

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

RUBINEI DORNELES MACHADO

**Avaliação de previsões climáticas sazonais sobre o Brasil e a dependência na
parametrização de convecção**

**São Paulo
2008**

RUBINEI DORNELES MACHADO

Avaliação de previsões climáticas sazonais sobre o Brasil e a dependência na parametrização de convecção

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

Orientadora: Rosmeri Porfírio da Rocha

São Paulo
2008

FOLHA DE APROVAÇÃO

Rubinei Dorneles Machado

Avaliação de previsões climáticas sazonais sobre o Brasil e a dependência na parametrização de convecção.

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

Aprovado em:

Banca examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Cecília e Rubinei, pela dedicação e investimento na minha educação, carinho, incentivo, amizade, ambos fundamentais para a formação do meu caráter e sucesso em todas as etapas da minha vida.

"Ninguém nasce odiando outra pessoa pela cor de sua pele, por sua origem ou ainda por sua religião. Para odiar as pessoas, as próprias pessoas precisam aprender; e, se podem aprender a odiar, podem ser ensinadas a amar".

(Nelson Mandela)

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha pela proposta, paciência e tempo despendido para acompanhar o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos José Guilherme Martins, Jonathan Mota da Silva e Santiago Cuadra pela ajuda e discussões indispensáveis durante este período de estudo.

Aos meus tios Rudinei Machado, Nailê Machado e Sérgio Dornelles que me proporcionaram inúmeros finais de semana junto aos meus pais, irmãos Ronei e Letícia e ao meu bebê Caio.

À Suélen Saraiva que me compreende, acompanha e incentiva desde o início da minha vida acadêmica na Meteorologia.

Aos eternos amigos Anderson Spohr Nedel e Maurício Jonas Ferreira com os quais dividi meus melhores momentos nas cidades de São Paulo, Salvador e Florianópolis.

À minha amiga e confidente Samara Carbone e à Valéria Prando pela companhia durante diversas noites de estudo no IAG-USP.

À família Parras por ter me recebido de braços abertos em diversos almoços familiares.

Aos amigos gaúchos e nordestinos pela unidade, respeito e amizade.

Ao Laboratório GrEC pela disponibilização da infra-estrutura computacional e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos de informática e secretárias do Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG-USP pela atenção durante minha pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE SIGLAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO	23
1.1 Objetivos.....	29
2 METODOLOGIA	30
2.1 Descrição do Modelo Climático Regional – RegCM3.....	30
2.2 Condições iniciais e de fronteiras.....	34
2.3 Previsões Climáticas.....	34
2.4 Dados utilizados para avaliação.....	38
2.5 Metodologia da avaliação do Controle e do CPTEC/COLA.....	38
2.6 Metodologia da avaliação dos experimentos de sensibilidade.....	40
3 AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES GLOBAIS E REGIONAIS	44
3.1 Avaliações subjetivas.....	44
3.2 Avaliações objetivas.....	53
3.3 Avaliação do RegCM3 em relação a climatologia.....	64
4 EXPERIMENTOS DE SENSIBILIDADE	73

Sumário

4.1	Avaliação subjetiva	73
4.2	Avaliação objetiva	78
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 – Domínio utilizado e topografia (m) da América do Sul e em destaque os 8 subdomínios de avaliação das previsões.....40
- Figura 3.1 – Precipitação média (mm/dia) para o trimestre JJA de 2005: (a) análise do CPC, previsão do (b) RegCM3 e (c) CPTEC/COLA; e para o trimestre DJF de 2005/2006: (d) análise do CPC, previsão do (e) RegCM3 e (f) CPTEC/COLA;.....47
- Figura 3.2 – Vento médio (m/s) para o trimestre JJA de 2005: (a) análise do NCEP, previsão do (b) RegCM3 e (c) CPTEC/COLA; e para o trimestre DJF de 2005/2006: (d) análise do NCEP, previsão do (e) RegCM3 e (f) CPTEC/COLA;49
- Figura 3.3 – Temperatura média (°C) para o trimestre JJA de 2005: (a) análise do NCEP, previsão do (b) RegCM3 e (c) CPTEC/COLA; e para o trimestre DJF de 2005/2006: (d) análise do NCEP, previsão do (e) RegCM3 e (f) CPTEC/COLA;.....51
- Figura 3.4 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e previsões do RegCM3 e CPTEC/COLA para as áreas da (a) Amazônia Leste – AML, (b) Amazônia Sul – AMS, (c) Amazônia Norte – AMN e (d) Amazônia – AMZ.....54
- Figura 3.6 Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e do CPTEC/COLA para a área do Sudeste – SDE.....60

Figura 3.7 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e do CPTEC/COLA para a área de Minas Gerais – MGS.....	62
Figura 3.8 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e do CPTEC/COLA para a área Sul – SUL.....	63
Figura 3.9 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para as áreas da (a) Amazônia Leste – AML, (b) Amazônia Sul – AMS, (c) Amazônia Norte – AMN e (d) Amazônia – AMZ.....	66
Figura 3.10 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área do Nordeste – NDE.....	68
Figura 3.11 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área do Sudeste – SDE.	69
Figura 3.12 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área de Minas Gerais – MGS.....	71

Figura 3.13 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área Sul – SUL.....	72
Figura 4.1 – Precipitação média sazonal (mm/dia) para o trimestre DJF de 2005 da análise do CPC (a) e previsões com os experimentos de Controle (b), RegCMEM (c), RegCMGR (d) e RegCMAK (e).....	75
Figura 3 – Temperatura a 2 metros média sazonal (°C) para o trimestre DJF de 2005 da re-análise do NCEP (a) e previsões com os experimentos de Controle (b), RegCMEM (c), RegCMGR (d) e RegCMAK (e).	77
Figura 4.3 – Médias trimestrais dos experimentos de sensibilidade e <i>ensemble</i> para (a) precipitação contra análise do CPC e (b) temperatura do ar contra re-análise do NCEP na AML.....	79
Figura 4.4 – Idem à figura 4.2, mas para área AMS.....	86
Figura 4.5 – Idem à figura 4.2, mas para área AMN.	90
Figura 4.6 – Idem à figura 4.2, mas para área AMZ.....	93
Figura 4.7 – Idem à figura 4.2, mas para área NDE.....	98
Figura 4.8 – Idem à figura 4.2, mas para área SDE.....	102
Figura 4.9 – Idem à figura 4.2, mas para área MGS.	105
Figura 4.10 – Idem à figura 4.2, mas para área SUL.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características e configurações do experimento Controle.....	35
Tabela 2.2 – Previsões do experimento Controle realizadas com o RegCM3.....	36
Tabela 2.3 – Trimestres utilizados para realização dos experimentos de sensibilidade.	37
Tabela 2.4 – Experimentos numéricos utilizados e posteriormente discutidos nos resultados.....	37
Tabela 2.5 - Escore dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos experimentos de sensibilidade	43
Tabela 3.1 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA.....	55
Tabela 3.2 – Médias da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem <i>bias</i> (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA.	56
Tabela 3.3 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área NDE.	58

Tabela 3.4 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem <i>bias</i> frio (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área NDE.....	58
Tabela 3.5 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SDE.	60
Tabela 3.6 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem <i>bias</i> (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SDE.....	60
Tabela 3.7 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área MGS.	62
Tabela 3.8 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem <i>bias</i> (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área MGS.	62
Tabela 3.9 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SUL.....	64

Tabela 3.10 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem <i>bias</i> frio (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SUL.	64
Tabela 3.11 – Médias e coeficientes de eficiência (E' e E'_b) da precipitação e temperatura do ar para as 8 áreas de estudo.	66
Tabela 4.2 – Índices estatísticos (B: <i>bias</i> ; EA, erro absoluto; REQ; raiz quadrada do erro médio quadrático; R, razão entre os desvios padrões; r , coeficiente de correlação; E , coeficiente de eficiência; d , índice de concordância) e escore dos índices estatísticos dos experimentos de sensibilidade (RegCMAK, RegCMGR, RegCMEM, Controle) e <i>ensemble</i> para precipitação na área AML.	83
Tabela 4.3 – Idem à Tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AML.	84
Tabela 4.4 – Idem à tabela 4.2, mas para precipitação na área AMS.	88
Tabela 4.5 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AMS.	88
Tabela 4.6 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área AMN.	91
Tabela 4.7 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AMN.	91
Tabela 4.8 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área AMZ.	94
Tabela 4.9 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AMZ.	95
Tabela 4.10 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área NDE.	99

Tabela 4.11 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área NDE.....	100
Tabela 4.12 – Idem à tabela 4.2, mas para precipitação na área SDE.	103
Tabela 4.13 – Idem à tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área SDE.....	104
Tabela 4.14 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área MGS.	107
Tabela 4.15 – Idem a tabela 4.2, para temperatura do ar na área MGS.	108
Tabela 4.16 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área SUL.....	111
Tabela 4.17 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área SUL.	112

LISTA DE SIGLAS

AML	Amazônia Leste
AMN	Amazônia Norte
AMS	Amazônia Sul
AMZ	Amazônia
B	<i>bias</i>
BATS	Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme
CCM3	Community Climate Model 3
CCSR	Center for Climate Systems Research
COLA	Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
d	Índice de concordância
E	Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe
EA	Erro médio absoluto
Gas	Parametrização de Grell com fechamento de Arakawa-Schuerf
Gfc	Parametrização de Grell com fechamento de Fritsch-Chappell
GISS	Goddard Institute for Space Studies
GLCC	Global Land Cover Characterization
ITCP	International Center for Theoretical Physics
MCGAs	Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

MCRs	Modelos Climáticos Regionais
MGS	Minas Gerais
MM4/5	Mesoscale Model version 4/5
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers of Environmental Prediction
NDE	Nordeste
r	Correlação temporal
RegCM3	Regional Climate Model – version 3
RegCMAK	RegCM3 integrado com a parametrização de Kuo
RegCMEM	RegCM3 integrado com a parametrização de Emanuel
RegCMGR	RegCM3 integrado com a parametrização de Grell
REQ	Raiz quadrada do erro médio quadrático
$R\sigma$	Razão dos desvios padrão
SDE	Sudeste
SIHESP	Sistema Integrado de Hidrometeorologia no Estado de São Paulo
SUBEX	SUB-grid Explicit Moisture Scheme
SUL	Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
USGS	United States Geological Survey
UTC	Universal Time Coordinated
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

ZCPS Zona de Convergência do Pacífico Sul

RESUMO

Este trabalho avaliou o desempenho de previsões climáticas sobre o Brasil durante 27 trimestres utilizando o modelo regional climático RegCM3 (Regional Climate Model – version 3) aninhado ao modelo global CPTEC/COLA (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies). Experimentos de sensibilidade foram realizados para determinar a dependência destas previsões à parametrizações de convecção (Grell, Emanuel e Kuo). Médias trimestrais e índices estatísticos foram calculados em 8 áreas sobre o Brasil para avaliar objetivamente as previsões dos experimentos de sensibilidade e também do *ensemble* físico (média do conjunto dos experimentos). Os resultados mostraram que quando comparado às previsões do modelo global o experimento Controle (com o esquema convectivo de Grell) previu com mais eficiência a chuva trimestral da análise do CPC (Climate Prediction Center), exceto na área AMS (Amazônia Sul) onde o CPTEC/COLA revelou-se ligeiramente melhor preditor da precipitação que o RegCM3. Entretanto, o contrário foi obtido para previsões da temperatura do ar, onde quando comparado a re-análise do NCEP (National Centers of Environmental Prediction), apenas na área AMS as previsões do CPTEC/COLA foram inferiores ao RegCM3. A verificação objetiva das previsões climáticas em relação à climatologia revelou que o Controle previu a precipitação com melhor eficiência quando comparado a média climatológica trimestral, nas 8 áreas avaliadas. No entanto, para temperatura do ar o mesmo desempenho não foi obtido nas áreas MGS e AMS, onde o experimento Controle obteve valor negativo

para o coeficiente de eficiência E' . Isto indicou que a climatologia é superior ao Controle na previsão trimestral de temperatura do ar nestas duas áreas. Escores atribuídos aos índices estatísticos revelaram o desempenho das previsões de cada experimento de sensibilidade e do *ensemble* nas 8 áreas em relação as análises. O experimento Controle mostrou ser melhor preditor da chuva nas áreas AMN (Amazônia Norte), SDE (Sudeste) e SUL (Sul), no entanto não superou os demais experimentos e o *ensemble* na previsão da temperatura do ar. Constata-se também através dos escores que a média dos experimentos (*ensemble*) aumentou a qualidade das previsões da chuva nas áreas AMZ (Amazônia), AMS, AML (Amazônia leste) e NDE (Nordeste) e da temperatura do ar em MGS (Minas Gerais), SUL, AMZ, AMN e AMS. O experimento RegCMGR integrado com o mesmo esquema convectivo do Controle, porém em uma nova versão do RegCM3 revelou-se como melhor preditor da chuva na área MGS, porém não de temperatura do ar. Em nenhuma das 8 áreas avaliadas o RegCMEM (experimento que utilizou a parametrização convectiva de Emanuel) e RegCMAK (experimento com esquema convectivo de Kuo) foram mais eficientes do que os demais experimentos e o *ensemble* para prever a chuva da análise do CPC. No entanto, para previsões de temperatura do ar no NDE e SDE os melhores resultados foram obtidos com o RegCMEM, enquanto que na área AML o RegCMAK revelou maior eficiência em prever a temperatura do ar da re-análise. De maneira geral, o experimento Controle ou o *ensemble* seriam melhores preditores de chuva trimestral na maior parte do Brasil. O mesmo é obtido para temperatura do ar quando remove-se o erro sistemático (*bias* frio) das previsões sobre o setor tropical, nestes dois experimentos.

ABSTRACT

This work evaluated the performance of climatic seasonal forecasts over Brazil using the regional model RegCM3 (Regional Climate Model – version 3) nested to the CPTEC/COLA general circulation global model (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Center for Ocean- Land-Atmosphere Studies), for a period of twenty seven seasons. Moreover, nine sensitivity experiments were performed to assess the dependence of the forecasts on the convective parameterizations (Grell, Emanuel and Kuo) in the RegCM3 (new version). Seasonal averages and statistical indices were calculated in eight areas over Brazil in order to objectively evaluate the Control experiment, the sensitivity experiments and the physical ensemble (average of all the forecasts). The results have shown that the Control experiment (with the Grell convective scheme) presented more efficiency in the forecasting of seasonal rainfall of the CPC (Climate Prediction Center) analysis, when compared to the CPTEC/COLA global model, except in the AMS (Southern of Amazon) area where the CPTEC/COLA presented a better performance in comparison with the RegCM3. On the other hand, the opposite was obtained for the seasonal air temperature forecast, where only in the AMS area did the CPTEC/COLA model have poor results in comparison with RegCM3. The verification based on the statistical indexes showed a better seasonal forecast of the precipitation for the Control experiment when compared with the climatological means in the eight areas evaluated. On the other hand, the same result was not obtained for the air temperature in the MGS and AMS, where the Control experiment presented negative values of efficiency coefficient E' . It indicates that climatology is better than control in the seasonal forecasting of air temperature in these two areas. Scores attributed to the

statistical indices showed the performance of the sensitivity experiments and the ensemble over the eight areas. The Control experiment has shown better performance than the sensitivity experiments in the seasonal rainfall forecasts over the AMN (southern of Amazon), SDE (southeastern of Brazil) and SUL (southern of Brazil). However, the Control has no longer shown to be better than the other experiments and the ensemble in the temperature forecasting. The scores also indicate that the ensemble increased the quality of the seasonal rainfall forecasting in the AMZ (Amazon), AMS, AML (eastern of Amazon) and NDE (northeast of Brazil), as well as the air temperature forecasting in the MGS (Minas Gerais), SUL, AMZ AMN and AMS. The RegCMGR experiment integrated with the same convective schemes as the Control but with a new RegCM3 version showed better rainfall forecast only in the MGS area, but did not improve the air temperature forecasting. In none of the eight evaluated areas have the RegCMEM (with the Emanuel convective parameterization) and RegCMAK (with Kuo convective scheme) been more efficient than the Control or the ensemble for the rain seasonal forecasting. The RegCMEM and RegCMAK seem to provide better seasonal air temperature forecasts in the NDE (and SDE as well) and AML areas, respectively. In summary, the Control experiment or the ensemble would be better predictors of seasonal precipitation in the most part of Brazil. The same result is shown for air temperature when the cold bias of forecasts in the Control experiment is removed over the tropical sector of the domain.

1 INTRODUÇÃO

A redução de perdas e aumento de lucros em diversas áreas sócio-econômicas como agricultura, hidrologia e pesca depende dos erros ou acertos das atuais previsões climáticas sazonais, quando utilizadas. Do ponto de vista científico o aprimoramento de métodos que permitam essas previsões, pelo menos sazonais, com confiabilidade tem sido uma busca incessante. Os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) e Climáticos Regionais (MCRs; DICKINSON et al. 1989, GIORGI; MARINUCCI, 1991) são modelos numéricos atmosféricos desenvolvidos para obter este tipo de previsão.

Uma integração de 10 anos do MCGA do CPTEC/COLA avaliada por Cavalcanti et al. (2002) mostrou que o modelo previu os principais sistemas que controlam o clima global. Entretanto muitos autores mencionam as limitações dos MCGAs para previsões climáticas devido a baixa resolução horizontal com que normalmente são executados (GIORGI; MEARNS, 1999; MISRA et al., 2003). Apesar dos sistemas de grande escala responsáveis por grande parte da variabilidade da precipitação e temperatura serem bem resolvidos pelos MCGAs, os processos na sub-grade (i.e., forçados pela topografia e/ou por diferenças no uso do solo) que contribuem para o controle do clima em escala regional, não são resolvidos por estes (NICOLINI et al., 2002; GIORGI; MEARNS, 1999; GIORGI; MARINUCCI, 1991).

Segundo Sen et al. (2004a,b) o interesse na modelagem climática regional deve-se ao maior detalhamento dos processos físicos e alta resolução espacial que os MCRs podem utilizar, proporcionando melhor entendimento dos processos de interação nuvem-radiação, convecção cumulus, e processos de interação entre solo-superfície-

atmosfera, diminuindo assim os erros encontrados nos MCGAs associados à baixa resolução espacial. Significativos progressos estão sendo realizados no desenvolvimento e melhoria da técnica de modelagem climática regional, incluindo além do desenvolvimento de novos modelos, o acoplamento com vários componentes que definem o clima, tais como, o oceano, hidrologia, solo-vegetação e química-aerossóis. A dinâmica interna do modelo regional, aliada a maior resolução horizontal, pode produzir circulações ausentes nas simulações com os MCGAs (GIORGI; MEARNS, 1999; DRUYAN; FULAKEZA, 2002).

Costa (1997) utilizando o modelo de previsão climática do CPTEC/COLA mostrou que o modelo previu os principais padrões de precipitação sobre o globo, como as Zonas de Convergência Intertropical (ZCIT), do Pacífico Sul (ZCPS) e do Atlântico Sul (ZCAS). No entanto, o CPTEC/COLA simulou excessiva taxa de precipitação em regiões de relevo acentuado. Porém, em algumas regiões específicas, a variabilidade interanual, que indica condições anômalas sobre as regiões, não foi corretamente prevista, como no caso da Região Sudeste do Brasil (MARENGO et al. 2003).

Misra (2005) estudou o erro do modelo global COLA na previsão de anomalia de precipitação no trimestre fevereiro-março-abril sobre o Nordeste do Brasil, identificando que este modelo não apresentou nenhuma habilidade em prever anomalias de chuva durante anos considerados normais, i.e., sem influência dos fenômenos de grande escala El Niño ou La Niña. Estes resultados são consistentes com os erros sistemáticos dos MCGAs já estudados (OYAMA, 2006). Utilizando o modelo global ECHAM 4.5, Liebmann et al. (2007) mostraram que este modelo previu corretamente o início e o fim da estação chuvosa sobre grande parte da América do Sul.

Os MCRs foram desenvolvidos primeiramente para *downscaling* dinâmico visando aprimorar os resultados obtidos com os MCGAs (CAVALCANTI, 2002). No entanto, os MCRs têm se tornado importantes para estudos climáticos, já que em algumas regiões podem diminuir alguns erros sistemáticos dos MCGAs (SETH et al., 2007, NICOLINI et al., 2002). Na América do Sul um erro sistemático comum em alguns MCGAs é subestimar (superestimar) a precipitação na Amazônia (no Nordeste brasileiro) no verão austral (CAVALCANTI, 2002).

Os MCRs têm sido utilizados não somente para *downscaling* dinâmico das simulações dos MCGAs, mas também para previsões climáticas sazonais (CHOU et al., 2005; DRUYAN et al., 2002) com objetivo também de resolver aspectos regionais. Isto porque, os MCRs podem aumentar a qualidade das previsões nas escalas regionais, em especial nas regiões onde forçantes orográficas e litorâneas regulam a distribuição espacial das variáveis climáticas (i.e., WANG et al., 2003).

Chou et al. (2005) analisaram o desempenho da previsão de precipitação sazonal em diferentes escalas de tempo do modelo ETA. Com resolução horizontal de 40 km e aninhado ao modelo global CPTEC/COLA o modelo ETA reproduziu as principais características dos sistemas de precipitação de grande escala sobre América do Sul, tais como, a ZCIT e a ZCAS. Alguns erros de previsão foram encontrados ao longo da costa norte e nordeste do Brasil e sobre os Andes. Comparações entre as previsões sazonais do modelo ETA e a climatologia revelaram que em geral o modelo apresentou-se como melhor preditor sazonal de chuva do que a climatologia. Misra et al. (2003) encontraram resultados semelhantes quando discutiram a dificuldade da

previsão sazonal de precipitação durante o verão sobre a América do Sul, ao compararem previsões climáticas de um MCGA e MCR.

Druyan et al. (2002) estudaram previsões climáticas sazonais sobre a América do Sul de um MCR aninhado ao modelo global GISS/CCSR (Goddard Institute for Space Studies/Center for Climate Systems Research). O MCR foi integrado em uma grade de 50 km de resolução horizontal, e apresentou melhor desempenho em prever a precipitação do que o modelo global. Estudando o impacto da maior resolução horizontal nas simulações climáticas sobre a América do Sul, Nicolini et al. (2002) obtiveram melhor representação da temperatura do ar e pressão média ao nível do mar com o MCR. Entretanto, na região do planalto brasileiro, que inclui a maior parte do sudeste do Brasil, os erros do MCR foram maiores para todas variáveis analisadas.

Utilizando o modelo ETA, Alves et al. (2000) estudaram a precipitação nas estações do verão e inverno e mostraram que a distribuição espacial e o número de dias com chuva de intensidade fraca a moderada foram relativamente bem simulados. No entanto, as simulações não posicionaram a ZCAS sobre o planalto central brasileiro. Previsões climáticas para o mês de agosto (seco) e novembro (chuvoso) sobre a América do Sul, também com o modelo ETA, mostraram que os valores mensais de precipitação ajustam-se bem aos observados (CHOU et al. 2000).

Fernandez (2006) mostrou que tanto o modelo RegCM3 como ETA simularam as principais características climatológicas médias das circulações quase-estacionárias do verão sobre a América do Sul, embora o desempenho dessas simulações varie regionalmente. Cuadra e da Rocha (2006) mostraram que a variabilidade intra-sazonal de precipitação durante o verão sobre o Sudeste do Brasil foi adequadamente

reproduzida pelo RegCM3. Considerando o interesse na aplicação do RegCM3 à previsão sazonal sobre Brasil, Cuadra e da Rocha (2007) estudaram a sensibilidade de simulações com este modelo sobre o sul e sudeste da América do Sul à especificação de TSM (Temperatura da Superfície do Mar). Seus resultados revelaram que durante o verão austral, a utilização de TSM persistida apresenta pequena interferência nas anomalias sazonais de precipitação e temperatura do ar.

Uma questão importante é a dependência da precipitação sazonal no esquema convectivo utilizado no modelo atmosférico. Por exemplo, em simulações climáticas na América do Norte (GIORGI; SHIELDS 1999) com o RegCM mostraram melhores resultados com o esquema de Grell e fechamento de Arakawa-Schuerf (Gas). Já sobre o leste da Ásia, Giorgi et al. (1999) utilizaram o esquema de Kuo, isto porque, o de Grell produziu pouca precipitação convectiva durante a estação de monção na região. Análises de simulações climáticas regionais sobre o Brasil (da ROCHA, 2006) compararam os esquemas convectivos de Kuo e de Grell com fechamento de Fritsch-Chappell (Gfc) e fechamento de Arakawa-Schubert (Gas). Seus resultados indicam que para a estação de verão o Gfc simulou de forma mais consistente com a análise a precipitação no setor tropical do domínio. Já os esquemas de Kuo e Gas tendem a simular melhor a precipitação no setor extratropical do domínio, e subestimam excessivamente a precipitação no setor tropical, não simulando a banda de precipitação noroeste-sudeste, normalmente associada à atuação da ZCAS.

Oyama (2006) investigou simulações climáticas do modelo MM5 em baixa resolução horizontal (250 km) com o objetivo de verificar a representação do clima na região tropical da América do Sul. De maneira geral, os resultados mostraram que o

MM5 reproduziu o padrão de precipitação da região tropical, porém erros sistemáticos relacionados ao esquema de convecção adotado e à baixa resolução horizontal das simulações foram encontrados para precipitação sobre o setor nordeste, noroeste, oeste e sudeste da América do Sul.

Martínez et al. (2006) avaliaram o desempenho de três diferentes esquemas de convecção cumulus no RegCM3 para dois domínios com resoluções horizontais de 50 e 25 km na região do Caribe durante o verão (julho-agosto-setembro). Os autores obtiveram chuva sazonal simulada mais próxima da observada com o esquema de Gas, bem com, maior habilidade deste esquema em simular o ciclo diurno associado à brisa marítima sobre Cuba. Nesta região, os esquemas Gfc e Kuo superestimam e subestimam excessivamente, respectivamente, a chuva sazonal.

Estes resultados indicam que embora bastante investigada (GIORGI; SHIELDS 1999; GIORGI et al. 1999; MARTÍNEZ et al., 2006; da ROCHA 2006) a representação dos processos úmidos em modelos numéricos, e a habilidade destes processos em simular o volume (ou anomalia) de chuva sazonal, ainda representa um grande desafio para a comunidade científica. Além disto, a parametrização de cumulus pode alterar de forma significativa, tanto o volume de precipitação sazonal simulado, como a sua distribuição espaço-temporal (da ROCHA, 2006). Até o momento não existe nenhum esquema que seja superior ao outro sob todas as condições.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é investigar o desempenho de previsões climáticas sazonais sobre o Brasil utilizando o modelo regional climático RegCM3 aninhado ao modelo global CPTEC/COLA. Resultados recentes de da Rocha (2006) indicaram que o esquema convectivo de Grell com fechamento de Fritsch-Chappell simula adequadamente o volume e variabilidade da chuva de verão sobre o sudeste do Brasil. No entanto, este resultado foi obtido com o RegCM3 aninhado na re-análise do NCEP (National Centers of Environmental Prediction), ou seja, no modo de desenvolvimento (GIORGI e MEARNS, 1999). Portanto, um objetivo adicional é avaliar no modo de previsão (RegCM3 aninhado ao CPTEC/COLA) qual (ou quais) parametrização (ões) de convecção disponível no RegCM3 melhor representa (am) a chuva e temperatura do ar em oito áreas distintas sobre o Brasil.

Esta dissertação esta organizada como segue. O capítulo 2 descreve o modelo RegCM3, os dados utilizados e a metodologia para as previsões numéricas e validações. O capítulo 3 apresenta o desempenho das previsões com RegCM3 contra o modelo em que este foi aninhado (CPTEC/COLA). Em seguida, uma análise da performance das previsões com RegCM3 em relação a climatologia é apresentada. No capítulo 4 são avaliados os experimentos de sensibilidade e *ensemble* físico realizados com o RegCM3. Por fim, o capítulo 5 faz um sumário e conclusões deste trabalho.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição do Modelo Climático Regional – RegCM3

Este estudo utilizou o modelo climático regional RegCM3 (ELGUINDI et al., 2007), que possui código de livre acesso à pesquisa, desenvolvido e distribuído pelo ITCP (International Center for Theoretical Physics). O RegCM3 já foi utilizado em várias regiões do globo; particularmente, sobre a América do Sul (p.ex., FERNANDEZ et al., 2006a; CUADRA; da ROCHA, 2006; SETH et al., 2007).

O RegCM3 é um modelo compressível, em diferenças finitas, hidrostático e em coordenada vertical sigma. Para integração no tempo utiliza um esquema “split-explicit” e inclui um algoritmo para reduzir a difusão horizontal na presença de intensos gradientes de topografia (GIORGI et al., 1993 a-b). Originou-se no NCAR (National Center for Atmospheric Research) a partir do Mesoscale Model version 4 (MM4, ANTHES et al. 1987). A parte dinâmica do RegCM3 é baseada na versão hidrostática do MM5 (PAL et al., 2007).

