



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16650-TDI/1613

**AVALIAÇÃO E AJUSTES DA PARAMETRIZAÇÃO
CONVECTIVA DE KAIN-FRITSCH SOBRE A REGIÃO
DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA**

Antonio Vicente Pereira Neto

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Marcos Daisuke Oyama, aprovada em 17 de dezembro de 2009.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/11.18.13.31>>

INPE
São José dos Campos
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16650-TDI/1613

**AVALIAÇÃO E AJUSTES DA PARAMETRIZAÇÃO
CONVECTIVA DE KAIN-FRITSCH SOBRE A REGIÃO
DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA**

Antonio Vicente Pereira Neto

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Marcos Daisuke Oyama, aprovada em 17 de dezembro de 2009.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/11.18.13.31>>

INPE
São José dos Campos
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pereira Neto, Antonio Vicente.

P414av Avaliação e ajustes da parametrização convectiva de Kain-Fritsch sobre a região do Centro de Lançamento de Alcântara / Antonio Vicente Pereira Neto. – São José dos Campos : INPE, 2010.

117 p. ; (INPE-16650-TDI/1613)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

Orientador : Dr. Marcos Daisuke Oyama.

1. Parametrização. 2. Kain-Fritsch. 3. Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). 4. Modelo atmosférico. 5. Ajustes. I.Título.

CDU 551.509.313.42 (812.1)

Copyright © 2010 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2010 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dr. Clóvis Angeli Sansigolo



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Marcos Daisuke Oyama



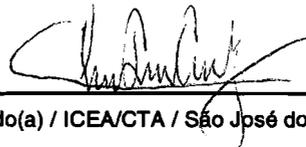
Orientador(a) / IAE/CTA / SJCampos - SP

Dr. Silvio Nilo Figueroa Rivero



Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Cleber Souza Corrêa



Convidado(a) / ICEA/CTA / São José dos Campos - SP

Aluno (a): Antonio Vicente Pereira Neto

São José dos Campos, 17 de dezembro de 2009

“A sorte ajuda os bem preparados”

Marcelo Gleiser

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado a vida e uma família na qual encontrei valiosos incentivos pessoais e profissionais e por ter iluminado sempre meu caminho.

Ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) do comando da Aeronáutica, por ter viabilizado o mestrado e acreditado na minha capacidade.

Um agradecimento especial ao meu orientador Dr. Marcos Daisuke Oyama, pela sua paciência, dedicação e valiosos ensinamentos, não hesitando em oferecer-me apoio, em todos os sentidos e instantes.

A minha querida esposa e amiga Maria Cristina, cujo amor e dedicação me ajudaram a transpor os momentos mais difíceis, alegrando-me a cada dia.

A minha querida mãe, da qual emana toda a força para as minhas vitórias, e meu querido irmão José Cristiano que, sem medir esforços me colocou no caminho do conhecimento.

Ao meu querido pai (in memoriam), pelo exemplo de coragem, força e dedicação. Infelizmente não está fisicamente ao meu lado, mas tenho certeza que no plano espiritual em que se encontra, continua torcendo pelo meu sucesso e me enviando energias positivas para que eu continue seguindo o caminho certo, rumo a novas conquistas, tendo o seu exemplo a seguir.

E a todos aqueles colegas, amigos e familiares, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Foram realizados ajustes no esquema de parametrização convectiva de Kain-Fritsch (KF2) para melhor representar a precipitação na região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) em simulações com o modelo regional MM5. Simulações de 24 h em um domínio aproximadamente centrado no CLA com espaçamento de grade de 30 km foram realizadas para o período de 2005-2006 (calibração) e 2008 (validação). Os ajustes realizados foram: utilização de passo de tempo de 60 s, do “warm rain” como convecção explícita e da convecção rasa de Grell (juntamente com a de KF2); aumento da profundidade de nuvem necessária para ativar a convecção; parâmetros da função “trigger” convectiva do KF2 dependentes do movimento vertical ascendente na coluna atmosférica. Com os ajustes, houve expressiva melhoria na representação do total de precipitação e da fração dos dias do mês com chuva na escala mensal. O padrão espacial de erros no domínio, no entanto, não sofreu muitas alterações sobre o continente e, em geral, a precipitação é melhor representada sobre o continente que sobre o oceano. As etapas de ajuste realizadas no trabalho poderão ser empregadas para melhorar a representação da precipitação em outras regiões específicas.

