que no verão, as chuvas são superestimadas pelos 3 modelos. Entretanto o WRF apresenta mais pontos de grade com precipitação. Comportamento semelhante, de viés positivo, também foi encontrado por McBride e Ebert (2010) para a estação de verão; com relação a 7 modelos operacionais de previsão numérica do tempo para 24 horas, verificados sobre o continente Australiano, no período de um ano; com superestimativa próxima/acima da unidade, para limiares menores/maiores. Ainda, pela Figura 4.22 (e -f), nota-se que para o inverno, as superestimativas são maiores, especialmente com relação ao D1 para os limiares de 0,3 e especialmente em 10 mm.

A PD (não mostrada) e RFA apresentada na Figura 4.22 (g -h) mostram que, em termos de média entre os três modelos, a PD decresce de 97/63% para limiares de 0,3mm, no verão/inverno, para 20/40%, para limiares de 20/10 mm. Concordando com isso a RFA aumenta, de 28/64% nos menores limiares, para 81/75% nos limiares mais elevados. O comportamento de PD diminuindo e RFA aumentando com o limiar foi também encontrado por McBride e Eber (2010), na região Norte da Austrália no verão. O modelo WRF no D1 apresenta os menores desempenhos relativos a PD (menores valores) e RFA (maiores valores), em ambos os limiares e estações analisadas. Os elevados valores de RFA do WRF no D1, aparentemente, estão associados à superestimativa das áreas com precipitação (Figura 4.22 - e,f) principalmente no inverno. É também perceptível que, o melhor desempenho dos modelos, com relação a esses índices, foi na estação de verão; principalmente, para os menores limiares.

Com relação à análise realizada, no campo espacial da precipitação, verifica-se um erro sistemático com relação ao WRF no D1 por produzir áreas de precipitação maiores que as áreas com precipitação observada. O modelo WRF no D1 apresenta um viés estatístico, em relação, tanto ao tamanho como intensidade dos sistemas precipitantes. No entanto, o número

de superestimativas de área, não necessariamente é um problema de previsão; porque as previsões com maiores resoluções espaciais (menor espaçamento de grade), geralmente produzem muito maior área com precipitação que previsões com menor resolução (DAVIS *et al.*, 2009). Contudo, no estudo desenvolvido, tanto o campo observado quanto o previsto pelos modelos, foram interpolados para grades com mesmo espaçamento horizontal, com o mesmo raio de convolução e limiar. Esta interpolação pode ser uma fonte de erro que não foi considerada.

Parte das superestimativas na intensidade da precipitação pode estar relacionada, ao campo de precipitação observado utilizado na verificação resultou da interpolação de dados de superfície com estimativa de satélite. Zhou *et al.* (2008), dentre outros verificou que, os produtos de satélite subestimam a frequência de precipitação, mas superestimam a sua intensidade para a região leste da China.

4.3. Análise Geral

De acordo com Laprise *et al.* (2000) é natural que ocorra uma contaminação, no modelo regional, por transmissão das condições iniciais e de fronteira lateral fornecidas pelo modelo global; influenciando assim na qualidade das previsões. Apesar do modelo WRF mostrar grande “influência” do modelo global, apresentando semelhanças em vários índices, há uma considerável melhora da qualidade das previsões realizadas, pela segunda grade do WRF. Isto é bem visível na comparação temperatura, para a qual os prognósticos fornecidos pelo modelo, para ambos os domínios simulados, são melhores que os do GFS. Para a precipitação, verificou-se um desempenho bastante semelhante entre o GFS o WRF no D2; no entanto, é importante ressaltar que o WRF no D1 é necessário para poder simular grades com resoluções do D2.

Os melhores índices, tanto em relação à precipitação quanto temperatura, foram obtidos para a estação de verão; com o WRF no D2 apresentando melhor desempenho. Os erros mostraram uma variação anual; concordando com resultados obtidos por Werth e Garrett (2011) para o GFS. Aparentemente, os modelos apresentam as maiores dificuldades nas estações sazonais mais frias - AMJ, JAS -, quando geralmente a temperatura máxima foi subestimada e a precipitação superestimada.

Ruiz *et al.* (2010), ao verificarem o desempenho do modelo WRF, sobre a América do Sul, em prever as variáveis meteorológicas com diferentes parametrizações, mostraram que não há uma única configuração que apresente melhor prognóstico, com respeito às variáveis de superfície; sugerindo que a melhora, é possível ao se realizar a previsão por conjunto.

5. Conclusões

A análise foi procedida sobre a previsão do tempo do modelo operacional WRF, em duas grades aninhadas, inicializado com o modelo global GFS, com prognóstico de 72 horas sobre o Estado de São Paulo e vizinhanças, das temperaturas máxima e mínima diária, bem como da precipitação acumulada diária, no período de um ano, compreendida entre abril de 2010 e março de 2011.

O desempenho do modelo de mesoescala WRF apresenta uma forte influência das condições de contornos laterais e iniciais, provenientes do modelo global GFS. Os resultados indicam que houve uma relativa melhora no desempenho, com o modelo regional em relação ao modelo global. Os maiores vieses de temperatura, coincidem com a estação de superfície de Registro e isso decorre provavelmente do fato dessa estação apresentar as maiores diferenças de altitude observada em superfície em relação a altitude interpolada pelo modelo WRF, dentre as estações de superfície analisadas.

A variável temperatura apresentou um padrão de amortecimento, com máximas diárias sendo subestimadas e mínimas diárias superestimadas. De uma forma geral, em ambas os domínios do WRF, essa variável apresentou prognósticos mais próximos ao observado, com desempenho melhor para o domínio aninhado.

Os modelos GFS e WRF no D2, com relação a variável precipitação, apresentaram desempenho semelhante; entretanto com o D2 apresentando índices ligeiramente melhores, no período da estação chuvosa; enquanto no D1 apresentou o pior desempenho. No entanto, verificou-se um padrão de superestimativa, tanto em termos de abrangência espacial, em unidades de grade e quanto a intensidade, para os resultados dos três modelos verificados. Com relação à intensidade, o percentil 50 simulado é, geralmente, maior que o observado; entretanto, o percentil 90 é mais próximo do observado. O modelo WRF tem um viés

positivo, em tamanho e intensidade, para todos os sistemas de chuva em quase todas as estações.

Os resultados indicam que o viés dos modelos varia anualmente. Os melhores índices, tanto com relação à precipitação quanto temperatura, foram obtidos para a estação de verão; com o D2 apresentando o melhor desempenho. Entretanto, os modelos apresentam os maiores erros nas estações sazonais mais frias – AMJ, JAS. Estes erros foram decorrentes de subestimativas das temperaturas máximas e superestimativas de área e de intensidade de precipitação.

6. Sugestão para trabalhos futuros

A influência do modelo Global nas previsões do modelo regional foi evidente nos resultados, tanto das temperaturas quando da precipitação. Desta forma, sugere-se que esta influência seja melhor estudada em estudos futuros. Tais estudos podem ser, por exemplo, com relação à frequência de atualização das condições de fronteira (neste estudo foi de 3 horas), ou a evolução por períodos mais longos de tempo. Estudos também indicam que a melhora na resolução horizontal da grade do modelo regional pode melhorar os resultados. Assim, acoplar uma terceira grade, com um terço do espaçamento horizontal da segunda grade, também seria um aspecto importante. Além disso, neste estudo, foram focadas apenas previsões de temperaturas máxima e mínima diárias, bem como na precipitação acumulada diária. Como a evolução da chuva ao longo do dia é uma informação importante para a previsão de tempo operacional, sugere-se a inclusão das variáveis nebulosidade, intensidade e direção dos ventos.

BIBLIOGRAFIA

ANGELO, A. T. **Determinação da Probabilidade de Ocorrência de Períodos Secos e Condições Atmosféricas Associadas nas Zonas Produtoras de Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ANTHES, R. A. Regional Models of the Atmosphere in Middle Latitudes. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 1306-1335, 1983.

ARAKAWA, A.; LAMB, V. R. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. **Methods Computational Physics**, v. 17, p. 173-265, 1977.

ARAVÉQUIA, J. A.; QUADRO, M. F. L. Aspectos Gerais da Previsão Numérica de Tempo e Clima. INPE, São José dos Campos – SP, 2003. Disponível em < <http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.23.10.21/doc/publicacao.pdf>>>.

BELJAARS, A. C. M. The Parameterization of Surface fluxes in large-scale models under free convection. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 121, p. 255-270, 1994.

BIAZETO, B.; SILVA DIAS, M. A. F. Analysis of the impact of rainfall assimilation during LBA atmospheric mesoscale missions in Southwest Amazon. **Atmospheric Research**, v. 107, p. 126-144, 2012.

BROWN, B. G.; BULLOCK, R.; HALLEY GOTWAY, J.; AHJEVYCH, D.; DAVIS, C.; GILLELAND, E.; HOLLAND, L. Application of the MODE object-based verification tool for the evaluation of model precipitation fields. In: **Preprints, 22nd Conference on Weather Analysis and Forecasting and 18th Conference on Numerical Weather Prediction Park City, Utah, American Meteorological Society, 10A**. [S.l.: s.n.], 2007. v. 2. Available at <http://ams.confex.com/ams/pfdpapers/124856.pdf>.

BUSTAMENTE, J. F.; CHOU, S. C.; ROZANTE, J. R.; GOMES, J. L. Uma Avaliação da Previsibilidade de Tempo do Modelo Eta para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n.1, p. 59-70, 2005.

CARTWRIGHT, T. J.; KRISHNAMURTI, T. N. Warm Season Mesoscale Superensemble Precipitation Forecast in the Southeastern United States. **Weather and Forecasting**. v. 22, p. 873-886, 2007.

CASATI, B.; ROSS, G.; STEPHENSON, D. B. A new intensity-scale approach for the verification of spatial precipitation forecasts. **Meteorological Applications**, v. 11, 141–154, 2004.

CHEN, F.; DUDHIA, J. Coupling an advanced land-surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. **Monthly Weather Review**, v. 129, p. 569-585, 2001.

CHOU, S. C.; JUSTI DA SILVA, M. G. A. Objective Evaluation of ETA Model Precipitation Forecast Over South America. **Revista Climanalise**. Ano 1. n° 1, pp. 17, 1999.

DAVIS, C.; BROWN, B.; BULLOCK, R. Object-Based Verification of Precipitation Forecasts. Part I: Methodology and Application to Mesoscale Rain Areas. **Monthly Weather Review**, v. 134, n. 7, p. 1772-1784, 2006a.

DAVIS C.; BROWN, B.; BULLOCK, R. Object-Based Verification of Precipitation Forecasts. Part II: Application to Convective Rain Systems. **Monthly Weather Review**, v. 134, n. 7, p. 1785-1795, 2006b.

DAVIS. C.A.; BROWN, B.G.; BULLOCK, R.; HALLEY-GOTWAY, J. The Method for Object-Based Diagnostic Evaluation (MODE) Applies to Numerical Forecast from the 2005 NSSL/SPC Spring Program. **Weather and Forecasting**, v. 24, p. 1252-1267, 2009.

DERECZYNSKI, C. P.; PRISTO de JESUS, M. V.; CHOU, S. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; ROZANTE, J. R. Avaliação das Previsões do Modelo ETA na Região da Serra do Mar (Estado de São Paulo), Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências–UFRJ**. v. 33–2, p 36-51, 2010.

DUDHIA, J. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 46, n. 20, p. 3077–3107, 1989.

DYER, A. J.; HICKS, B. B. Flux-gradient relationships in the constant flux layer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Wiley Online Library, v. 96, n. 410, p. 715–721, 1970.

FAN, Y.; VAN DEN DOOL, H. Bias Correction and Forecast Skill of NCEP GFS Ensemble Week-1 and Week-2 Precipitation, 2-m Surface Air Temperature, and Soil Moisture Forecasts. **Weather and Forecasting**, v. 26, p. 355–370, 2011.

FREITAS, E. D. **Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes. 2003.** 157 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GILLELAND, E.; AHJEVYCH, D. A.; BROWN, B. G.; EBERT, E. E. Verifying forecasts spatially. Bulletin of the American Meteorological Society, **American Meteorological Society**, v. 91, n. 10, p. 1365–1373, 2010.

GOZZO, L. F. **Simulação numérica da influência dos fluxos de superfície em ciclones na costa leste do Brasil.** 121 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GRELL, G. A.; DUDHIA, J.; STAUFFER, D. R. A description of the fifth generation Penn State/ NCAR mesoscale model (MM5). [S.l.], 1994.

GRELL, G. A.; DEVENYI, D. A generalized Approach to Parameterizing Convection Combining Ensemble and Data Assimilation Techniques. **Journal of the Geophysical Research**, v. 29, n. 14, p. 1693, 2002.

GUEDES, R. L.; SILVA DIAS, M. A. F. Estudo de Tempestades severas associadas com o jato subtropical na América do Sul. In: III Congresso Brasileiro Meteorologia, Belo Horizonte, MG. **Anais, SBMET.** v. 1, p. 289-296, 3-7 Dezembro 1984.

HALTNER, G. J.; WILLIAMS, R. T. **Numerical prediction and dynamic meteorology.** 2. Ed. John Wiley & Sons, Inc., p. 477, 1980.

HONG, S. Y.; DUDHIA, J.; CHEN, S. H. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parametrization of clouds and precipitation. **Monthly Weather Review**, v. 132, n. 1, p. 103–120, 2004.

HONG, S. Y.; LIM, J. O. J. The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). **Journal of the Korean Meteorological Society**, v. 42, n. 2, p. 129–151, 2006.

KALNAY, E. **Atmospheric modeling, data assimilation and predictability.** 2ª ed. New York: Cambridge University Press, 2003.

LAPRISE, R.; VARMA, M. R.; DENIS, B.; CAYA, D.; ZAWADZKI, I. Predictability of a Nested Limited-Area Model. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 4149-4154, 2000.

LORENZ, E. N. Deterministic non-periodic flow. **Journal of Meteorological Society**, v.20, n.2, p. 130-141, 1963.

LORENZ, E. N. A study of the predictability of a 28-variable atmospheric model. **Tellus**, v. 17, p. 321-333, 1965.

LYNCH, P. The origins of a computer weather prediction and climate modeling. **Journal of Computational Physics**, v. 227, p. 3431-3444, 2008.