Para descrever os processos de trocas turbulentas de momento, energia e vapor d'água entre solo-planta-atmosfera o RegCM3 utiliza o esquema BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) descrito por Dickinson et al. (1993). O BATS possui uma camada de vegetação, uma de neve e três camadas de solo em diferentes profundidades. Na presença de vegetação, as temperaturas do ar no dossel são diagnosticadas através do balanço de energia. O ciclo hidrológico é obtido através de equações de previsão do conteúdo de água nas três camadas de solo. E, os fluxos de calor sensível, vapor d'água e momento na superfície são calculados em função dos

coeficientes obtidos da teoria da similaridade aplicada à camada superficial. Os transportes turbulentos de calor, momento e umidade na camada limite planetária (CLP) resultam do produto entre o gradiente vertical destas variáveis e o coeficiente de difusão vertical turbulenta com correções para turbulência não local propostas por Holtslag et al. (1990).

Para a transferência radiativa o RegCM3 utiliza o mesmo esquema do CCM3 (Community Climate Model 3; KIEHL et al., 1996). Neste esquema são calculadas separadamente as taxas de aquecimento e fluxos na superfície para a radiação solar e infravermelha sob condições de céu claro e nublado. Os cálculos de transferência radiativa consideram os efeitos dos gases CO_2 , H_2O , O_3 no infravermelho e dos gases CO_2 , H_2O , O_3 e O_2 para radiação solar. O esquema inclui também os efeitos dos gases de efeito estufa (NO_2 , CH_4 , CFCs), aerossóis atmosféricos e água de nuvem.

Os processos úmidos no RegCM3 são resolvidos através de um esquema para a convecção em cumulus profundo e outro para a precipitação na escala da grade. Atualmente, os esquemas de cumulus disponíveis no RegCM3 são: Grell (1993) com os fechamentos de Fritsch-Chappell e Arakawa-Schubert, Kuo (ANTHES, 1977) e Emanuel (1991).

(a) Esquema de Grell

No esquema de cumulus proposto por Grell (1993) as nuvens são representadas por duas circulações estacionárias, as correntes ascendentes (updraft) e descendentes (downdraft). Estas correntes só se misturam com o ar ambiente no topo e na base da nuvem. O modelo de nuvens assume que o fluxo de massa nas correntes ascendentes e descendentes é constante com a altura. As correntes ascendentes e descendentes

originam-se nos respectivos níveis de energia estática úmida máxima e mínima na coluna vertical. O esquema é ativado quando uma parcela ascendida do nível origem da corrente ascendente atinge a adiabática úmida. A condensação na corrente ascendente é calculada através da ascensão da parcela saturada sem misturar com o ambiente fora da nuvem. O fluxo de massa na corrente descendente é proporcional ao da ascendente através de um parâmetro β , que representa o quanto do condensado na corrente ascendente será evaporado na descendente. O aquecimento e umedecimento resultante da aplicação do esquema são determinados a partir dos fluxos de compensação e desentranhamento de massa no topo e base da nuvem. O esquema inclui ainda o efeito de resfriamento na corrente descendente.

É possível utilizar dois diferentes fechamentos para o esquema de Grell: o do tipo Fritsch-Chappel onde a convecção demora certo período de tempo denominado período de tempo convectivo τ_c (entre 30 minutos e 1 hora) para atuar na grade do modelo, removendo a energia potencial disponível; e o do tipo Arakawa-Schubert que considera que o conjunto de “cumuli” presentes no elemento de grade remove o excesso de energia de flutuação, gerado pelos movimentos de grande escala, em um passo no tempo de integração do modelo.

(b) Esquema Kuo

O esquema de Kuo do RegCM3 é aquele modificado por Anthes (1977), mas será referido apenas como esquema de Kuo. Nesta parametrização, a convecção é possível quando a atmosfera é convectivamente instável e a convergência de umidade integrada na vertical excede um determinado valor. Uma parte da convergência de umidade precipita e o restante umedece a atmosfera. A parte da convergência de

umidade depende do perfil vertical de umidade relativa (ANTHES 1977). O calor latente de condensação é então redistribuído na vertical seguindo um perfil parabólico pré-especificado com aquecimento máximo na metade superior da nuvem. Devido à sua grande simplicidade e economia de tempo computacional o esquema de Kuo, embora sofrendo muitas críticas nas suas idéias básicas, ainda hoje é muito utilizado em modelos numéricos de previsão que vão desde globais até os regionais.

(c) Esquema Emanuel

O esquema de Emanuel (1991), recentemente acrescentado no RegCM3 é o esquema com a física mais realística. A convecção é disparada quando o nível neutro flutuante é maior que o nível de condensação por levantamento (base da nuvem). O ar ascende entre estes 2 níveis e uma fração da mistura condensada forma precipitação enquanto a outra forma nuvem. Esta nuvem se mistura com o ar ambiente de acordo com um espectro uniforme de mistura que levanta ou baixa a parcela para o nível de flutuação neutra. O gradiente vertical de flutuação dentro da nuvem é utilizado para determinar as taxas de entranhamento e desentranhamento.

(d) Esquema na escala da grade – SUBEX

O esquema na escala da grade, descrito em detalhes em Pal et al. (2004), e referido como SUBEX (SUB-grid Explicit Moisture Scheme) possui apenas uma equação para previsão de água de nuvem que é então diretamente utilizada nos cálculos de transferência radiativa. Este esquema considera formação de água de nuvem, advecção e mistura turbulenta, re-evaporação em condições sub-saturadas, adição e conversão para precipitação através de um termo de auto-conversão.

2.2 Condições iniciais e de fronteiras

As condições iniciais e de fronteiras para as previsões numéricas do RegCM3 foram obtidas do Modelo de Circulação Geral Atmosférico CPTEC/COLA (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Center for Ocean-Land-Atmophere Studies). Estas previsões globais possuem resolução horizontal aproximada de $1,875^\circ \times 1,875^\circ$ de latitude por longitude e 18 níveis verticais. Cavalcanti et al. (2002) apresentam uma descrição detalhada deste modelo, assim como avaliação da sua climatologia em diversas regiões do globo.

As variáveis previstas pelo CPTEC/COLA utilizadas no RegCM3 foram: altura geopotencial, temperatura, vetor vento (componente zonal e meridional), umidade relativa, pressão ao nível médio do mar e temperatura da superfície do mar (TSM). A TSM utilizada corresponde à anomalia de TSM observada no mês anterior ao de integração do RegCM3 que é persistida sobre a climatologia mensal.

Os arquivos globais de topografia e cobertura vegetal com resolução de 10' foram fornecidos pelo USGS (United States Geological Survey) e GLCC (Global Land Cover Characterization), respectivamente, e disponíveis em <http://edcdaac.usgs.gov/glc/glcc.html>.

2.3 Previsões Climáticas

Em um primeiro momento, foram analisadas as previsões climáticas sazonais realizadas no projeto do Sistema Integrado de Hidrometeorologia no Estado de São Paulo – SIHESP, denominadas neste trabalho como experimento de Controle (RegCM3). Estas previsões climáticas utilizaram o RegCM3 aninhado ao modelo global

CPTEC/COLA, com 60 km de espaçamento na horizontal, 18 níveis sigma na vertical e esquema convectivo de Grell (1993) com fechamento de Fritsch-Chappel (PAL et al., 2007). As integrações com o RegCM3 foram iniciadas um mês antes do trimestre analisado. Durante os primeiros 15 dias de integração, fez-se assimilação dos dados de condição inicial e de fronteiras para acelerar o ajuste do modelo. Os resultados referentes ao primeiro mês de integração são descartados como *spin-up*. Somente os resultados dos meses seguintes (trimestre) são avaliados.

A Tabela 2.1 resume as características e configurações utilizadas enquanto a tabela 2.2 relaciona os 27 trimestres de previsões de Controle considerados para o presente estudo e os respectivos trimestres de avaliação.

Tabela 2.1 - Características e configurações do experimento Controle.

Características		Configurações
Físicas	Cumulus	Grell
	Radiação	CCM3
	Camada Limite Planetária	Holstag
	Terra-Superfície-Atmosfera	BATS
Resolução vertical		18 níveis sigma
Resolução horizontal		60 km
Dinâmica		Hidrostático
Condições iniciais e de fronteiras		CPTEC/COLA

Tabela 2.2 – Previsões do experimento Controle realizadas com o RegCM3.

Início da previsão	Trimestre de validação	Abreviatura do trimestre de avaliação
16.05.2005	junho-julho-agosto	JJA (Inverno)
16.06.2005	julho-agosto-setembro	JAS
16.07.2005	agosto-setembro-outubro	ASO
16.08.2005	setembro-outubro-novembro	SON (Primavera)
16.09.2005	outubro-novembro-dezembro	OND
16.10.2005	novembro-dezembro-janeiro	NDJ
16.11.2005	dezembro-janeiro-fevereiro	DJF (verão)
16.12.2005	janeiro-fevereiro-março	JFM
16.01.2006	fevereiro-março-abril	FMA
16.02.2006	março-abril-maio	MAM (outono)
16.03.2006	abril-maio-junho	AMJ
16.04.2006	maio-junho-julho	MJJ
16.05.2006	junho-julho-agosto	JJA (Inverno)
16.06.2006	julho-agosto-setembro	JAS
16.07.2006	agosto-setembro-outubro	ASO
16.08.2006	setembro-outubro-novembro	SON (Primavera)
16.09.2006	outubro-novembro-dezembro	OND
16.10.2006	novembro-dezembro-janeiro	NDJ
16.11.2006	dezembro-janeiro-fevereiro	DJF (verão)
16.12.2006	janeiro-fevereiro-março	JFM
16.01.2007	fevereiro-março-abril	FMA
16.02.2007	março-abril-maio	MAM (outono)
16.03.2007	abril-maio-junho	AMJ
16.04.2007	maio-junho-julho	MJJ
16.05.2007	junho-julho-agosto	JJA (Inverno)
16.06.2007	julho-agosto-setembro	JAS
16.07.2007	agosto-setembro-outubro	ASO

Diferentes experimentos de sensibilidade foram realizados em 9 trimestres (tabela 2.3) para avaliar se outra parametrização de convecção poderia melhorar a previsão de precipitação e a temperatura do ar média trimestral sobre o Brasil.

A princípio a escolha destes trimestres se deu pelo fato dos mesmos não terem apresentado resultados satisfatórios nas previsões do experimento Controle. Posteriormente, para confirmar avaliações iniciais com as novas parametrizações, tornou-se necessário estender o número de previsões trimestrais com os novos esquemas de convecção. Assim como no Controle, os demais experimentos de sensibilidade foram iniciados às 00 UTC do dia 16.

Tabela 2.3 – Trimestres utilizados para realização dos experimentos de sensibilidade.

Trimestre de validação	Abreviatura dos trimestres de validação	Ano
setembro-outubro-novembro	SON (Primavera)	2005
outubro-novembro-dezembro	OND	2005
novembro-dezembro-janeiro	NDJ	2005
dezembro-janeiro-fevereiro	DJF (verão)	2005/2006
fevereiro-março-abril	FMA	2006
março-abril-maio	MAM (outono)	2006
abril-maio-junho	AMJ	2006
maio-junho-julho	MJJ	2006
novembro-dezembro-janeiro	NDJ	2006

Os experimentos de sensibilidade para tal avaliação utilizaram as mesmas condições iniciais e de fronteira (CPTEC/COLA), espaçamento de grade, TSM, topografia e uso do solo do experimento Controle, diferindo somente na opção pelo esquema convectivo e pelo uso de uma nova versão paralela do RegCM3. Estes novos experimentos utilizaram o esquema convectivo de Grell com o fechamento de Fritsch e Chappel (ELGUINDI et al. 2004) – RegCMGR, Kuo modificado por Anthes (1977) – RegCMAK e Emanuel (1991) – RegCMEM. O número de integrações realizadas nos experimentos de sensibilidade estão sintetizados na tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Experimentos numéricos utilizados e posteriormente discutidos nos resultados.

Experimentos de sensibilidade	Parametrização de Convecção	Número de previsões
Controle	Grell	27
RegCMGR	Grell	9
RegCMAK	Anthes-Kuo	9
RegCMEM	Emanuel	9

Por fim foi calculada a média de todos os experimentos (tabela 2.4) para os 9 trimestres em comum, denominado *ensemble* físico, para verificar se a média do conjunto dos experimentos de sensibilidade aumenta o *skill* das previsões.

2.4 Dados utilizados para avaliação

Para validação da precipitação trimestral prevista pelo RegCM3 foram utilizados dados de chuva da análise do CPC (Climate Prediction Center) com resolução horizontal de 1° x 1° de latitude por longitude, de escritos por Silva et al. (2007), obtidos em: <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/wd52ws/SA/historical/>. A temperatura do ar média trimestral prevista foi comparada com a re-análise do NCEP (KALNAY et al. 1996), com resolução de 2,5° x 2,5° de longitude por latitude. As climatologias da precipitação (1978 a 2004) e da temperatura do ar (1950 a 1999) foram obtidas através do cálculo da média espacial e trimestral da chuva do CPC e temperatura da re-análise do NCEP.

2.5 Metodologia da avaliação do Controle e do CPTEC/COLA

Foram realizadas análises subjetivas e objetivas dos campos médios trimestrais da temperatura do ar da re-análise do NCEP (KALNAY et al. 1996) e previstos pelo CPTEC/COLA e RegCM3. Para precipitação foram realizadas as mesmas análises entre as previsões dos modelos e as análises do CPC (SILVA et al. 2007).

Para análise objetiva, foram calculadas as médias trimestrais nos 27 trimestres em 8 áreas: Amazônia (AMZ), Amazônia Norte (AMN), Amazônia Sul (AMS), Amazônia Leste (AML), Nordeste (NDE), Sudeste (SDE), Minas Gerais (MGS) e Sul (SUL), indicadas na figura 2.1.

Calculou-se também a correlação linear (equação 2.1), que afere o grau de associação entre os valores previstos e observados, e o coeficiente de eficiência (E) de

Nash e Sutcliffe (1970) (Equação 2.2), que determina a eficiência da previsão trimestral do modelo em relação a média das análises. A correlação linear foi calculada como:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (P_e - \overline{P_e})(P_o - \overline{P_o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_e - \overline{P_e})^2 \sum_{i=1}^N (P_o - \overline{P_o})^2}} \quad (2.1)$$

onde P_o é o valor da análise; P_e é o valor previsto pelo modelo; N é o número de previsões; e a barra superior indica o valor médio no tempo. O coeficiente de Eficiência é dado por:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_o - P_e)^2}{\sum_{i=1}^N (P_o - \overline{P_o})^2} \quad (2.2)$$

O coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) pode variar de menos infinito a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste do modelo comparando com à média das análises.

Também foi realizada uma avaliação objetiva do desempenho das previsões do experimento de Controle em relação a climatologia através do coeficiente de eficiência E' (NASH; SUTICLIFFE, 1970) definido como:

$$E' = 1 - \frac{\sum |P_o - P_e|}{\sum |P_o - \overline{P_o}|} \quad (2.3)$$

onde $\overline{P_o}$ é a média climatológica, P_o é o valor observado e P_e o valor previsto pelo modelo, ambos para o mesmo trimestre. Quando $E' = 0$ indica que o modelo é tão bom

quanto usar a média climatológica do trimestre. Entretanto, se $E' < 0$, então o modelo é pior que a média da climatologia e por fim se $E' > 0$ quando o modelo é melhor previsor que a climatologia.

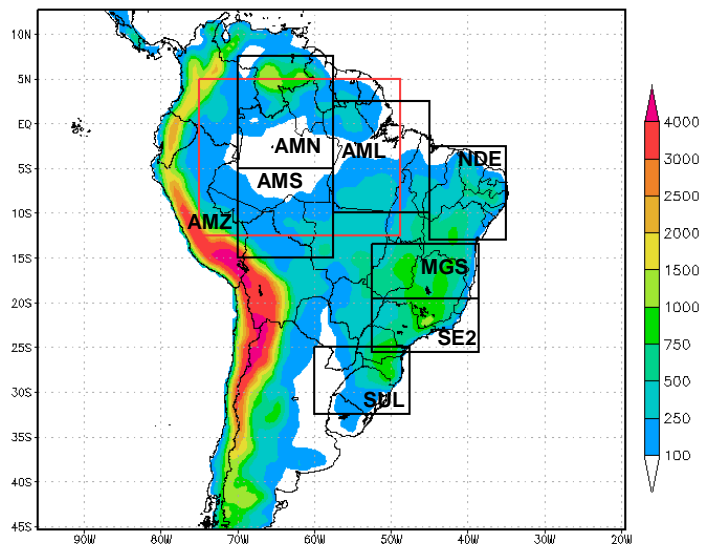


Figura 2.1 – Domínio utilizado e topografia (m) da América do Sul e em destaque os 8 subdomínios de avaliação das previsões.

2.6 Metodologia da avaliação dos experimentos de sensibilidade

Segundo Weber et al. (1982), o uso de medidas de erro isoladamente pode ser uma forma inadequada da estimativa do desempenho dos modelos, e o emprego de várias medidas de erro em conjunto costuma ser um método mais justo para avaliação de modelos. Segundo Silva (2008), a utilização de um conjunto de medidas também atua como um efeito compensatório, uma vez que cada índice estatístico possui uma lacuna que pode ser preenchida com o uso de outro. Sendo assim, para avaliar o *skill* dos experimentos de sensibilidade e *ensemble* realizados neste trabalho e para determinar se existe um com maior habilidade em prever a chuva e a temperatura do ar nas 8 áreas definidas sobre o Brasil (figura 2.1), além do coeficiente de eficiência e correlação linear, foram calculados outros cinco índices estatísticos:

- (a) Erro médio ou *Bias* (B) é a média da diferença entre a variável prevista e a observada, indicando se o modelo superestima ou subestima os valores médios das análises. Valores mais próximos de zero representam os menores erros sistemáticos, podendo o *bias* assumir qualquer valor real, e é calculado como:

$$B = \frac{Bl}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_e - P_o) \quad (2.4)$$

onde N é o número total de trimestres previstos e P_e e P_o possuem a mesma definição apresentada para E'.

- (b) Erro médio absoluto (EA) é a média aritmética dos valores absolutos das diferenças entre a variável prevista e observada. Ao contrário do que ocorre no cálculo do *bias*, nesta medida os valores negativos não se cancelam com os positivos. Valores mais próximos a zero representam os menores erros;

$$EA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_e - P_o| \quad (2.5)$$

- (c) A Raiz quadrada do erro médio quadrático (REQ): possui a mesma interpretação do EA, porém é mais sensível a valores extremos da série.

$$REQ = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_e - P_o)^2 \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

- (d) A Razão dos desvios padrão (R_σ) é dada pela fração entre o desvio padrão previsto e o observado. Medidas parecidas de desvio padrão estão associadas à semelhança entre a série no que se refere à variabilidade. Ou seja, valores de R_σ igual a 1 indicam que as previsões representam perfeitamente a variabilidade temporal da análise.

$$\sigma_e = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_e - \bar{P}_e)^2 \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

$$\sigma_o = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_o - \bar{P}_o)^2 \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

$$R_\sigma = \frac{\sigma_e}{\sigma_o} \quad (2.9)$$

(e) Índice de concordância (d) de Willmott (1982) afere o grau de concordância entre os valores previstos e observados. Índice de concordância igual a 1 indica concordância perfeita, e 0 indica nenhuma concordância entre previsão e análise.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_e - P_o)^2}{\sum_{i=1}^N \left(|P_e - \bar{P}_e| + |P_o - \bar{P}_o| \right)^2} \quad (2.10)$$

Ressalta-se que no cálculo desses índices estatísticos realizados para avaliação dos experimentos de sensibilidade considerou-se apenas os 9 trimestres de integração em comum (tabela 2.3).

Escores com pesos distintos são aplicados a cada índice estatístico, conforme mostra a tabela 4.1. Índices estatísticos absolutos recebem escore com peso 1 enquanto os relativos recebem escore com peso 2. Os escores são atribuídos aos índices durante a comparação entre os experimentos de sensibilidade e *ensemble*. Apenas o experimento de sensibilidade ou *ensemble* que obtém o melhor índice recebe os escores correspondentes. Isto é feito de forma cumulativa, ou seja, se um

determinado experimento obtém melhores valores em quatro índices, sua pontuação total é a soma dos escores atribuídos a cada um desses índices. É importante lembrar que quando ocorre empate entre os índices, ambos pontuam.

Tabela 2.5 - Escore dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos experimentos de sensibilidade

Símbolo (unidade)	Índices estatísticos	Escore
B (mm/dia e °C)	Erro médio (<i>bias</i>)	1
EA (mm/dia e °C)	Erro médio absoluto	1
REQ (mm/dia e °C)	Raiz quadrada do erro quadrático médio	1
$R\sigma$ (adimensional)	Razão dos desvios	1
r (adimensional)	Correlação linear	2
E (adimensional)	Coefficiente de Eficiência	2
d (adimensional)	Índice de concordância	2

3 AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES GLOBAIS E REGIONAIS

Conforme descrito no capítulo anterior, as previsões climáticas utilizando o RegCM3 consideraram as previsões do modelo global do CPTEC/COLA como condições iniciais e de fronteiras. Portanto, é fundamental descrever o desempenho destas previsões globais em relação às observações para identificar possíveis erros sistemáticos e avaliar se o modelo climático regional é capaz de corrigir estes erros e apresentar um melhor *skill* para previsões climáticas sazonais.

3.1 Avaliações subjetivas

Na figura 3.1 são apresentadas as análises e previsões (CPTEC/COLA e RegCM3) dos campos médios trimestrais de precipitação para JJA de 2005 (inverno) e DJF de 2005/2006 (verão).

Nota-se que no inverno a análise do CPC (figura 3.1a) apresenta maiores taxas de precipitação no centro da região Sul do Brasil, norte da Amazônia e na faixa estreita do leste do nordeste do Brasil, que vai desde o sul do Rio Grande do Norte até o norte do Espírito Santo. A parte central da região Amazônica está sobre o domínio do ramo descendente da Célula de Hadley¹, induzindo um período de seca bem característico. Este comportamento está de acordo com o ciclo anual da atividade convectiva nesta região (HOREL et al., 1989).

O modelo RegCM3 (figura 3.1b) mostrou bom desempenho em prever a precipitação durante o trimestre JJA sobre a região da Amazônia, onde a intensidade e

¹ Na zona entre o equador e aproximadamente 30° de latitude a circulação se dirige para o equador na superfície e para os pólos em nível superior, formando a chamada célula de Hadley.

o posicionamento da chuva estiveram de forma coerente com a análise do CPC. Entretanto, para Região Sul o modelo regional previu o máximo de precipitação (4mm/dia) sobre o litoral sul catarinense e entre o centro e o litoral do Estado do Rio Grande do Sul, o que não foi observado na análise do CPC.

Comparando as figuras 3.1a-c, nota-se que a previsão de precipitação para a Região Norte do Brasil com o RegCM3 apresenta melhor desempenho quando comparada à do CPTEC/COLA. Isto porque o modelo global previu a chuva deslocada mais ao sul da Amazônia, o que não foi observado na análise do CPC para o trimestre JJA. Neste trimestre a climatologia indica que a zona de convergência intertropical (ZCIT) encontra-se no Hemisfério Norte, e a precipitação mais intensa nas Américas é observada no norte da América do Sul e América Central (MARENGO et al. 2003). Este deslocamento para norte da ZCIT não foi corretamente previsto pelo CPTEC/COLA que mostra precipitação na parte mais ao sul da Amazônia.

Através da figura 3.1b é possível notar que o RegCM3 corrigiu em parte o posicionamento errôneo da ZCIT previsto pelo CPTEC/COLA (figura 3.1c), ou seja, a região de chuvas mais intensas prevista pelo RegCM3 localiza-se em área semelhante à análise (figura 3.1a). Além disso, o modelo global previu uma faixa de precipitação no sentido noroeste-sudeste que se estende da Região Norte até o Oceano Atlântico. Este é um erro sistemático do modelo global sobre o nordeste do Brasil, também encontrado em outros estudos que utilizaram este modelo para simular a climatologia global (Misra, 2006). Outro erro sistemático encontrado nas previsões do CPTEC/COLA é a não distinção da precipitação nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil, apresentando índices pluviométricos homogêneos nestas regiões, diferindo da análise do CPC.

Pode-se notar também que o máximo de precipitação sobre o centro da Região Sul do Brasil na análise do CPC (figura 3.1a) é outro aspecto importante da previsão do RegCM3 que apresentou maior semelhança com a análise do que o modelo global do CPTEC/COLA (figura 3.1c), onde chuva acima de 2 mm/dia adentra o continente apenas numa estreita faixa no leste dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Provavelmente, o máximo de precipitação no sul do Brasil estaria associado às passagens de sistemas frontais e/ou ciclogêneses na região (REBOITA et al. 2005) e a chuva associada estaria sendo melhor resolvida pelo RegCM3 do que pelo CPTEC/COLA.

Em termos climatológicos, durante o trimestre DJF as chuvas são mais intensas nos setores central e sul da Região Norte e no norte da Região Centro-Oeste, estendendo-se até a parte central da Região Sudeste (LIEBMANN et al., 1999). Esse padrão foi encontrado na análise do CPC (figura 3.1d), com maior taxa de precipitação principalmente sobre a Amazônia. Segundo Kousky e Kagano (1981) a distribuição de chuvas na Amazônia está relacionada com a posição da Alta da Bolívia²(AB).

Nota-se também dois máximos de precipitação sobre o Sudeste os quais podem estar associados ao deslocamento dos sistemas frontais que, por sua vez, também contribuem para a caracterização de outro sistema conhecido por Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (MARENGO et al., 2003) nesta estação do ano.

A previsão climática para o verão no Nordeste utilizando o modelo RegCM3 (figura 3.1e) apresenta baixos índices de precipitação o que é coerente com a análise do CPC e com a climatologia para esta região. O RegCM3 também previu melhor a

² Anti-ciclone em altos níveis (200 hPa) denominado de Alta da Bolívia, pois situa-se sobre a região do altiplano boliviano.

intensidade e o posicionamento da precipitação na Região Sul quando comparado à previsão do modelo global para o verão de 2005-2006.

A leste dos Andes (Peru, Bolívia e Argentina), o CPTEC/COLA previu uma extensa banda contínua de chuva intensa, a qual não está presente na análise do CPC (Figura 3.1d) e foi parcialmente corrigida na previsão do modelo RegCM3 (figura 3.1e), que diminuiu a intensidade da chuva e a separou em bandas menores de precipitação a leste dos Andes.