**EVALUATION AND ADJUSTMENTS IN THE KAIN-FRITSCH CONVECTIVE
PARAMETERIZATION SCHEME FOR THE ALCÂNTARA LAUNCH
CENTER REGION**

ABSTRACT

Adjustments in the Kain-Fritsch convective parameterization scheme (KF2) were included to better represent the precipitation in simulations using the MM5 regional model for the Alcântara Launch Center (CLA) region. 24 h integrations over a 30 km grid spacing domain centered in CLA were run for 2005-2006 (calibration) and 2008 (validation). The included adjustments were: use of 60 s time step, warm rain scheme and Grell shallow convection scheme (together with KF2 shallow convection scheme); increase of minimum cloud depth to initiate deep convection; trigger function parameters dependent on column upward vertical motion. With the adjustments, there were marked improvement in the representation of total precipitation and monthly fraction of rainy days. The spatial pattern of errors in the domain doesn't show substantial changer over land and, in general, precipitation is better represented over land than over ocean. The adjustment steps carried out in this work could be followed to improve precipitation representation in other specific regions.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1 INTRODUÇÃO	25
2 MATERIAL	34
2.1 Dados de precipitação	34
2.2 Dados de temperatura de brilho	35
2.3 Radiossondagens.....	35
2.5 Dados de Reanálise do NCEP/NCAR	36
2.6 Modelo	36
3 ESQUEMA DE PARAMETRIZAÇÃO DE KAIN-FRITSCH	39
3.1 Função de Disparo da convecção (FDC)	40
3.2 Formulação do fluxo de massa	42
3.3 Hipótese de fechamento.....	42
4 DADOS PARA VERIFICAÇÃO	45
5 CONTROLES	49
5.1 Comparação entre CTL-0 e CTL-1	49

5.3 Comparação entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2.....	55
6 MUDANÇAS DA PROFUNDIDADE MÍNIMA DE NUVEM.....	59
7 AJUSTES DA FUNÇÃO DE DISPARO DA CONVECÇÃO (FDC)	69
7.1 Ajuste para estação chuvosa.....	69
7.1.1 Ajuste da subrotina “CONDLOAD” do esquema de KF2	71
7.1.2 Ajuste do raio do fluxo de massa ascendente (<i>R</i>).....	73
7.1.3 Ajuste do parâmetro <i>WKL</i> da subrotina “KF2PARA” do esquema de KF2.	75
7.2 Ajuste de março de 2006	76
7.2.1 Ajuste da subrotina “CONDLOAD” do esquema de KF2	76
7.2.2 Ajuste do parâmetro <i>WKL</i> da subrotina “KF2PARA” do esquema de KF2.	77
7.3 Ajuste da estação de transição.....	78
7.3.1 Ajuste do parâmetro <i>cz</i> da subrotina “KF2PARA” de KF2	78
7.3.2 Ajuste do parâmetro <i>WKL</i> da subrotina “KF2PARA” do esquema de KF2.	80
7.3.3 Ajuste da subrotina “CONDLOAD” do esquema de KF2	81
7.3.4 Ajuste do raio do fluxo de massa ascendente (<i>R</i>).....	82
7.4 Ajuste da estação seca	84
8 AJUSTES DO ÍNDICE DE ASCENDÊNCIA (IA)	87
9 RESULTADOS FINAIS DA CALIBRAÇÃO	93
10 VALIDAÇÃO PRELIMINAR PARA 2008	105