MAHRT, L. Variation of Surface Air Temperature in Complex Terrain. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**. v. 45, p. 1481-1493, 2006.

MASS, C.F.; OVENS, D.; WESTRICK, K.; COLLE, B. A. Does increasing horizontal resolution produce more skillful forecast? **American Meteorological Society**, v. 83, p. 407–430, 2002.

MCBRIDE, J. L.; EBERT, E. E. Verification of Quantitative Precipitation Forecast from Operational Numerical Weather Prediction Models over Australia. **Weather and Forecasting**, v. 15, p. 103-121, 2010.

MICHALAKES, J.; DUDHIA, J.; GILL, D.; KLEMP, J.; SKAMAROCK, W. Design of a Next-Generation Regional Weather Research and Forecast Model . [S.l.], 1998.

MLAWER, E. J.; TAUBMAN, S. J.; BROWN, P. D.; IACONO, M. J.; CLOUGH, S. A. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. **Journal of Geophysical Research, American Geophysical Union**, v. 102, n. D14, p. 16,663–16,682, 1997.

MURPHY, A. H. What is a Good Forecast? An Essay on the Nature of Goodness in Weather Forecasting. **Weather and Forecasting**, v. 8, 281-293, 1993.

NEBEKER, F. Calculating the weather; meteorology in the 20th century. San Diego, London: **Academic Press**, 1995.

NERY, J.T, VARGAS, W. M., MARTINS, M. de L. O. F. Estrutura da Precipitação do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 4, n. 4, p. 51–61, 1999.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 56, 1975.

PAULSON, C. A. The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. **Journal of Applied Meteorology**, v. 9, n. 6, p. 857–861, 1970.

PEREIRA FILHO, A. J. Radar measurements of tropical summer convection: urban feedback on flash floods. In: **29th International Conference on Radar Meteorology, Montreal, Quebec. Boston, Massachusetts: American Meteorological Society**, p.939-940, 1999.

PIELKE, R. A.; MCNIDER, R. T.; WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J.; NICHOLLS, M. E.; MORAN, M. D.; WELSWY, D. A.; LEE, T. J.; COPELAND, J. H. A comprehensive meteorological modeling system. - RAMS. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 49, p.69-91, 1992.

PRADO, L. F.; PEREIRA FILHO, A. J.; HALLAK, R.; LOBO, G. A. Climatologia da precipitação no Estado de São Paulo no período de 1947 a 1997. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: USP, 2006.5 pp.

_____; _____. Organização espacial da precipitação no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15, 2008, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: USP, 2008, p. 4.

PRADO, L. F. **Oscilação interdecadal do Pacífico e seus impactos no regime de precipitação no Estado de São Paulo**. 2010. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ROCHA, A. M. G. C.; GANDU, A. W. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, São José dos Campos, São Paulo, v. Esp., p. 140-142, 1996.

ROZANTE, J. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Regional Eta model experiments. SALLJEX and MCS developments. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, n. D17106, 20 pp., 2008.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G., VILA, D. A. Combining TRMM and Surface Observation Precipitation: Technique and Validation Over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, p. 885–894, 2010.

RUIZ, J.J.; SAULO, C.; NÓGUES-PAEGLE, J. WRF Model Sensitivity to Choice of Parametrization over South America: Validation against Surface Variables. **Monthly Weather Review**, v. 138, p. 3342–3355, 2010.

SAKAMOTO, M. S. **Análise do impacto de parâmetros satelitais no entendimento de processos convectivos tropicais e na assimilação em modelos numéricos regionais de tempo para nowcasting.** 2005. 0 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SANTOS, M. J. dos. **Análise e modelagem dos eventos extremos de precipitação sobre o Estado de São Paulo.** 93 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SATYAMURTY, P.; FERREIRA, C. C.; GAN, M. A. Cyclonic vortices over South America, **Tellus**, v. 42A, p. 194-201, 1990.

SCOLAR, J.; SILVA DIAS, M. A. F. Linhas de instabilidade pré-frontais e sua dependência de condições sinóticas. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Pelotas, Rio Grande do Sul, 18-22 Outubro 1982. **Anais...**, SBMET. 1982, v. 4, p. 88-102.

SELA, J. G.. Spectral modeling at the national meteorological center. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1279–1292, 1980.

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

SOUSOUNIS, P. J., HUTCHINSON, T. A., MARSHALL, S. F. A comparison of MM5, WRF, RUC, and ETA performance for great plains heavy precipitation events during the spring of 2003. In: 20th Conference on Weather Analysis and Forecasting, Seattle, **American Meteorological Society**, v. J24.6, 2004.

VELASCO, I.; FRITSH, J.M. Mesoscale Convective Complexes Over the Americas. **Journal of the Geophysical Research**, v. 92, n. 8, p. 9591-9613, 1987.

WEBB, E. K. Profile relationships: The log-linear range, and extension to strong stability. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Wiley Online Library**, v. 96, n. 407, p. 67–90, 1970.

WERTH, D., GARRETT, A. Patterns of Land Surface Errors and Biases in the Global Forecast System. **Monthly Weather Review**, v. 139, p.1569–1582, 2011.

WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2006. p. 627.

XUE, M.; DROEGEMEIER, K. K.; WONG, V. The advanced regional prediction system (ARPS) - a multiscale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction tool. Part I: Model dynamics and verification. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 75, p. 161-193, 2000.

ZHOU, T.; YU, R.; CHEN, H.; DAI, A.; PAN, Y. Summer Precipitation Frequency, Intensity, and Diurnal Cycle over China: A Comparison of Satellite Data with Rain Gauge Observation. **Journal of Climate**, v. 21, p. 3997-4010, 2008.

APENDICES

Apêndice A – Evolução diária dos índices tradicionais para a avaliação da precipitação para todos os meses

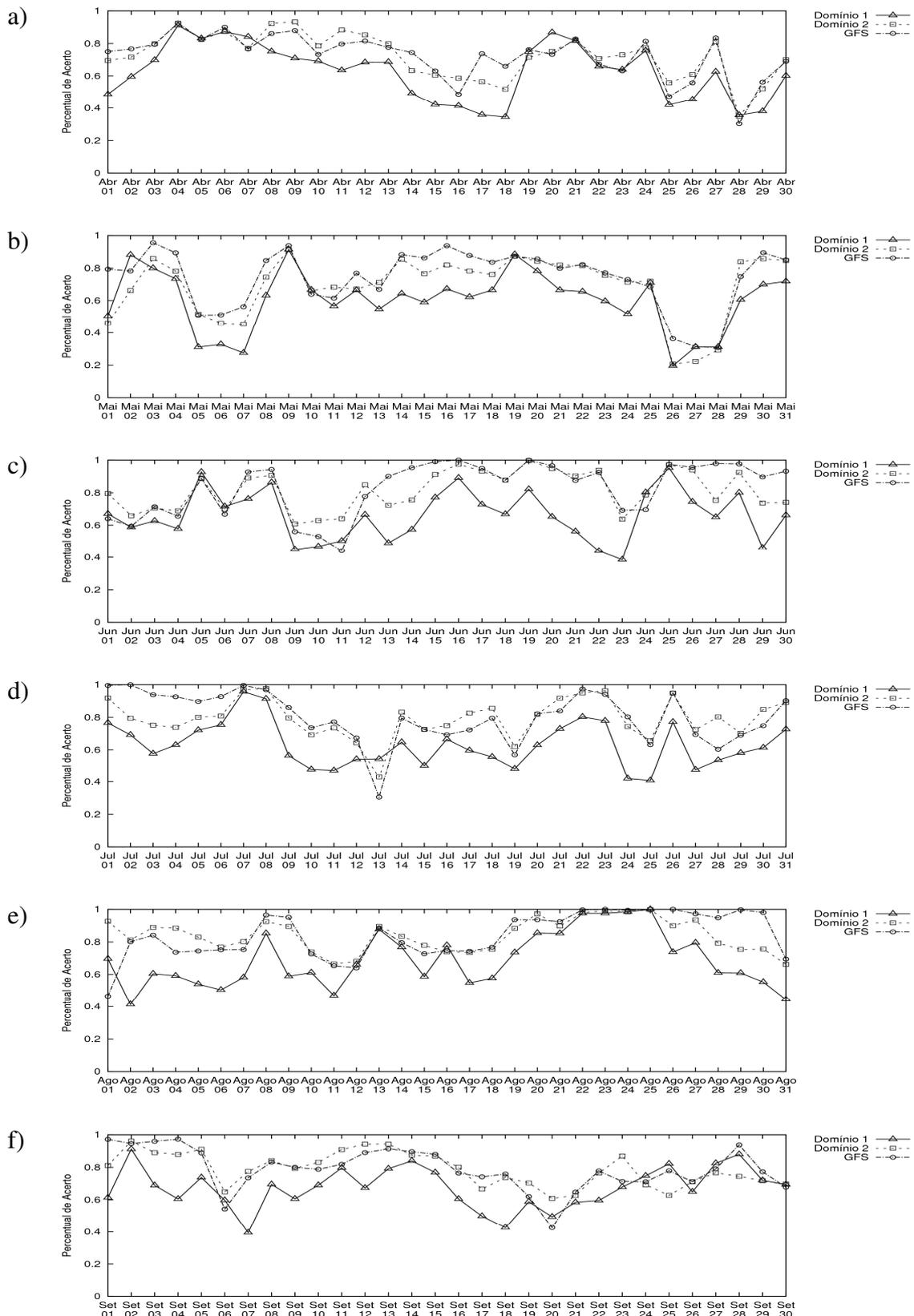


Figura A.1.1 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Percentual de Acerto, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

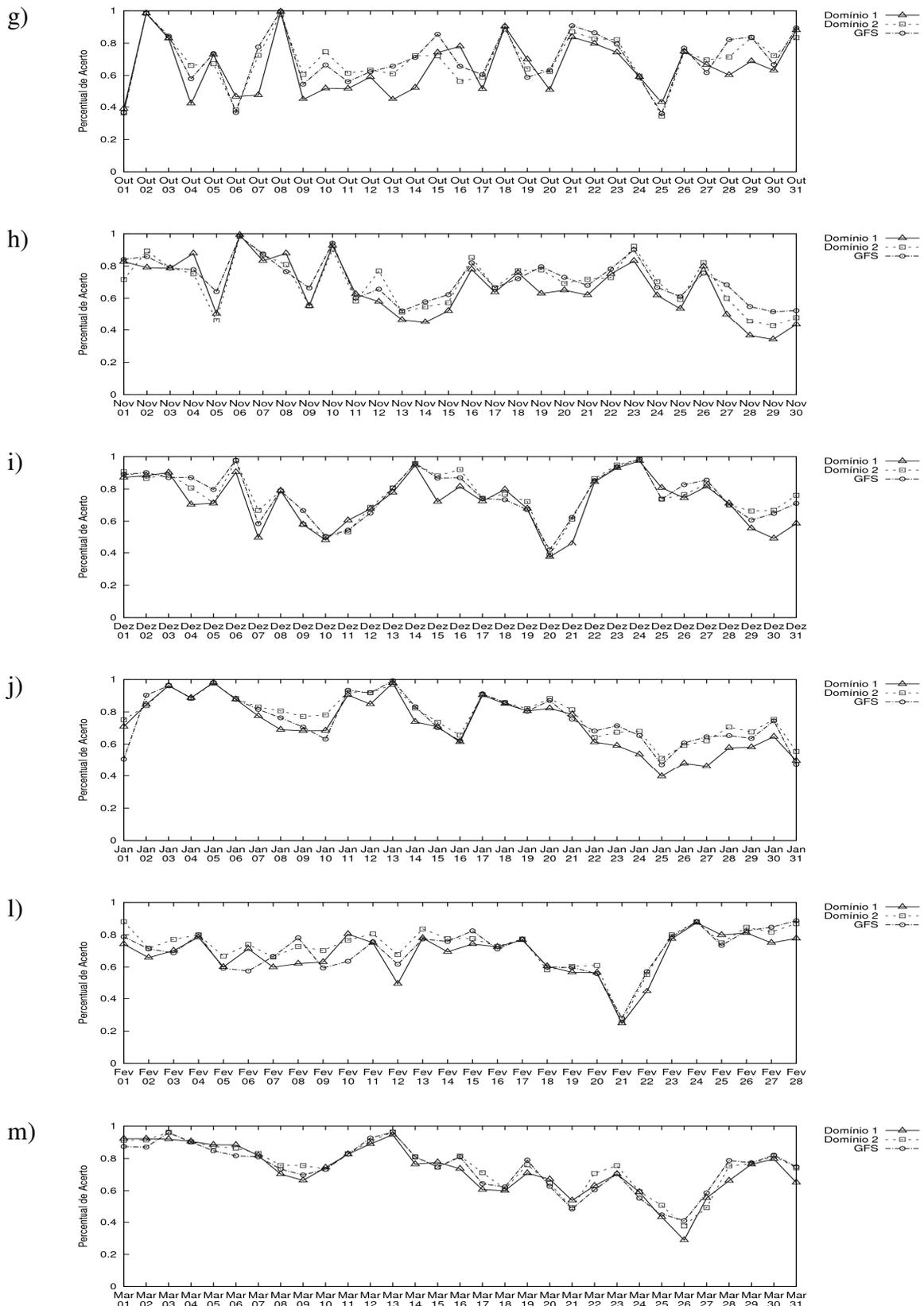


Figura A.1.2 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Percentual de Acerto, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