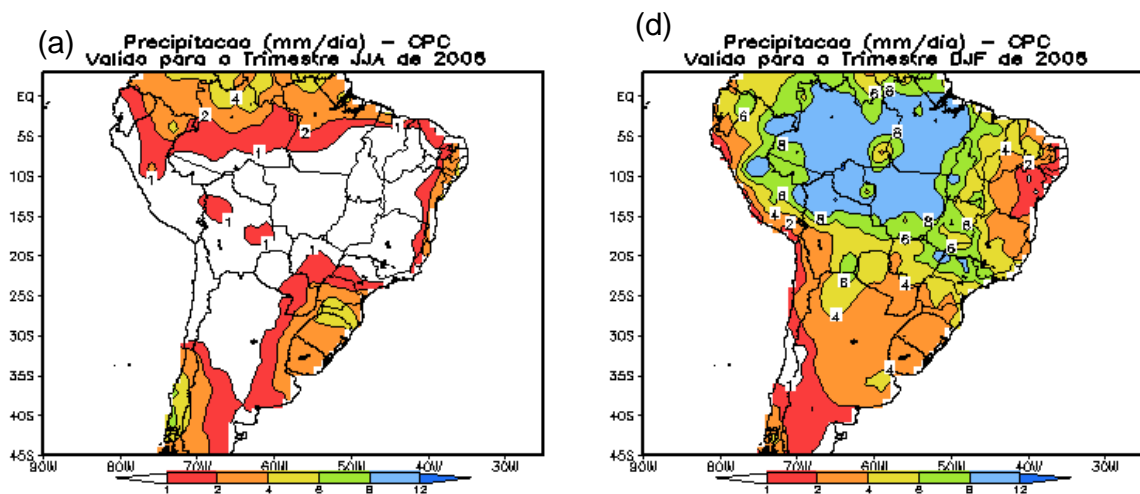
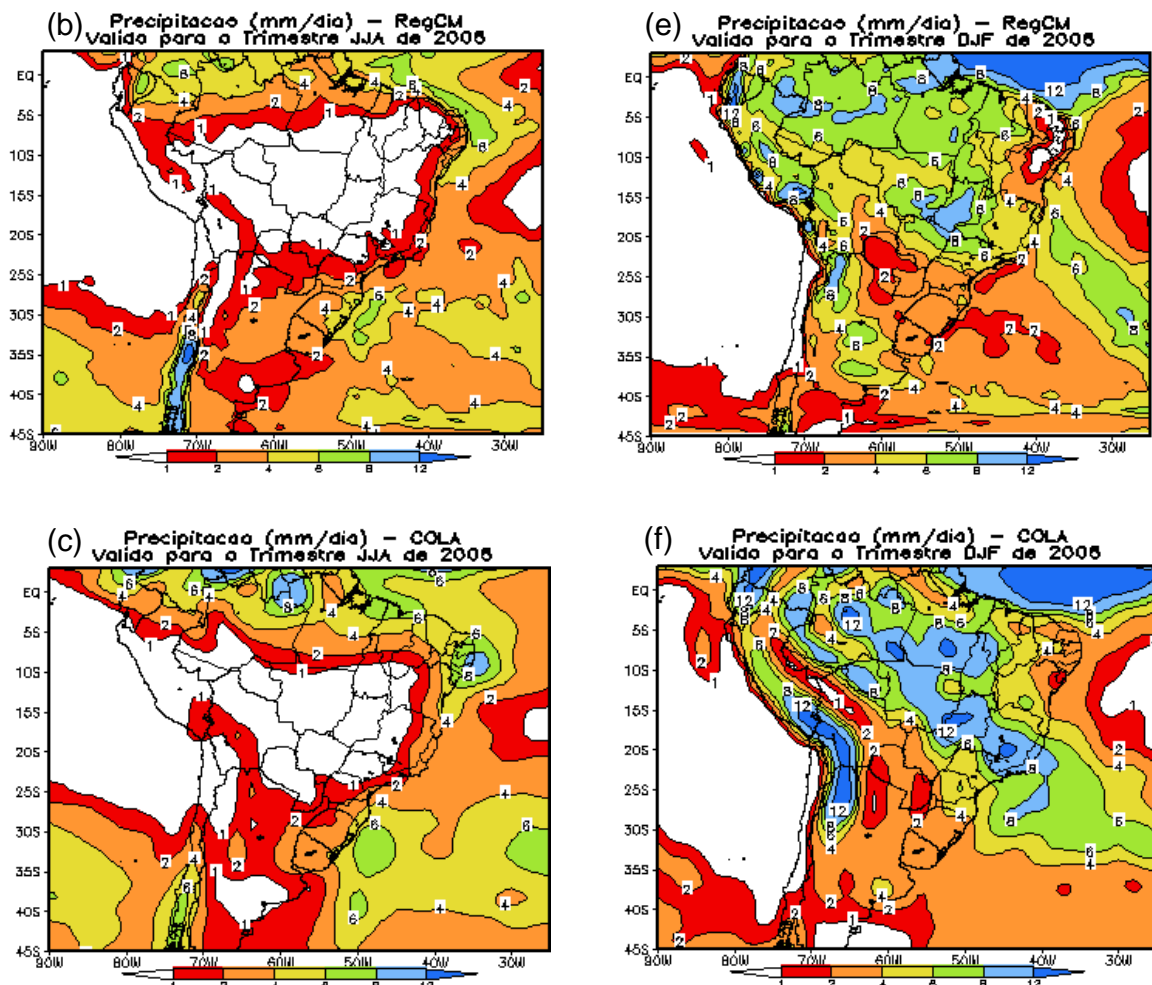


Figura 3.1 – Precipitação média (mm/dia) para o trimestre JJA de 2005: (a) análise do CPC, previsão do (b) RegCM3 e (c) CPTEC/COLA; e para o trimestre DJF de 2005/2006: (d) análise do CPC, previsão do (e) RegCM3 e (f) CPTEC/COLA;

Figura 3.1 (Continuação)



O modelo global do CPTEC/COLA, de forma geral, previu as altas subtropicais para os trimestres JJA de 2005 e DJF de 2005/2006 em posição semelhante ao NCEP. A figura 3.2 apresenta o escoamento próximo à superfície (850 hPa), e mostra a circulação sobre os oceanos associada as altas subtropicais.

Comparando as figuras 3.2a-c, nota-se para o trimestre JJA de 2005 que a previsão da intensidade do vento médio pelo modelo RegCM3 subestimou a análise do NCEP, principalmente sobre o estado do Pará e Região Sul do Brasil, enquanto a

previsão do CPTEC/COLA superestimou a intensidade dos ventos alísios e dos ventos sobre o restante da Região Nordeste e norte do Sudeste.

Em relação aos ventos de oeste em altas latitudes no inverno de 2005 os modelos global e regional, previram de forma semelhante a direção do vento da re-análise do NCEP, entretanto subestimaram a intensidade do mesmo. Ainda para o trimestre JJA de 2005 nota-se também que os ventos de noroeste sobre o Paraguai foram menos intensos tanto no CPTEC/COLA quanto no RegCM3, quando comparados ao NCEP.

Durante o verão (figuras 3.2 d, e, f), nota-se que a alta subtropical do Atlântico Sul está mais deslocada para o oceano quando comparada à sua posição durante o inverno.

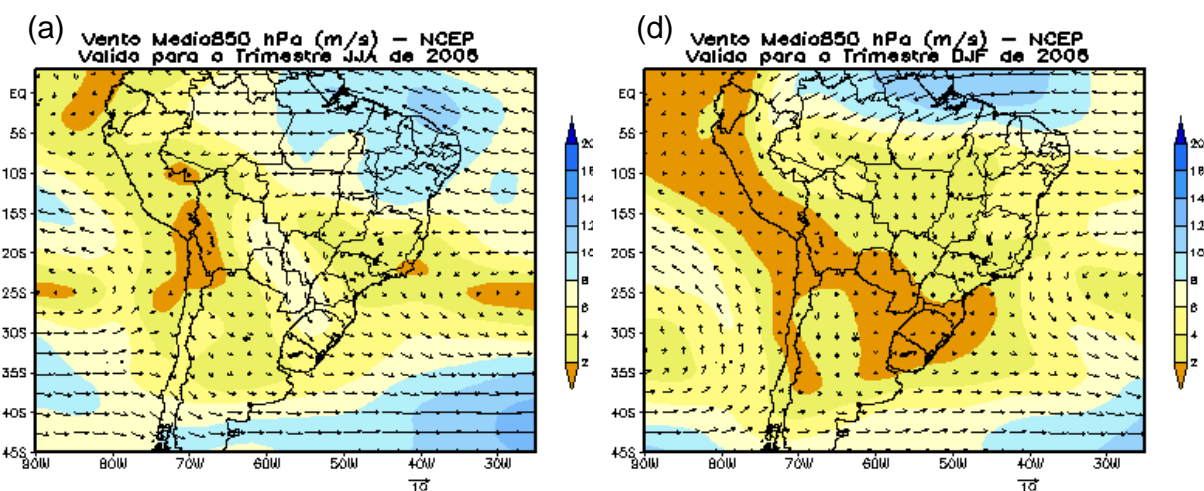
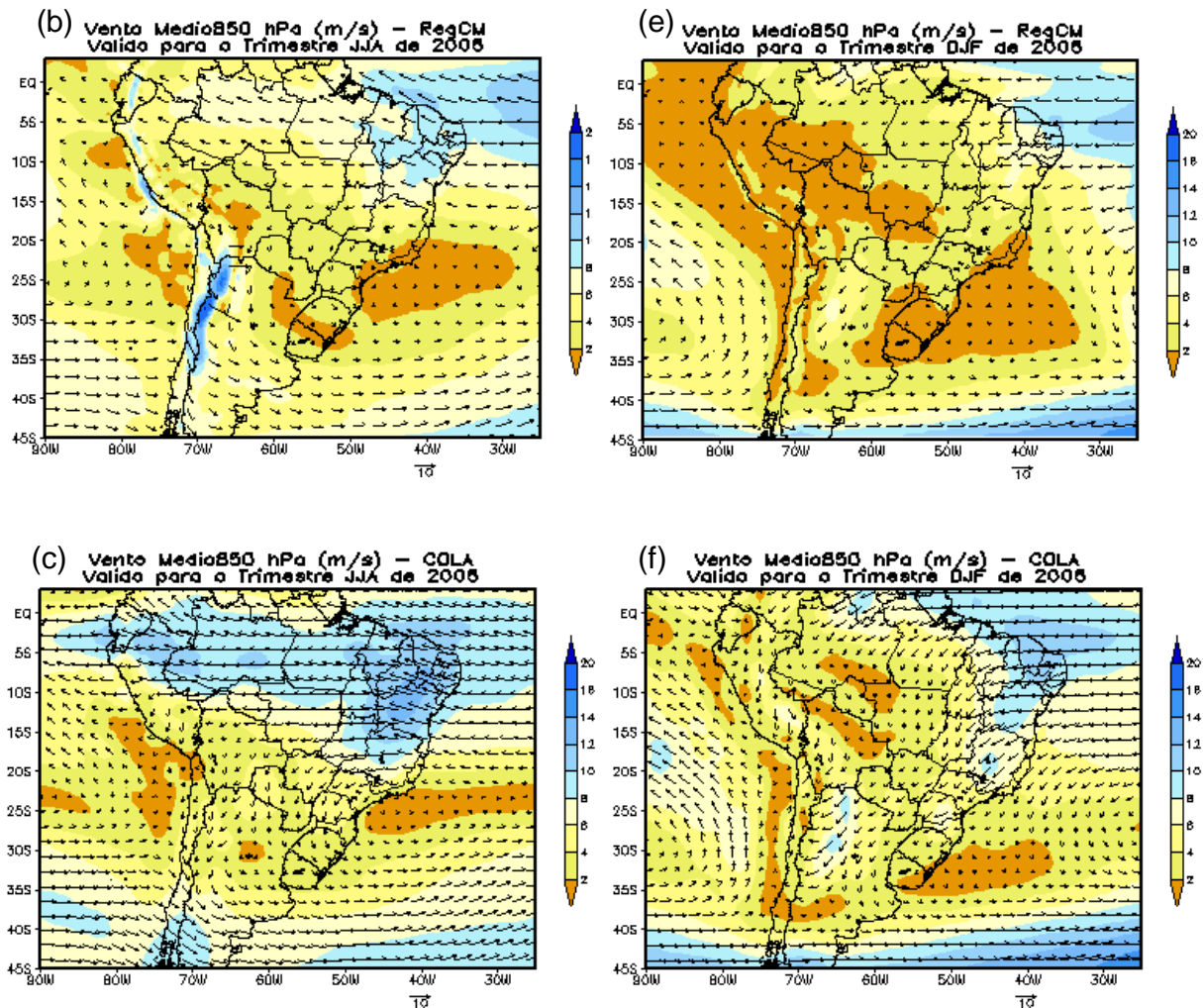


Figura 3.2 – Vento médio (m/s) para o trimestre JJA de 2005: (a) análise do NCEP, previsão do (b) RegCM3 e (c) CPTEC/COLA; e para o trimestre DJF de 2005/2006: (d) análise do NCEP, previsão do (e) RegCM3 e (f) CPTEC/COLA;

Figura 3.2 (Continuação)



Durante o inverno, nota-se no modelo global (figura 3.3c) que as temperaturas mais altas foram previstas com máximos distintos nas Regiões Norte e Nordeste, enquanto no RegCM3 (figura 3.3b), nestas regiões, as temperaturas máximas foram mais homogêneas, semelhante à re-análise do NCEP (figura 3.3a). Este erro médio também foi obtido em simulações que utilizaram a re-análise do NCEP como condições iniciais e de fronteiras (da ROCHA et al. 2006).

Durante o verão o modelo regional (figura 3.3e) posicionou as maiores temperaturas em áreas semelhantes as da re-análise do NCEP (figura 3.3d), mas assim como para o trimestre JJA de 2005 o RegCM3 continuou apresentando *bias* frio em relação ao NCEP, na maior parte do domínio. Para o trimestre DJF o CPTEC/COLA (figura 3.3f) superestima as temperaturas do NCEP.

Tanto para o inverno quanto para o verão, nota-se que as temperaturas mais elevadas previstas pelo RegCM3, corrigiram em parte a superestimativa da temperatura do ar da previsão do CPTEC/COLA em praticamente todo o Brasil, quando comparado à re-análise do NCEP. Nota-se também que o RegCM3 foi em geral mais frio do que a re-análise do NCEP e também do que o CPTEC/COLA, principalmente na planície Amazônica.

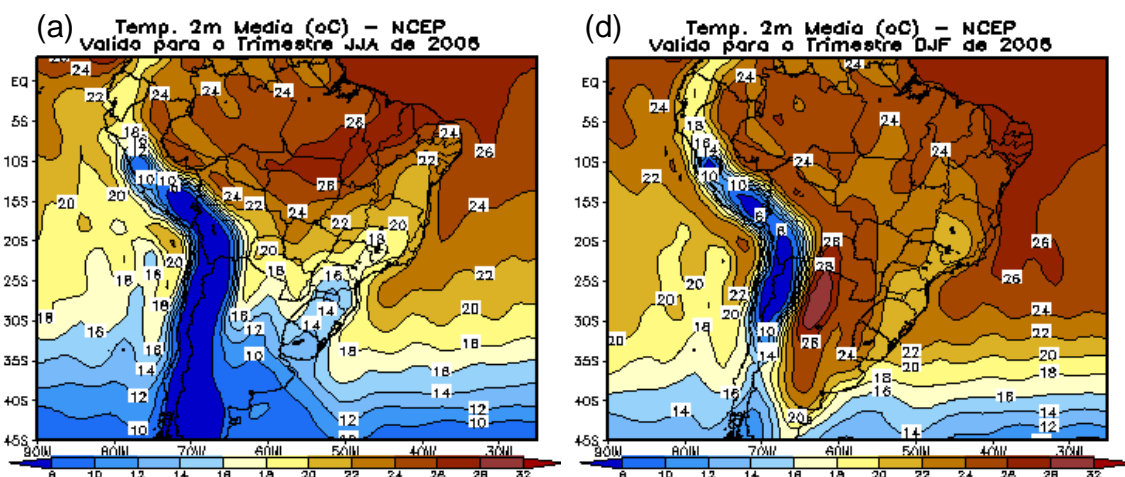
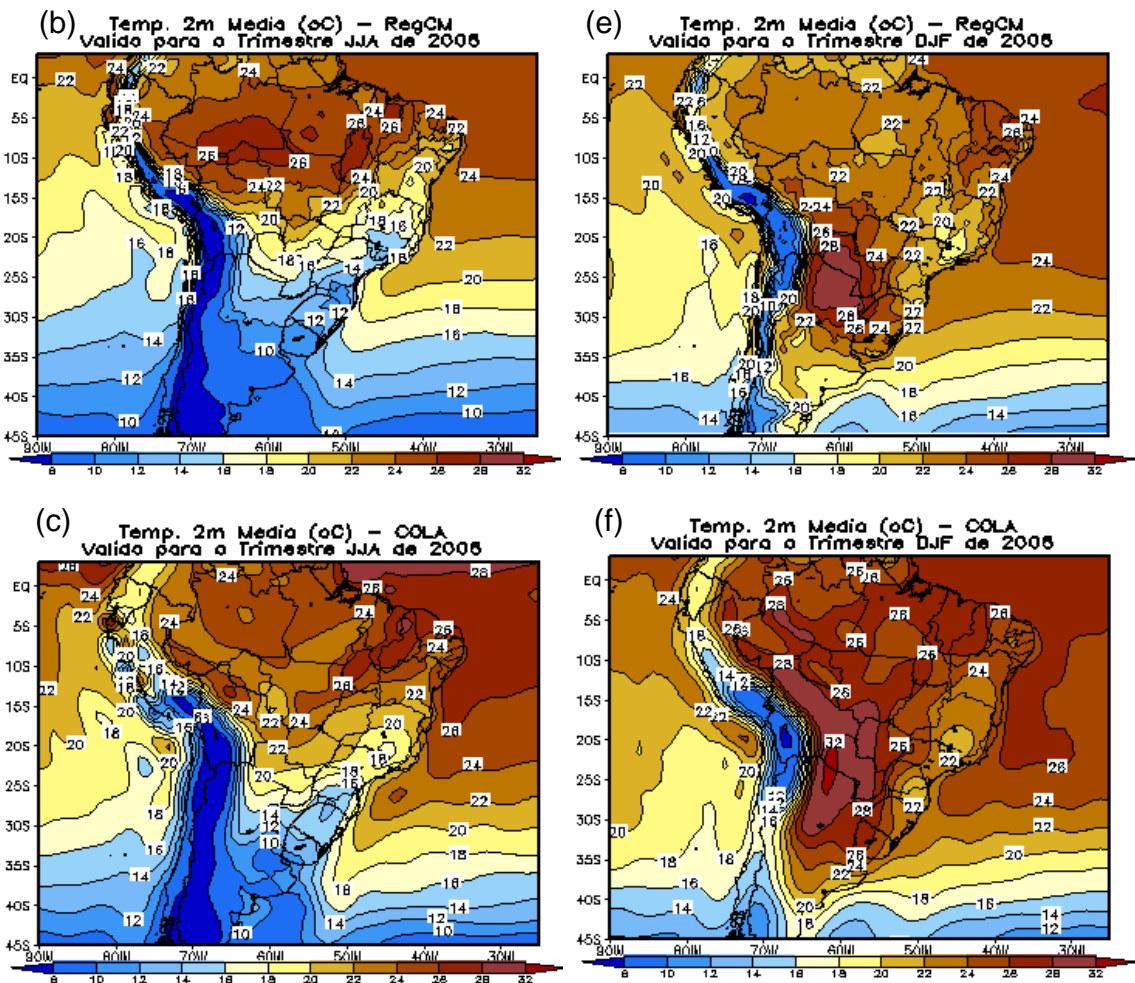


Figura 3.3 – Temperatura média (°C) para o trimestre JJA de 2005: (a) análise do NCEP, previsão do (b) RegCM3 e (c) CPTEC/COLA; e para o trimestre DJF de 2005/2006: (d) análise do NCEP, previsão do (e) RegCM3 e (f) CPTEC/COLA;

Figura 3.3 (continuação)



Os resultados das previsões para os trimestres JJA de 2005 e DJF de 2005/2006 dos modelos global do CPTEC/COLA e regional RegCM3 discutidos neste capítulo são de extrema importância, pois mostram que o modelo regional corrigiram alguns erros de previsão apresentados pelo modelo global. Desta forma tornam as previsões mais próximas da realidade principalmente quanto a distribuição espacial de precipitação na parte norte, nordeste e sul do Brasil.

3.2 Avaliações objetivas

Através da série temporal com 27 trimestres de previsões do modelo do CPTEC/COLA e do modelo RegCM3 (Controle), realizou-se avaliações objetivas utilizando os coeficientes de eficiência (E) de Nash e Sutcliffe (1970) e correlação para as 8 áreas definidas no capítulo 2. Além destes índices, foi calculado sobre as áreas AML, AMN, AMZ e NDE o coeficiente de eficiência E sem o *bias* (E_b) das previsões com o modelo RegCM3.

Nas áreas da Amazônia, com exceção da AMS, (figura 3.4a–d), nota-se que durante os trimestres secos (MJJ, JJA e JAS), o modelo global apresentou grande dificuldade em prever esses mínimos de precipitação, estando sempre mais úmido que a análise do CPC. As temperaturas médias sazonais da re-análise do NCEP são altas e com pouca variabilidade durante todo o período analisado. Dentre todas as áreas da Amazônia, a menor variabilidade inter-sazonal da temperatura do ar é encontrada na área AMN, com valores médios variando entre 23°C e 25°C durante todo o período. As séries temporais da precipitação e temperatura do ar (figura 3.4a–d) revelaram que ambas estão fortemente relacionadas nestas áreas, com tendência de menores temperaturas durante períodos chuvosos e maiores em períodos secos.

A baixa variabilidade temporal da temperatura do ar da re-análise do NCEP foi prevista pelo modelo global e regional, porém os valores médios trimestrais previstos pelo CPTEC/COLA superestimaram os valores médios da re-análise do NCEP, enquanto os previstos pelo RegCM3 subestimaram. Isto justifica os E negativos (tabela 3.2) calculados para as áreas da Amazônia, uma vez que o coeficiente de eficiência é sensível a valores previstos distante das análises.

No entanto, quando se soma o *bias* frio do RegCM3 aos valores médios trimestrais previstos do mesmo, e o coeficiente de eficiência sem o *bias* (E_b), ou seja, com estes novos valores, é calculado, nota-se que E_b é positivo para a área AML (RegCM3 previu a temperatura do ar melhor que a média da re-análise do NCEP e do CPTEC/COLA) e os E_b para as demais áreas na Amazônia são mais próximos a zero quando comparados ao E do RegCM3 (tabela 3.2).

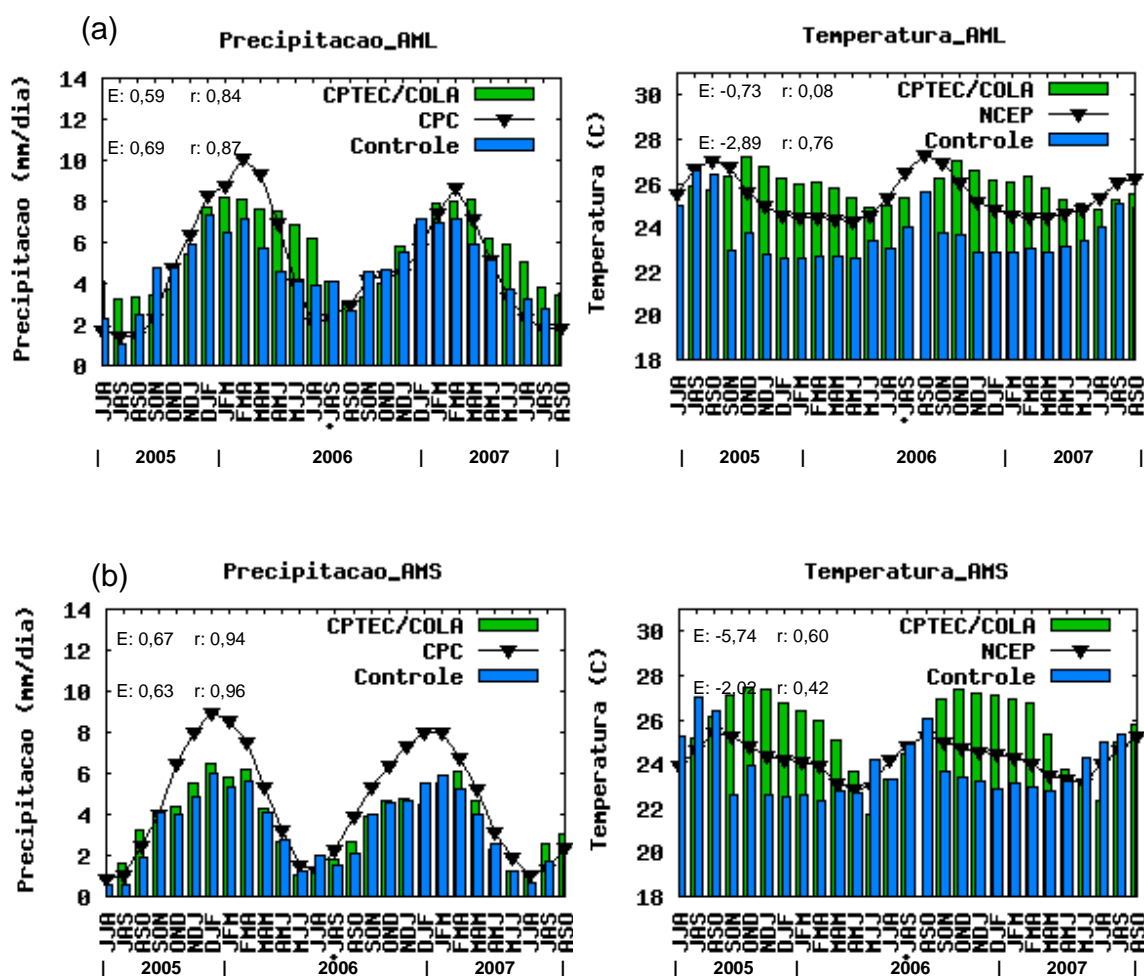


Figura 3.4 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e previsões do RegCM3 e CPTEC/COLA para as áreas da (a) Amazônia Leste – AML, (b) Amazônia Sul – AMS, (c) Amazônia Norte – AMN e (d) Amazônia – AMZ.

Figura 3.4 – (continuação)

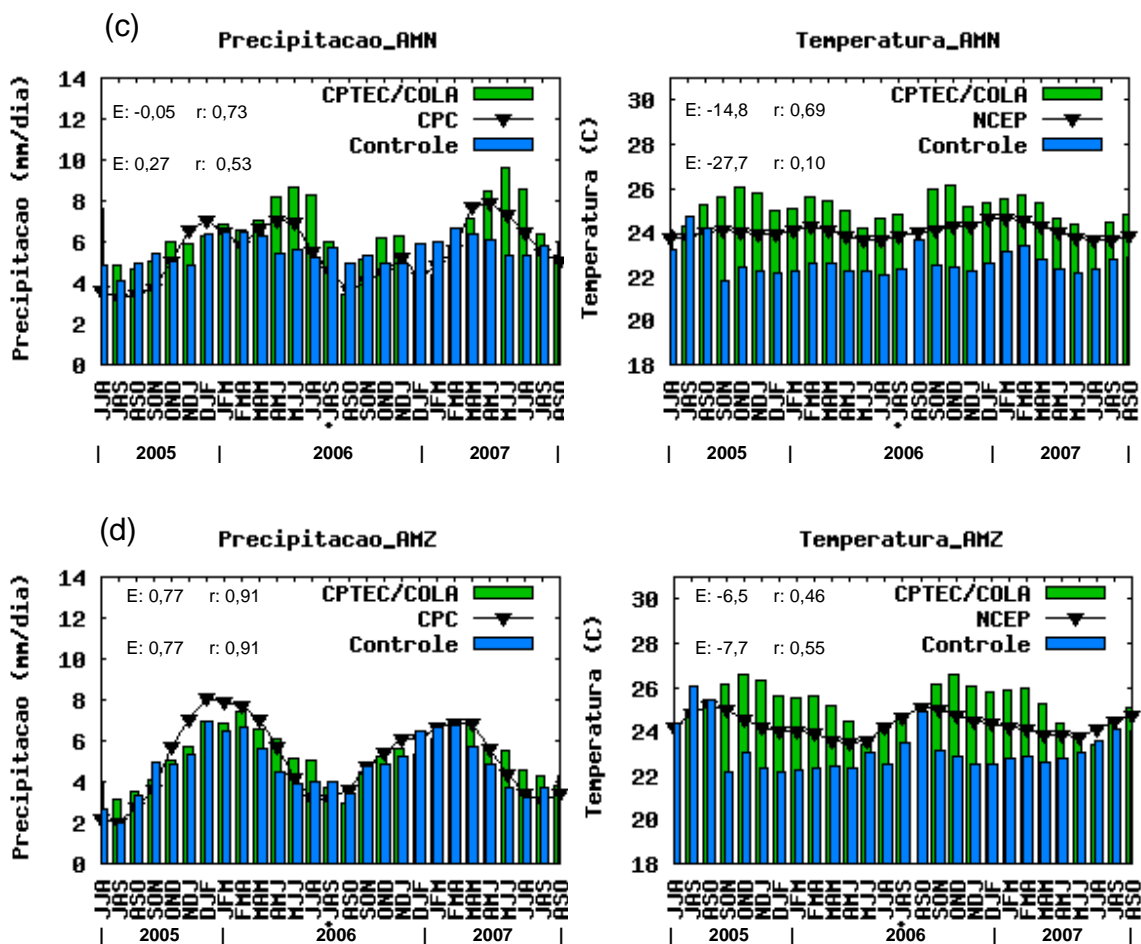


Tabela 3.1 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA.

Áreas	CPC		RegCM3		CPTEC/COLA		
	Média (mm/dia)	Média (mm/dia)	E	r	Média (mm/dia)	E	r
AML	4,8	4,7	0,69	0,87	5,6	0,59	0,84
AMS	4,5	3,3	0,63	0,96	3,6	0,67	0,94
AMN	5,5	5,6	0,27	0,53	6,4	-0,05	0,73
AMZ	5,1	4,8	0,77	0,91	5,2	0,77	0,91

Tabela 3.2 – Médias da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem *bias* (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA.

Áreas	NCEP		RegCM3			CPTEC/COLA		
	Média (°C)	Média (°C)	E	E_b	r	Média (°C)	E	r
AML	25,4	23,7	-2,89	0,39	0,76	25,8	-0,73	0,08
AMS	24,2	23,9	-2,02	-1,75	0,42	25,4	-5,74	0,60
AMN	24,0	22,7	-27,70	-5,05	0,10	25,0	-14,80	0,69
AMZ	24,3	23,2	-7,70	-2,11	0,55	25,2	-6,50	0,46

Na área Nordeste (figura 3.5) a média trimestral da chuva prevista pelo CPTEC/COLA foi maior que a análise do CPC em todos os trimestres, exceto em FMA/2006, e com a superestimativa da precipitação tornando-se maior durante os períodos secos. Segundo Oyama (2006), erros no posicionamento das ZCAS e ZCIT, encontrados em modelos de baixa resolução (i.e. modelo global do CPTEC/COLA) podem justificar a superestimativa da precipitação nesta área. No entanto, o RegCM3 (com maior resolução horizontal que o CPTEC/COLA) corrige este erro sistemático do modelo global para precipitação ao longo dos 27 trimestres em questão.