11 CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da região de estudo.	29
Figura 2.1 - Grades consideradas. A: grade das condições iniciais e de contorno (AmSul, cor preta); B: grade (domínio) das simulações (cor vermelha).....	38
Figura 3.1 - Ilustração dos processos no esquema de convecção profunda de KF.....	39
Fonte: Adaptado de Yamasaki (2004).	39
Tabela 4. 1 - Fontes de dados observados e critérios para ocorrência de precipitação. .	45
Figura 4.1 - Total mensal de precipitação (P) dos dados do CLA, TRMM, São Luis, NCEP e GPCP para o período 2005-2006.....	46
Figura 4.2 - Intervalo onde se espera ficar PS . Máximo (média + σ) e mínimo (média - σ) dos dados observados.....	47
Figura 4.3 - Fração de dias do mês com chuva (F) dos dados do CLA, TRMM, São Luis, NCEP e GPCP para o período 2005-2006.....	47
Figura. 4.4 - Intervalo onde se espera ficar FS . Máximo (média + σ) e mínimo (média - σ) dos dados observados.....	48
Figura 5.1 - Comparação de PS entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 e 2006.....	50
Figura 5.2 - Comparação de PC entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 – 2006.....	51
Figura 5.3 - Comparação de PN entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 e 2006....	51
Figura 5.4 - Comparação de F entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 e 2006.....	52
Figura 5.5 - Quantidade de chuva (mm) para simulações em março de 2005 (13UTC de 01/03/2005 às 23UTC de 31/03/2005).	54
Figura 5.6 - Fração de dias do mês com chuva (%) para simulações em março de 2005 (13UTC de 01/03/2005 a 23UTC de 31/03/2005).....	54
Figura 5.7 - Comparação de PS entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.	55
Figura 5.8 - Comparação de PC entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.	56
Figura 5.9 - Comparação de PN entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.	56

Figura 5.10 - Comparação de F entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.....	57
Figura 6.1 - "Climatologia" com dados de radiossondagens lançadas no CLA para a temperatura do NCA (parcela entre 1000 e 950hPa) às 00UTC e 12UTC do período 1989-2008.....	63
Figura 6.2 - Fração de horários quando existem regiões com $TB \leq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (253K) no ponto de grade centrado no CLA para abril e outubro de 2005 e 2006.....	63
Figura 6.3 - Fração de horários quando existem regiões com $TB \leq 253\text{K}$ no ponto de grade sobre o CLA para outubro (em escala logarítmica) (estação seca).	64
Figura 6.4 - "Climatologia" com dados de radiossondagens lançadas no CLA para a Lapse-rate entre 850 e 500 hPa às 00UTC e 12UTC do período 1989-2008.....	64
Figura 6.5 - "Climatologia" com dados de radiossondagens lançadas no CLA para a Variação da altura média da nebulosidade [$\Delta Z = Z (TB=253\text{K}) - Z (NCA)$] do período 1989- 2008.....	65
Figura 6.6 - Características das sondagens (D_{min} e T_{NCA}) de 00 e 12UTC sobre o CLA Para o período de 1989 a 2008.	65
Figura 6.7 - Comparação de PS entre o CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.....	66
Figura 6.8 - Comparação de PC entre CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.....	66
Figura 6.9 - Comparação de PC entre CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.....	67
Figura 6.10 - Comparação de FS entre CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.	67
Figura 7.1 - Variância de algumas variáveis termodinâmicas originadas do "CTL-2 + DMIN": a) Altura do NCA (Z_{NCA}), b) Velocidade vertical no NCA (w_{NCA}) em cm/s, c) Perturbação de temperatura (δT_{VV}) em $^{\circ}\text{C}$	70
Figura 7.2 - Ajuste da subrotina "condload" para o total mensal de precipitação (PC , PN e PS) nos meses de março de 2005 (a) e abril de 2006 (b).....	73
Figura 7.3 - Ajuste do raio das correntes ascendentes para o total mensal de precipitação (PC , PN e PS) nos meses de março de 2005 (a) e abril de 2006 (b).....	74
Figura 7.4 - Ajuste de WKL para o total mensal de precipitação (PC , PN e PS) nos meses de março de 2005 (a) e abril de 2006 (b).....	76