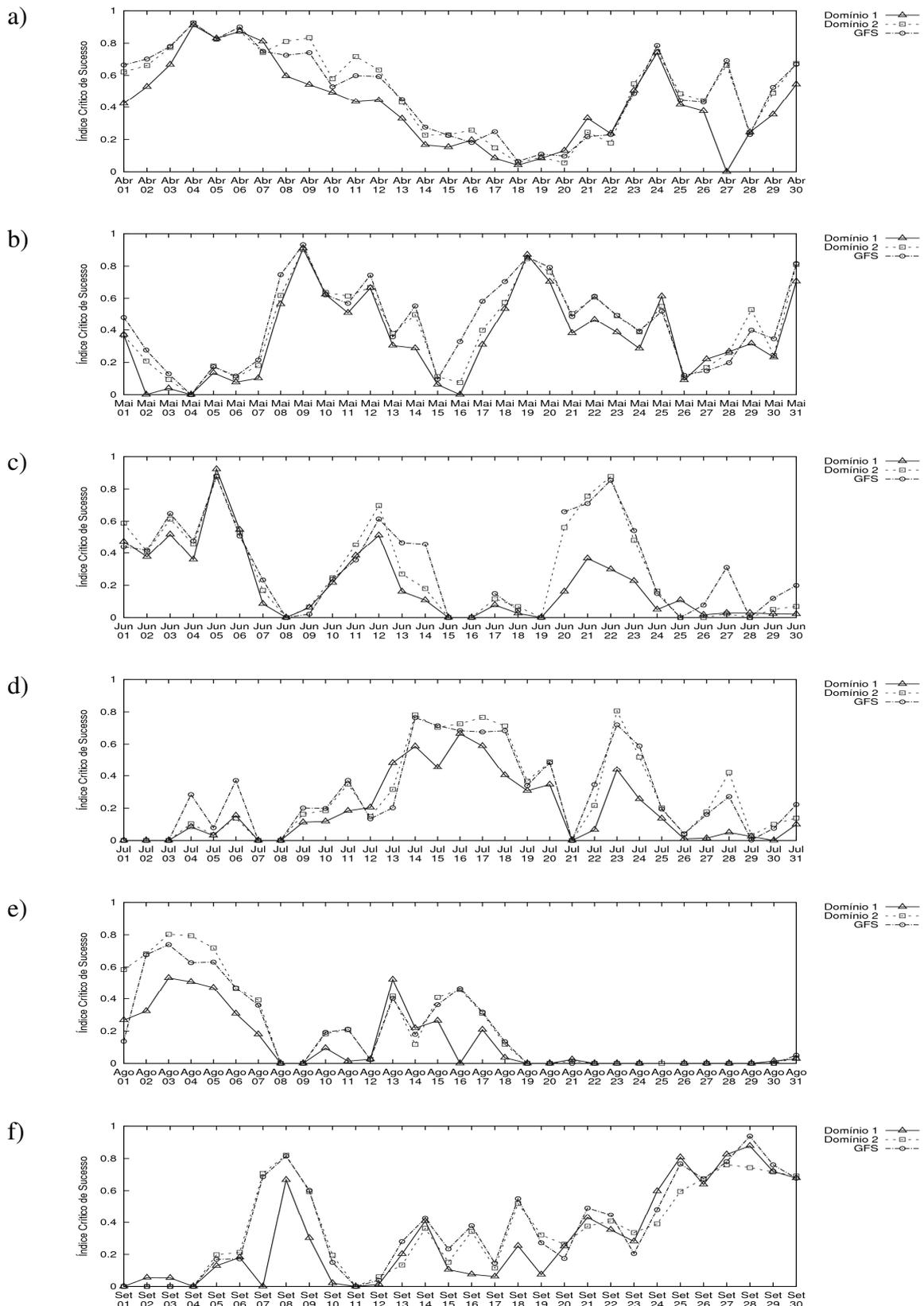


Figura A.2.1 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional do Índice Crítico de Sucesso, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

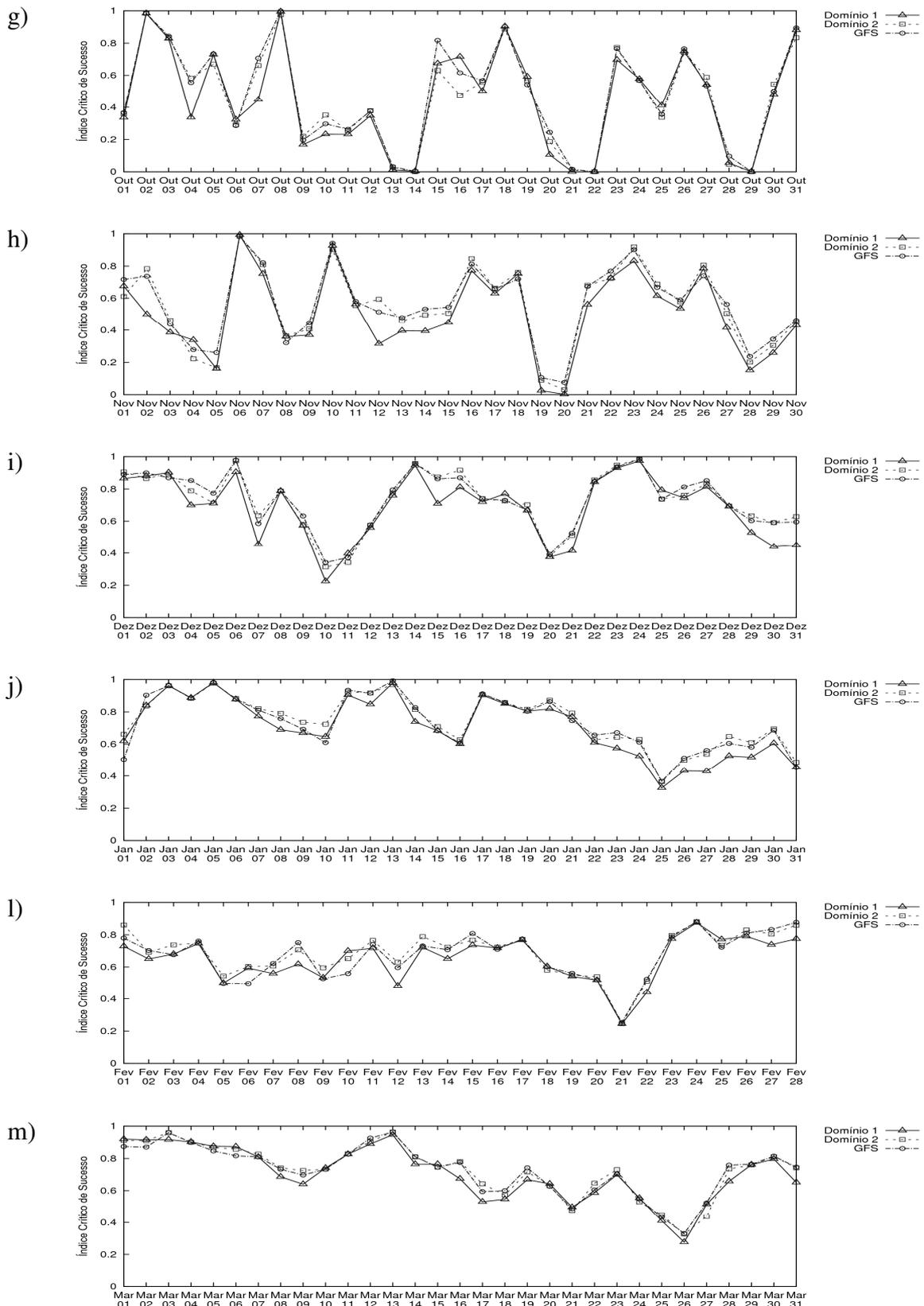


Figura A.2.2 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional do Índice Crítico de Sucesso, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

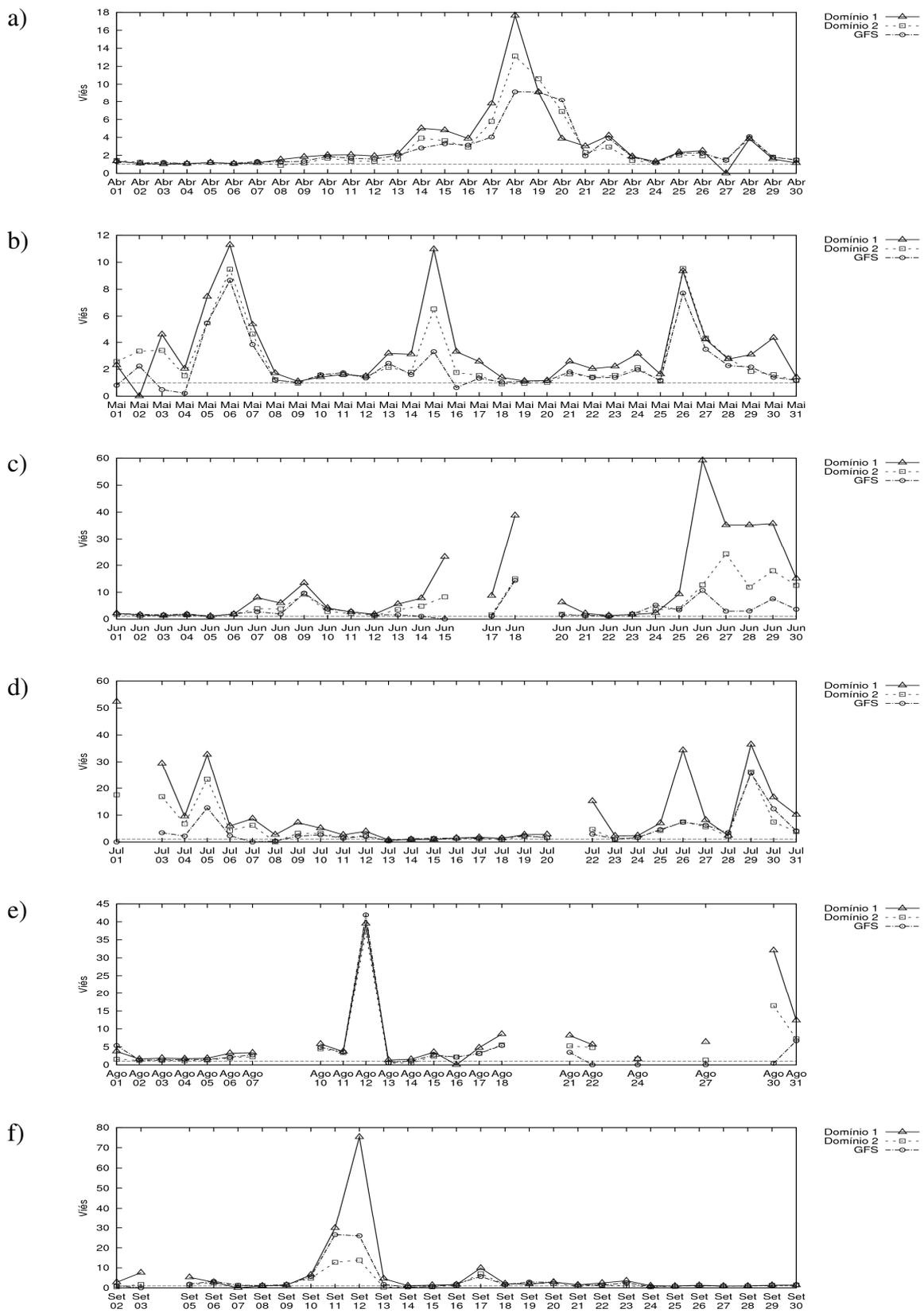


Figura A.3.1 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Viés, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

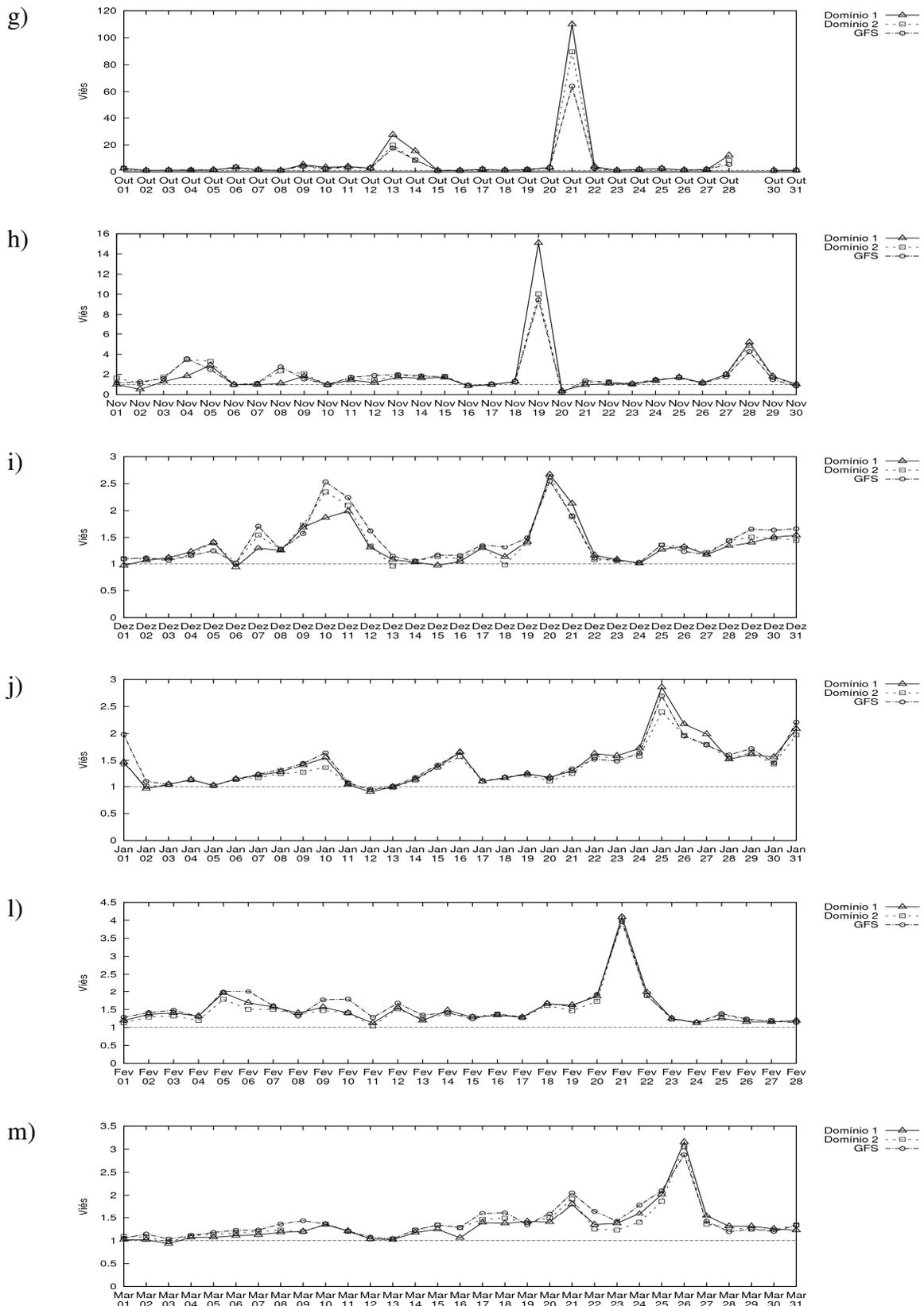


Figura A.3.2 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Viés, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