A temperatura média do ar na área NDE (figura 3.5) se mantém alta durante todos os trimestres, com valores máximos durante as estações secas e mínimos durante as úmidas. Isso indica que a chuva e a temperatura do ar podem estar associadas uma vez que a disponibilidade de radiação solar nesta área, localizada próxima ao equador, é praticamente constante durante todo o ano. Então a precipitação aumentaria a nebulosidade, reduzindo a incidência da radiação solar e, por conseguinte, diminuiria as temperaturas durante períodos de maior precipitação. O oposto também seria coerente, quando em períodos de menor precipitação a maior incidência de radiação solar aumentaria a temperatura do ar.

Os coeficientes de correlação linear (tabela 3.3 e 3.4) revelam que o RegCM3 apresentou desempenho superior ao CPTEC/COLA em reproduzir a variabilidade inter-sazonal da precipitação e temperatura do ar na área NDE. A justificativa para os valores calculados dos coeficientes de correlação do RegCM3 serem superiores aos do CPTEC/COLA, tanto para precipitação (0,84) quanto para temperatura do ar (0,90), deve-se ao fato dos valores trimestrais previstos pelo CPTEC/COLA não estarem em fase com os valores das análises do CPC e re-análise do NCEP. Ou seja, o modelo global previu os máximos e mínimos de chuva e temperatura do ar com defasagem temporal em relação as análises.

Os valores negativos do coeficiente de eficiência E (tabela 3.3 e 3.4) para precipitação do CPTEC/COLA e temperatura do ar para os dois modelos, deve-se ao *bias* encontrado nas previsões destes modelos. Quando o *bias* da previsão de temperatura do ar do modelo regional é removido, nota-se que o valor de E_b é positivo e alto (tabela 3.4). Este valor indica que o RegCM3 é melhor preditor da temperatura do ar para área NDE que as médias trimestrais da re-análise do NCEP, quando remove-se o *bias* frio dos valores previstos.

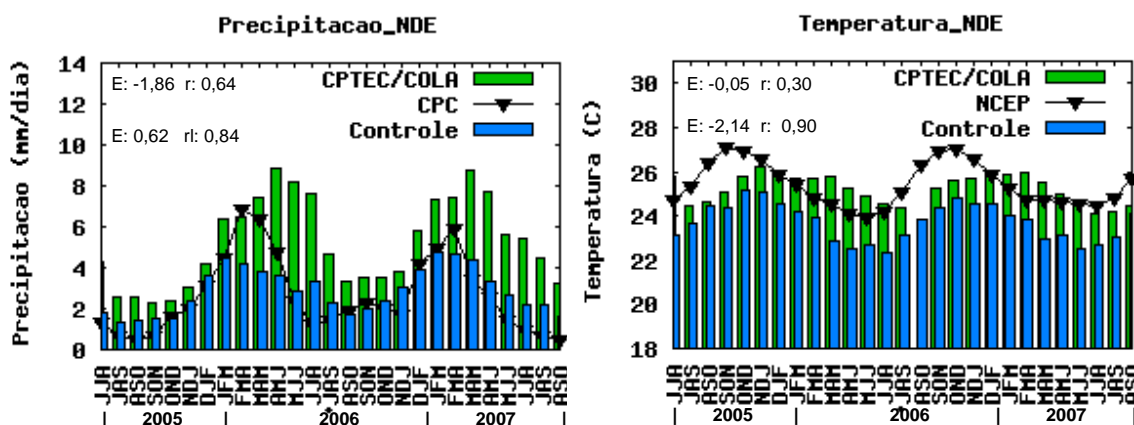


Figura 3.5 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e do CPTEC/COLA para a área do Nordeste – NDE.

Tabela 3.3 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área NDE.

Análise e previsões	Média (mm/dia)	E	r
CPC	2,6	-	-
RegCM3	2,9	0,62	0,84
CPTEC/COLA	5,2	-1,86	0,64

Tabela 3.4 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem *bias* frio (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área NDE.

Análise e previsões	Média (°C)	E	E_b	r
NCEP	25,4	-	-	-
RegCM3	23,7	-2,27	0,80	0,89
CPTEC/COLA	25,2	-0,05	-	0,30

Nota-se que a variabilidade inter-sazonal da análise do CPC foi bem representada por ambos os modelos na área SDE (figura 3.6), e isto justificava os altos valores de correlação para precipitação apresentados na tabela 3.5. Nota-se também durante a estação seca que o RegCM3 previu valores de chuva mais próximos aos da análise do CPC do que o CPTEC/COLA.

Durante a estação chuvosa de 2005/2006 o CPTEC/COLA superestimou a precipitação da análise do CPC em até 1,6 mm/dia (DJF de 2005/2006), enquanto o RegCM3 previu valores mais próximos aos da análise (OND e NDJ de 2005/2006). Entretanto, na segunda estação chuvosa da série temporal apresentada, o RegCM3 subestimou os valores de precipitação em até 3,6 mm/dia (NDJ de 2006) e o CPTEC/COLA, ao contrário da estação chuvosa de 2005/2006, subestimou os valores da análise do CPC.

Os modelos CPTEC/COLA e RegCM3 também previram a variabilidade inter-sazonal para a temperatura média do NCEP na área SDE como indica os valores de correlação mostrados na tabela 3.6. Nota-se ainda que a temperatura do ar prevista pelo RegCM3 subestimou os valores da re-análise do NCEP em todos os trimestres, com exceção de MAM e AMJ de 2006 e NDJ de 2006/2007. Outro erro encontrado na previsão da temperatura do ar do modelo regional para a área SDE diz respeito ao *bias* frio entre os trimestres JJA e OND. Isto reflete no valor negativo do coeficiente de eficiência (-0,17) encontrado para o RegCM3, enquanto o mesmo coeficiente para o CPTEC/COLA apresenta valor positivo (0,57), uma vez que as temperaturas do ar previstas por esse modelo apresentam *bias* menor em relação a re-análise.

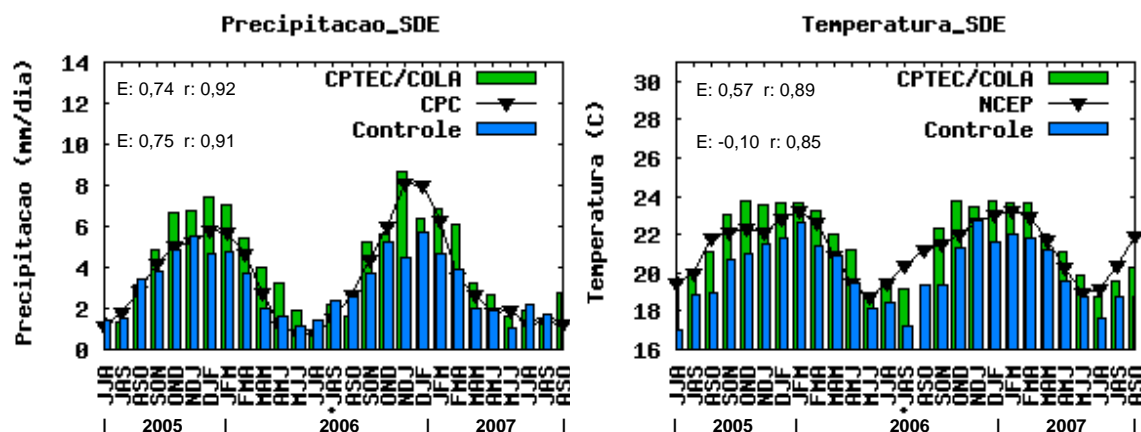


Figura 3.6 Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e do CPTEC/COLA para a área do Sudeste – SDE.

Tabela 3.5 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SDE.

Análise e previsões	Média (mm/dia)	E	r
CPC	3,4	-	-
RegCM3	3,1	0,75	0,91
CPTEC/COLA	4,1	0,74	0,92

Tabela 3.6 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem *bias* (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SDE.

	Média (°C)	E	r
NCEP	21,3	-	-
RegCM3	20,0	-0,17	0,85
CPTEC/COLA	21,7	0,57	0,89

A variabilidade inter-sazonal das previsões e análises em Minas Gerais (figura 3.7) é muito semelhante à encontrada no SDE (figura 3.6). Isto porque ambas as áreas fazem parte da Região Sudeste do Brasil e, portanto, possuem características climatológicas muito semelhantes com verões chuvosos e quentes e invernos frios e secos. Entretanto, algumas diferenças são encontradas, como o deslocamento da

estação chuvosa na análise do CPC do início de 2007 para o final de 2006, assim como o deslocamento dos máximos de temperatura do ar do NCEP de JFM de 2006 e 2007 para SON e ASO de 2005 e 2006, respectivamente.

Nota-se ainda que o RegCM3 previu valores de precipitação muito próximos aos valores da análise do CPC durante os períodos secos (MJJ,JJA,JAS). Esta mesma eficiência em prever valores próximos a análise não foi encontrada no modelo global, que superestimou a chuva durante o trimestre MMJ de 2006 em até 1,5 mm/dia. A superestimativa do CPTEC/COLA atinge valores tão altos quanto 4 mm/dia durante alguns trimestres do período chuvoso, por exemplo, JFM de 2007. Como consequência dessas superestimativas os coeficientes de eficiência apresentados na tabela 3.7 indicam que o RegCM3 foi melhor preditor da precipitação para a área de Minas Gerais que o CPTEC/COLA e a média dos valores trimestrais do CPC.

Quando comparado a re-análise do NCEP, a temperatura do ar apresenta o mesmo comportamento discutido para a figura 3.6, ou seja, *bias* frio maior nos trimestres mais secos (geralmente entre os trimestres JJA e OND). E como consequência desse *bias* frio o coeficiente de eficiência do RegCM3 para a temperatura do ar é negativo (tabela 3.8), e o coeficiente de correlação linear é menor do que no SDE em função da defasagem entre os máximos e mínimos previstos pelos modelos e os da re-análise. Os coeficientes de correlação encontrados para os valores trimestrais de chuva na área MGS são maiores do que os obtidos por da Rocha et al. (2008 - submetido) para 17 verões quando o RegCM3 foi aninhado a re-análise do NCEP.

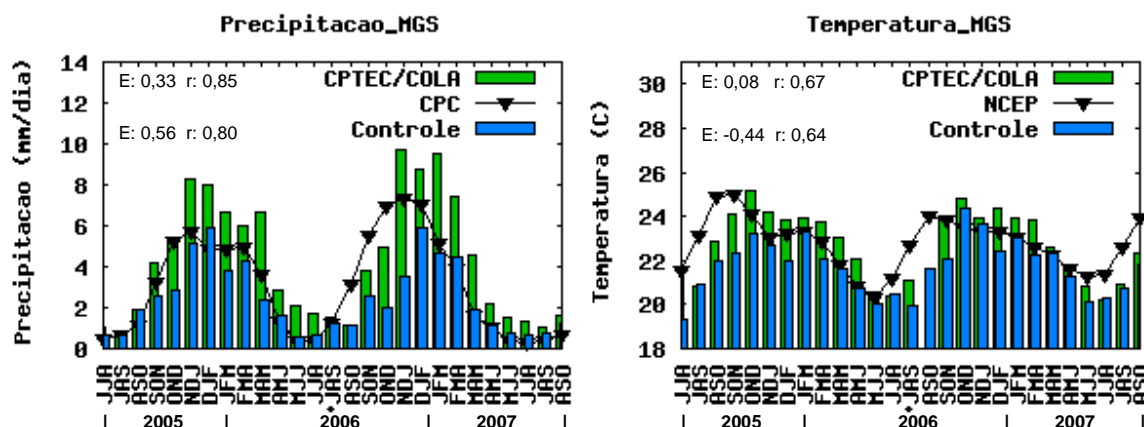


Figura 3.7 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e do CPTEC/COLA para a área de Minas Gerais – MGS.

Tabela 3.7 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área MGS.

Análise e previsões	Média (mm/dia)	E	r
CPC	3,0	-	-
RegCM3	2,4	0,56	0,80
CPTEC/COLA	4,2	0,33	0,85

Tabela 3.8 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem *bias* (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área MGS.

Análise e previsões	Média (°C)	E	r
NCEP	22,8	-	-
RegCM3	21,7	-0,52	0,63
CPTEC/COLA	22,7	0,08	0,67

De maneira geral, a precipitação prevista pelos modelos global e regional na área definida como Região Sul (figura 3.8) apresentou valores muito próximos à análise do CPC até o trimestre DJF de 2006/2007. Entre os trimestres DJF de 2006/2007 e MJJ de 2007, tanto o RegCM3 quanto o CPTEC/COLA subestimaram os valores da chuva da análise do CPC. Essa subestimativa da precipitação na área SUL foi confirmada

também pelo valor negativo e próximo a zero dos coeficientes de eficiência dos modelos de previsão global e regional, respectivamente (tabela 3.9). No entanto, assim como na área do Sudeste e de Minas Gerais, os modelos CPTEC/COLA e RegCM3 previram corretamente a inter-sazonalidade da precipitação e da temperatura do ar, como indicam os valores altos encontrados para os coeficientes de correlação linear (tabela 3.9).

O modelo RegCM3 apresenta melhor desempenho em prever a temperatura do ar quando comparado à previsão do modelo do CPTEC/COLA, pois nota-se na figura 3.8 que o modelo global previu valores médios trimestrais maiores que os da re-análise do NCEP em quase toda a série temporal. Este é um erro sistemático do modelo global que o RegCM3 corrige, prevendo muitas vezes médias trimestrais muito próximas da re-análise do NCEP e por isso apresentando valor de coeficiente de eficiência maior (tabela 3.10).

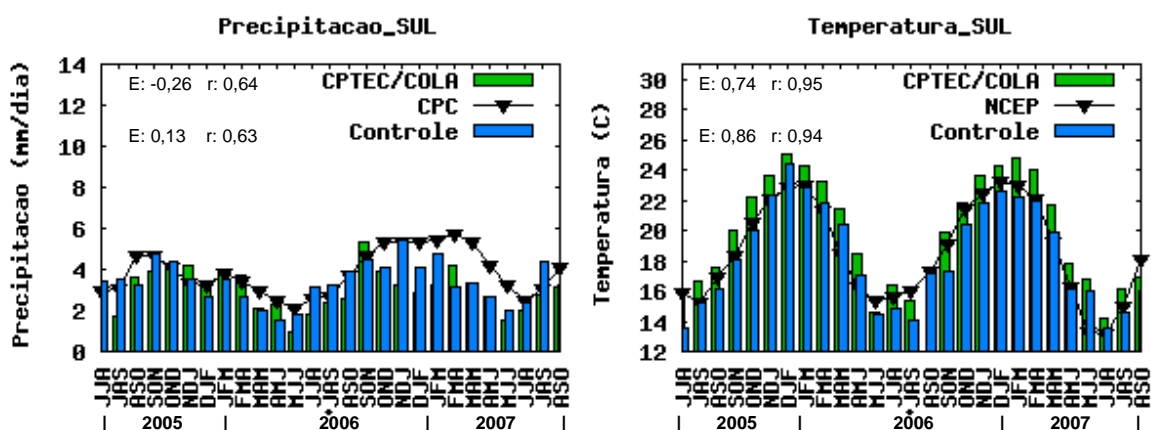


Figura 3.8 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e do CPTEC/COLA para a área Sul – SUL.

Tabela 3.9 – Média da precipitação dos 27 trimestres para análise do CPC, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r) e de eficiência (E) para precipitação prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SUL.

Análise e previsões	Média (mm/dia)	E	r
CPC	3,9		
RegCM3	3,4	0,13	0,63
CPTEC/COLA	3,0	-0,26	0,64

Tabela 3.10 – Média da temperatura do ar dos 27 trimestres para re-análise do NCEP, RegCM3 e CPTEC/COLA; e coeficiente de correlação linear (r), de eficiência (E) e eficiência sem *bias* frio (E_b) para temperatura do ar prevista pelo RegCM3 e CPTEC/COLA na área SUL.

Análise e previsões	Média (°C)	E	r
NCEP	18,6	-	-
RegCM3	18,3	0,86	0,94
CPTEC/COLA	19,9	0,74	0,95

3.3 Avaliação do RegCM3 em relação a climatologia

Este item avalia objetivamente o desempenho do modelo regional contra a climatologia da precipitação e temperatura do ar. Para tal avaliação, foi calculado o coeficiente de eficiência E' , descrito no capítulo 2, o qual indica se o modelo regional é melhor ou pior preditor que as climatologias das análises para prever a precipitação e temperatura do ar trimestral nas diferentes áreas deste estudo. Calculou-se ainda para as áreas AML, AMN, AMZ e NDE o coeficiente de eficiência E' removendo o *bias* (E'_b) das previsões do modelo regional.

O clima atual da região Amazônica é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar (FISCH; NOBRE, 1998). Segundo Salati e Marques (1984), a Amazônia, situada na região entre 5° N e 10° S, recebe no topo da atmosfera um valor máximo de 36,7 MJm⁻²dia¹ em dezembro/janeiro e um valor mínimo de 30,7 MJm⁻²dia¹ em junho/julho. Medidas realizadas na Amazônia Central (Manaus-AM) indicam que os maiores totais de radiação que chegam na

superfície ocorrem nos meses de setembro/outubro, e os mínimos nos meses de dezembro à fevereiro. Esta distribuição é controlada pela nebulosidade advinda da migração NW/SE da convecção amazônica (HOREL et al., 1989).

Devida a alta quantidade de energia que incide na superfície, a temperatura do ar apresenta pequena variação ao longo do ano, com exceção da parte mais ao sul (AMS), que sofre a ação de sistemas frontais durante os trimestres de menor precipitação (BRINKMAN; RIBEIRO, 1972).

É possível notar que os coeficientes E' para previsão de precipitação (tabela 3.11), são todos maiores que zero, indicando que a chuva nas áreas definidas sobre a Amazônia (figura 3.9) foi melhor prevista pelo modelo regional quando comparada à média trimestral climatológica. Entretanto, o mesmo resultado não foi encontrado para a temperatura do ar prevista pelo RegCM3. Verifica-se E' negativo para todas as áreas da Amazônia. Estes coeficientes negativos, indicando que o RegCM3 foi pior preditor da temperatura do ar comparado à climatologia está associado ao *bias* frio encontrado nas previsões trimestrais.

Entretanto, quando se soma o *bias* do RegCM3 aos valores médios trimestrais previstos, obtém o coeficiente de eficiência sem o *bias* (E'_b). A tabela 3.11 mostra que E'_b é positivo em todas as áreas da Amazônia com exceção da AMS, que continuou prevendo pior que a média climatológica da temperatura do ar.

Tabela 3.11 – Médias e coeficientes de eficiência (E' e E'_b) da precipitação e temperatura do ar para as 8 áreas de estudo.

Área	Precipitação				Temperatura				
	Média (mm/dia)			E'	Média (°C)			E'	E'_b
	CPC	RegCM3	Climatológica		NCEP	RegCM3	Climatológica		
AML	4,8	4,7	4,5	0,49	25,4	23,7	25,1	-1,09	0,32
AMS	4,5	3,3	4,7	0,46	24,2	23,9	25,1	-0,24	-0,64
AMN	5,5	5,6	6,1	0,21	24,0	22,7	25,4	-0,01	0,66
AMZ	5,1	4,8	5,1	0,55	24,3	23,2	25,3	-0,19	0,33
NDE	2,6	2,9	2,0	0,37	25,4	23,7	25,0	-1,00	0,78
SDE	3,4	3,1	3,5	0,57	21,3	20,0	20,3	0,15	-
MGS	3,0	2,4	3,0	0,52	22,8	21,7	22,5	-0,11	-
SUL	3,9	3,4	4,3	0,23	18,6	18,3	18,2	0,68	-

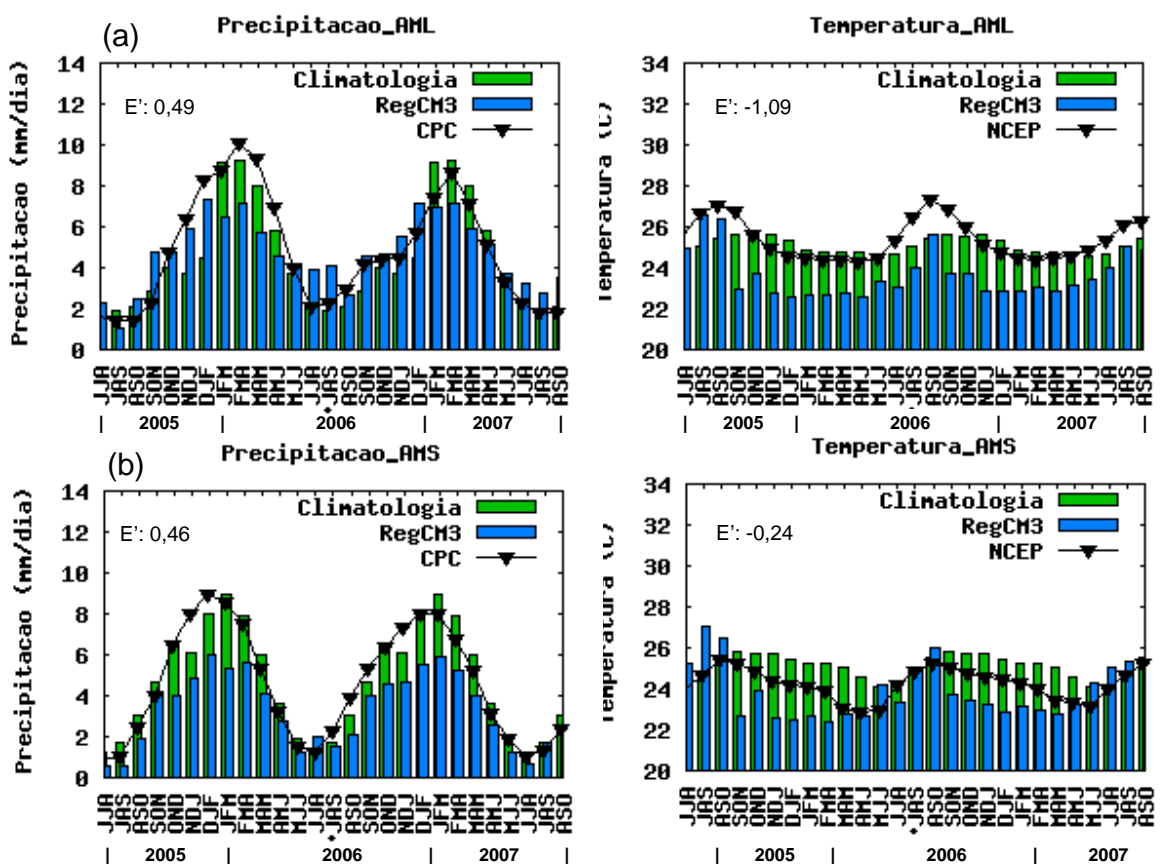
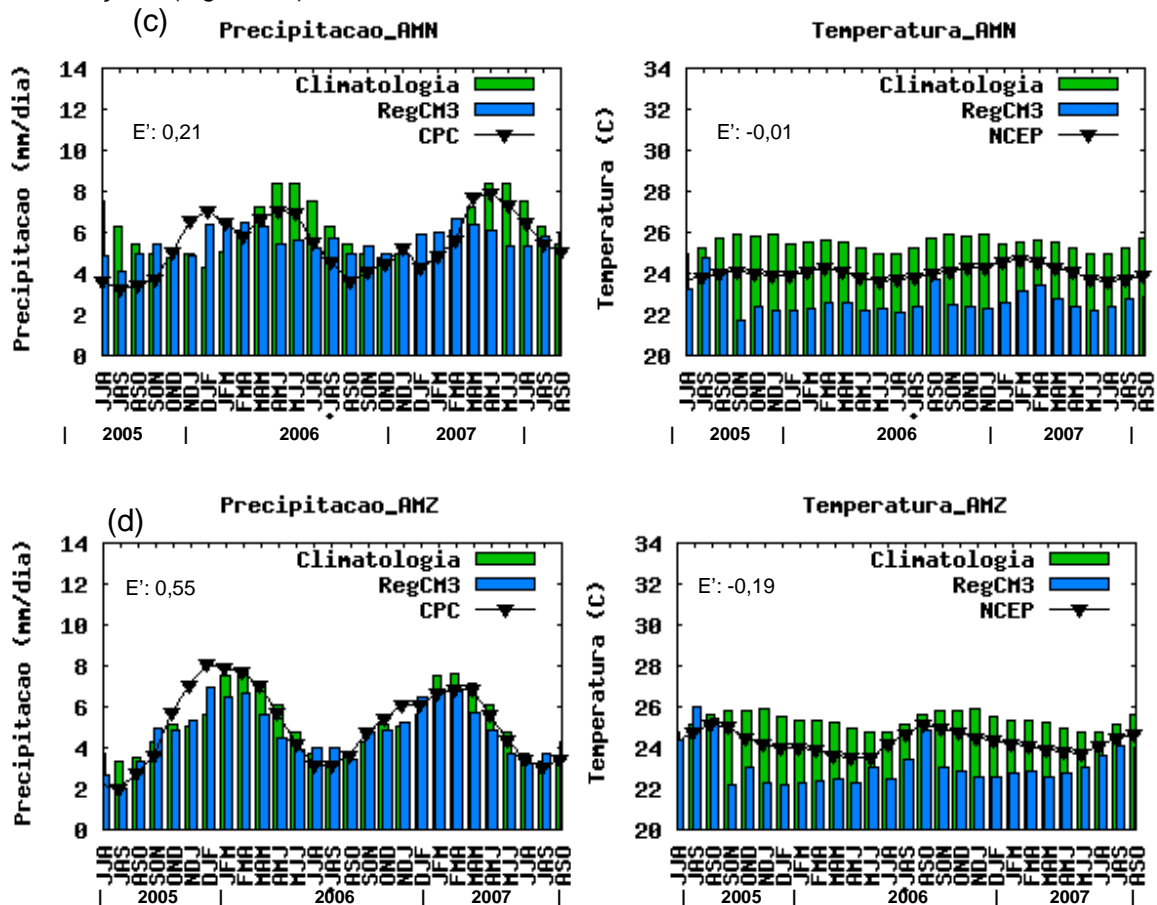


Figura 3.9 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para as áreas da (a) Amazônia Leste – AML, (b) Amazônia Sul – AMS, (c) Amazônia Norte – AMN e (d) Amazônia – AMZ.

Continuação – (Figura 3.9)



Nota-se na área definida sobre o Nordeste (figura 3.10) que tanto a climatologia quanto o RegCM3 não reproduziram os máximos de precipitação da análise do CPC que ocorreram durante o período chuvoso de 2006. Nos períodos secos de 2006 e 2007 a climatologia apresentou valores mais próximos à análise do CPC se comparado aos valores previstos pelo modelo regional. No entanto, o valor de E' (0,37) apresentado na tabela 3.11 indica que o RegCM3, assim como para as áreas da Amazônia (figura 3.9), também previu melhor as médias trimestrais da precipitação no NDE quando comparado à climatologia.

A variabilidade inter-sazonal da temperatura do ar da re-análise do NCEP foi bem reproduzida tanto pela previsão do RegCM3 quanto pela climatologia. No entanto, a climatologia não apresenta o *bias* frio do modelo regional, uma vez que mostra valores mais próximos aos da re-análise do NCEP. O *bias* frio da previsão do RegCM3 implicou em coeficiente de eficiência E' negativo (-1), mas quando remove-se o *bias* dos valores trimestrais previstos pelo RegCM3, nota-se que E'_b é positivo (0,78) (tabela 3.11), revelando assim que o modelo regional foi melhor preditor da temperatura do ar na área NDE que a climatologia.

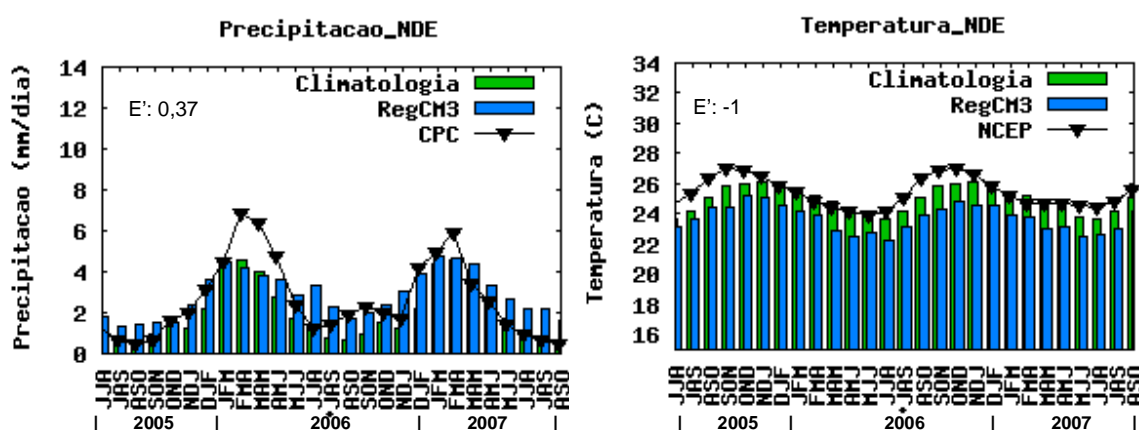


Figura 3.10 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área do Nordeste – NDE.