Figura 7.5 - Ajuste da subrotina “condload” para o total mensal de precipitação (<i>PC</i> , <i>PN</i> e <i>PS</i>) no mês de março de 2006.....	77
Figura 7.6 - Ajuste de <i>WKL</i> para o total mensal de precipitação (<i>PC</i> , <i>PN</i> e <i>PS</i>) no mês de março de 2006.....	78
Figura 7.7 - Ajuste do parâmetro <i>cz</i> para o total mensal de precipitação (<i>PC</i> , <i>PN</i> e <i>PS</i>) nos meses de junho de 2005 (a) e junho de 2006 (b).	79
Figura 7.8 - Ajuste de <i>WKL</i> para o total mensal de precipitação (<i>PC</i> , <i>PN</i> e <i>PS</i>) nos meses de junho de 2005(a) e junho de 2006 (b).....	80
Figura 7.9 - Ajuste da subrotina “condload” para o total mensal de precipitação (<i>PC</i> , <i>PN</i> e <i>PS</i>) nos meses de junho de 2005 (a) e junho de 2006 (b).....	82
Figura 7.10 - Ajuste do raio do fluxo de massa ascendente para o total mensal de precipitação (<i>PC</i> , <i>PN</i> e <i>PS</i>) nos meses de junho de 2005 (a) e junho de 2006 (b).....	83
Figura 7.11 - Ajuste da estação seca para o total mensal de precipitação (<i>PC</i> , <i>PN</i> e <i>PS</i>) nos meses de outubro de 2005 (a) e outubro de 2006 (c).....	85
Figura 8.1 - Índice de ascendência (<i>IA</i>) para o período 2005 – 2006 com dados de: (a) Análise, (b) Reanálise e (c) modelo MM5.	88
Figura 8.2 - Índice de ascendência em $\text{Pa.cm.s}^{-1}/100$. (a) variação da média mensal para as horas do dia no período 2005-2006 e (b) média mensal às 12 UTC.....	89
Figura 8.3 - Síntese dos ajustes: a) “condload”, b) WKL_{max} , c) <i>R</i> e d) <i>cz</i>	90
Figura 8.4 - Ajuste do <i>IA</i> , No lado esquerdo tem-se a) março, b) junho e c) outubro de 2005, No lado direito tem-se a) março, b) junho e c) outubro de 2006.....	91
Figura 9.1 - Total mensal de precipitação no CLA (mm) para simulação final.....	94
Figura 9.2 - Fração de dias do mês com chuva no CLA (%) para 2005 e 2006.....	94
Figura 9.3 - Precipitação média (mm.mês^{-1}) em setembro/2005. 1ª Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	96
Figura 9.4 - Precipitação média (mm.mês^{-1}) em setembro/2006. 1ª Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	97

Figura 9.5 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) em março/2005. 1 ^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	98
Figura 9.6 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) em março/2006. 1 ^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	99
Figura 9.7 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) em junho/2005. 1 ^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	100
Figura 9.8 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) em junho/2006. 1 ^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	101
Figura 9.9 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) em dezembro/2005. 1 ^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	102
Figura 9.10 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) em dezembro/2006. 1 ^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com <i>PS</i> (a), <i>PC</i> (b) e <i>PN</i> (c).....	103
Figura 10.1 - Total mensal de precipitação no CLA (mm) para a validação 2008.	105
Figura 10.2 - Fração de dias do mês com chuva no CLA (%) para a validação 2008.	105
Figura 10.3 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) no mês de setembro de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1, e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).	106
Figura 10.4 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) no mês de março de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).	107

Figura 10.5 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) no mês de junho de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1, e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).	108
Figura 10.6 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) no mês de dezembro de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1 e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).	109
Figura 10.7 - Precipitação média (mm.mês ⁻¹) no mês de setembro de 2006. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1 e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 4. 1 - Fontes de dados observados e critérios para ocorrência de precipitação. . 45

Tabela 5.1 - Configuração dos testes. Em todos os testes, o esquema de convecção profunda é o KF2. As configurações do CTL-1 estão sombreadas
.....51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACA	- Divisão de Ciências Atmosféricas
AS	-Arakawa e Schubert
BM	- Betts e Miller
CAPE	- Convective Available Potencial Energy
CLA	- Centro de Lançamento de Alcântara
CPTEC	- Centro de Pevisão de Tempo e Estudos Climáticos
cz	- Corte da velocidade vertical
DECEA	- Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DJF	- Dezembro, Janeiro, Fevereiro
DOL	- Distúrbios Ondulatórios de Leste
DMIN	- Profundidade mínima de nuvem
DSA	- Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
EMS	- Estação Meteorologica de Superfície
FC	- Fritsch e Chappell
FDC	- Função de Disparo da Convecção
GOES	- Geostationary Operational Environmental Satellites
GPCP	- Global Precipitation. Climatology Project
GSFC	- Goddard Space Flight Center
HL	- Hora Local
IA	- Índice de Ascendência
IAE	- Instituto de Aeronáutica e Espaço
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KF	- Kain Fritsch
KF2	- Atualização do esquema de Kain Fritsch
LI	- Linhas de Instabilidade
MA	- Maranhão
MAM	- Março, Abril, Maio