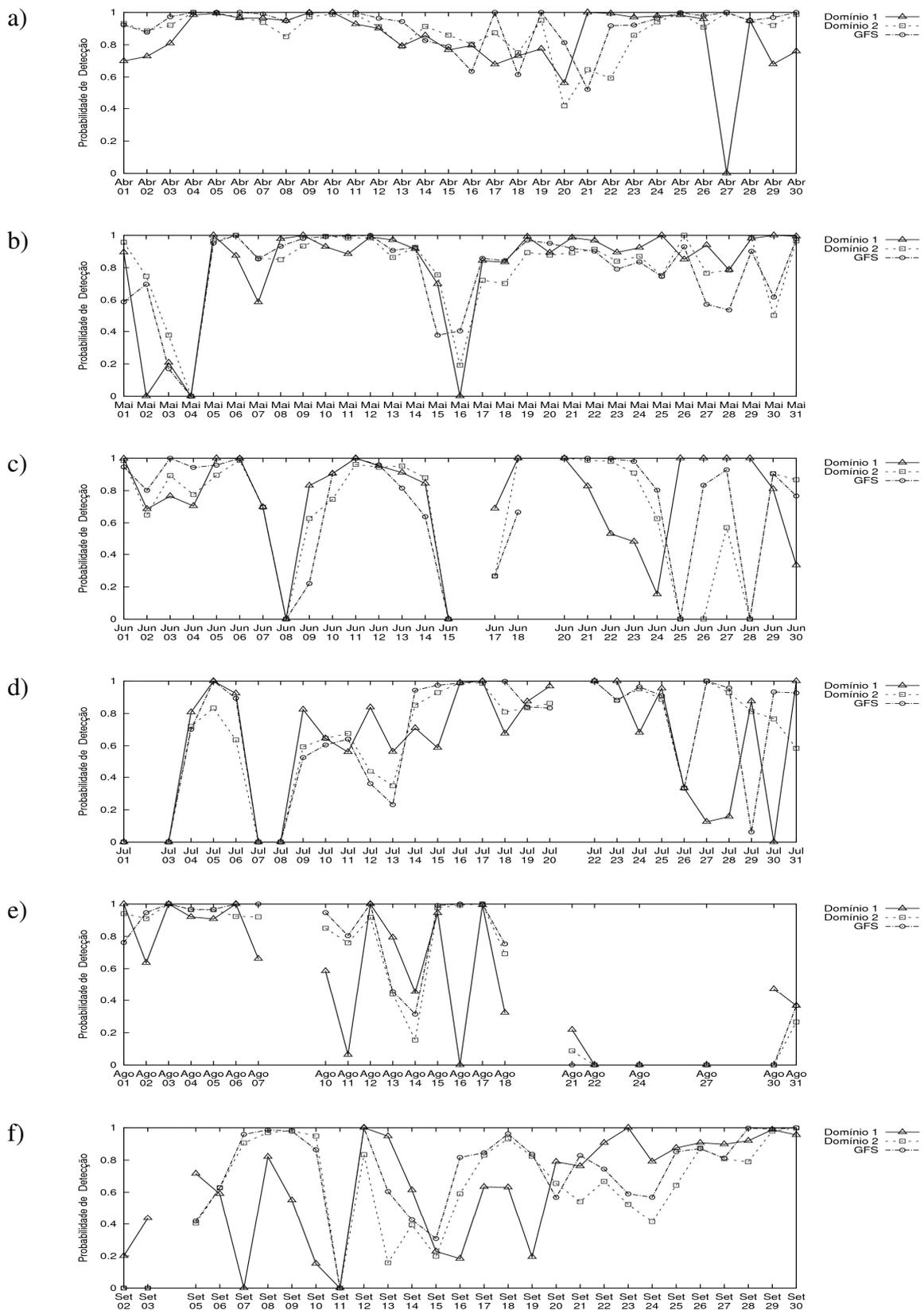


Figura A.4.1 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Probabilidade de Detecção, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

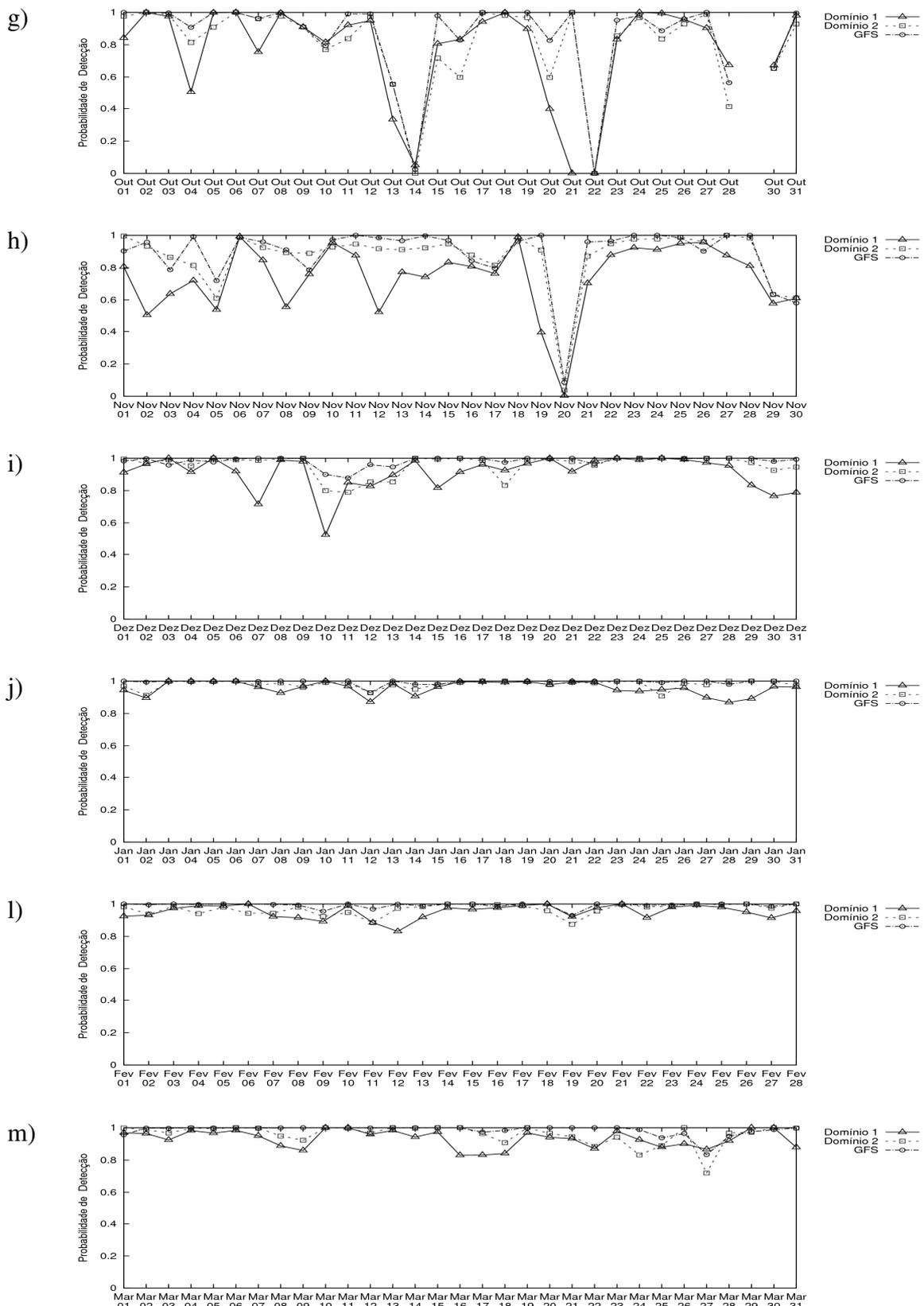


Figura A.4.2 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Probabilidade de Detecção, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

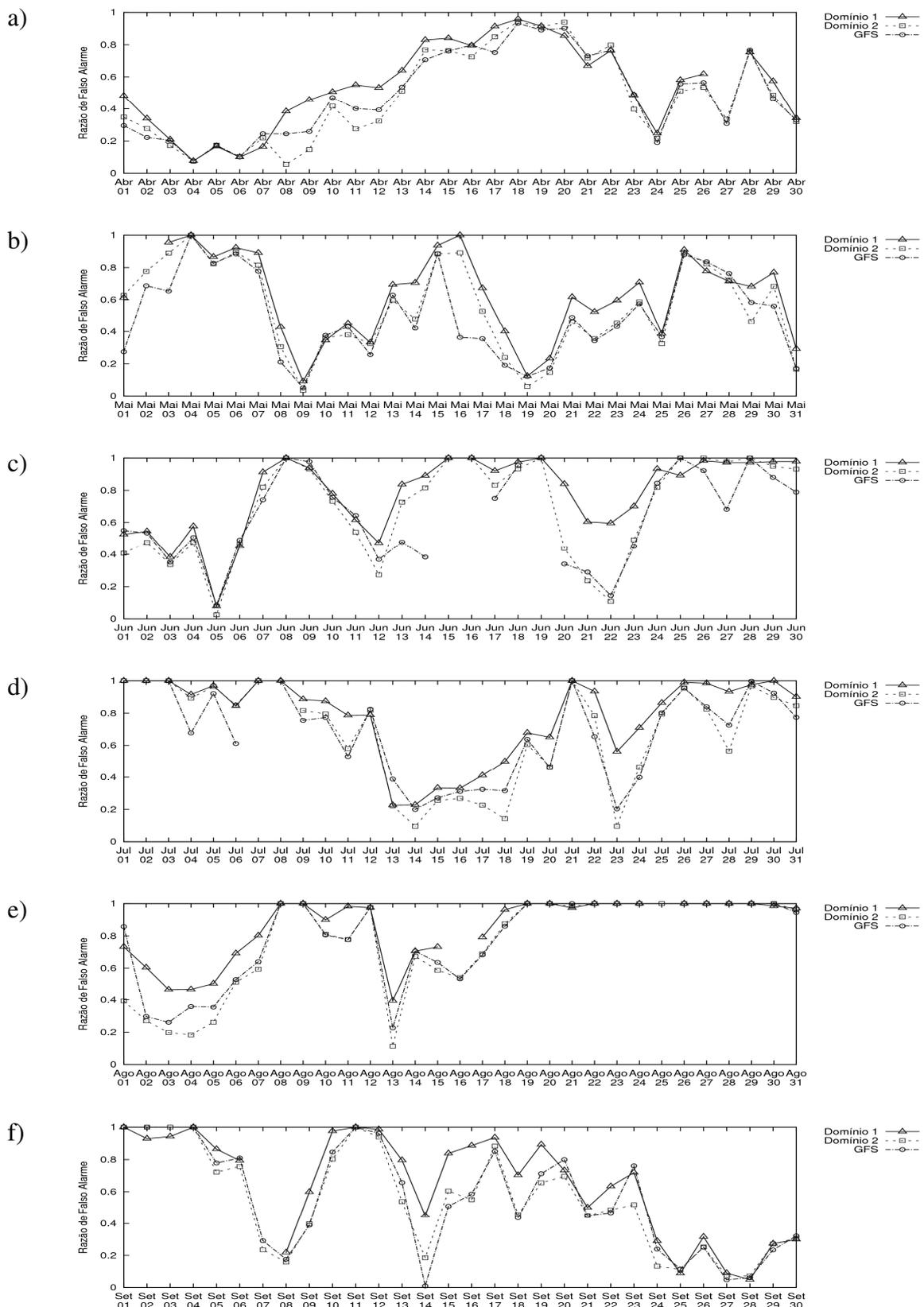


Figura A.5.1 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Razão de Falso Alarme, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

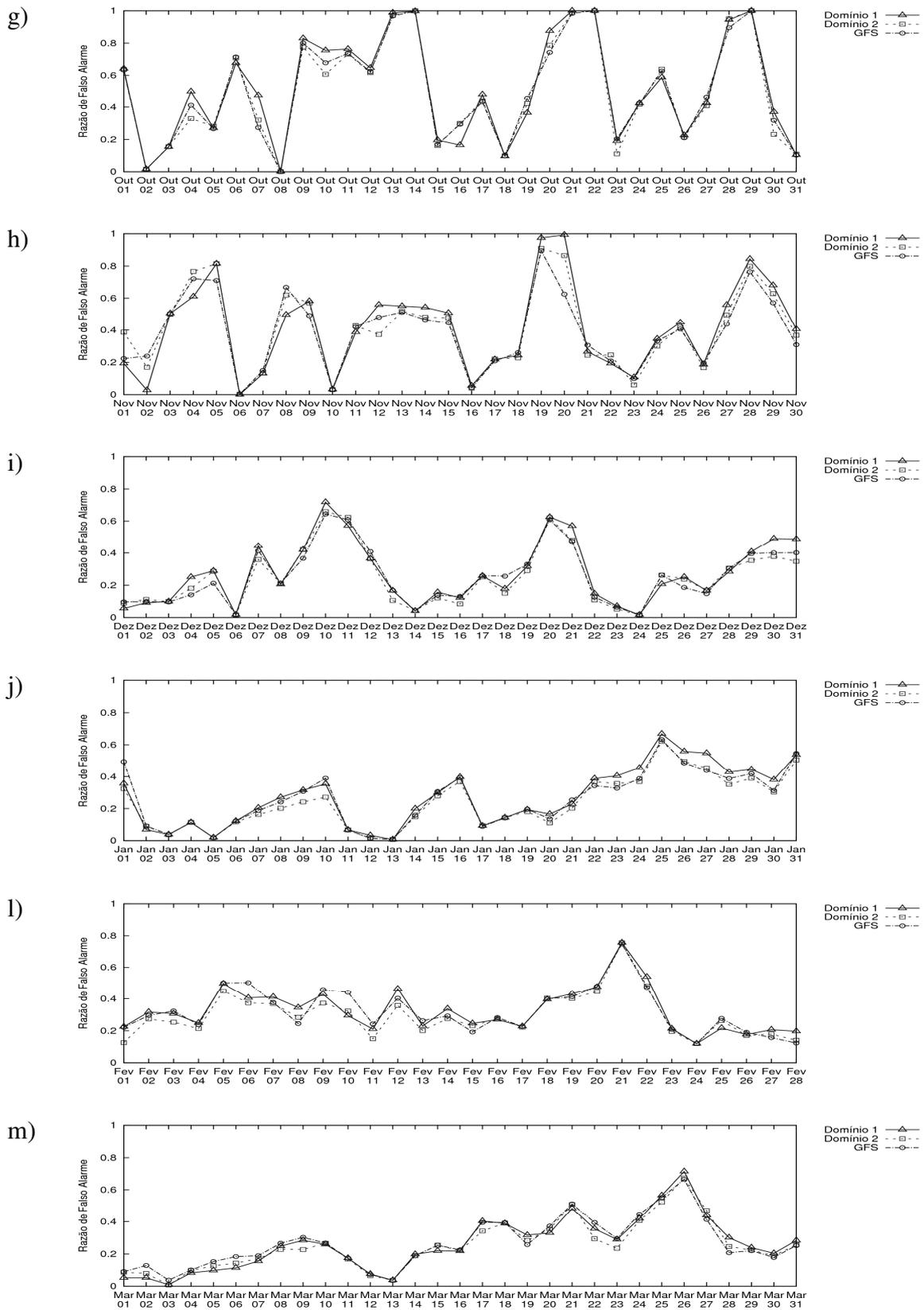


Figura A.5.2 – Evolução diária do índice estatístico de verificação tradicional de Razão de Falso Alarme, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

Apêndice B – Evolução diária dos índices sugeridos pelo MODE para a avaliação da precipitação para todos os meses.