De maneira geral, durante os períodos secos na área SDE os valores trimestrais da climatologia e RegCM3 estavam próximos aos valores da análise do CPC (figura 3.11). Entretanto, no período chuvoso de 2005/2006 nota-se que o RegCM3 subestimou a precipitação do CPC nos trimestres DJF, JFM e FMA, enquanto a climatologia previu valores mais próximos à análise.

Os máximos observados de precipitação nos trimestres NDJ e DJF de 2006/2007, estiveram associados a sistemas frontais, ZCAS e vórtices ciclônicos em altos níveis, os quais provocaram altos índices de chuvas diárias como as registradas em Votuporanga-SP, 162,6 mm no dia 02 de janeiro; Ribeirão Preto-SP, 95 mm no dia 03 de janeiro; Cravinhos-SP, 120 mm no dia 14 de janeiro e São Paulo-SP, 103,3 mm no dia 8 de fevereiro (CLIMANÁLISE, 2007). Esses eventos extremos de chuva ocorridos na área SDE (figura 3.11) durante os trimestres NDJ e DJF de 2006/2007 elevaram a média trimestral da análise do CPC e não foram previstos pelo RegCM3 e tão pouco pelos valores médios trimestrais climatológicos. Ainda assim, o valor calculado para E' (0,57) mostra que o RegCM3 foi melhor preditor da chuva na área SDE do que a climatologia trimestral.

Ainda para SDE, a exemplo do ocorrido na área NDE (figura 3.10), nota-se que a climatologia da temperatura do ar (figura 3.11) diminuiu consideravelmente o *bias* frio apresentado pelas previsões do RegCM3 em 15 dos 27 trimestres de previsão.

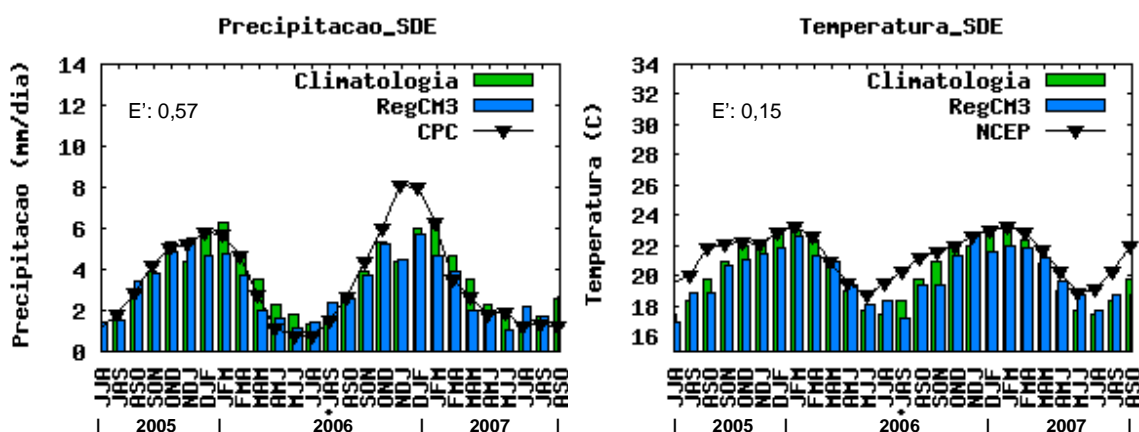


Figura 3.11 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área do Sudeste – SDE.

Nota-se na área MGS (figura 3.12) que a chuva prevista pelo RegCM3 no período seco é muito próxima do CPC. Entretanto, principalmente durante o final do período seco de 2006 e início do período chuvoso de 2006/2007 a precipitação prevista pelo RegCM3 e também pela climatologia subestimaram, respectivamente, em até 5 mm/dia e 3 mm/dia à análise do CPC. Essa subestimativa da chuva, a exemplo da área SDE, pode estar associada a eventos extremos de precipitação ocorridos nos trimestres NDJ e DJF de 2006/2007 que não foram previstos pelo RegCM3. Em novembro nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, houve predominância de chuva acima da média com totais mensais superiores a 300 mm nas cidades de Diamantina e Teófilo Otoni, em Minas Gerais, e em Linhares e São Mateus, no Espírito Santo. Em dezembro as chuvas sobre a Região Sudeste estiveram mais concentradas em Minas Gerais, setores norte e oeste do Estado de São Paulo e no Espírito Santo, devido, principalmente, à atuação de ZCAS. Em Vitória-ES, registrou-se 93,5 mm de chuva no dia 11 de dezembro (CLIMANÁLISE, 2006). Nos dias 21, 23 e 30 de janeiro, choveu 89,8 mm em Resende-RJ, 92,7 mm na cidade de Viçosa-MG e 94,6 mm em Itaperuna-RJ, respectivamente, devido também à atuação de ZCAS (CLIMANÁLISE, 2007). Isto revela certa dificuldade do RegCM3 em prever médias de precipitação em trimestres com eventos extremos de chuva sobre as áreas MGS e SDE.

Em MGS, assim como em SDE, a climatologia mostra *bias* frio menor se comparado ao *bias* da previsão do RegCM3 em relação a re-análise do NCEP (figura 3.12). Essa diminuição do *bias* é notada principalmente entre os trimestres JJA a SON, trimestres nos quais o RegCM3 previu com menor eficiência a temperatura do ar na

área MGS. Isto justifica o valor de E' (-0,11) mostrado na tabela 3.11, e indica que a climatologia é melhor preditora da temperatura do ar que o modelo regional.

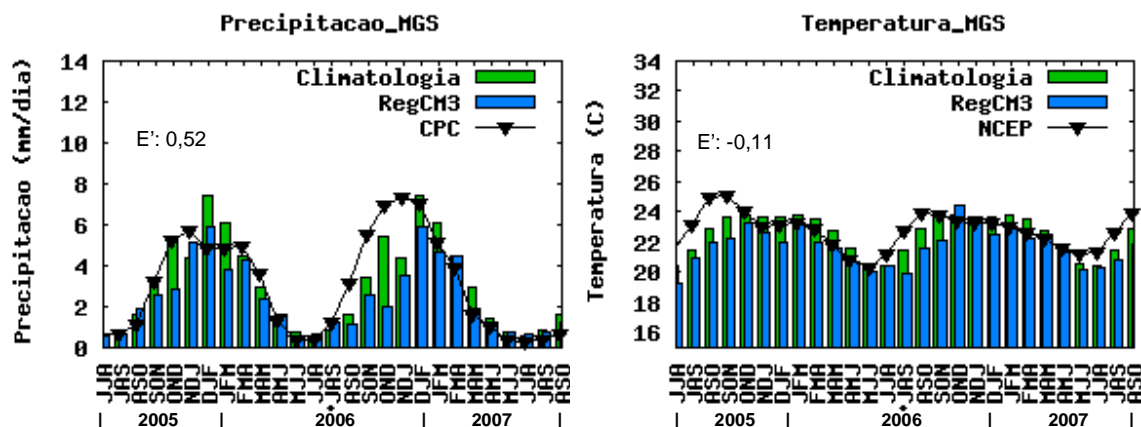


Figura 3.12 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área de Minas Gerais – MGS.

A figura 3.13 revela que entre os trimestres NDJ de 2005/2006 à JJA de 2006 as médias trimestrais da análise do CPC ficaram abaixo das médias climatológicas. Isto pode estar associado à baixa frequência de ocorrência dos sistemas frontais e pela rápida passagem dos mesmos nestes trimestres, o que é desfavorável para organizar a convecção e conseqüentemente as chuvas. Esta seqüência de meses com precipitação abaixo da média histórica refletiu em problemas na agricultura e nos níveis dos reservatórios, destinados ao abastecimento e ao setor hidroelétrico (CLIMANÁLISE, 2006). Para este período o RegCM3 mostrou-se melhor predictor da chuva do que a climatologia (figura 3.13), e o oposto é obtido entre FMA e MJJ de 2006. Mesmo assim, o valor positivo (0,23) encontrado para o coeficiente de eficiência E' (tabela 3.11), indica que o modelo regional foi melhor predictor que a média trimestral climatológica e da análise (tabela 3.9) nesta área.

Para a temperatura do ar na área SUL (figura 3.13 e tabela 3.11), tanto a climatologia quanto o RegCM3 apresentaram um excelente desempenho em prever valores médios trimestrais muito próximos da re-análise do NCEP. A variabilidade inter-sazonal foi reproduzida pela climatologia como pelo modelo regional. O alto valor do coeficiente de eficiência E' (0,68), o maior obtido entre todas as áreas avaliadas (tabela 3.11), explica o bom desempenho do RegCM3 em prever a fase e amplitude da temperatura do ar no Sul do Brasil.

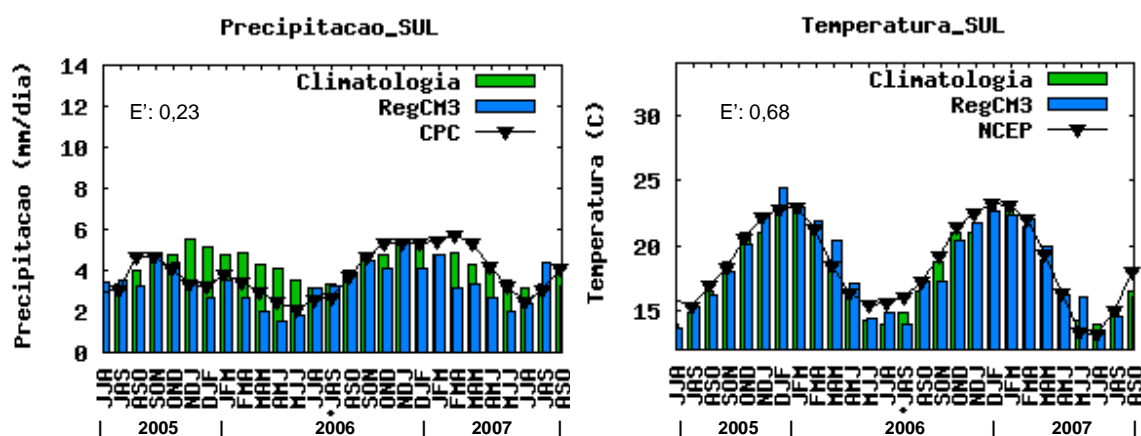


Figura 3.13 – Médias trimestrais da precipitação da análise do CPC (coluna esquerda) e temperatura do ar da re-análise do NCEP (coluna direita) e das previsões do RegCM3 e climatologia para a área Sul – SUL.

Conforme discutido e sintetizado na tabela 3.11 é possível afirmar que o modelo regional climático previu melhor a precipitação trimestral nas 8 áreas consideradas, quando comparado à climatologia trimestral. Em relação à temperatura do ar o RegCM3 foi pior preditor em relação à climatologia em apenas 2 das 8 áreas sob estudo. Isto porque as áreas AMS e MGS apresentam coeficiente de eficiência E'_b e E' , respectivamente, menores que zero (tabela 3.11).

4 EXPERIMENTOS DE SENSIBILIDADE

Este capítulo avalia os experimentos de sensibilidade e *ensemble*, realizados em 9 trimestres, com exceção do Controle integrado em 27 trimestres. O objetivo deste capítulo é identificar se o uso das parametrizações de convecção Grell, Emanuel e Kuo em uma nova versão do modelo RegCM3 foi capaz de aprimorar os resultados para precipitação e temperatura do ar encontrados nas previsões de Controle para as 8 áreas definidas no capítulo 2. Investiga-se ainda o desempenho do *ensemble* físico realizado para verificar se a média das previsões dos experimentos de sensibilidade aumentam o *skill* das previsões em relação as análises.

Uma breve avaliação subjetiva do desempenho dos experimentos de sensibilidade é realizada e posteriormente os resultados dos experimentos e *ensemble* serão discutidos de forma objetiva.

4.1 Avaliação subjetiva

No trimestre DJF de 2005/2006 nenhum experimento conseguiu reproduzir o máximo de precipitação da análise do CPC (figura 4.1a) posicionado sobre a Amazônia. Tanto o experimento de Controle (figura 4.1b) quanto o RegCMGR (figura 4.1d) previram a intensidade do máximo de chuva sobre a Amazônia (8 mm/dia), porém nenhum destes reproduz espacialmente a localização do mesmo.

Nota-se que o Controle e o RegCMGR previram com habilidade o mínimo de chuva trimestral sobre a Região Sul encontrado no CPC, entretanto sobre o Nordeste esta habilidade não é encontrada para prever a chuva do verão de 2005/2006.

De maneira geral a previsão do experimento RegCMEM (figura 4.1c) superestima a precipitação da análise do CPC sobre todas as Regiões no verão de 2005/2006, prevendo máximos de chuva homogêneos sobre a Região Norte e Centro-Oeste.

Na Região Sul, apenas na metade sul do Rio Grande do Sul o RegCMEM previu o mínimo de precipitação encontrado na análise. Nas demais áreas desta Região o RegCMEM superestima os valores trimestrais médios da chuva do CPC.

O experimento RegCMAK, dentre todos os experimentos de sensibilidade deste estudo, é o que previu os valores de precipitação mais próximos da análise do CPC no Nordeste para o verão de 2005/2006. Entretanto, nas demais Regiões esse experimento não mostra ser bom preditor da chuva durante o trimestre DJF de 2005-2006 comparado a análise do CPC, uma vez que subestima a intensidade da precipitação sobre a Região Norte, Sudeste e parte da Centro-Oeste e superestima sobre o estado de Santa Catarina.

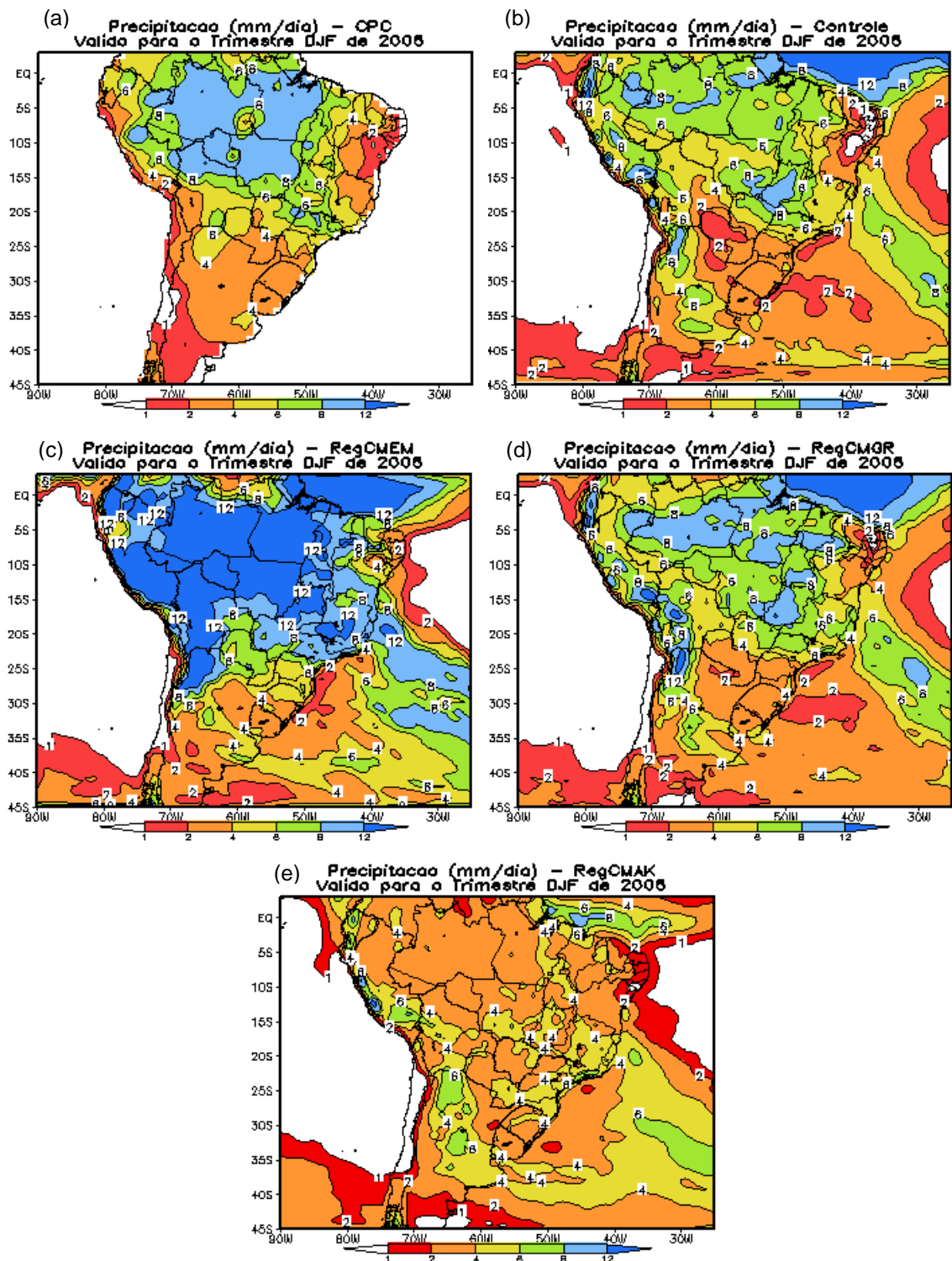


Figura 4.1 – Precipitação média sazonal (mm/dia) para o trimestre DJF de 2005 da análise do CPC (a) e previsões com os experimentos de Controle (b), RegCMEM (c), RegCMGR (d) e RegCMAK (e).

As previsões do RegCMEM, RegCMGR, RegCMAK e Controle, assim como a re-análise do NCEP para temperatura do ar no trimestre DJF de 2005/2006 são apresentadas na figura 4.2.

Nota-se que o RegCMAK (figura 4.2e) quando comparado aos demais experimentos, é o que melhor previu a intensidade (24°C) e o posicionamento da temperatura do ar encontrado na re-análise do NCEP (figura 4.2a) sobre a Amazônia. Entretanto, na maior parte da Região Nordeste o RegCMAK previu temperaturas menores que a re-análise do NCEP enquanto o RegCMEM (figura 4.2c) previu temperaturas mais próximas da re-análise. Todos os experimentos de sensibilidade previram de forma coerente com o NCEP temperaturas elevadas no verão de 2005/2006 no setor sul-oeste do Brasil e temperaturas mais frias no meio leste da Região Sul.

Sobre o Sudeste o RegCMEM assim como na Região Nordeste, mostrou habilidade em prever a temperatura do ar com padrão espacial semelhante ao encontrado no NCEP. Sobre a Região Centro-Oeste o experimento Controle (figura 4.2b) previu a intensidade e a localização da temperatura do ar de forma semelhante a re-análise. De maneira geral, o RegCMGR (figura 4.2d) é o experimento que previu menores temperaturas sobre todo o domínio no trimestre DJF de 2005/2006.

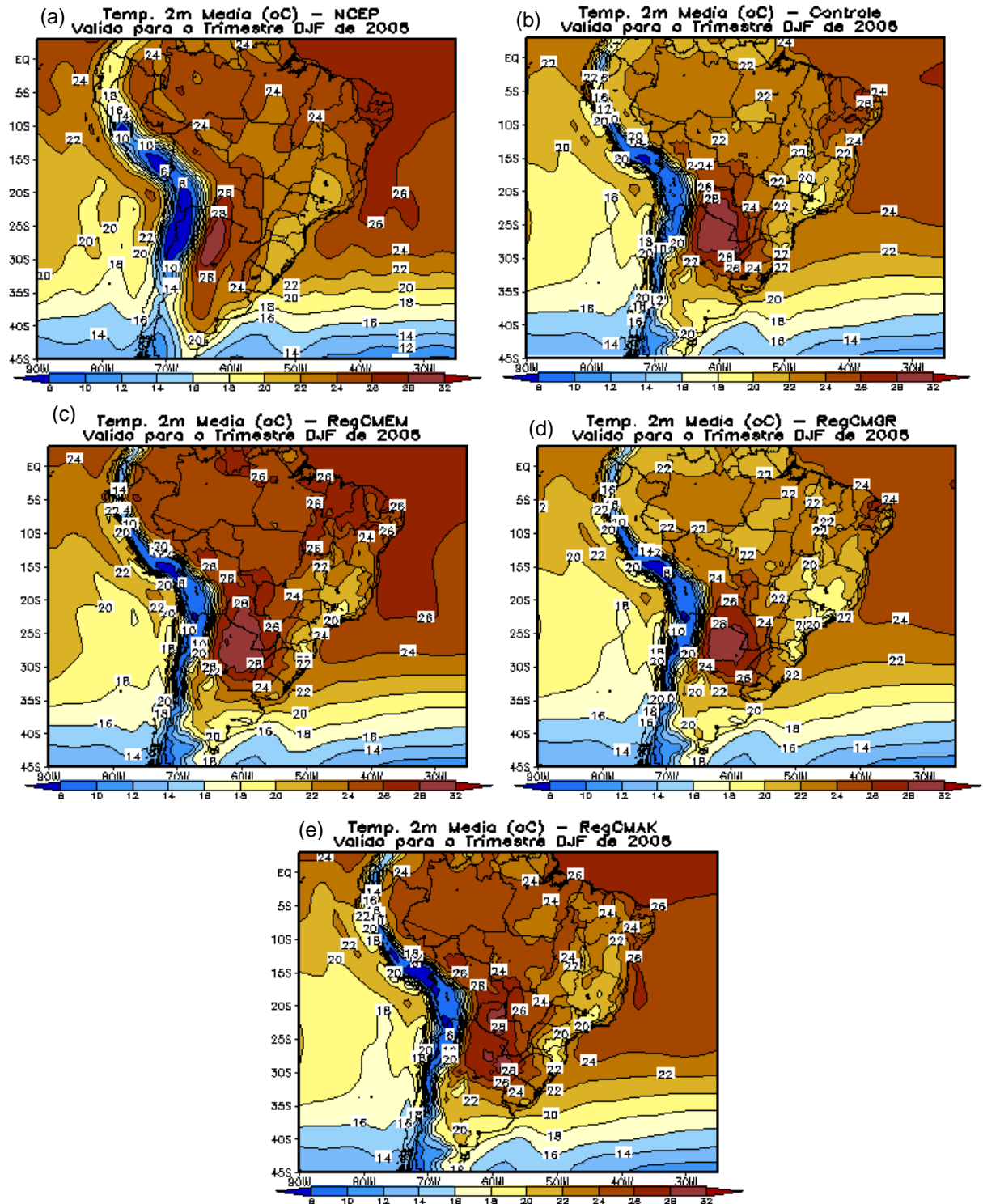


Figura 4.2 – Temperatura a 2 metros média sazonal (°C) para o trimestre DJF de 2005/2006 da re-análise do NCEP (a) e previsões com os experimentos de Controle (b), RegCMEM (c), RegCMGR (d) e RegCMAK (e).

4.2 Avaliação objetiva

Conforme descrito no capítulo 2, os índices estatísticos foram calculados utilizando as médias dos 9 trimestres de integração em comum dos experimentos de sensibilidade (tabela 2.3) nas 8 áreas definidas sobre o Brasil (figura 2.1). Esses índices também foram calculados para o *ensemble* dos experimentos de sensibilidade. O uso de índices estatísticos tem como objetivo quantificar e identificar qual parametrização de convecção do RegCM3 apresenta melhor previsão de precipitação e a temperatura do ar comparado à análise do CPC e re-análise do NCEP, respectivamente, nessas 8 áreas. Ressalta-se que se determinado experimento de sensibilidade ou *ensemble* recebe maior número de score em determinada área, não significa que os demais também não sejam bons preditores para a área em questão. A quantificação através do scores tem por objetivo único identificar qual o melhor experimento entre os avaliados para determinada área, não cabendo a quantificação discriminar se os outros experimentos de sensibilidade ou *ensemble* também são bons preditores.

A análise do CPC (figura 4.3a) mostra máximos de precipitação nos trimestres FMA de 2006 e 2007 na parte leste da Amazônia (AML). Estes máximos foram encontrados em outros estudos como de Kousky e Molion (1981), que associaram estes altos valores de chuva provavelmente à atuação de linhas de instabilidade. Nos trimestres JJA há um decréscimo na precipitação da análise do CPC devido ao deslocamento da ZCIT para o Hemisfério Norte. Segundo Hastenrath e Heller (1977), o

cavado equatorial³ encontra-se sobre esta região intensificando a precipitação no noroeste e norte da Amazônia e diminuindo as chuvas na Amazônia Leste.

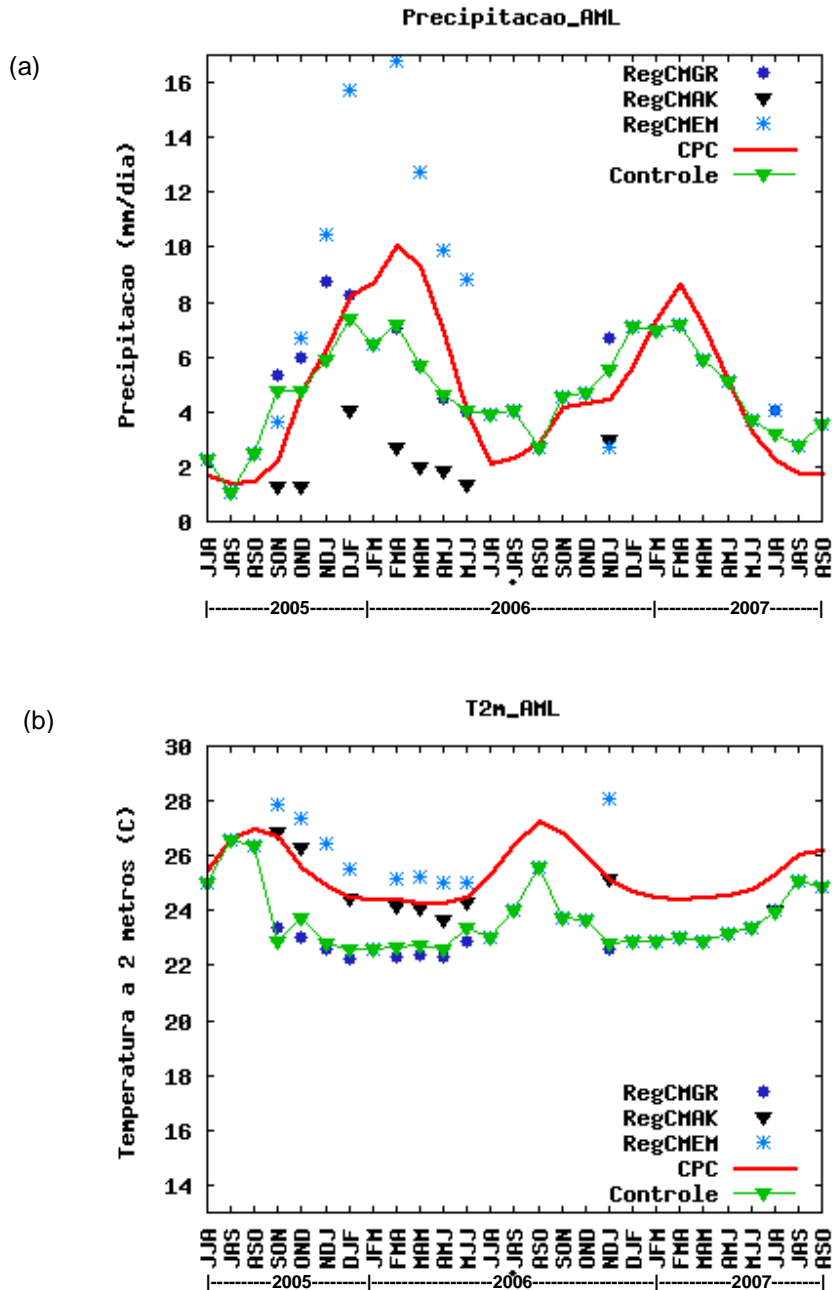


Figura 4.3 – Médias trimestrais dos experimentos de sensibilidade e *ensemble* para (a) precipitação contra análise do CPC e (b) temperatura do ar contra re-análise do NCEP na AML.

³ Zona alongada de baixa pressão, chamada de depressão equatorial ou cavado equatorial, a qual a ZCIT está associada.