MM5	- 5ª Geração do Modelo de Mesoescala
NCA	- Nível de Condensação por Ascensão
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NCAR	- National Center for Atmospheric Research
NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
NEB	- Norte do Nordeste Brasileiro
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
Obs_SLZ	- Observação de superfície do município de São Luís
Obs_CLA	- Observação de superfície do Centro de Lançamento de Alcântara
PA	- Pará
PSU	- Pennsylvania State University
R	- Raio do fluxo de massa das correntes ascendentes
SCM	- Sistemas Convectivos de Mesoescala
SF	- Sistemas Frontais
TB	- Temperatura de Brilho
TRMM	- Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
TKE	- Turbulence Kinetic Energy
USL	- Updraft Source Layer
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
VCAN	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WKL	- Parâmetro de calibração
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de prognósticos de chuva torna-se mais evidente na vida cotidiana do ser humano, pois chuvas intensas podem provocar perdas materiais e humanas irreparáveis. Portanto, a busca de uma melhor qualidade e exatidão das previsões meteorológicas tem sido a mola propulsora imprescindível e estimuladora do desenvolvimento da Meteorologia. Nesse contexto, a evolução da modelagem atmosférica (juntamente com o aumento da oferta computacional) tem um papel relevante, o que pode ser contrastado com as previsões precárias de 40 anos atrás, quando teve início a moderna era de previsão numérica de tempo através do *Joint Numerical Weather Prediction Unit*, mais tarde *National Weather Service* americano (MOURA, 1996). No Brasil a previsão numérica de tempo tem sido cada vez mais utilizada como informação estratégica de planejamento para diversas áreas de atividade econômica e social.

A modelagem numérica da atmosfera serve para representar ou prognosticar os fenômenos atmosféricos que influenciam as condições de tempo; entre estes fenômenos está a convecção profunda, que abrange uma diversidade de escalas de tempo e espaço que vão desde os processos turbulentos de pequena escala com duração de minutos a horas até grandes aglomerados convectivos da ordem de milhares de quilômetros, com ciclo de vida na ordem de dias. Uma classificação dos processos/sistemas convectivos em função de suas escalas espaciais e temporais pode ser encontrada em Orlanski (1975). Em escalas maiores, a convecção associada a nuvens de precipitação é dividida em duas categorias: convecção profunda, que gera precipitação, e convecção rasa, que não gera (HOUZE, 1997).

Enquanto a convecção profunda possui um papel importante na circulação de grande escala, dirigindo o ramo ascendente das células de Hadley e Walker, a convecção rasa promove a mistura das propriedades termodinâmicas e dinâmicas na vertical. Os processos que levam à convecção variam espacialmente, dependem da escala

considerada (forçantes locais, sistemas sinóticos), são distintos sobre o oceano e continente, e dependem do horário (convecção diurna associada ao ciclo diurno de aquecimento da superfície e instabilização do perfil em baixos níveis; convecção noturna associada à formação de jato em baixos níveis, ao resfriamento radiativo no topo das nuvens, etc.) (YANG E SMITH, 2006).

A presente dissertação enfoca a convecção profunda sobre uma região específica do Nordeste Brasileiro (NEB): a região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), localizada na costa Norte do Nordeste Brasileiro (NNEB). O CLA encontra-se no município de Alcântara (MA) e suas coordenadas são 2°22'S, 44°23'W (Figura 1.1) (detalhes sobre a estação meteorológica no CLA são encontradas em MARQUES E FISCH, 2005). No CLA, são realizadas operações de lançamento de foguetes projetados e construídos no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE, São José dos Campos, SP). Pereira et al. (2002), utilizando diversas informações meteorológicas (dados de superfície, de ar superior, de satélite, entre outros), obtiveram as principais características climatológicas da região que abrange o CLA. A estação chuvosa (seca) ocorre entre os meses de janeiro e junho (julho e dezembro), e os máximos (mínimos) de precipitação ocorrem nos meses de março e abril (setembro e novembro). Nos meses chuvosos (secos), a cobertura média de nuvens é maior (menor) e os ventos são menos (mais) intensos. O mês de novembro (março) apresenta temperatura média mensal maior (menor) do que a de outros meses, com 28,1°C (26,7°C); assim, a variação sazonal da temperatura média mensal é pequena. No ciclo diário, a cobertura de nuvens é maior (menor) entre 07 e 12 HL (21 e 02 HL), os ventos mais (menos) intensos ocorrem no período diurno (noturno), e a temperatura máxima (mínima) ocorre entre 12 e 14 HL (05 e 06 HL).