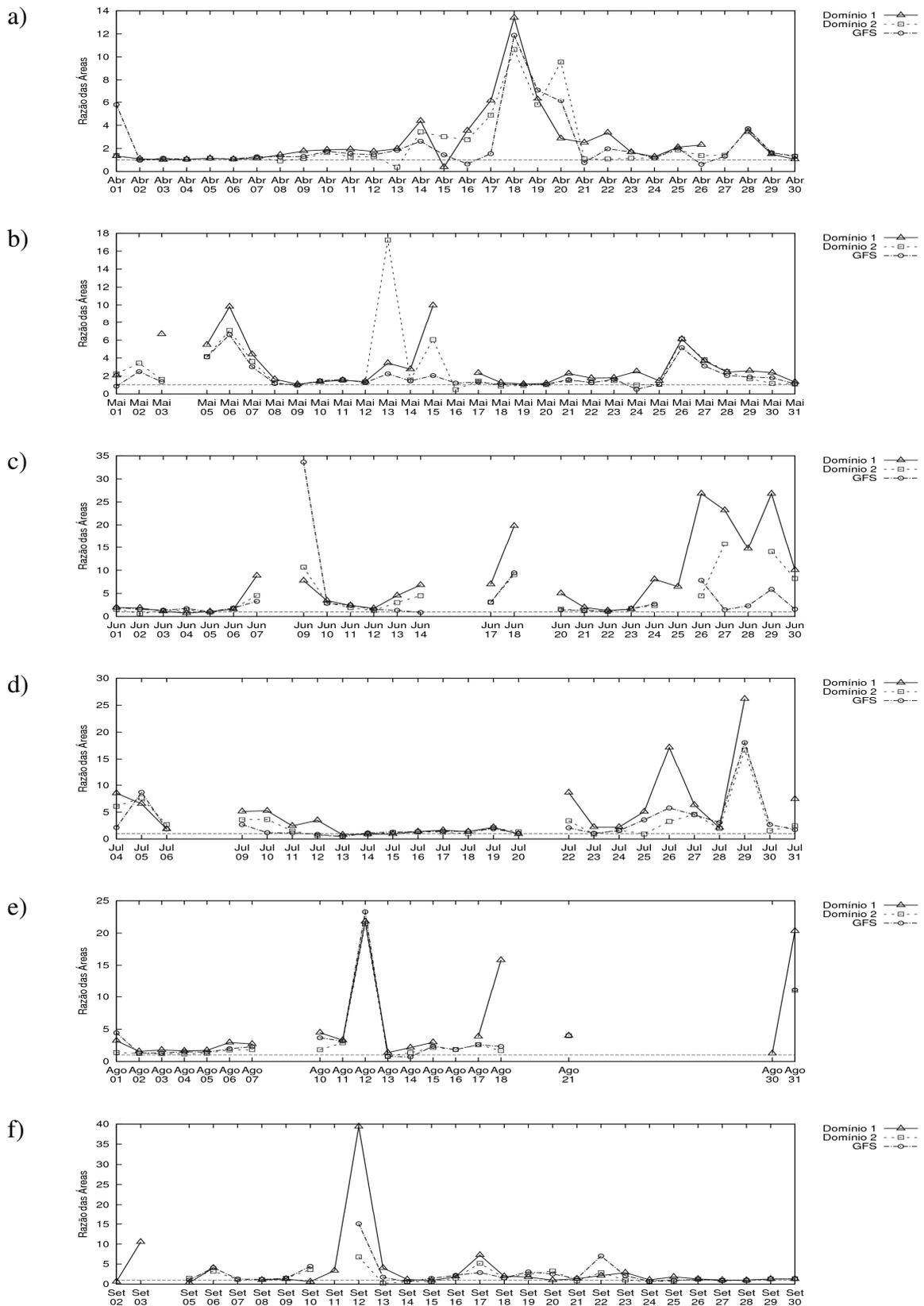


Figura B.1.1 – Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Áreas, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

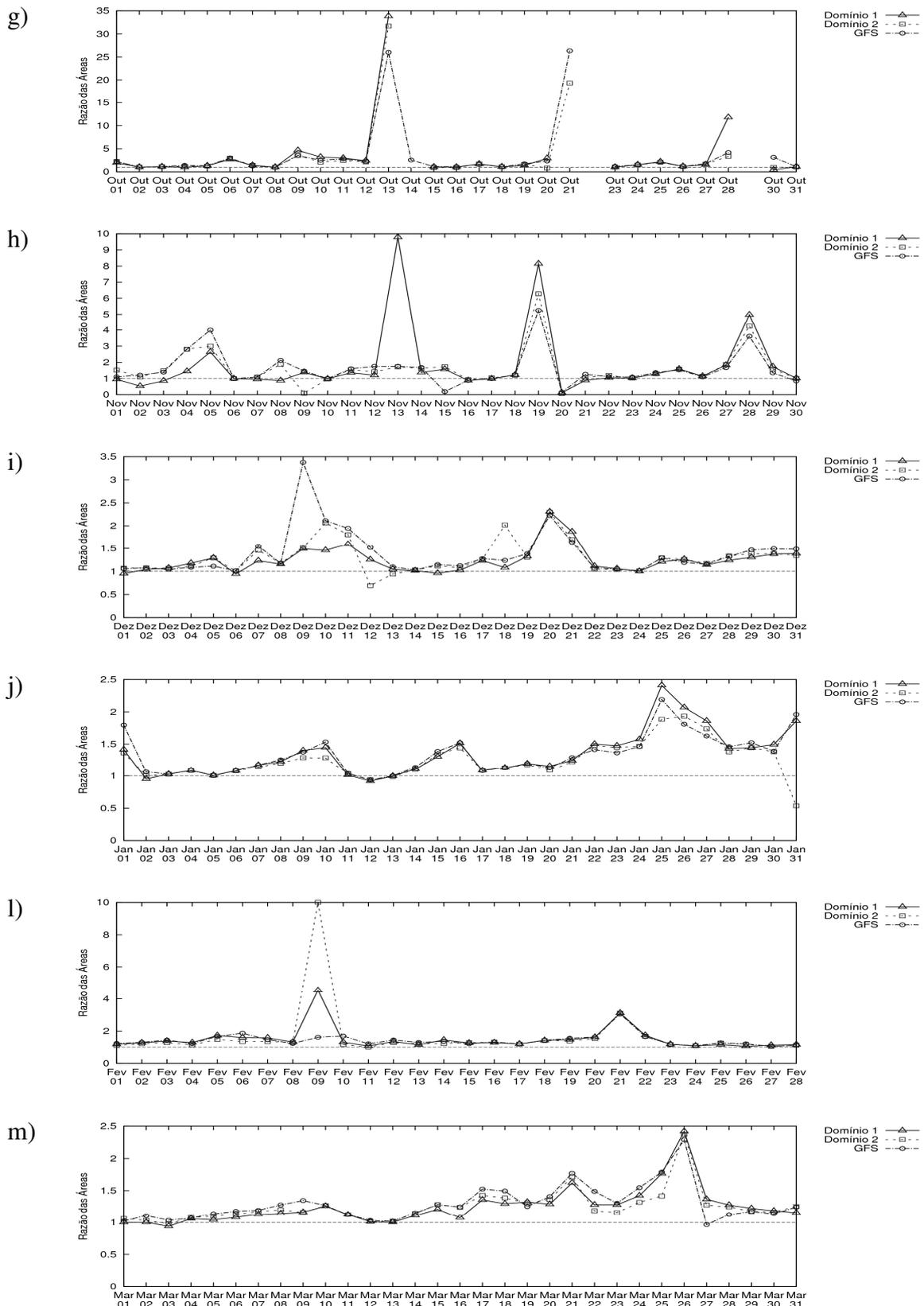


Figura B.1.2 – Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Áreas, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

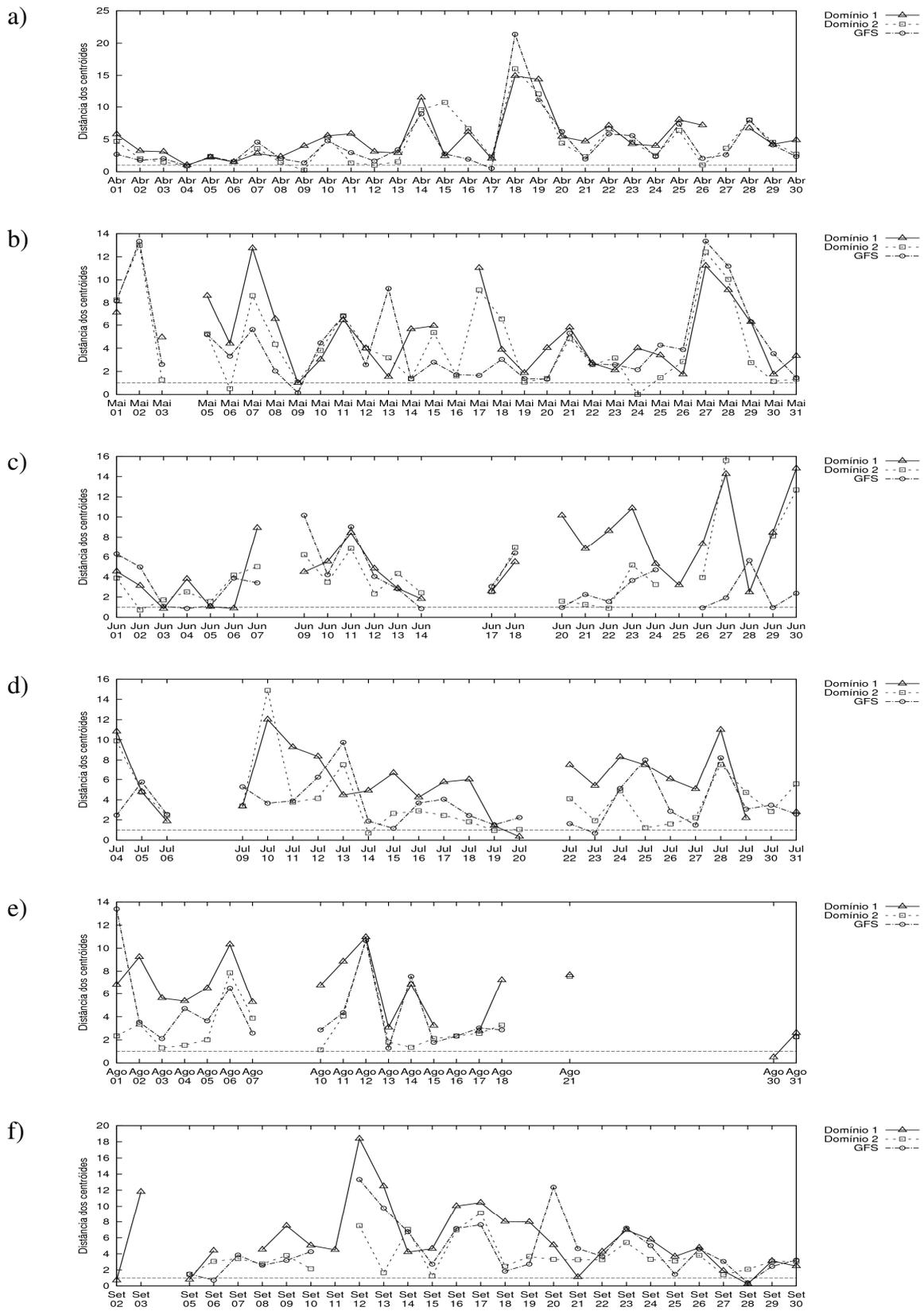


Figura B.2.1 – Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Distância dos Centróides, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