Nota-se que o experimento de Controle previu os máximos e mínimos da chuva da análise do CPC (figura 4.3a), entretanto sempre subestimando (superestimando) a intensidade durante o período chuvoso (seco). A figura 4.3a revela ainda que o experimento RegCMGR previu médias trimestrais de precipitação muito próximas das do Controle, principalmente nos trimestres FMA de 2006 (Controle 7,1 mm/dia contra 7,0 mm/dia do RegCMGR) e MAM de 2006 (Controle 5,6 mm/dia contra 5,7 mm/dia do RegCMGR). As previsões com o RegCMAK sempre subestimaram os valores médios da análise do CPC, chegando a subestimar em até 7,4 mm/dia no trimestre FMA de 2006 (figura 4.3a). O contrário foi encontrado no RegCMEM, que previu chuva média trimestral sempre maior que do CPC, chegando a superestimar a precipitação em 6,6 mm/dia (FMA de 2006). O *ensemble* na área AML (figura 4.3a) reduziu os erros de previsão dos experimentos de sensibilidade apresentando médias trimestrais mais próximas da análise do CPC, principalmente no período chuvoso de 2006.

As previsões do Controle para temperatura do ar na área AML (figura 4.3 b), com exceção dos trimestres JJA e JAS de 2005, apresentaram *bias* frio em relação a re-análise do NCEP. Entretanto, a variabilidade inter-sazonal foi reproduzida pelo Controle durante os 27 trimestres, ou seja, previu corretamente os trimestres com máximos de temperatura do NCEP (ASO de 2005 e 2006), e também o período de baixa variabilidade da temperatura do ar (NDJ de 2005 - MJJ de 2006 e NDJ de 2006 - MJJ de 2007), embora quase sempre subestimando as médias trimestrais do NCEP. Tanto o *ensemble* quanto os experimentos RegCMAK e RegCMEM diminuíram significativamente o *bias* frio do Controle. O RegCMAK previu valores médios trimestrais muito próximos ou iguais aos da re-análise do NCEP. Por exemplo, em SON

de 2005 foi previsto 26,9°C e a média trimestral do NCEP foi 26,7°C, DJF de 2005/2006 com previsão de 24,4°C e média trimestral da re-análise 24,5°C. Apenas no trimestre NDJ de 2005/2006 nota-se uma subestimativa da temperatura do ar de -2,2°C.

O RegCMEM na área AML (figura 4.3 b) também diminuiu o *bias* frio da previsão da temperatura do ar do experimento Controle (figura 4.3 b), uma vez que os valores médios trimestrais, embora superestimando, estão mais próximos da re-análise do NCEP se confrontados ao Controle. O experimento RegCMGR previu a temperatura do ar na área AML muito próxima ao Controle, subestimando os valores da re-análise nos 9 trimestres.

As médias trimestrais do *ensemble* para temperatura do ar (figura 4.3b) apresentaram *bias* menor que os experimentos RegCMGR, Controle e RegCMEM. Nota-se ainda que nos trimestres OND de 2005 e NDJ de 2006/2007 o *ensemble* apresentou médias muito próximas da re-análise do NCEP ($\pm 0,4$ °C).

Conforme a tabela 4.2, o menor *bias* (B) para área AML foi obtido no experimento RegCMGR (-0,03 mm/dia), portanto esse índice absoluto recebe escore 1. Esse menor valor se justifica pois o RegCMGR previu médias trimestrais mais próximas às do CPC (figura 4.3a), quando comparado aos demais experimentos e ao *ensemble*. Ainda a respeito do *bias* é importante ressaltar que o *ensemble* também apresenta *bias* menor (-0,25 mm/dia) do que os experimentos RegCMEM (3,44 mm/dia), RegCMAK (-3,69 mm/dia) e Controle (-0,73 mm/dia). O erro absoluto (EA) é menor e mais próximo de zero no *ensemble* indicando maior semelhança o CPC. O REQ para os experimentos RegCMAK (4,42 mm/dia) e RegCMEM (4,34 mm/dia) revelam previsões de chuva

distantes das médias da análise do CPC. O *ensemble* apresentou o menor valor de REQ e, portanto, recebeu escore 1 neste índice estatístico.

A tabela 4.2 mostra que a razão entre os desvios padrões indica que o *ensemble* apresentou maior semelhança com a análise do CPC no que diz respeito à variabilidade temporal. Nota-se também alta correlação linear (acima de 0,7) nos experimentos RegCMEM, Controle e *ensemble*, indicando fase prevista próxima a da análise do CPC. Para este índice, o RegCMEM recebeu escore 2, pois é o que atinge valor mais próximo de 1 (0,89) quando comparado aos demais experimentos e ao *ensemble*. O *ensemble* apresenta coeficiente de eficiência (0,66) mais próximo de 1, indicando que na área AML as médias trimestrais da chuva do *ensemble* foi melhor preditora que a média para os 9 trimestres da análise do CPC. O índice de concordância (d) mais próximo de 1 também indica que os valores trimestrais previstos pelo *ensemble* concordaram mais com as médias trimestrais da análise do CPC. Ambos os índices, E e d, recebem escore 2 para o *ensemble*.

De acordo com a tabela 4.2 na área AML o *ensemble* atingiu maior escore final para a precipitação, e, portanto, segundo a metodologia adotada isto indica que o *ensemble* é melhor preditor da chuva nesta área. É válido lembrar que a somatória final dos escores indica apenas quem é o melhor preditor, e não se os demais experimentos são bons ou maus preditores da chuva, ou seja, o fato do *ensemble* ser o melhor preditor da precipitação na área AML não revela que o Controle também obteve bom desempenho em prever a chuva e que, portanto, também poderia ser utilizado como preditor nesta área.

Tabela 4.2 – Índices estatísticos (B: *bias*; EA, erro absoluto; REQ; raiz quadrada do erro médio quadrático; R, razão entre os desvios padrões; r, coeficiente de correlação; E, coeficiente de eficiência; d, índice de concordância) e escore dos índices estatísticos dos experimentos de sensibilidade (RegCMAK, RegCMGR, RegCMEM, Controle) e *ensemble* para precipitação na área AML.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-3,69	-0,03	3,44	-0,73	-0,25
<i>EA</i>	3,69	2,01	3,84	1,55	1,16
<i>REQ</i>	4,42	2,36	4,34	2,00	1,44
<i>Rσ</i>	0,59	0,61	1,86	0,43	0,73
<i>r</i>	0,33	0,38	0,89	0,72	0,83
<i>E</i>	-2,18	0,09	-2,07	0,35	0,66
<i>d</i>	0,51	0,57	0,70	0,69	0,88
<i>Escore</i>	0	1	2	0	7

Conforme a figura 4.3b, os valores previstos pelo experimento RegCMAK e *ensemble* estão mais próximos da re-análise do NCEP e portanto apresentam *bias* menor (próximo a zero, tabela 4.3). Comparando os índices EA e REQ dos experimentos de sensibilidade e *ensemble*, ambos os índices no RegCMAK, assim como o *bias*, receberam escore 1 por apresentarem valor mais próximo a zero (tabela 4.3). Estes índices refletem que em termos médios o RegCMAK aproxima-se mais da re-análise do NCEP do que os demais experimentos e o *ensemble*. A razão entre os desvios padrões da temperatura do ar na área AML com valor mais próximo a 1 no *ensemble* (0,89), recebeu escore 1 por se tratar de índice absoluto. Nota-se que o *ensemble* reproduziu com mais eficiência a variabilidade inter-sazonal da temperatura do ar na área AML já que a correlação linear foi mais próxima a 1 (0,91). Os demais experimentos também representaram a fase da re-análise do NCEP e, portanto, correlação linear alta (tabela 4.3).

O RegCMAK e *ensemble*, os quais apresentaram menor *bias*, apresentaram coeficiente de eficiência mais próximo a 1. Entretanto, devido à sensibilidade aos valores distantes da re-análise em todos os experimentos e também no *ensemble* o

coeficiente de eficiência é negativo, indicando que são piores preditores para temperatura do ar que a média dos 9 trimestres do NCEP. O E que mais se aproximou de 1 foi encontrado para o RegCMAK (-0,11), e portanto este índice relativo recebeu *escore* 2, assim como o índice de concordância no RegCMAK (0,89) recebeu *escore* 2. A somatória final dos escores indica o RegCMAK como melhor preditor de temperatura do ar na Amazônia Leste durante os 9 trimestres avaliados.

Tabela 4.3 – Idem à Tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AML.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-0,31	-2,31	1,25	-2,04	-0,86
<i>EA</i>	0,49	2,31	1,25	2,04	0,86
<i>REQ</i>	0,80	2,36	1,45	2,16	0,92
<i>Rσ</i>	1,59	0,47	1,64	0,47	0,89
<i>R</i>	0,81	0,88	0,82	0,37	0,91
<i>E</i>	-0,11	-8,74	-2,93	-7,14	-0,47
<i>D</i>	0,82	0,35	0,60	0,36	0,69
<i>Escore</i>	7	0	0	0	3

A variabilidade inter-sazonal da precipitação na Amazônia Sul (AMS) é bem definida na análise do CPC, com mínimos em JJA e máximos em DJF (figura 4.4a). Rocha (2001), analisou a distribuição sazonal da precipitação na região da Amazônia e verificou no trimestre DJF precipitação mais intensa na região sul da Amazônia, orientada no sentido NW-SE, coincidindo com maior organização e atuação da ZCAS. Em DJF, comparando com as demais áreas definidas sobre a Amazônia (ver figura 2.1), nota-se chuva mais forte na análise do CPC na área AMS.

O período chuvoso na área AML (figura 4.3a) ocorre no trimestre FMA enquanto na AMS (figura 4.4a) em DJF. A variação das estações chuvosas nas áreas definidas sobre a Amazônia está relacionada com a posição da ZCIT, pois a precipitação desloca-se da parte central do Brasil, no verão austral, para o setor noroeste da

América do Sul no inverno austral, acompanhando a migração anual da convecção profunda (FISCH; NOBRE, 1998).

O experimento Controle na área AMS previu valores próximos aos da análise do CPC nos trimestres secos, e embora subestime a precipitação no período chuvoso, previu os máximos em fase com a análise. Com exceção do trimestre NDJ de 2005, o RegCMGR também subestimou a análise do CPC na estação chuvosa. As previsões trimestrais do RegCMAK e RegCMEM apresentaram o mesmo comportamento discutido para a área AML, ou seja, RegCMAK previu sempre valores distantes e abaixo da análise, enquanto o RegCMEM previu taxas de precipitação sempre maiores que o CPC (com exceção de NDJ de 2006).

Ainda para precipitação na AMS (figura 4.4a), com exceção do trimestre NDJ de 2005/2006, o *ensemble* apresentou médias trimestrais mais próximas ao CPC durante o primeiro período de maior atividade convectiva (NDJ de 2005 a MAM de 2006) quando comparado as médias dos experimentos de sensibilidade. No trimestre NDJ de 2005/2006, no entanto, a média do *ensemble* foi a mesma prevista pelo Controle, enquanto que no trimestre DJF de 2005/2006 o *ensemble* diminuiu o erro dos experimentos de sensibilidade

De maneira geral, a temperatura do ar na área AMS apresenta baixa variabilidade inter-sazonal (figura 4.4b). Valores máximos de temperatura da re-análise do NCEP são encontrados nos trimestres ASO. As previsões da temperatura do ar com o Controle e RegCMGR superestimaram as médias trimestrais da re-análise entre os trimestres MJJ e ASO, mas nos trimestres MAM, AMJ e JAS de 2006 e também no AMJ de 2007 previu valores muito próximas ao NCEP. Tanto o experimento RegCMAK

quanto o RegCMEM superestimaram em todos os trimestres as médias da re-análise do NCEP (figura 4.4b). Ao analisar o desempenho do *ensemble* na série temporal da temperatura do ar para a área AMS, nota-se que este diminui os erros de previsão dos experimentos de sensibilidade apresentando valores mais próximos aos a re-análise do NCEP.

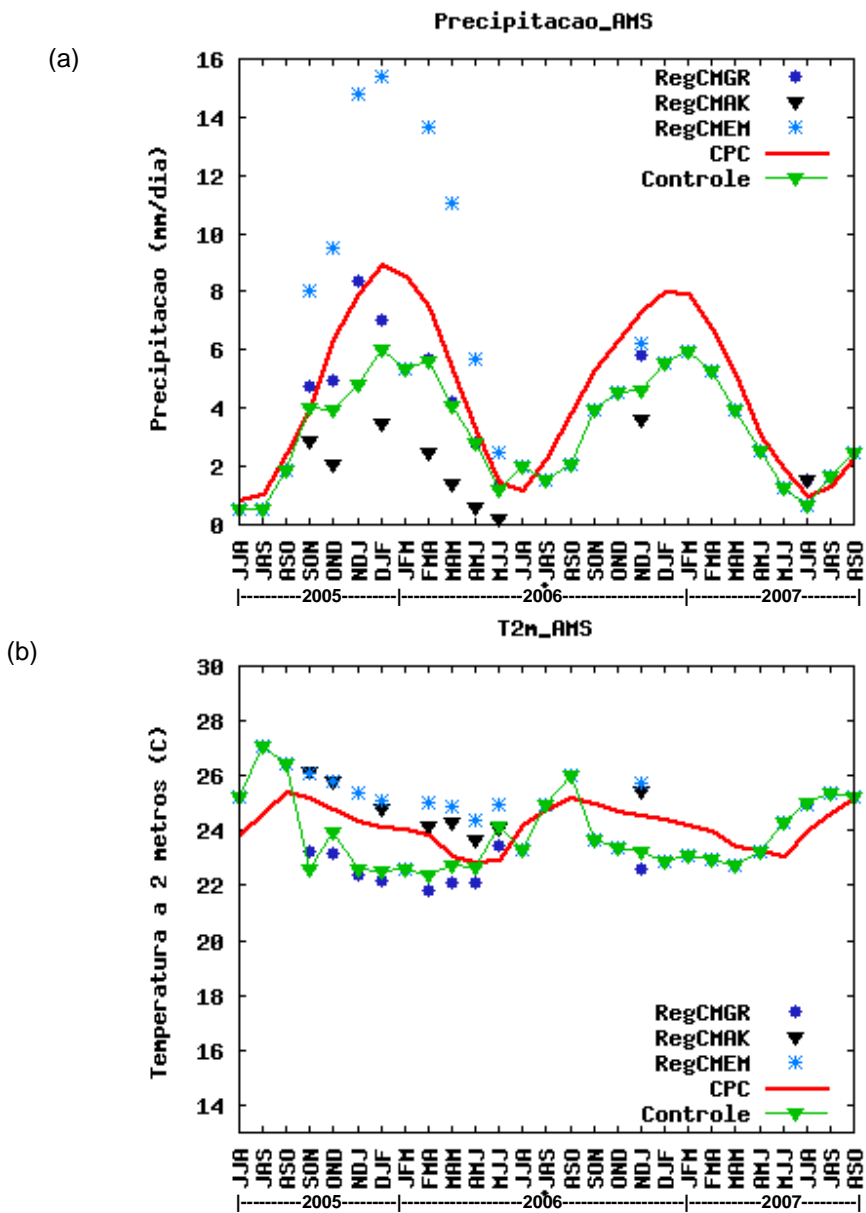


Figura 4.4 – Idem à figura 4.2, mas para área AMS.

A tabela 4.4 mostra que o *ensemble* apresenta menor *bias* (-0,53) para precipitação na área AMS entre os experimentos. Menores valores para os demais índices estatísticos absolutos (EA, REQ e $R\sigma$) também são encontrados para o *ensemble* (tabela 4.4). Isto revela um maior ajuste entre as médias e a variabilidade temporal ($R\sigma$) do *ensemble* e da análise do CPC, quando comparado aos outros experimentos de sensibilidade. Sendo assim, o *ensemble* recebe escore igual a 1 nestes três índices. O RegCMGR também apresentou valores pequenos para estes índices estatísticos absolutos, entretanto, como já discutido os escores são atribuídos a previsão com melhor índice.

A alta correlação linear (acima de 0,80) encontrado nos experimentos de sensibilidade e *ensemble* indicam que todos os experimentos capturaram a fase da precipitação da análise do CPC (tabela 4.4). No entanto, o Controle obteve escore 2 por apresentar o maior valor de r (0,94).

Conforme a tabela 4.4 o coeficiente de eficiência para precipitação na área AMS são positivos nos experimentos RegCMGR e Controle, assim como o *ensemble*, indicando que são melhores preditores das médias trimestrais da chuva que as médias das análises do CPC. O mesmo desempenho foi obtido para o índice de concordância, com valores acima de 0,77 nestes experimentos e *ensemble*. Os escores do E e d foram atribuídos ao *ensemble* por apresentar valores mais próximos a 1 (E=0,81 e d=0,95).

A somatória final dos escores revela que o *ensemble* com escore 10 previu melhor a precipitação na área AMS em relação aos demais experimentos.

Tabela 4.4 – Idem à tabela 4.2, mas para precipitação na área AMS.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-3,41	-0,83	3,81	-1,69	-0,53
<i>EA</i>	3,41	1,08	4,07	1,70	0,78
<i>REQ</i>	3,70	1,25	4,60	2,04	1,02
<i>Rσ</i>	0,61	0,85	1,81	0,59	0,90
<i>r</i>	0,81	0,92	0,84	0,94	0,93
<i>E</i>	-1,54	0,71	-2,92	0,23	0,81
<i>d</i>	0,59	0,92	0,63	0,77	0,95
<i>Escore</i>	0	0	0	2	8

A análise da somatória final dos escores dos índices estatísticos revela que o *ensemble* foi o que melhor se ajustou as médias trimestrais da re-análise do NCEP, indicando assim ser o experimento que melhor previu a temperatura do ar na área AMS (tabela 4.5). Entretanto, valores altos de correlação linear e índices de concordância são encontrados para os experimentos RegCMAK e RegCMEM, porém a análise do coeficiente de eficiência revela que estes experimentos são piores preditores da temperatura do ar que as médias trimestrais da re-análise do NCEP.

Tabela 4.5 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AMS.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	0,57	-1,44	1,27	-1,02	-0,16
<i>EA</i>	0,96	1,54	1,27	1,29	0,59
<i>REQ</i>	1,04	1,65	1,33	1,46	0,68
<i>Rσ</i>	1,32	0,69	0,63	0,78	0,67
<i>r</i>	0,59	0,34	0,93	-0,06	0,58
<i>E</i>	-0,67	-3,23	-1,83	-2,32	0,28
<i>d</i>	0,69	0,43	0,59	0,37	0,73
<i>Escore</i>	0	0	2	1	7

Na área AMN a precipitação da análise do CPC apresenta baixa variabilidade temporal durante os 27 trimestres e os experimentos Controle, RegCMGR e RegCMAK seguem este comportamento (figura 4.5a). As médias da chuva prevista pelo RegCMGR estiveram sempre muito próximas do experimento Controle.

O *bias* indica que o RegCMEM é o experimento que mais superestima e o RegCMAK o que mais subestima as médias trimestrais do CPC (tabela 4.6). Nota-se na primavera de 2005 que essa superestimativa do RegCMEM atinge o valor de 11,6 mm/dia. Conforme apresentado na figura 4.5a o *ensemble* aproxima-se mais das médias trimestrais do CPC apenas em dois trimestres (AMJ e MJJ de 2006).

A temperatura do ar da re-análise do NCEP na área AMN (figura 4.5b), quando comparada às demais áreas AML e AMS apresenta menor variabilidade inter-sazonal. Esta baixa variabilidade pode estar associada à disponibilidade da radiação solar praticamente constante durante todo o ano, uma vez que a AMN entre todas as áreas definidas sobre a Amazônia, é a que está localizada mais próxima ao equador.

O RegCMGR previu médias trimestrais da temperatura do ar muito próximas às do Controle, que por sua vez apenas não a subestima nos trimestres JAS e ASO de 2005 e ASO de 2006.

O RegCMAK previu valores médios trimestrais de temperatura mais próximos da re-análise entre FMA a MJJ de 2006, e em SON e OND de 2005 as médias do RegCMAK que foram semelhantes às do RegCMEM. O *ensemble* por sua vez reduz o *bias* dos experimentos RegCMEM, RegCMGR e Controle com valores médios trimestrais mais próximos da re-análise.

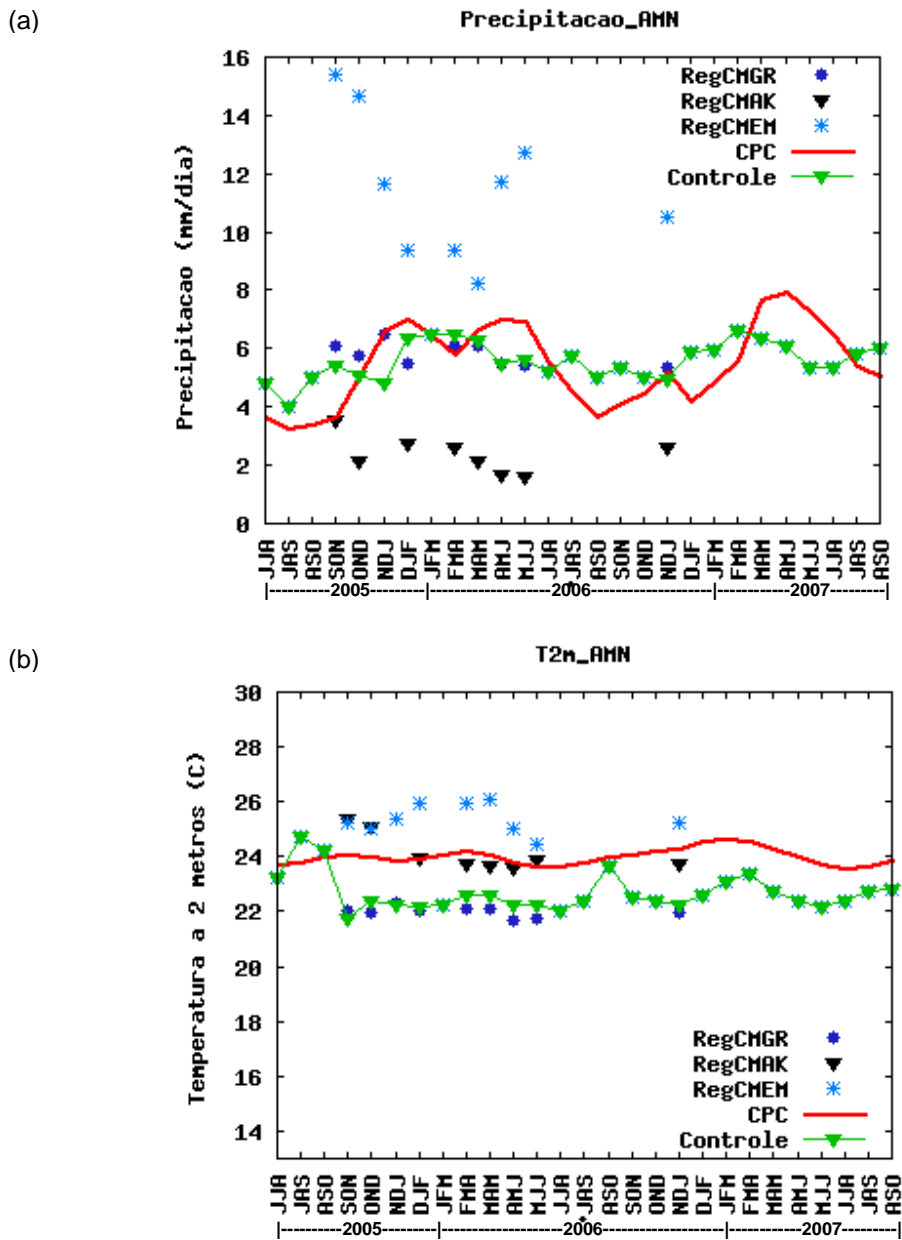


Figura 4.5 – Idem à figura 4.2, mas para área AMN.

A somatória dos escores dos índices estatísticos aplicados aos experimentos e *ensemble* (tabela 4.6) indica que o Controle previu melhor a precipitação trimestral da análise do CPC na área AMN. A tabela 4.6 revela ainda que os índices estatísticos

relativos e absolutos, nos experimentos RegCMGR e Controle, são muito próximos. Isto por que o RegCMGR previu médias trimestrais semelhantes as médias previstas pelo Controle (figura 4.5a).

Tabela 4.6 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área AMN.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-3,37	-0,21	5,50	-0,41	0,38
<i>EA</i>	3,37	0,97	5,50	0,94	1,18
<i>REQ</i>	3,74	1,23	6,30	1,13	1,58
<i>Rσ</i>	0,87	0,34	2,12	0,54	0,55
<i>r</i>	-0,27	-0,20	-0,61	0,32	-0,65
<i>E</i>	-10,90	-0,29	-32,80	-0,09	-1,13
<i>d</i>	0,29	0,24	0,19	0,55	0,16
<i>Escore</i>	1	1	0	8	0

O RegCMAK (tabela 4.7) apresentou o menor *bias* (-0,09) para temperatura do ar dentre os experimentos. Entretanto, escores atribuídos aos índices estatísticos revelou que o *ensemble* previu de forma mais realista a temperatura do ar na área AMN (figura 4.5b) atingindo o maior escore final 8 (tabela 4.7). Isto pode ser justificado pelos valores mais altos de correlação linear, índice de concordância e coeficiente de eficiência, assim como os menores para EA e REQ.

Tabela 4.7 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AMN.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-0,09	-2,02	1,36	-1,74	-0,62
<i>EA</i>	0,67	2,02	1,36	1,74	0,62
<i>REQ</i>	0,85	2,03	1,43	1,76	0,65
<i>Rσ</i>	4,45	0,92	2,66	1,19	1,23
<i>r</i>	0,19	0,40	0,54	0,20	0,57
<i>E</i>	-18,32	-109,27	-53,84	-82,32	-10,47
<i>d</i>	0,22	0,14	0,20	0,15	0,39
<i>Escore</i>	1	1	0	0	8

Na área AMZ, assim como na AML, o período seco da análise do CPC ocorre entre os trimestres JJA e JAS (figura 4.6a), devido ao deslocamento da ZCIT para o Hemisfério Norte (FISCH; NOBRE, 1998). Nos trimestres ASO/SON nota-se o início do ciclo chuvoso, com o deslocamento da ZCIT para a região Norte do Brasil. A Figura 4.6a mostra que o experimento Controle reproduz a variabilidade inter-sazonal da análise do CPC durante os 27 trimestres, prevendo corretamente a fase dos máximos e mínimos deste.

Assim como para as demais áreas avaliadas sobre a Região Norte, nota-se que na AMZ (figura 4.6a) o RegCMEM (RegCMAK) também superestimou (subestimou) em todos os trimestres a precipitação do CPC, o que implicou em altos valores de *bias* para estes experimentos (tabela 4.8). O RegCMGR apresentou *bias* menor do que o Controle, pois se aproximou mais da análise do CPC nos trimestres OND - NDJ de 2005 e NDJ de 2006. Fernandez et al. (2006) investigaram a capacidade do RegCM3 em simular a climatologia do verão, encontrando um *bias* de -1,03 mm/dia para janeiro sobre a Amazônia, enquanto os obtidos pelas previsões do RegCMGR (-0,27 mm/dia), Controle (-0,81 mm/dia) e ensemble (0.19 mm/dia) são muito menores.

Na área AMZ, a variabilidade inter-sazonal da temperatura do ar da re-análise do NCEP na (figura 4.6b), a exemplo da área AMN, também é baixa e com temperaturas variando entre 23°C e 26°C. Na AMZ a correlação li near temporal do Controle (0,83) para temperatura do ar é maior do que 0,69 obtido em Fernandez et al. (2006) utilizando o RegCM3 aninhado as re-análises do NCEP, ou seja, no modo de desenvolvimento (GIORGI; MEARNNS, 1999).

Para temperatura do ar (figura 4.6b), os demais experimentos de sensibilidade na área AMZ apresentam resultados semelhantes aos encontrados e já discutidos nas outras áreas sobre a Região Norte. O RegCMEM continua superestimando, enquanto o RegCMGR e Controle (com exceção dos trimestres JJAS, JAS e ASO de 2005 e ASO de 2006) subestimando (figura 4.6b) as médias trimestrais da re-análise do NCEP. O RegCMAK aproxima-se mais do NCEP, com exceção dos trimestres SON e OND de 2005 com médias idênticas ao RegCMEM. Tanto nestes dois trimestres como nos demais, o *ensemble* diminuiu o erro dos experimentos e aproximou-se do RegCMAK.