Sobre o CLA, a precipitação está associada a fatores de escala sinótica [Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais (SF), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e Distúrbios

Ondulatórios de Leste (DOL)], de mesoescala [Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e Linhas de instabilidade (LI)] e de escala local [tempestades isoladas e circulação de brisa] (p.ex., CAVALCANTI, 1982; COHEN et al., 1989; MOLION e BERNARDO, 2002; TAVARES, 2008).

Barros (2008) estudou as características da precipitação sobre a região que abrange o CLA para os eventos de 2005 a 2006 e concluiu que o principal fator de grande escala é a ZCIT; de mesoescala, as LI (que se associam à ZCIT em muitos casos). Os eventos de precipitação, em sua maioria, possuem total acumulado menor que 0,5 mm, duração inferior a 1 h, intensidade menor que $0,5 \text{ mm h}^{-1}$ e ocorrem mais de uma vez ao dia (em média) no quadrimestre mais chuvoso. Em cerca da metade dos casos, a precipitação esteve associada a um sistema convectivo ($TB < 250 \text{ K}$) com núcleos convectivos ($TB < 230 \text{ K}$) em seu interior, o que mostra a importância dos processos de convecção profunda na precipitação do CLA. Em DJF e MAM, a distribuição horária da chuva é bem uniforme durante todo o dia, i.e., não existe um horário preferencial para ocorrência da precipitação, indicando que tanto processos diurnos quanto noturnos concorreriam para a geração de precipitação no CLA.

Durante a tarde e o início da noite, a ocorrência de precipitação no CLA poderia ser associada ao aquecimento da superfície decorrente do ciclo diurno de insolação e à brisa marítima; trata-se do mecanismo proposto por Cohen et al. (1989) para a iniciação de LI na costa norte do Brasil. Durante a noite, a ocorrência de precipitação poderia ser explicada por um mecanismo de escala local: o escoamento médio em baixos níveis opor-se-ia à brisa continental e geraria uma convergência nas vizinhanças da costa (KOUSKY, 1980). A posição exata desta zona de convergência dependeria da magnitude do escoamento médio em baixos níveis, da intensidade da brisa continental e da configuração da costa. Durante o fim da noite e pela manhã, a ocorrência de precipitação poderia estar associada a processos de convecção profunda sobre oceanos, pois o CLA encontra-se no litoral e, assim, poderia ser diretamente influenciado pela convecção sobre o oceano adjacente. Liu e Moncrieff (1998) sugeriram dois processos

físicos para explicar a convecção profunda sobre oceanos. O primeiro mecanismo ocorre durante o dia: a radiação solar incidente no topo das nuvens tende a aquecê-las e, assim, estabilizá-las (RANDALL et al., 1991); e o segundo, à noite, onde a radiação de onda longa que resfria o topo é maior nas regiões convectivas do que nas regiões adjacentes, e este aquecimento radiativo diferencial entre regiões com e sem nebulosidade introduz uma variação do campo de divergência horizontal favorecendo à convecção profunda (GRAY E JACOBSON, 1977).