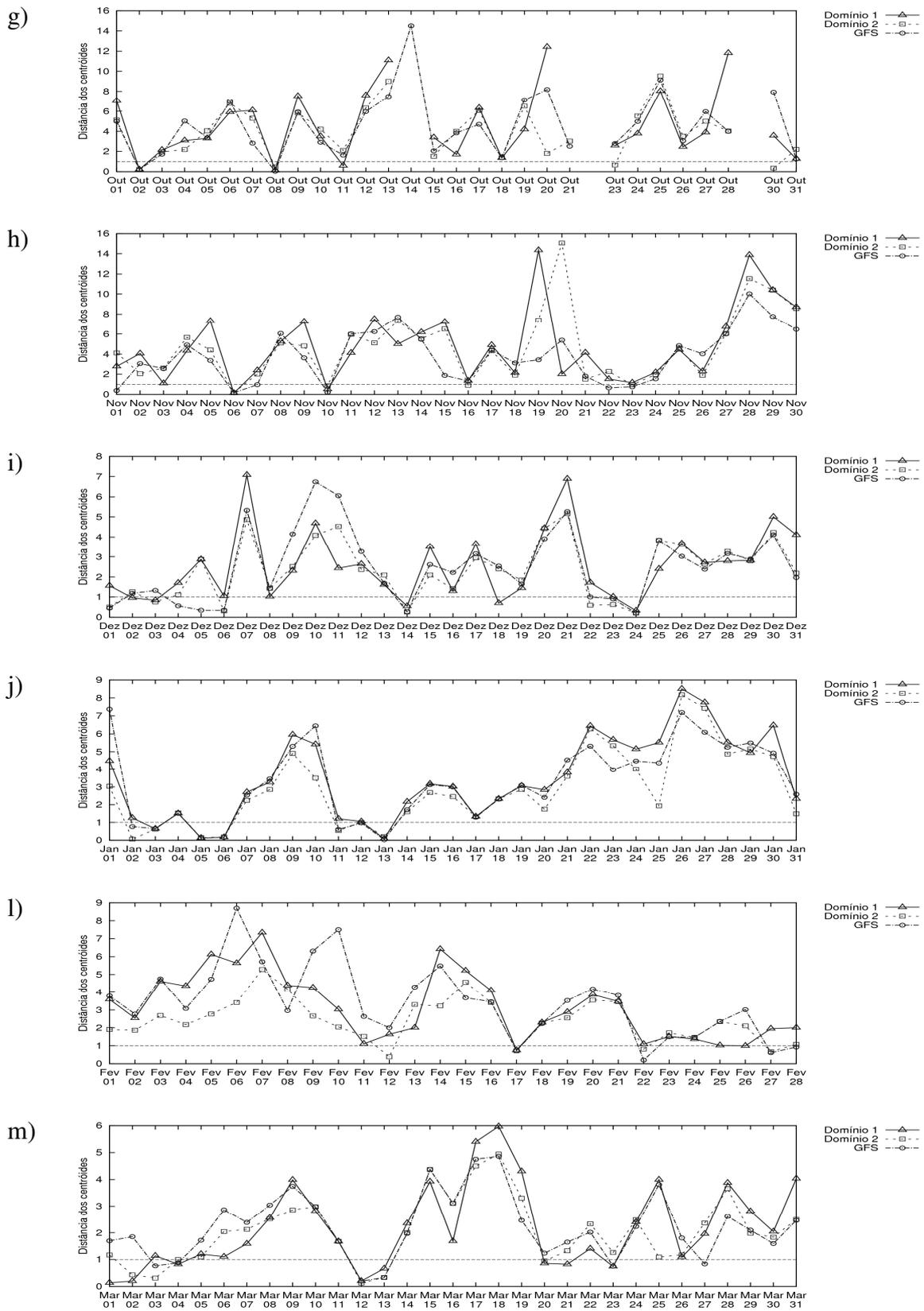


Figura B.2.2 – Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Distância dos Centróides, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

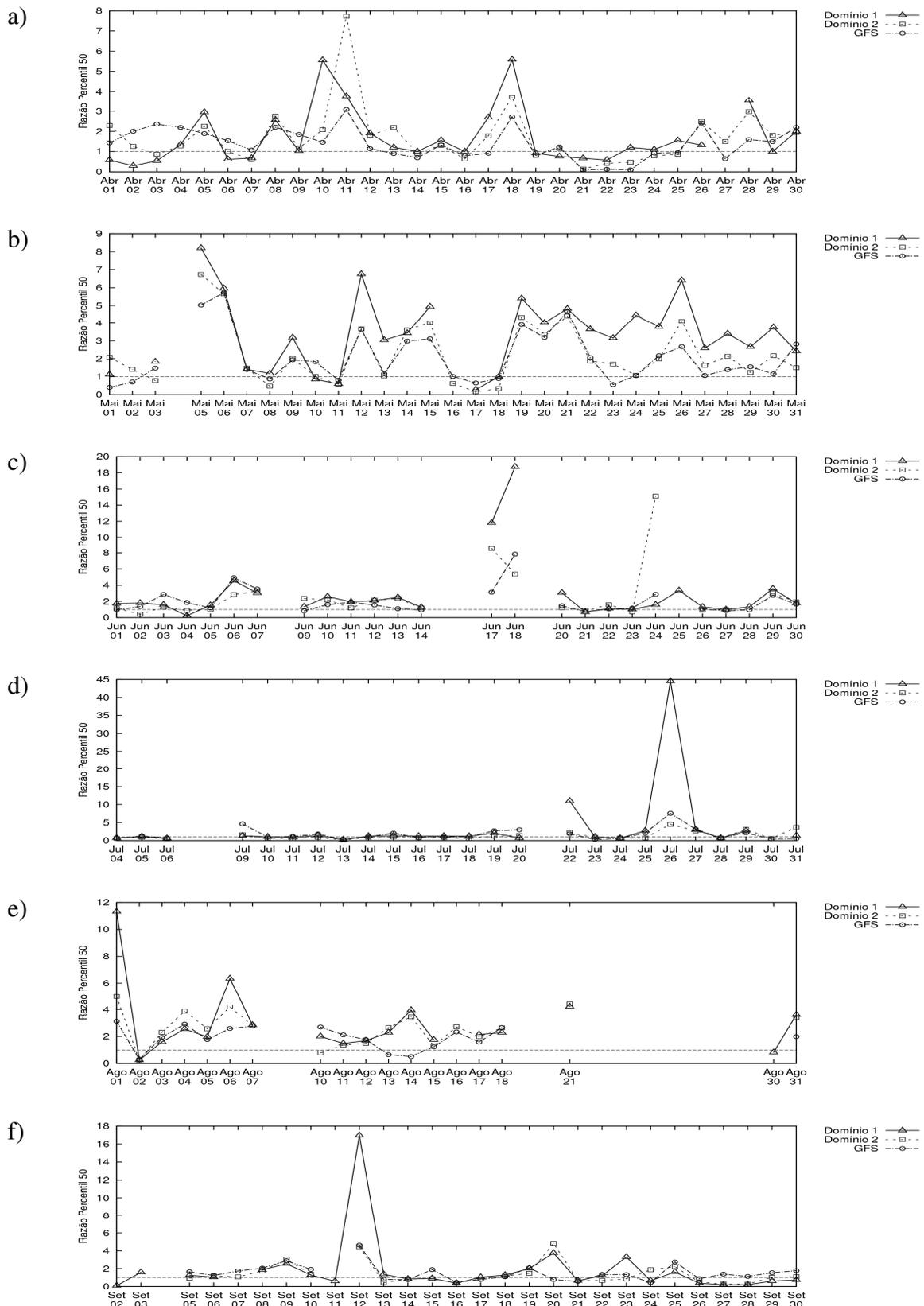


Figura B.3.1 – Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 50, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

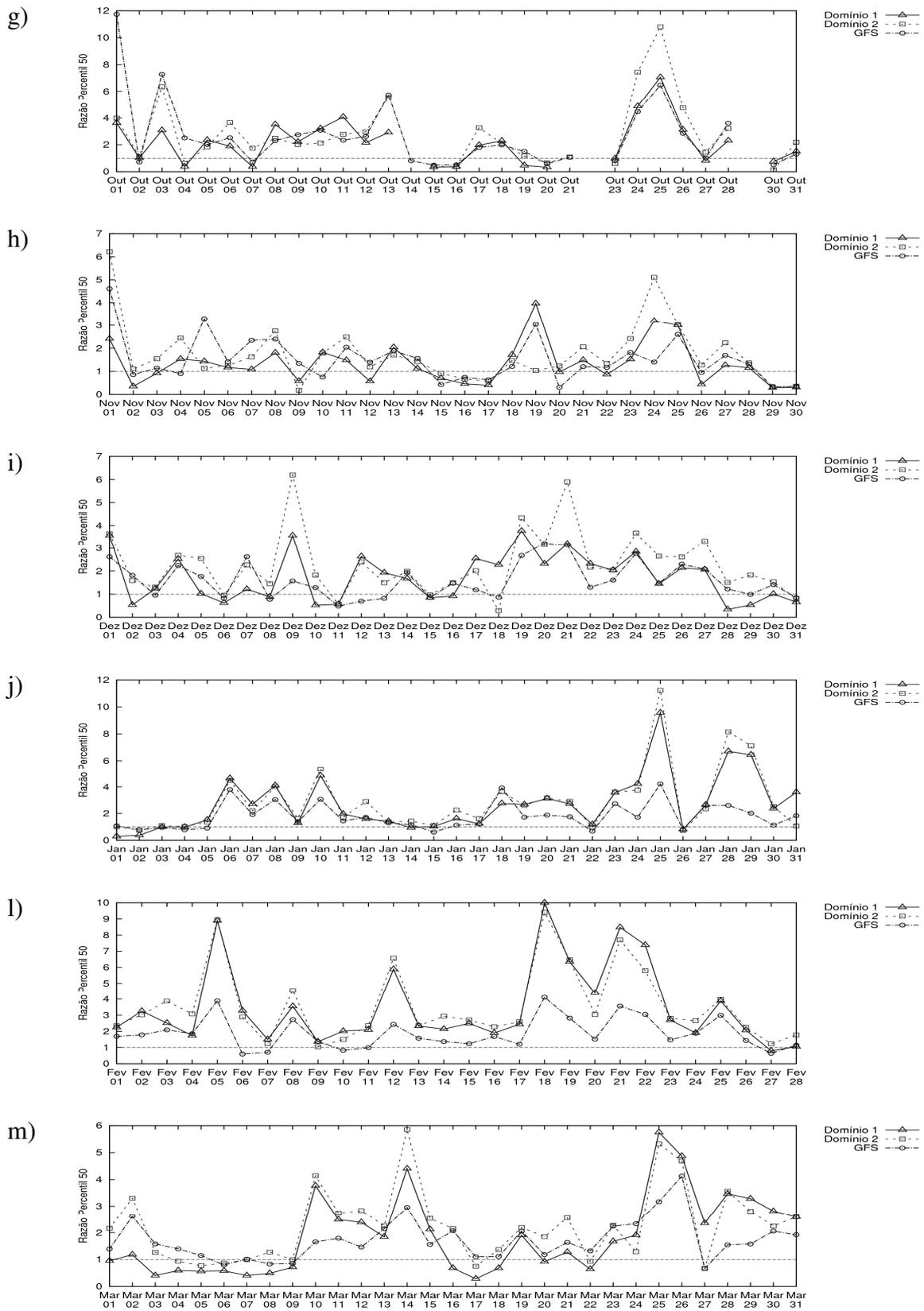


Figura B.3.2– Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 50, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

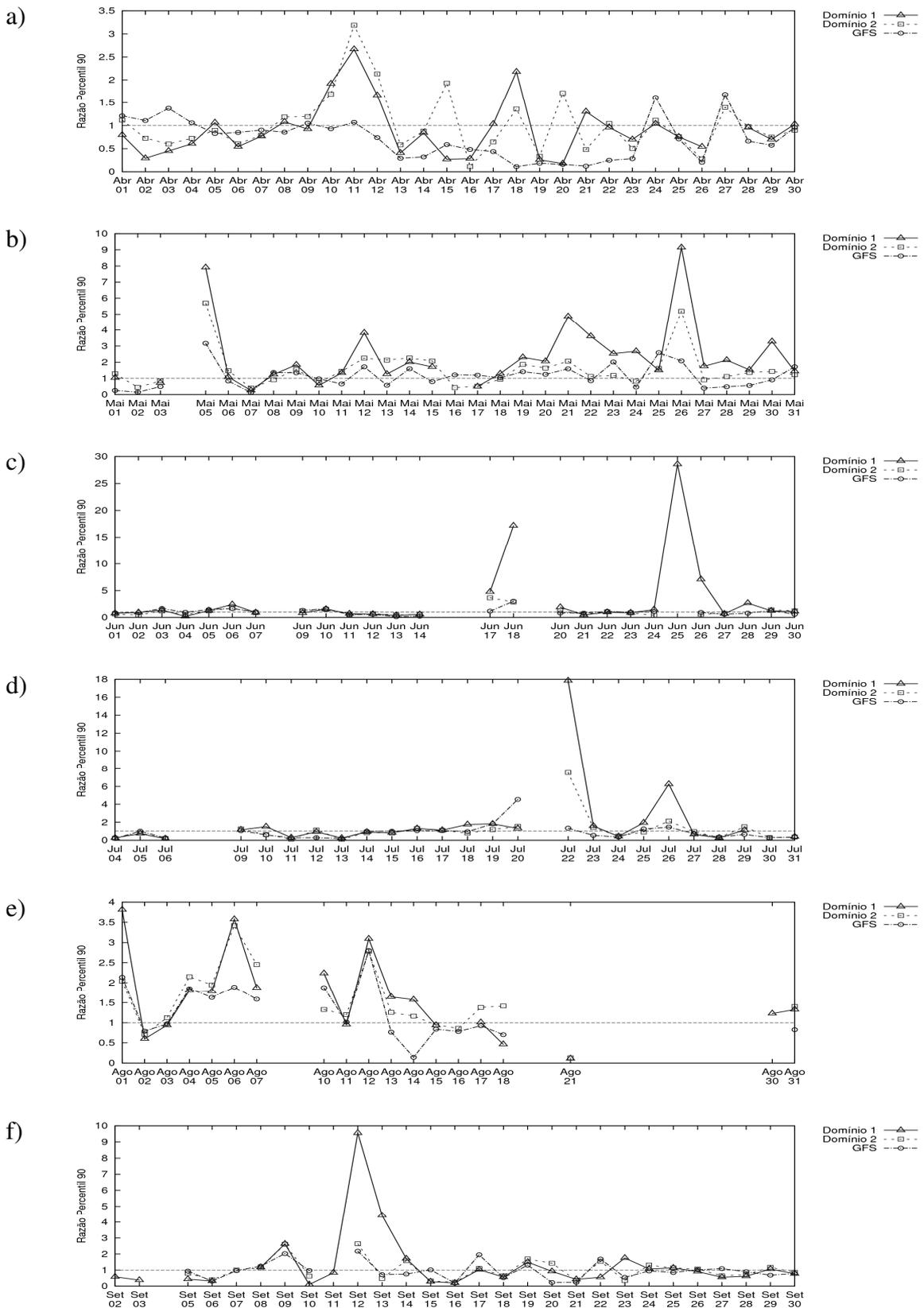


Figura B.4.1 – Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 90, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (a) Abril, (b) Maio (c) Junho, (d) Julho, (e) Agosto e (f) Setembro.