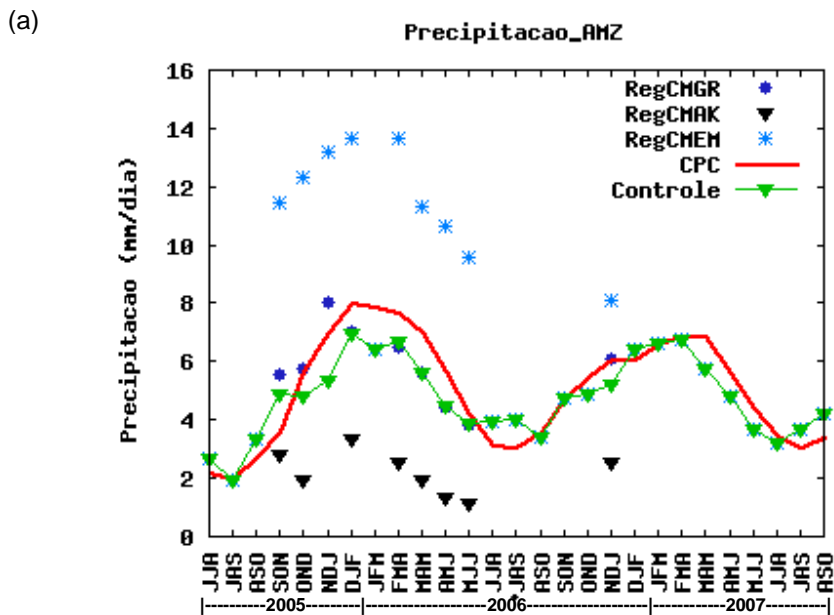
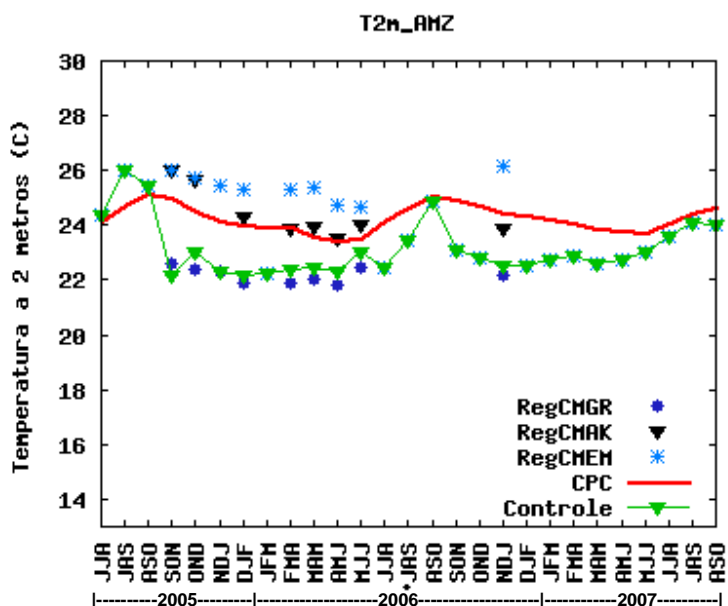


Figura 4.6 – Idem à figura 4.2, mas para área AMZ.

Figura 4.6 – (continuação)

(b)



Os índices estatísticos para precipitação na área AMZ, revelam que o *ensemble* atingiu o maior escore (7) quando comparado aos experimentos (tabela 4.8) e então foi considerado melhor predictor das médias trimestrais da análise do CPC. Ainda assim, a análise do coeficiente de eficiência dos experimentos Controle e RegCMGR revela que ambos podem ser considerados melhores preditores da chuva na área AMZ quando comparado a média da análise.

Tabela 4.8 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área AMZ.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-3,59	-0,27	5,41	-0,81	0,19
<i>EA</i>	3,59	0,94	5,41	1,10	0,80
<i>REQ</i>	3,86	1,12	5,63	1,16	1,04
<i>Rσ</i>	0,84	0,83	1,25	0,66	0,77
<i>r</i>	0,42	0,67	0,55	0,83	0,70
<i>E</i>	-6,28	0,39	-14,50	0,34	0,47
<i>d</i>	0,40	0,79	0,34	0,79	0,80
<i>Escore</i>	1	0	0	2	7

Na área AMZ, o *ensemble* também demonstrou ser o melhor preditor da temperatura do ar (tabela 4.9) por ter o maior escore final (8). Entretanto, altos valores de correlação foram encontrados nos experimentos RegCMAK (0,60), RegCMGR (0,59) e RegCMEM (0,90) indicando que estes previram com eficiência a fase da temperatura do ar da re-análise do NCEP. O baixo valor do índice REQ para RegCMAK (0,85), assim como para o do *ensemble* (0,60), revela também o bom ajuste entre a série destes e a da re-análise, conforme visto na figura 4.6b.

Tabela 4.9 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área AMZ.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	0,11	-1,91	1,36	-1,58	-0,51
<i>EA</i>	0,64	1,91	1,36	1,58	0,51
<i>REQ</i>	0,85	1,95	1,38	1,69	0,60
<i>Rσ</i>	2,17	0,55	1,01	0,63	0,81
<i>r</i>	0,60	0,59	0,90	-0,14	0,75
<i>E</i>	-2,16	-15,58	-7,76	-11,57	-0,58
<i>d</i>	0,64	0,30	0,44	0,30	0,64
<i>Escore</i>	3	0	1	0	8

Nas 4 áreas da Amazônia avaliadas neste capítulo, obteve-se que as previsões que utilizaram a parametrização de convecção de Grell (RegCMGR e Controle) sempre foram mais frias do que as re-análise do NCEP. Este resultado também foi encontrado por Fernandez et al. (2006) sobre a Amazônia ao utilizar o RegCM3 aninhado na re-análise do NCEP. Mesmo assim, ao combinar (através de média simples) estes *bias* com os dos demais experimentos, o *ensemble* aproximou-se mais da re-análise na maioria das áreas, exceto na Amazônia Leste, onde o RegCMAK previu com mais eficiência a temperatura do ar. Outro resultado é que o RegCMAK reduz o *bias* frio de temperatura do ar dos demais experimentos nas áreas sobre a Amazônia, com isto, o coeficiente de eficiência do RegCMAK é o que mais se aproxima de 1 (sinal de perfeito

ajuste do modelo) quando comparado aos demais experimentos. Entretanto, para precipitação o experimento RegCMAK subestimou a análise do CPC em todas as áreas da Amazônia. Essa subestimativa da chuva provavelmente está associada a parametrização de convecção de Kuo modificada por Anthes (1977). Numa avaliação de 15 verões, da Rocha (2006) mostrou que esta parametrização acoplada ao RegCM3 subestima excessivamente a chuva de verão sobre o Brasil.

A série temporal da precipitação na área NDE (figura 4.7a) mostra grande concentração da chuva centrada no trimestre FMA de 2005 e 2006, intercalado por vários trimestres com baixos índices de precipitação. Segundo Sugahara (1982), este regime de precipitação bem definido, muitas vezes provoca sérios danos sócio-econômicos a essa Região quando por influência de algum fenômeno meteorológico a precipitação esperada no período chuvoso não ocorre, ou seja, se a precipitação durante o período chuvoso não for intensa, não haverá possibilidade de recuperação dessa chuva durante o restante do ano (período seco). Portanto, a previsão correta do volume precipitado nos trimestres chuvosos é particularmente importante nessa região.

Dentre os fenômenos atmosféricos que afetam essa variabilidade intra-sazonal da chuva sobre a área NDE estão sistemas transientes como oscilações de 30-60 dias (KOUSKY; KAYANO, 1994), linhas de instabilidade costeira (COHEN, 1989), distúrbios ondulatórios de leste (GOSWAMI; MATHEW, 1994), vórtices ciclônicos de ar superior (VCAN), assim como instabilidades termodinâmicas locais induzidas por aquecimento diferencial da superfície, convergência de umidade e convecção. Tais fenômenos contribuem para modular a distribuição temporal da chuva sobre a área NDE, ocasionando períodos de seca intercalados por ocorrências de precipitações mais

abundantes. Além disso, segundo Moura e Shukla (1981), a variabilidade sazonal da chuva sobre o Nordeste também está associada a variações de padrões de TSM sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da ZCIT sobre o Oceano Atlântico, modulando assim a precipitação na área NDE.

A figura 4.7a revela que as médias trimestrais do experimento RegCMAK, RegCMGR e Controle subestimaram a precipitação durante o período mais chuvoso de 2006, trimestres FMA e MAM. O experimento de sensibilidade RegCMEM, ao contrário dos demais experimentos, previu corretamente a intensidade em ambos os trimestres. Em AMJ de 2006, os valores previstos pelos experimentos RegCMAK, RegCMGR e Controle estiveram mais próximos do valor observado e a previsão do RegCMEM superestima em quase 100% o total. Dado que apenas o experimento RegCMEM esteve próximo aos valores observados nos trimestres FMA e MAM de 2006, *ensemble* não corrigiu a subestimativa da chuva. Entretanto, no trimestre AMJ a média da precipitação do *ensemble* (4,6 mm/dia) coincide com a da análise do CPC. Nos mesmos trimestres chuvosos de 2007 todos os experimentos previram um total próximo ao observado.

Durante os trimestres mais secos, entre JJA e NDJ (do período analisado), todos os experimentos previram médias próximas à chuva do CPC, com exceção de JJA de 2006 dos trimestres secos de 2007 (figura 4.7a). Nota-se também que na maioria desses trimestres os experimentos previram totais muito próximos entre si.

A re-análise do NCEP apresenta temperaturas elevadas durante o ano todo na área NDE, com médias trimestrais variando entre 21°C e 28°C (figura 4.7b). Nessa região o ciclo anual da temperatura é dominado pela declinação solar, com menores valores de temperatura do ar durante o inverno austral. Durante todos os trimestres o

experimento Controle previu médias trimestrais da temperatura do ar inferiores à re-análise do NCEP. Esta subestimativa também é encontrada nos experimentos RegCMAK e RegCMGR. Já às previsões com o RegCMEM apresentaram valores de temperatura do ar mais próximos à re-análise entre SON de 2005 e MJA de 2006, mas assim como os outros experimentos, previu valores abaixo da re-análise na maior parte do período. Dado que todos os experimentos subestimam a temperatura na região, o *ensemble* é mais frio que o NCEP em todo o período.

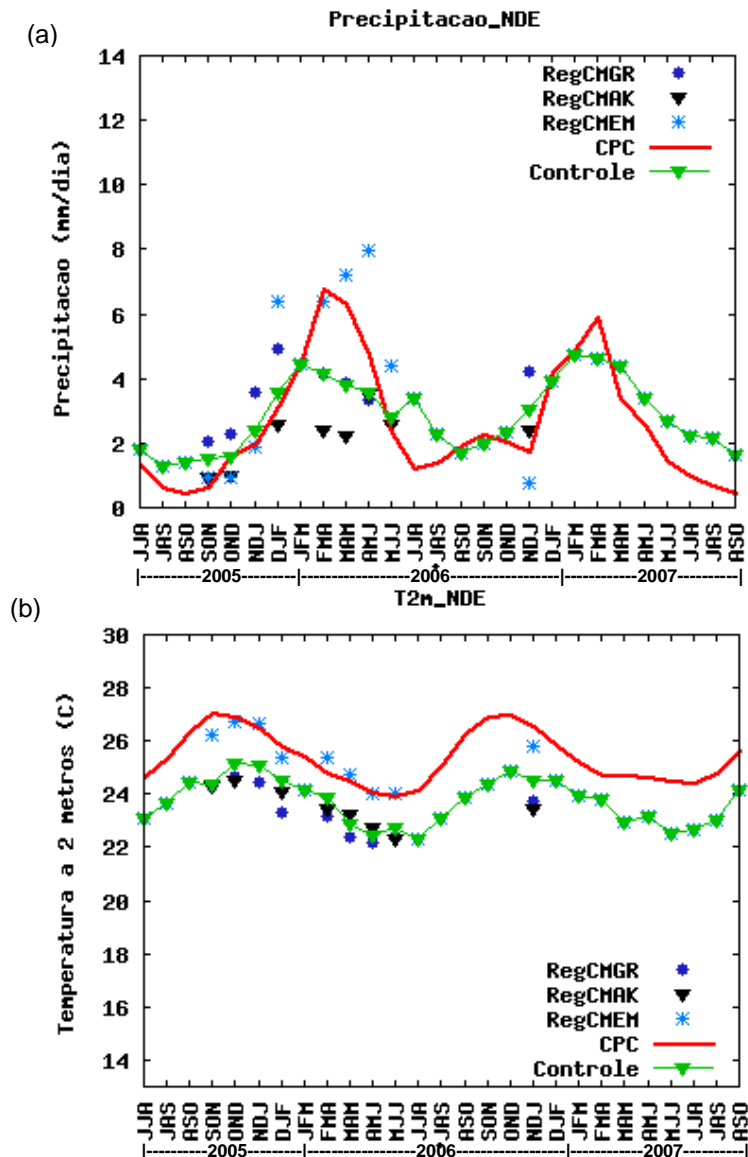


Figura 4.7 – Idem à figura 4.2, mas para área NDE.

Analisando a tabela 4.10 observa-se que o *ensemble* obteve o maior escore (5) quando comparado aos experimentos de sensibilidade considerados neste estudo. Esta maior pontuação indicada pelos índices estatísticos revela que a média dos experimentos de sensibilidade previu com mais eficiência a chuva da análise do CPC na área NDE. Entretanto, altos valores para os índices de concordância, correlação linear e eficiência são encontrados nos experimentos RegCMGR, RegCMEM e Controle, indicando que estes experimentos também apresentaram habilidade em prever a chuva no NDE. Para uma região similar a NDE, Fernandez et al. (2006) utilizando o RegCM3 obteve para esta área correlação linear menor do que as obtidas para as previsões dos experimentos RegCMEM, Controle e *ensemble* (tabela 4.10).

Tabela 4.10 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área NDE.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-1,04	0,17	0,81	-0,32	-0,10
<i>EA</i>	1,39	1,62	1,32	1,09	1,00
<i>REQ</i>	2,09	1,80	1,76	1,40	1,26
<i>Rσ</i>	0,36	0,44	1,37	0,44	0,58
<i>r</i>	0,50	0,50	0,84	0,86	0,83
<i>E</i>	-0,02	0,24	0,28	0,54	0,63
<i>d</i>	0,57	0,59	0,87	0,77	0,84
<i>Escore</i>	0	0	3	2	5

Para a temperatura do ar o menor *bias* na área NDE foi obtido com o experimento RegCMEM. Através da tabela 4.11, nota-se que o coeficiente de eficiência *E* para o experimento de sensibilidade RegCMEM, além de ser o único não negativo, apresenta valor mais próximo de 1. A somatória dos escores obtidos pelos índices estatísticos absolutos e relativos (tabela 4.11) indica o RegCMEM como o experimento que previu com mais eficiência a temperatura do ar na área NDE; embora altos valores de correlação (acima de 0,85) tenham sido encontrados para os demais experimentos e

ensemble. Nota-se também, para todos os experimentos, que a razão dos desvios padrão são próximas a 1 (tabela 4.11), mostrando que há grande semelhança entre as séries no que diz respeito a variabilidade temporal. Os resultados da tabela 4.11 mostram que todos os experimentos reproduziram de forma coerente o ciclo anual da temperatura, e apesar do *bias* frio sistemático; o que também pode ser observado na figura 4.7b.

Tabela 4.11 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área NDE.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-1,91	-2,19	-0,13	-1,62	-1,47
<i>EA</i>	1,91	2,19	0,36	1,62	1,47
<i>REQ</i>	2,02	2,23	0,46	1,69	1,54
<i>Rσ</i>	0,71	0,76	0,82	0,82	0,76
<i>r</i>	0,85	0,95	0,93	0,92	0,94
<i>E</i>	-1,91	-2,57	0,84	-1,05	-0,70
<i>d</i>	0,60	0,58	0,95	0,68	0,70
<i>Escore</i>	0	2	6	3	0

A região Sudeste do Brasil possui característica climática diversificada, devido a sua topografia variável e diversidade dos sistemas meteorológicos que atuam direta ou indiretamente no regime de precipitação (FERRAZ, 2004). Segundo Vasconcellos (2008), a ZCAS e os sistemas frontais são considerados dois dos principais responsáveis pela chuva na Região Sudeste durante os meses mais chuvosos. Ressalta-se também a ocorrência de Vórtices Ciclônicos de Ar Superior e o posicionamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul que interferem diretamente nos períodos de estiagens (SILVA DIAS; GRAMMELSBACHER,1991).

De maneira geral, a figura 4.8a revela que o experimento Controle previu a variabilidade inter-sazonal da precipitação na área SDE. Médias trimestrais da chuva do Controle foram previstas próximas às médias da análise do CPC, exceto na estação

chuvosa de 2006/2007 onde ocorreram chuvas acima da média histórica na maior parte da Região Sudeste (CLIMANÁLISE, 2007).

Assim como para precipitação, a temperatura do ar na região SDE apresenta pronunciado ciclo sazonal (Figura 4.8b). Em geral os ciclos sazonais previstos pelos experimentos não apresentaram diferenças entre si e a re-análise. Apesar de reproduzirem o ciclo sazonal similar ao NCEP, é evidente que o modelo é sistematicamente mais frio em todas as previsões. Trabalhos anteriores têm reportado *bias* frio em simulações com o RegCM3, sobre essa região (CUADRA; da ROCHA, 2006; FERNADEZ et al., 2006; Reboita, 2008) e em outras partes regiões do globo (GIORGI et al. 2004, MARTÍNEZ et al. 2006). É possível observar que os desvios são maiores durante os trimestres de inverno e primavera e que há maior proximidade entre as previsões e a re-análise nos trimestre que abrangem os meses de outono. O RegCMEM previu temperaturas médias trimestrais mais próximas às do NCEP, o que não é tão aparente na série temporal (Figura 4.8b), mas pode ser verificado através do menor *bias* (tabela 4.13).

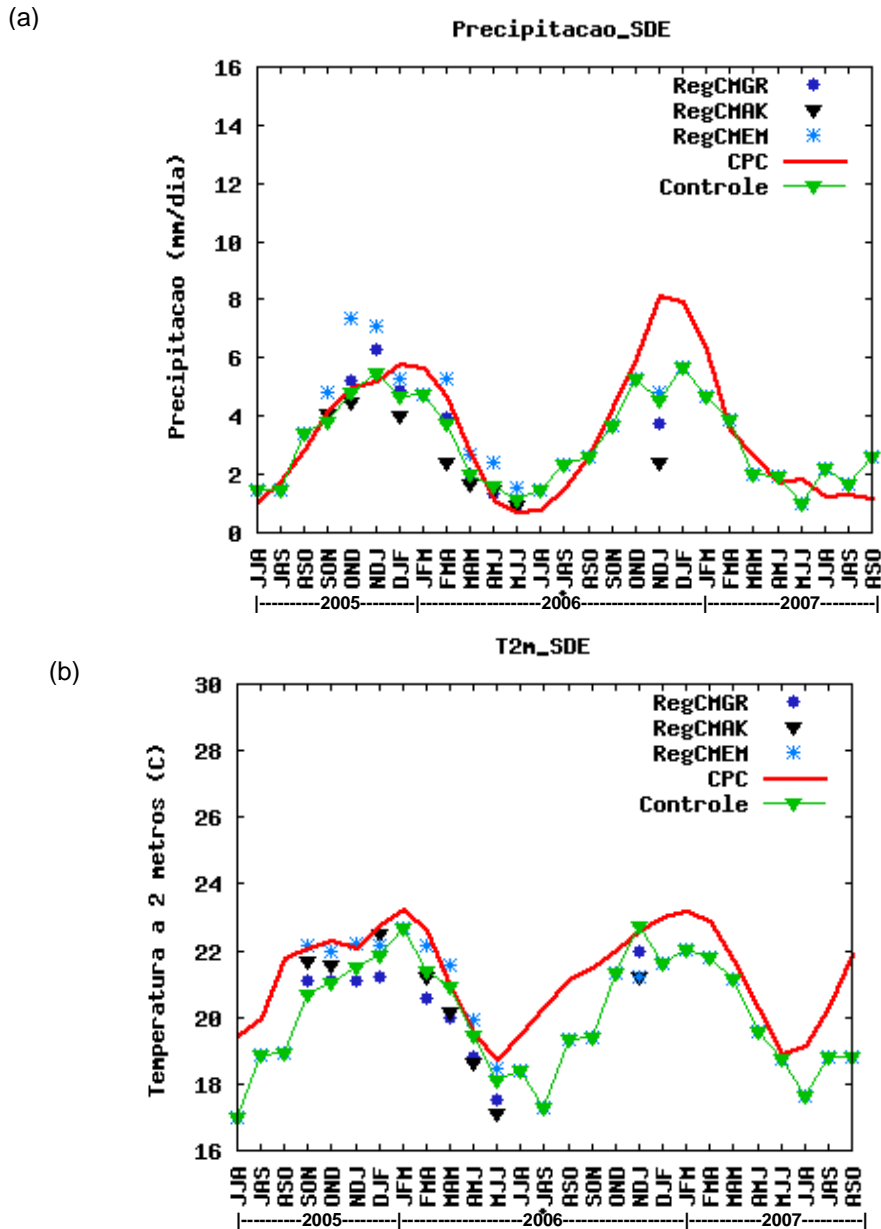


Figura 4.8 – Idem à figura 4.2, mas para área SDE.

Nota-se na tabela 4.12 que os experimentos de sensibilidade e *ensemble* apresentaram valores acima de 0,55 para correlação e acima de 0,57 para razão dos desvios padrão. Portanto, todos os experimentos previram com eficiência a fase e a variabilidade temporal da chuva na região SDE. Estes valores de correlação linear são

maiores que os obtidos por da Rocha et. al. (2008 - submetido), em área semelhante a SDE. Valores positivos do coeficiente de eficiência também foram encontrados em todos os experimentos de sensibilidade (tabela 4.12), revelando que todos são melhores preditores da precipitação na área SDE do que a média de 9 trimestres da análise do CPC. Nessa região a simulação Controle foi a mais eficiente em prever a precipitação média trimestral (tabela 4.12), apresentando valores mais próximos de 1 nos índices estatísticos relativos (E, d, r) e menor erro médio absoluto (0,92), recebendo um escore final igual a 7.

Tabela 4.12 – Idem à tabela 4.2, mas para precipitação na área SDE.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-1,19	-0,99	0,41	-0,66	-0,51
<i>EA</i>	1,37	1,38	1,27	0,92	1,03
<i>REQ</i>	2,18	2,69	1,60	1,36	1,56
<i>Rσ</i>	0,67	0,57	0,86	0,67	0,73
<i>r</i>	0,57	0,55	0,72	0,86	0,74
<i>E</i>	0,02	0,20	0,47	0,62	0,49
<i>d</i>	0,70	0,66	0,82	0,86	0,82
<i>Escore</i>	0	0	2	7	1

Assim como para a chuva, as previsões de temperatura do ar na área SDE apresentaram altos valores de correlação linear, mostrando que todos os experimentos de sensibilidade reproduzem o ciclo sazonal da temperatura em fase com a re-análise do NCEP. Índices de concordância são maiores que 0,83 nesta área indicando alta semelhança entre as séries das médias previstas e da re-análise. Outro índice presente na tabela 4.13 que confirma esta semelhança é a razão dos desvios padrões. Os *Rσ* obtidos para os experimentos e *ensemble* são próximos ao valor absoluto 1, indicando que capturaram a variabilidade inter-sazonal da temperatura do ar da re-análise do NCEP. O índice *E* (tabela 4.13) expõe que todos os experimentos foram melhores

preditores da temperatura do ar do que a média trimestral da re-análise do NCEP, pois apresentam valores positivos.

Do mesmo modo que na área NDE, a somatória final dos escores revela o RegCMEM como o experimento que melhor previu a temperatura do ar na área SDE.

Tabela 4.13 – Idem à tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área SDE.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-0,91	-1,06	-0,24	-0,69	-0,74
<i>EA</i>	0,91	1,12	0,51	0,72	0,74
<i>REQ</i>	1,01	1,22	0,63	0,89	0,81
<i>Rσ</i>	1,16	0,98	0,86	0,92	0,94
<i>r</i>	0,97	0,90	0,91	0,91	0,97
<i>E</i>	0,47	0,17	0,80	0,59	0,66
<i>d</i>	0,90	0,83	0,94	0,90	0,92
<i>Escore</i>	2	1	7	0	2

A precipitação da análise do CPC na área MGS (figura 4.9a) apresenta um ciclo anual bem semelhante ao da área SDE (figura 4.8a), isto por que ambas as áreas são próximas e sofrem influência dos mesmos sistemas meteorológicos que controlam o regime de chuva. Períodos de precipitação intensa também são encontrados na análise do CPC entre os trimestres OND e JFM na região MGS. Diferentemente da região SDE, nessa região esses períodos não foram previstos com a mesma eficiência pelos experimentos de sensibilidade e *ensemble*. Na região MGS, os experimentos não somente subestimam a intensa precipitação da análise do CPC entre a primavera e verão de 2006/2007, mas também, ao contrário da região SDE, apresentam grande dispersão no período chuvoso 2005/2006. Entre OND de 2005 e DJF de 2005/2006, nota-se que todos os experimentos previram médias trimestrais da chuva distante dos valores médios do CPC, com exceção do experimento controle. O *ensemble* não diminuiu os erros das previsões de precipitação dos experimentos de sensibilidade,

sempre valores médios distantes da análise nos meses mais chuvosos. Ao contrário dos trimestres chuvosos, durante os trimestres mais secos os experimentos apresentam excelente desempenho, prevendo médias trimestrais da precipitação muito próximas as da análise do CPC.

A re-análise do NCEP na área MGS (figura 4.9b) mostra máximos de temperatura do ar na primavera de 2005 e no trimestre ASO de 2006 enquanto que na área SDE (figura 4.8b) esses máximos são encontrados sempre em JFM. Isto revela que, mesmo com ciclos sazonais de precipitação semelhantes, os máximos trimestrais de temperatura do ar em MGS ocorreram 4 a 5 trimestres antes dos maiores valores trimestrais na área SDE segundo a re-análise do NCEP. Os experimentos (figura 4.9b) previram médias trimestrais de temperatura do ar próximas a re-análise do NCEP na maioria dos trimestres (entre os trimestres OND e MJJ). Nos demais trimestres (entre JJA e SON) a diferença entre os experimentos e re-análise é de aproximadamente 2º C.

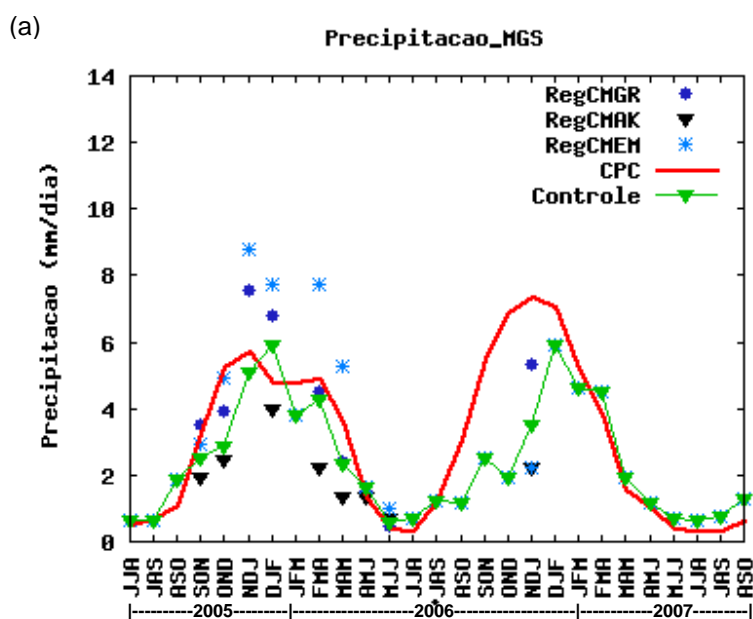
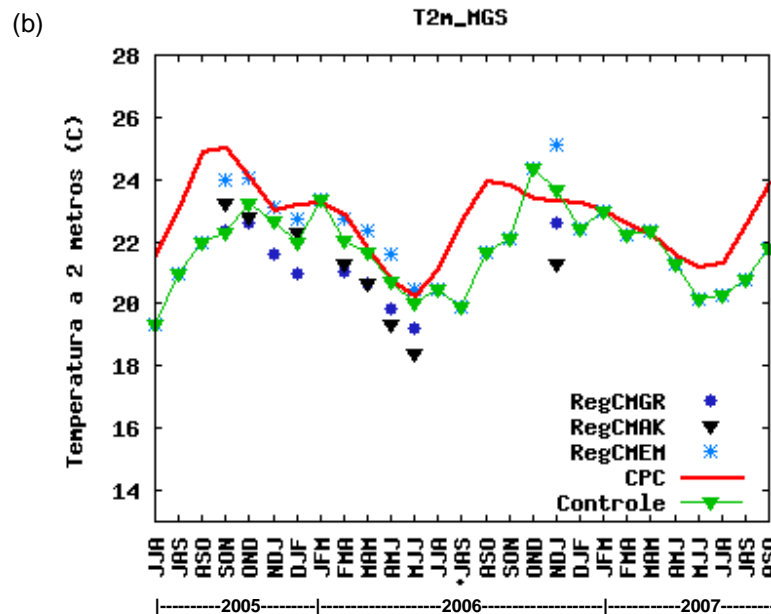


Figura 4.9 – Idem à figura 4.2, mas para área MGS.

Figura 4.8 (continuação)



Para área MGS a tabela 4.14 mostra que o experimento RegCMGR obteve resultado superior em todos os índices estatísticos relativos. Entretanto, ressalta-se que todos os experimentos de sensibilidade e *ensemble* obtiveram alta correlação linear e concordância com a série temporal de precipitação em MGS, revelando que estes reproduziram com eficiência o ciclo anual da análise do CPC, a despeito das elevadas diferenças nos trimestres chuvosos entre 2006 e 2007. Nesta área, da Rocha et al. (2008 - submetido) também encontraram alta correlação linear entre as simulações e a análises do CPC integrando o RegCM3 aninhado na re-análise do NCEP. Assim como os índices estatísticos relativos, o RegCMGR obteve resultado superior para todas as medidas de erro absoluto, apresentando valores mais próximos a zero nestes índices. O menor *bias* (-0,09) e REQ (1,29) obtidos para o RegCMGR indicam que este experimento previu médias trimestrais de precipitação mais próximas às médias da análise do CPC.

Os valores próximos a 1 do índice $R\sigma$ para precipitação apresentado na área MGS (tabela 4.14) traduz que todos os experimentos de sensibilidade e *ensemble* apresentaram alta semelhança entre as variabilidades temporais das séries previstas e observada. No entanto, a análise do coeficiente de eficiência (tabela 4.14) revela que apenas os experimentos que utilizaram a parametrização de Grell (RegCMGR e Controle) e o *ensemble* obtiveram valores positivos neste índice, indicando que estes foram melhores preditores da precipitação se comparados à média dos 9 trimestres do CPC.

A somatória final dos escores (tabela 4.14) expõe o RegCMGR como o experimento que previu com mais habilidade a precipitação da análise do CPC.

Tabela 4.14 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área MGS.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-1,72	-0,09	0,60	-0,90	-0,53
<i>EA</i>	1,78	1,03	1,90	1,24	1,11
<i>REQ</i>	2,35	1,29	2,49	1,67	1,60
<i>Rσ</i>	0,63	1,08	1,34	0,78	0,90
<i>r</i>	0,62	0,82	0,52	0,73	0,70
<i>E</i>	-0,32	0,60	-0,47	0,33	0,39
<i>d</i>	0,66	0,90	0,70	0,80	0,83
<i>Escore</i>	0	10	0	0	0

Altos valores de correlação linear e índice de concordância (ambos acima de 0,72) foram obtidos com os experimentos de sensibilidade e *ensemble* para temperatura do ar em MGS (tabela 4.15), revelando que estes apresentaram alta semelhança temporal com as médias trimestrais do NCEP. Os valores obtidos no cálculo da razão dos desvios padrões indicam que todos os experimentos de sensibilidade e *ensemble* previram a variabilidade temporal da re-análise do NCEP. Entretanto a análise do coeficiente de eficiência revela que os experimentos RegCMAK

e RegCMGR são piores preditores da temperatura do ar do que as médias trimestrais da re-análise. Nessa região a somatória dos escores mostra que o *ensemble* foi o que melhor previu a temperatura do ar da re-análise do NCEP.

Tabela 4.15 – Idem a tabela 4.2, para temperatura do ar na área MGS.

	AK	GR	EM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-1,34	-1,51	0,32	-0,68	-0,85
<i>EA</i>	1,34	1,51	0,69	0,75	0,85
<i>REQ</i>	1,42	1,63	1,05	1,09	1,00
<i>Rσ</i>	1,10	0,81	0,95	0,76	0,85
<i>R</i>	0,96	0,92	0,73	0,80	0,93
<i>E</i>	-0,01	-0,30	0,43	0,42	0,51
<i>D</i>	0,81	0,73	0,84	0,83	0,87
<i>Escore</i>	2	0	3	0	5

Sobre a Região Sul atuam diversos fenômenos atmosféricos que são essenciais na determinação do regime de chuva e da variabilidade da temperatura. Segundo Oliveira (1986) a passagem de sistemas frontais sobre esta Região é um dos fenômenos responsáveis por grande parte dos máximos de precipitação registrados. Assim como a ocorrência de ciclogêneses, sistemas convectivos de mesoescala também contribuem para grandes totais de precipitação sobre a Região Sul (CUSTÓDIO; HERDIES, 1994).

De maneira geral, na área SUL o Controle previu médias trimestrais de chuva muito próximas as do CPC durante a maior parte da série temporal (figura 4.10a). No entanto, entre os trimestres FMA e MJJ de 2007 o Controle subestima a precipitação da análise do CPC. A maior diferença ocorre no trimestre FMA de 2007, onde o Controle subestimou a chuva da análise em 2,6 mm/dia. Esse trimestre registrou precipitação acima da média histórica devido à atuação de sistemas frontais que causaram

temporais e alagamentos em diversas localidades da Região Sul (CLIMANÁLISE, 2007).

A re-análise do NCEP mostra para área SUL um pronunciado ciclo sazonal da temperatura, com invernos frios e verões quentes (figura 4.10b). Todos os experimentos reproduzem essa variabilidade, prevendo valores muito próximos aos do NCEP. Entretanto, nota-se no inverno de 2005 (JJA) que os experimentos subestimaram a temperatura do ar da re-análise em aproximadamente 2,3°C e no trimestre MJJ de 2007 os experimentos superestimaram cerca de 2,6°C.

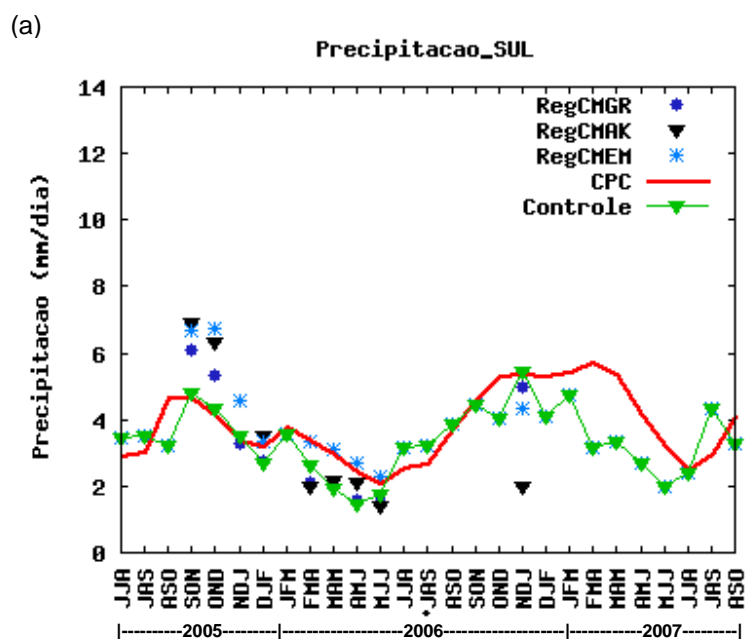
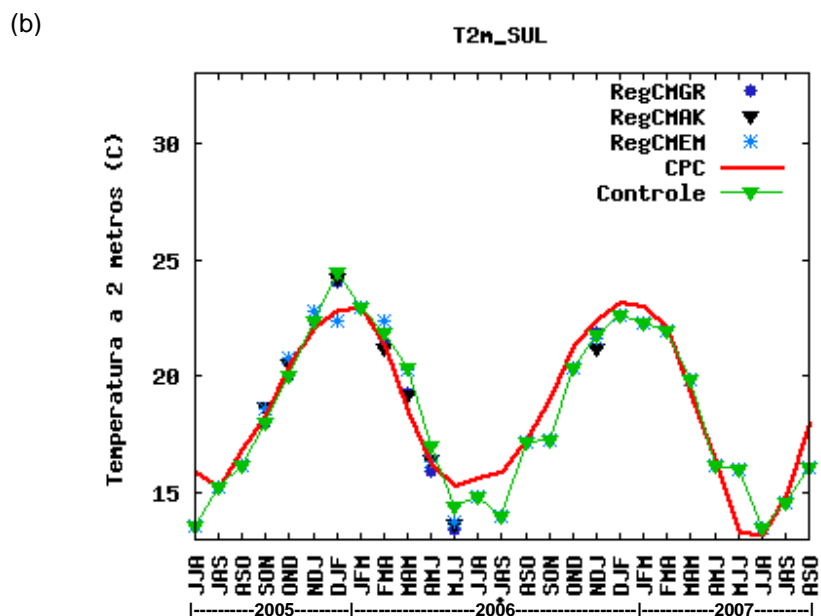


Figura 4.10 – Idem à figura 4.2, mas para área SUL.

Figura 4.10 – (continuação)



Com exceção do RegCMEM, todos os experimentos e *ensemble* apresentaram pequeno *bias* negativo para precipitação no SUL (tabela 4.16). Valores mais próximos a zero do erro médio absoluto e REQ foram obtidos para o Controle. A correlação linear obtida para o *ensemble* e para os experimentos de sensibilidade apresenta valores elevados, principalmente para o Controle (0,91). Essa alta correlação no SUL também foi encontrados por Fernandez et al. (2006) em simulações com o RegCM3 aninhado na re-análise do NCEP. A análise do coeficiente de eficiência para precipitação expõe o *ensemble* e os experimentos que utilizaram a parametrização de convecção de Grell (Controle e RegCMGR) como melhores preditores da chuva no SUL quando comparados à média dos 9 trimestres do CPC. Conforme a metodologia adotada, a somatória dos escores dos índices estatísticos (tabela 4.16) revela que o Controle foi o experimento que previu com mais habilidade a precipitação da análise do CPC.

Tabela 4.16 – Idem a tabela 4.2, mas para precipitação na área SUL.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-0,21	-0,23	0,59	-0,35	-0,05
<i>EA</i>	1,28	0,80	0,84	0,46	0,79
<i>REQ</i>	1,66	0,91	1,22	0,58	0,92
<i>Rσ</i>	1,92	1,66	1,57	1,36	1,52
<i>r</i>	0,49	0,89	0,73	0,96	0,80
<i>E</i>	-1,84	0,15	-0,54	0,65	0,12
<i>d</i>	0,64	0,87	0,75	0,94	0,85
<i>Escore</i>	0	0	0	9	1

O menor *bias* encontrado para temperatura do ar na área SUL foi obtido com o experimento RegCMEM (tabela 4.17). No entanto, o *ensemble* e demais experimentos de sensibilidade também apresentaram *bias* muito próximo de zero, indicando um erro sistemático quase nulo desses experimentos na área SUL. O índice estatístico REQ mostra que os valores previstos e do *ensemble* são próximos aos valores médios trimestrais da re-análise do NCEP em praticamente todo o período, com valores de REQ variando entre 0,81°C a 0,99°C. A razão dos desvios padrões (tabela 4.17) também revela que os experimentos avaliados previram com eficiência a variabilidade temporal do NCEP. Valores altos de correlação linear (acima de 0,93), coeficiente de eficiência (superior a 0,84) e índice de concordância (maior que 0,96) foram encontrados em todos os experimentos de sensibilidade e *ensemble* no SUL, evidenciando o bom desempenho desses experimentos em prever a temperatura do ar da re-análise do NCEP nesta área. A somatória final dos escores (tabela 4.17) indica que a temperatura do ar da re-análise do NCEP na área SUL é melhor prevista através do *ensemble* dos experimentos como preditor.

Tabela 4.17 – Idem a tabela 4.2, mas para temperatura do ar na área SUL.

Índices	RegCMAK	RegCMGR	RegCMEM	Controle	Ensemble
<i>B</i>	-0,05	-0,17	0,04	0,29	0,05
<i>EA</i>	0,66	0,65	0,81	0,83	0,63
<i>REQ</i>	0,89	0,86	0,97	0,99	0,81
<i>Rσ</i>	1,16	1,22	1,10	1,12	1,14
<i>r</i>	0,96	0,98	0,94	0,95	0,97
<i>E</i>	0,88	0,89	0,86	0,85	0,90
<i>d</i>	0,97	0,98	0,97	0,97	0,98
<i>Escore</i>	0	4	2	0	6

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Previsões climáticas sobre o Brasil utilizando o modelo climático regional RegCM3 aninhado ao modelo global CPTEC/COLA foram avaliadas, assim como os experimentos de sensibilidade realizados para determinar a dependência destas previsões às parametrizações de convecção (Grell, Emanuel e Kuo).

As previsões com o experimento Controle demonstraram ao longo de 27 trimestres que erros sistemáticos como o posicionamento das ZCAS e ZCIT nas previsões climáticas do CPTEC/COLA são corrigidos pelo experimento Controle (esquema convectivo de Grell). De maneira geral, estes erros que justificam a superestimativa ou subestimativa da precipitação prevista pelo modelo global são reduzidos nas previsões de Controle. Apenas na Amazônia Sul não foi obtido melhor desempenho em prever precipitação com o Controle quando comparado ao CPTEC/COLA, uma vez que a previsão Controle apresenta um *bias* elevado. No entanto, a correlação linear entre a chuva trimestral prevista pelo Controle e a análise do CPC é alta (0,96) e o coeficiente de eficiência positivo, o que indica que o Controle supera a média da análise do CPC na previsão trimestral da chuva. Para a temperatura do ar na maioria das áreas avaliadas, o CPTEC/COLA previu médias trimestrais mais próximas da re-análise do NCEP do que o experimento Controle. No entanto, após remover o erro sistemático (sempre mais frio), o experimento Controle mostrou-se melhor preditor que o CPTEC/COLA em 6 das 8 áreas avaliadas, exceto sobre o Sudeste do Brasil (MGS e SDE).

A verificação objetiva das previsões climáticas em relação à climatologia revelou que o Controle previu a precipitação com mais eficiência que a média climatológica

trimestral nas 8 áreas avaliadas, enquanto que para temperatura do ar o mesmo desempenho não foi obtido nas áreas MGS e AMS, onde a climatologia apresenta *bias* menor que a previsão de Controle que obteve valor negativo para o coeficiente de eficiência E' , isto indica que a climatologia é superior ao Controle na previsão trimestral de temperatura do ar nestas duas áreas.

A investigação realizada em 9 trimestres para determinar a dependência das previsões climáticas regionais nas parametrizações de convecção identificou em quais áreas avaliadas cada experimento de sensibilidade ou a média destes (*ensemble*) obteve melhor desempenho. O RegCMGR, integrado com o mesmo esquema convectivo do Controle (Grell), porém em uma nova versão do RegCM3, revelou-se como melhor preditor da chuva apenas na área MGS, porém não de temperatura do ar. Em nenhuma das 8 áreas avaliadas o RegCMEM (experimento que utilizou a parametrização convectiva de Emanuel) e RegCMAK (experimento com esquema convectivo de Kuo) foram mais eficientes do que os demais experimentos e o *ensemble* para prever a chuva trimestral da análise do CPC. No setor tropical do domínio (Amazônia e Nordeste do Brasil) enquanto o RegCMEM superestima, o RegCMAK subestima a chuva observada. No entanto, para previsões de temperatura do ar no NDE e SDE os melhores resultados foram obtidos com o RegCMEM, enquanto que na área AML o RegCMAK revelou maior eficiência em prever a temperatura do ar da re-análise do NCEP. Constata-se também através dos escores que a média dos experimentos (*ensemble*) aumentou o *skill* das previsões de chuva nas áreas AMZ, AMS, AML e NDE, ou seja, no setor tropical do domínio, enquanto nas demais áreas (MGS, SDE e SUL) o *ensemble* apresenta resultados **similares** ao Controle. Para a

temperatura do ar o *ensemble* é superior aos demais em 5 (MGS, SUL, AMZ, AMN e AMS) das 8 áreas avaliadas.

A análise apenas dos coeficientes de eficiência para temperatura do ar e precipitação revelou que o RegCMAK previu a chuva com mais eficiência que a média da análise do CPC apenas na área SDE, enquanto que para temperatura do ar isto ocorre para as áreas SUL e SDE. O mesmo acontece com o RegCMGR que também previu melhor que a média re-análise do NCEP apenas nas áreas SDE e SUL. Entretanto, para precipitação o RegCMGR é melhor preditor que a média da análise do CPC na maioria das áreas, exceto na área AMN. O Controle revelou-se como melhor preditor da precipitação se comparado à média da análise do CPC em todas as áreas avaliadas. No entanto, para temperatura do ar somente nas áreas pertencentes à Região Sudeste e na SUL o experimento Controle apresentou maior eficiência do que a re-análise do NCEP. Em todas as áreas definidas sobre a Amazônia, tanto para precipitação quanto para temperatura do ar, nota-se que o RegCMEM foi pior preditor que a média das análises. Por fim, o *ensemble* não foi melhor preditor de chuva que a média das observações apenas na área AMN, e para temperatura do ar isto ocorreu nas áreas AMN, AML, AMZ e NDE.

De maneira geral, considerando a disponibilidade atual e as avaliações até o momento, o experimento Controle ou o *ensemble* seriam melhores preditores de chuva trimestral na maior parte do Brasil. O mesmo é obtido para temperatura do ar quando remove-se o erro sistemático (*bias* frio) das previsões sobre o setor tropical nestes dois experimentos.

Sugere-se como trabalhos futuros aumentar o número de previsões climáticas sazonais utilizando o RegCM3 a fim de confirmar os resultados encontrados neste trabalho. É importante também a realização de um estudo envolvendo a física das parametrizações convectivas disponíveis no RegCM3 para que os processos úmidos neste modelo sejam aprimorados e ajustados e desta forma obtenha-se melhor desempenho das previsões climáticas sobre o Brasil, diminuindo assim os erros encontrados nas previsões, associados à esquemas convectivos (i.e, superestimativa ou subestimativa da precipitação quando utiliza-se determinada parametrização cumulus). Uma investigação da anomalia de precipitação e chuva diária no modo de previsão utilizando o RegCM3 também seria importante para identificar a previsibilidade de períodos consecutivos secos ou chuvosos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS⁴

ALVES, L. M.; et al. Estudo comparativo entre a precipitação sazonal simulada pelo modelo ETA e observada sobre o Brasil. In: **11º Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro, 2000. 1 CD-ROM.

ALVES, L.M.; MARENGO, J.A.; CASTRO, C.A.C. Início das chuvas na região Sudeste do Brasil: análise climatológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. 1 CD-ROM.

BRINKMAN, W. L. F; RIBEIRO, M. N. G. Air temperatures in Central Amazônia. III Vertical temperature distribution on a clearcut area and in a secondary forest near Manaus (cold front conditions July 10th 1969). **Acta Amazônica**, Manaus, v.2, n.3, p.25 - 29, 1972.

CAVALCANTI, I. F. A; MARENGO, J. A., SATYAMURTY, P., *et al.* Global climatological features in a simulation using CPTEC/COLA AGCM. **Journal of Climate**, Boston v.15, p. 2965-2988, 2002.

CHOU, S. C.; NUNES; A. M. B.; CAVALCANTI, I. F. A. Extended range forecasts over South America using the regional ETA model. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.105, p. 10147-10160, 2000.

CLIMANÁLISE, Boletim de Monitoramento de Análise Climática. SCT/INPE-CPTEC. São Paulo, v. 21, n. 05, maio de 2006.

_____. Boletim de Monitoramento de Análise Climática. SCT/INPE-CPTEC. São Paulo, v. 21, n. 11, novembro de 2006.

_____. Boletim de Monitoramento de Análise Climática. SCT/INPE-CPTEC. São Paulo, v. 21, n. 12, dezembro de 2006.

_____. Boletim de Monitoramento de Análise Climática. SCT/INPE-CPTEC. São Paulo, v. 22, n. 01, janeiro de 2007.

_____. Boletim de Monitoramento de Análise Climática. SCT/INPE-CPTEC. São Paulo, v. 22, n. 02, fevereiro de 2007.

_____. Boletim de Monitoramento de Análise Climática. SCT/INPE-CPTEC. São Paulo, v. 22, n. 03, março de 2007.

COHEN, J. C. P; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise**, v. 4, n. 11, p. 34-40, nov. 1989.

⁴ De acordo com: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**. Apresentada em: Diretrizes para apresentação de dissertação da USP: documento eletrônico e impresso. Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi. São Paulo, 2004.

- COSTA, P. N. F. **Verificação do modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC/COLA: ciclo hidrológico e processos de superfície.** 1997. 83f. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.
- CUADRA, S. V. **Simulação da variabilidade climática durante o verão sobre o sul e sudeste do Brasil.** 2005. 111f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação do Instituto de Astronomia, Geofísica, e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- CUADRA, S. V.; ROCHA, R. P. da. Sensitivity of regional climatic simulation over Southeastern South America to SST specification during austral summer. **International Journal of Climatology.** v. 27, p. 793-804, 2007.
- _____. Simulação Numérica do Clima de Verão Sobre o Sudeste do Brasil e sua Variabilidade. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, p. 271-282, 2006.
- CUSTÓDIO, M. A. M.; HERDIES, D. L., O jato de baixos níveis a leste da Cordilheira dos Andes - um estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8. Belo Horizonte. **Anais do 8º Congresso Brasileiro de Meteorologia.** Belo Horizonte:1994. p. 617-619.
- DICKINSON, R. E.; ERRICO, R. M.; GIORGI, F.; *et al.* A regional climate model for western United States. **Climate Change.** v.15, p.383– 422, 1989.
- DICKINSON, R. E., HENDERSON-SELLERS, A., KENNEDY, P. J. Biosphere-atmosphere-transfer scheme (BATS) version 1E as coupled to NCAR Community Climate Model. **NCAR Tech. Note, Natl. Cent. For Atmos. Res.,** Boulder, Colorado. 1993.
- DRUYAN, L. M.; FULAKEZA, M.; LONERGAN, P. Dynamic Downscaling of Seasonal Climate Predictions over Brazil. **Journal of Climate,** Boston v. 15, 3411–3426. 2002.
- FERNANDES, K. A.; SATYAMURTY, P. Cavados invertidos na região central da América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, Belo Horizonte. **Anais do 8º Congresso Brasileiro de Meteorologia.** Belo Horizonte: 1994. p. 93-94.
- FERNANDEZ, J. P. R.; FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B. Simulation of the Summer circulation over South America by two regional climate models. Part I: Mean climatology. **Theor. Appl. Climatol.** v. 86, p. 247-260, 2006.
- FERRAZ, S. E. T. **Variabilidade intrasazonal no Brasil e Sul da América do Sul.** 2004.170f, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação do Instituto de Astronomia, Geofísica, e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- FISCH, G.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazonica,** Manaus. v. 28, n. 2, 1998.
- GIORGI, F.; BATES, G.T. The climatological skill of a regional model over complex terrain. **Monthly Weather Review,** Boston v.117, p. 2325–2347, 1989.

- GIORGI, F.; MEARNS, O. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 104, p. 6335-6352, 1999.
- GIORGI, F.; SHIELDS, C. Tests of precipitation parameterizations available in the last version of NCAR regional model (RegCM) over continental United States. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 104, p. 6353-6375, 1999.
- GOSWAMI, P.; MATHEW, V. A mechanism of scale selection in tropical circulation at observed intraseasonal frequencies. **J. Atmos. Sci.**, Boston v. 51, p. 3155-3166. 1994.
- HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, Boston. v. 2, p. 1388 - 1403, 1989.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **J. Royal Meteorol. Soc.**, v. 103, p. 77-92, 1977.
- KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast of Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, Setembro, 1979.
- KOUSKY, V. E.; KAGANO, M.T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region. **Acta Amazônica**, Manaus. v. 11, p. 743 - 758, 1981.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**, Boston. v. 7, p.1131-1143, 1994.
- KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.108, n. 4, p. 488-498, Abril,1980.
- KOUSKY, V. E.; MOLION, L. C. B. **Uma contribuição à climatologia da dinâmica da atmosfera sobre a Amazônia**. INPE-São José dos Campos, 1981.
- KOUSKY, V. E; ROPELEWSKI, C. H. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South America region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, p. 351-363, 1989.
- LIEBMANN, B.; KILADS, G. N.; MARENGO, J. A.; *et al.* Submonthly convective variability over South America and South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, Boston, v. 12, p. 1877-1891, 1999.
- LIEBMANN B.; CAMARGO, S. J.; SETH, A.; *et al.* Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v. 20, p. 2037–2050, 2007.
- MARENGO, J. A; CAVALCANTI, I. F. A.; SATYAMURTY, P.; *et al.* Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. **Climate Dynamics**, v.21, p.459-475, 2003.

- MARTINEZ, D. C.; da ROCHA, R. P.; BEZANILLA, A. M.; ALVAREZ, L. E.; *et al.* Sensitivity studies of the RegCM3 simulation of summer precipitation, temperature and local wind field in the Caribbean Region. **Theor. Appl. Climatol.** v. 86, p. 5–22, 2006.
- MISRA, V. et al.: Dynamic Downscaling of Seasonal Simulation over South American. **Journal of Climate**, Boston, v. 16, p. 103-117, 2003.
- MISRA, V.; KANAMITSU, M. Anomaly Nesting: a methodology to downscale seasonal climate simulations from AGCMs. **Journal of Climate**, Boston. v.17, n.17, p.3249-3262, 2004.
- MISRA, V. Understanding the predictability of seasonal precipitation over northeast Brazil. **Tellus**, v. 58A, p. 307-319, 2006.
- MOURA, A. D.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, Boston v. 38, p. 2653-2675, 1981.
- OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas na América do Sul e convecção na Amazônia.** Dissertação de Mestrado em meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Out. 1986.
- OYAMA, M. D. Erros sistemáticos no clima da região tropical da América do Sul simulado pelo modelo regional MM5 em baixa resolução horizontal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2006.
- PAIVA, C.M. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranicos na Bacia do Rio Doce.** 1997. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- ROCHA, E. J. P. **Balanço de umidade e influencia de condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia.** 2001. 210p. Tese (Doutorado em Meteorologia)-Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.
- SANTOS, I. A. **Variabilidade da circulação de verão da alta troposfera na América do Sul.** 1986. 95 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação do Instituto de Astronomia, Geofísica, e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.
- SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of the Amazon region. In **The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Sioli, H. (ed.). Dr. W. Junk Publishers, 763 p. 1984.
- SEN, O. L., WANG, Y.; Wang, B. Impact of Indochina deforestation on the East-Asian summer monsoon. **Journal of Climate**, Boston. v. 17, p. 1366–1380, 2004a.
- _____. Regreening the desertification lands in northern China: Implications from a regional climate model experiment. **J. Meteor. Soc. Japan.** 2004b

- SETH, A.; ROJAS, M. Simulation and sensitivity in a Nested Modeling System for South American. Part I: Reanalyses Boundary Forcing. **Journal of Climate**, Boston, v.16, p. 2437-2453, 2003.
- SETH, A.; RAUSCHER, S.A.; CAMARGO, S. J.; *et al.* RegCM3 regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM global model driving fields. **Climate Dynamics**, v. 28. p. 461–480, 2007.
- SILVA, M. A D.; GRAMMELSBACHER, E. A possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 6, p.1-2, 1991.
- SILVA, S. B. V., KOUSKY, E. V., SHI, W.; *et al.* An Improved Gridde Historical Daily Precipitation Analysis for Brazil. **Jour. Hydrometeorology**. v. 8, p. 848-861, 2007.
- SUGAHARA, S. **Um estudo sobre a viabilidade de prever chuvas no nordeste do Brasil, com antecedência de um a nove meses**. 1983. 91f. Dissertação de Mestrado em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1983.
- VASCONCELLOS, F. C. **Variabilidade atmosférica associada a casos extremos de precipitação na Região Sudeste**. 2008. 139 f. Dissertação de Mestrado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.
- WANDISHIN, M. S.; MULLEN, S. L.; STENSRUD, D. J.; *et al.* Evaluation of a short-range multi-model ensemble system. **Mon. Wea. Rev.**, Boston v. 129, p. 729–747, 2001.
- WANGY, L. R. L.; MCGREGOR J. L.; LEE, D. K.; *et al.* Regional Climate Modeling: Progress, Challenges, and Prospects. **J. Meteorol Soc Jpn**, v. 82, p. 1599-1628, 2004.
- WANG, H.; PITMAN, A. J.; ZHAO, M.; *et al.* The impact of land-cover modification on the June meteorology of China since 1700, simulated using a regional climate model. **J. Climatol.**, v. 23, p. 511–527, 2003.
- WEBER, A.; BUCKNER, M.; WEBER, J. Statistical Performance of Several Mesoscale Atmospheric Dispersion Models. **Journal of Applied Meteorology**, NOAA Central Library, Department of Commerce, v. 21, n. 11, p. 1633–1644, 1982.
- WEICKMANN, K. M., LUSSKY, G. R.; KUTZBACH, J. E. Intraseasonal (30-60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb streamfunction during northern winter. **Mon.Wea. Rev.**, Boston v. 113, p. 941-961, 1985