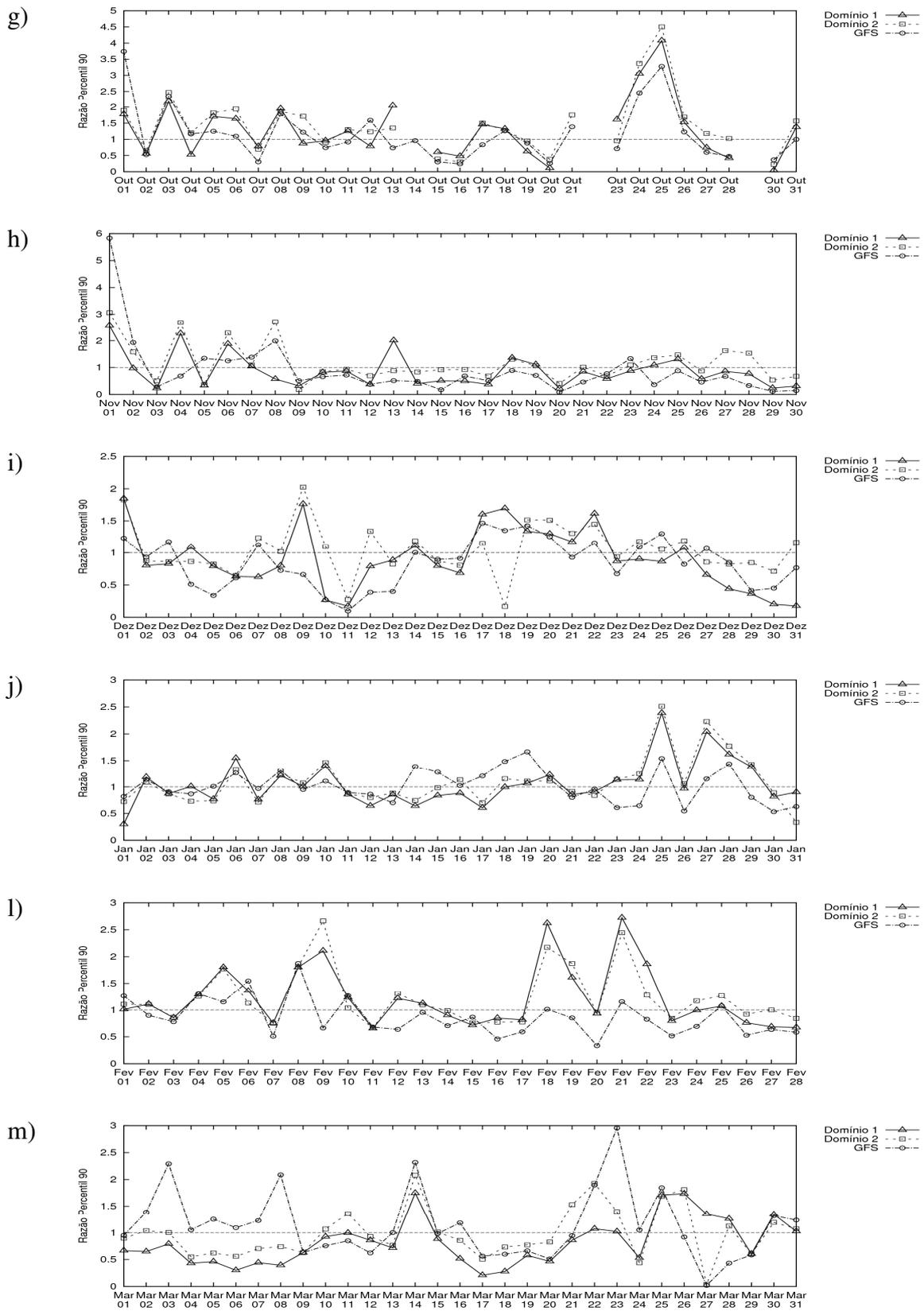


Figura B.4.2 – Evolução diária do índice estatístico sugerido pelo MODE de Razão de Percentil 90, para os modelos GFS e WRF nos domínios D1 e D2, na integração das 36 horas, (g) Outubro, (h) Novembro (i) Dezembro, (j) Janeiro, (l) Fevereiro e (m) Março.

Apêndice C – Avaliação mensal dos índices tradicionais e novos para a precipitação

Tabela C.1 - Avaliação da evolução diária dos índices estatísticos de verificação tradicional com relação aos pares de grade comparados entre campo previsto e observado para o mês de abril de 2010.

PA	<p>Melhores escores associados ao GFS e D2, com valores acima de 50 % em grande parte dos dias;</p> <p>Mesmo com o D1 apresentando índices inferiores, as saídas do D2 (que utiliza o D1 nas CI e CC) em alguns momentos apresentaram PA superior ao GFS.</p> <p>PA < 40 % no dia 28/04 para o GFS e WRF porque a área de precipitação prevista foi bem maior do que a área observada;</p> <p>No dia 18/04, D1 com PA ~30 %, devido à área de precipitação prevista ser maior que a observada, com o D2 apresentando melhora deste índice.</p>
ICS	<p>Melhores índices nos primeiros dias do mês ;</p> <p>Os valores menos significativos de PA e ICS entre os dias 13 a 21/04 associado a superestimativa de área de precipitação, com D1 apresentando índices menos significativos.</p>
VIÉS	<p>VIÉS > 1 em grande parte dos dias, para GFS, D1 e D2; com maiores valores entre 13 e 21/04;</p> <p>Apesar da pouca PA dos modelos em prever a ocorrência de chuva ou a não chuva, principalmente para o D1, nos dias 18 e 28/04, maiores valores de VIÉS ocorrem no dia 18/04 (VIÉS ~18) porque a razão de área entre precipitação prevista e observada é maior nesse dia..</p>
PD	<p>PD > 80 % para o GFS e D2; PD > 70 % para o D1 (exceto 10/04);</p> <p>Apesar de PA menos significativa nos dias 25, 26,28 e 29 a PD assume valores representativos.</p>
RFA	<p>Melhores índices de RFA para GFS e D2;</p> <p>RFA com valores baixos no início do mês, portanto a chuva prevista ocorreu;</p> <p>Entre os dias 13 e 21/04 RFA > 50 %, coincidindo com o período de maior VIÉS.</p>

Tabela C.2 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de maio de 2010.

PA	Índice de PA > 60 % em grande parte dos dias; exceto 05,06, 07, 26, 27 e 28/05 GFS com melhor desempenho de PA, seguido pelo D2 e D1, respectivamente.
ICS	ICS ~1 nos dias 09 e 19/05 - chuva abrangendo praticamente todo o domínio; GFS com tendência de apresentar os melhores escores.
VIÉS	GFS, D1 e D2 com VIÉS > 1; D1 apresentando maiores superestimativas (VIÉS máximo = 12) nos dias 06, 15 e 16/05. Dias 06 e 26/05 PA pouco significativo.
PD	Baixos valores de PD nos dias 04 e 16/05 coincidem com baixos valores de ICS; 04/05 ICS e PD = 0 para GFS e WRF porque o evento de chuva foi deslocado em relação ao observado; o mesmo padrão se repete para o D1 no dia 16/05, enquanto que o GFS e D2 apresentam índice de PD.
RFA	GFS e D2 com melhores índices; RFA =1 para GFS, D1 e D2 no dia 04/05 - evento de chuva é deslocado em relação ao observado.

Tabela C.3 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de junho de 2010.

PA	<p>PA > 60 % para GFS e D2;</p> <p>16 e 19/06 PA > 90% para GFS e D2 – dias sem chuva observada. GFS não prevê chuva, enquanto que o WRF coloca chuva, com maior área associada ao D1 (PA menor).</p> <p>PA < 60 % para D1 em 21, 22, 23/06 - superestimativa e deslocamento da chuva.</p>
ICS	<p>25 e 28/06 ICS = 0 para GFS e D2 – chuva deslocada em relação ao observado, D1 apresenta pequeno ICS- localizou melhor o evento de chuva porém com VIÉS maior.</p>
VIÉS	<p>Tendência VIÉS > 1; maiores valores associados ao D1, com máximo VIÉS = 60;</p> <p>Entre 26 e 30/06 superestimativa crescente para GFS, D2 e D1 com valores na ordem de 10/20/50 unidade de grade.</p>
PD	<p>21 a 24/06 GFS e D2 PD > 60%; menores índices de PD do D1 decorrem do deslocamento dos eventos de chuva.</p>
RFA	<p>16 e 19/06 RFA sem significância para D1 e D2 – chuva prevista não foi observada.</p>

Tabela C.4 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de julho de 2010.

PA	PA > 60 % para o GFS e D2, exceto no dia 13/07.
ICS	Melhores escores associados ao GFS e D2 - eventos observados de grande abrangência espacial; ICS = 0 em 01, 03, 07 e 08/07 - evento previsto deslocado em relação ao observado; ICS = 0 em 02 e 21/07 – evento de chuva prevista (exceto para o GFS) porém não observado; Baixos valores de ICS em 26 e 29/07 – área prevista maior que a observada.
VIÉS	D1 com maior VIÉS- valor máximo na ordem de 30 unidades de grade; 13 a 20/07 melhores escores de VIÉS, para GFS, D1 e D2 – área observada em superfície de grande abrangência espacial
PD	Assim como ICS, a PD = 0 nos dias 01, 03, 07 e 08/07 para os três modelos e para o dia 30/07 para o D1.
RFA	RFA apresenta menores escores associados a dias nos quais teve-se maiores/menores valores de VIÉS/ICS, respectivamente.

Tabela C.5 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de agosto de 2010.

PA	PA > 60 % para GFS e D2; com D1 apresentando PA por vezes 20 % inferior ao GFS e D2 – superestima a área de precipitação;
ICS	Maiores valores de ICS associados ao GFS e D2; 20 a 31/08 apesar de PA significativo, ICS = 0 – trata-se de eventos de pequena abrangência espacial, de modo que eventos de chuva prevista (quando observados) foram deslocados com relação ao observado.
VIÉS	Tendência de VIÉS > 1; Concordando com PA e ICS entre 02 a 07/08 o melhor desempenho do D2 em se comparado ao GFS devido a maior superestimativa de área associada ao GFS; Maior VIÉS = 40 (unidades de grade) para os três modelos no dia 12/08 – área de precipitação observada é pequena.
PD	PD = 0, para GFS e WRF nos dias em que o evento observado foi de pequena abrangência espacial de modo que quando previsto o evento, este foi deslocado.
RFA	RFA = 1 quando os modelos previram chuva e esta não foi observada ou, quando prevista esta foi deslocada. Trata-se de dias em que o evento observado apresenta pequena cobertura espacial.

Tabela C.6 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de setembro de 2010.

PA	GFS e D2 PA > 60 %
ICS	Menores escores associados a eventos em que não foi observada chuva, ou quando observada, apresentou cobertura espacial pequena, de modo que, os modelos deslocaram a mesma.
VIÉS	VIÉS com tendência de superestimar a área de precipitação; Maiores superestimativas associadas aos dias de eventos de pequena abrangência espacial, a exemplo do que ocorre em 12/09 - VIÉS da ordem de 10/20/70 (unidades de grade) para D2/GFS/D1, respectivamente.
PD	GFS e D2 com melhores escores de PD; D1 com melhores escores apenas quando o n° de grades em que não foi prevista chuva porém esta foi observada (índice c), é menor em comparação ao GFS e D2.
RFA	RFA com menores escores associados ao D1 – maiores superestimativas de área; RFA = 0 em dias nos quais não foi observada chuva ou quando observada, foi de pequena abrangência espacial.

Tabela C.7 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de outubro de 2010.

PA	02 e 08/10 PA = 100 % para GFS, D1 e D2 – evento de precipitação abrange todo o domínio; GFS e D1 PA > 50 %.
ICS	02 e 08/10 ICS = 1; 13, 14, 21, 22, 28, 29/10 ICS do GFS, D1 e D2 de pouca significância - eventos observados de pequena abrangência espacial sendo superestimados e deslocados pelos modelos (exceto dia 29/10, em que o evento previsto, não foi observado).
VIÉS	Tendência de VIÉS > 1; Maiores valores de VIÉS nos dias em que ICS foi pouco significativo.
PD	GFS melhores escores de PD; 21/10 GFS e D2 com PD = 100 % enquanto que D1 tem PD = 0 % - deslocou o evento de chuva; 22/10 GFS, D2, D1 com PD = 0 % - evento previsto deslocado com relação ao observado; 14/10 GFS, D1 e D2 com PD pequena – pequena sobreposição das áreas de precipitação prevista e observada. PA mais significativo - dias em que o evento previsto teve maior abrangência espacial.
RFA	RFA satisfatório nos dias 02 e 08/10; RFA com menores escores nos dias em que ICS teve pouca/nenhuma significância.

Tabela C.8 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de novembro de 2010.

PA	GFS e D2 melhores escores de PA.
ICS	GFS e D2 melhores escores de ICS Menores escores de ICS nos dias 19 e 20/11 – superestimativa/superestimativa de área respectivamente.
VIÉS	Tendência de VIÉS > 1, exceto 20/11; 27 a 30/11 maior superestimativa do D2 em comparação ao GFS concorda com os menores escores de ICS e PA; VIÉS máximo da ordem de 16/10/9 para D1/D2/GFS no dia 19/11 – evento observado em superfície de pequena abrangência espacial;
PD	PD mais significativo para GFS e D2; Pequeno escore de PD no dia 20/11, ocorre para um evento de subestimativa para os três modelos.
RFA	Melhores escores de RFA associados ao GFS e D2; 19 e 20/11 menor desempenho do índice RFA.

Tabela C.9 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de dezembro de 2010.

PA	GFS, D1 e D2 com índice de PA próximos, com D1 apresentando escore um pouco inferior em alguns dias.
ICS	GFS e D2 com melhores escores de ICS; 10/09 ICS pouco significativo para GFS, D1 e D2 apesar de apresentarem PA ~ 50 %.
VIÉS	Tendência de VIÉS >1; porém com pequena magnitude de superestimativa (VIÉS máximo da ordem de 2 unidades de grade); GFS com maiores valores de superestimativa.
PD	GFS e D2 com melhores escores de PD > 80 %.
RFA	Melhor desempenho de RFA associado a dias nos quais o evento de chuva observada abrangem praticamente todo o domínio espacial considerado; RFA ~0 em 06, 14 e 24/12 – concordando com os melhores escores de PA, ICS, VIÉS e PA.

Tabela C.10 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de janeiro de 2011.

PA	GFS e D2 melhores escores de PA; 01 a 22/01 PA > 60 % para os três modelos (exceto no dia 01/01 para GFS); A partir de 22/01 perda na previsibilidade, com menores escores associados ao D1 – dias nos quais os eventos observados apresentaram menor área de cobertura espacial.
ICS	22 a 31/01 menores escores de ICS (concordando com PA), exceto 25/01 ICS ~0.
VIÉS	Tendência de VIÉS > 1; 22 a 31/01 maiores superestimativas – Viés máximo da ordem de 3 unidades de grade.
PD	PD > 85 %; GFS e D2 com melhores escores – PD > 90 %; 22 a 31/01 o menor desempenho da PA com relação ao D1 concorda com os menores escores de PA, ICS e VIÉS.
RFA	22 a 31/01 maiores valores de RFA para os três modelos - RFA máximo = 70% no dia 25/01.

Tabela C.11 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de fevereiro de 2011.

PA	GFS e D2 melhores escores de PA; 21/02 PA ~ 20 % - evento de precipitação observada tem pequena abrangência espacial.
ICS	21/02 ICS ~20 %
VIÉS	Tendência de VIÉS > 1; 21/02 maiores superestimativas (da ordem de 4 unidades de grade)
PD	PD > 80 %, porém com D1 apresentando escores inferiores ao GFS e D2; 21/02 PD > 98 % apesar do pouco desempenho com relação a PA, ICS e VIÉS - como os três modelos superestimaram a abrangência do evento de precipitação, este foi previsto em todos os locais nos quais foi observado, logo PD foi máximo.
RFA	21/02 RFA de pouco escore.

Tabela C.12 – Idem Tabela C.1, porém para o mês de março de 2011.

PA	Grande parte dos dias PA > 60 %; PA com melhores escores em dias nos quais o evento observado foi de maior abrangência espacial.
ICS	Menores escores de ICS nos dias em que PA também assume valores menores.
VIÉS	Tendência de VIÉS > 1; 26/03 maiores superestimativas - da ordem de 3 unidade de grade, coincidindo com os menores escores de PA e ICS.
PD	PD com melhor desempenho para GFS – maior superestimativa de área associada.
RFA	Menores escores de RFA associados aos maiores valores de VIÉS.

Apêndice D – Avaliação mensal dos índices novos para a precipitação.

Tabela D.1 - Avaliação da evolução diária dos índices estatísticos baseados na avaliação do primeiro par de polígonos identificado e comparado entre campo previsto e observado para o mês de abril de 2010.

RA	Tendência de $RA > 1$; 01/04 par de polígonos comparado entre GFS difere do par comparado em D1 e D2; 18/04 superestimativa de área na ordem de 10/12/14 unidades de grade para D2/GFS/D1 – área do polígono observado foi pequena.
DC	GFS e D2 com menores valores; 18/04 maiores valores de DC, na ordem de 15/15/20 para D1/D2/GFS – maior valor do GFS porque o polígono observado é composto por objetos diferentes do D1 e D2.
RP50	Tendência de $RP50 > 1$; Por vezes RP50 do D1 e D2 superior ao GFS.
RP90	Tendência de $RP90 < 1$ para o GFS; $RP90 < 1$ e > 1 para D1 e D2.

Tabela D.2 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de maio de 2010.

RA	Tendência de $RA > 1$, maiores superestimativas associadas as D1;
DC	25 a 30/05 GFS com maiores valores de DC, apesar dos menores valores de RA se comparado ao D1 e D2; 13/05 DC distintas entre os modelos - pares de polígonos comparados diferem com relação aos três modelos.
RP50	Tendência de $RP50 > 1$; maiores superestimativas associadas ao D1 com máximo na ordem de 8 unidades de grade no dia 05/05.
RP90	Tendência de $RP90 > 1$; GFS/D1 com menores/maiores valores de superestimativa.

Tabela D.3 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de junho de 2010.

RA	Tendência de $RA > 1$; D1 e D2 com maiores superestimativas; 25 a 30/06 D1 superestima muito a área do polígono previsto – RA máxima = 25.
DC	20 a 30/06 D1 maiores valores de DC coincidindo com as maiores RA.
RP50	Tendência de $RP50 > 1$; 17 e 18/06 superestimativas significativas com valores da ordem de 3/8/12 e 8/6/18 com relação ao GFS/D2/D1, respectivamente; 23/06 maior superestimativa associada ao D2 ($RP50 = 14$) – par de polígonos comparados difere do par comparado nas previsões do GFS e D1.
RP90	Tendência de $RP90 > 1$; 25/06 apenas D1 com $RP90$ ($RP90 = 30$) – apenas a simulação do D1 identificou par de polígonos. GFS e D2 deslocaram o evento previsto em relação ao observado. 18/06 $RP90 = 3/3/17$ com relação ao GFS/D2/D1.

Tabela D.4 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de julho de 2010.

RA	Tendência de $RA > 1$; 22 a 29/07 D1 com maiores superestimativas de RA.
DC	D1 com maiores valores de DC concordando em parte com os maiores valores de RA associados ao D1; 04/07 maiores valores de DC do D1 e D2 associados aos maiores valores de RA; 10/07 par de polígonos comparados entre D1 e D2 difere do par comparado no GFS; D1 e D2 com maiores valores de DC, na ordem de 12 e 14 unidades de grade, respectivamente. 13/07 três modelos com padrão semelhante de $RA \sim 1$ porém, $DC = 10/8/4$ para GFS/D2/D1, respectivamente. 16 a 19/07 menores valores de DC associados ao D2, GFS, D1 respectivamente.
RP50	Tendência de $RP50 > 1$; 22 e 26/07 $RP50 = 10/2/2$ e $45/4/6$ D1 para D1/D2/GFS, respectivamente.
RP90	Tendência de $RP90 > 1$; 22 e 26/07 $RP90 = 18/2/2$ e $6/2/2$ D1 para D1/D2/GFS, respectivamente. Maiores superestimativas de $RP90$ associado aos maiores valores de RA.

Tabela D.5 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de agosto de 2010.

RA	<p>Tendência de $RA > 1$;</p> <p>12/08 superestimativa significativa, $RA = 22$ para os três modelos comparados – área do polígono observado bastante pequena.</p> <p>18/08 $RA = 15/1/1$ para D1/D2/GFS – par de polígonos do D1 difere do GFS e D2.</p> <p>31/08 $RA = 20/10/10$ para D1/D2/GFS.</p>
DC	<p>D1 com maiores valores de DC (valor máximo = 10);</p> <p>01/08 GFS com maior DC; $DC = 14/7/2$ para GFS/D1/D2 concordando com os maiores valores de RA para GFS, D1 e D2, respectivamente;</p> <p>12/08 três modelos com DC significativa = 10.</p>
RP50	<p>Tendência de $RP50 > 1$;</p> <p>01/08 D1 com maior RP50; $RP50 = 12/5/3$ para D1/D2/GFS.</p>
RP90	<p>Tendência de $RP90 > 1$;</p> <p>01/08 D1 com maior RP90; $RP90 = 4/2/2$ para D1/D2/GFS.</p>

Tabela D.6 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de setembro de 2010.

RA	<p>Tendência de $RA > 1$;</p> <p>12/09 superestimativa significativa para os três modelos, $RA = 40/15/5$ para D1/GFS/D2 – polígono observado de pequena abrangência espacial.</p>
DC	<p>D1 com maiores valores de DC (valor máximo = 19 no dia 12/09);</p>
RP50	<p>Tendência de $RP50 > 1$ entre os dias 05 a 10/09 principalmente com relação ao GFS;</p> <p>Tendência de $RP50 < 1$ a partir do dia 13/09 para os três modelos;</p> <p>12/09 D1 com maior RP50; $RP50 = 17/4/4$ para D1/D2/GFS.</p>
RP90	<p>Alternância de dias com $RP90 > 1$ e $RP90 < 1$;</p> <p>12/09 D1 com maior RP90; $RP90 = 10/2/2$ para D1/D2/GFS.</p>

Tabela D.7 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de outubro de 2010.

RA	Tendência de $RA > 1$; 13/10 superestimativa significativa para os três modelos, $RA = 35/32/25$ para D1/D2/GFS – polígono observado de pequena abrangência espacial; 21/10 superestimativa significativa para GFS e D2, $RA = 25/20$, respectivamente (D1 sem par de polígonos sendo comparado).
DC	Maior valor de DC em 14/10 para GFS ($DC = 15$), apesar do pequeno valor de RA (polígonos previsto e observado de pequena abrangência espacial). D1 e D2 sem polígonos identificados;
RP50	Tendência de $RP50 > 1$; 01/10 maior valor de RP50 para GFS, $RP50 = 12/4/4$ para GFS/D1/D2; 25/10 maiores valores de RP90 = 11/6/5 para D2/D1/GFS;
RP90	Tendência de $RP90 > 1$ e por vezes $RP90 < 1$; 01/10 $RP90 = 4/2/2$ GFS/D1/D2; 25/10 maiores valores de $RP90 = 4/4/3$ para D2/D1/GFS.

Tabela D.8 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de novembro de 2010.

RA	Tendência de $RA > 1$; 01 a 06/11 D1 apresentou valores de RA inferiores as GFS e D2 ($RA < 1$ do D1 nos três primeiros dias); 13/11 $>$ superestimativa D1 = 10 (par polígono comparado difere do GFS e D2) 19 e 28/11 grandes superestimativas para os três modelos, da ordem de 8/6/5 e 5/4/3 para D1/D2/GFS, respectivamente.
DC	Maior valor de DC em 20/11 para D2 ($DC = 15$), $DC = 5/2$ para GFS/D1; com $RA < 1$ para os três modelos; 19 e 28/11 $DC = 15/8/4$ e 14/12/10 para D1/D2/GFS.
RP50	Tendência da $RP50 > 1$; 01/11 maiores superestimativas para os três modelos. $RP50 = 6/5/3$ para D2/GFS/D1;
RP90	Tendência da $RP90 < 1$; 01/11 maiores superestimativas para os três modelos. $RP90 = 6/3/3$ para GFS/D2/D1;

Tabela D.9 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de dezembro de 2010.

RA	Tendência de $RA > 1$; 09/12 GFS maior RA, $RA = 3/2/2$ para GFS/D1/D2 – par de polígonos comparado no GFS difere do par comparado em D1/D2; padrão semelhante ocorre para dia 18/12, com relação ao D2 com $RA = 2/1/1$ para D2/D1/GFS; 20/12 três modelos com grande superestimativa, da ordem de 2 unidades de grade.
DC	Maiores valores de DC para D1 nos dias 07 e 21/12, $DC = 7/5/5$ para D1/D2/GFS nos dois dias; 08 a 12/12 GFS com valores de DC maiores do que D1 e D2, coincidindo com os maiores valores de RA.
RP50	Tendência de $RP50 > 1$; Maiores valores de RP50 para o D2 nos dias 09 e 21/12, $RP50 = 6/3/1$ e $6/3/3$ para D2/D1/GFS. Porém par de polígonos comparados para D1 e D2 é diferente do par comparado no GFS.
RP90	Tendência de $RP90 > 1$ e $RP90 < 1$; Maiores valores de RP90 para o D2 no dia 09/12, $RP90 = 2/2/-0,7$ para D2/D1/GFS.

Tabela D.10 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de janeiro de 2011.

RA	Tendência de $RA > 1$; 25/01 maiores valores de RA, $RA = 2,4/2,2/2$ para D1/GFS/D2.
DC	26/01 maior valor de DC, $DC = 9/8/7$ para D1/D2/GFS.
RP50	Tendência de $RP50 > 1$; GFS apresentando valores de intensidade mais próximos ao observado, com D1 e D2 apresentando um viés positivo de intensidade em comparação a RP50 do GFS; 25 e 28/01 maiores valores de RP50 para D2, $RP50 = 12/10/4$ e $9/7/3$ para D2/D1/GFS.
RP90	Tendência de $RP90 > 1$ e < 1 ; 18 e 21/01 maiores valores de RP90 para D1, $RP90 = 3$.

Tabela D.11 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de fevereiro de 2011.

RA	<p>RA > 1;</p> <p>09/02 maiores valores de RA para D2 e D1, RA = 10/5, respectivamente – pares dos polígonos comparados diferem do par comparado para o GFS;</p> <p>21/02 maior valor de RA para GFS, D1 e D2, RA da ordem de 3 unidades de grade.</p>
DC	<p>GFS e D1 maiores valores de DC;</p> <p>Entre 01/ a 14/02 D2 com menores valores de DC exceto, 08 e 13/02;</p> <p>Máximo valor de DC 06/02 para o GFS, DC = 9/6/3 para GFS/D1/D2.</p>
RP50	<p>Tendência de RP50 > 1;</p> <p>GFS apresentando valores de intensidade mais próximos ao observado, com D1 e D2 apresentando um viés positivo de intensidade em comparação a RP50 do GFS;</p> <p>05, 12, 18 e 21/02 maiores valores de RP50 para D1 e D2, RP50 = 9/9, 6/6, 10/10, 8/8.</p>
RP90	<p>Tendência de RP90 > 1 e RP90 < 1;</p> <p>18 a 21/02 RP90 < 1 para o GFS e RP90 >1 para D1 e D2 valor máximo da ordem de 3 unidades de grade para o D1.</p>

Tabela D.12 – Idem Tabela D.1, porém para o mês de março de 2011.

RA	<p>Tendência de RA > 1, com valores maiores associados ao GFS em alguns dias;</p> <p>26/03 máximo valor de RA, da ordem de 2 unidades de grade para os três modelos.</p>
DC	<p>18/06 maior valor de DC = 6 para D1, GFS e D2 com DC = 5;</p> <p>01 a 09/03 D1 com menores DC se comparado ao D2, coincidindo com menores valores de RA associadas ao D1.</p>
RP50	<p>01 a 09/03 GFS com RP50 >1 enquanto que D1 e D2 assumem valores de superestimativa inferiores e por vezes RP50 < 1.</p>
RP90	<p>RP90 > 1 e RP90 > 1;</p> <p>01 a 09/03 Persistência do padrão de RP90 > 1 para GFS e RP90 < 1 para D1 e D2.</p>