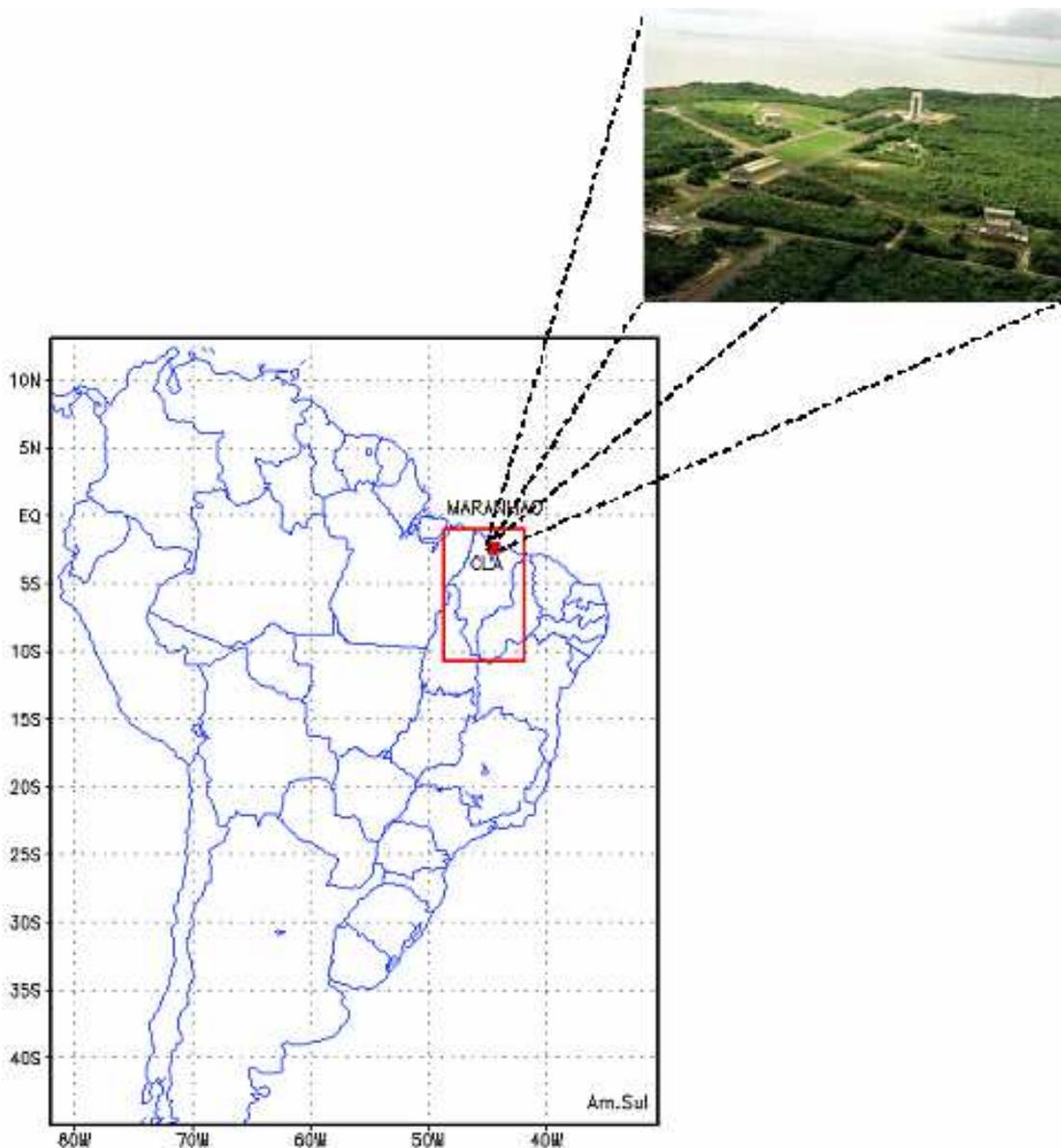


Figura 1.1 - Localização da região de estudo.

No desenvolvimento de modelos atmosféricos, globais ou regionais, um desafio é prever a precipitação de forma fidedigna. Para incluir os efeitos da convecção profunda em modelos atmosféricos, os processos devem ser implicitamente deduzidos das variáveis que são resolvíveis, isto é, a convecção deve ser parametrizada. Portanto, os

erros na previsão quantitativa de precipitação podem estar diretamente associados às limitações dos esquemas de parametrização da convecção profunda (p.ex., FIGUEROA, 1997; ROCHA, 2001). Segundo Stensrud (2007), os diversos esquemas de parametrização de convecção propostos na literatura podem ser agrupados em duas categorias: “deep-layer control schemes” e “low-level control schemes”. Na primeira categoria, encontram-se os esquemas de Kuo (1965), Arakawa e Schubert (1974), e Betts e Miller (1986). Na segunda, estão os esquemas de Fritsch e Chappell (1980), Tiedke, (1989), Gregory e Rowntree (1990), Kain e Fritsch (1990, 1993) (KF) e Emanuel (1991).

Nos últimos anos, muitos esforços são voltados para melhorar o entendimento da interação entre a circulação de grande escala e a convecção cúmulos, principalmente os esquemas que a parametrizam (KUO et al.,1997). Até o momento, nenhum dos esquemas existentes é considerado melhor do que o outro para todas as situações atmosféricas (WANG E SEAMAN, 1997).

Para a região tropical da América do Sul, um esquema que vem sendo utilizado em simulações com modelos regionais é o de KF (ROCHA, 2000; MAPES et al., 2004; VIZY E COOK, 2005). Esse esquema é o foco principal da presente dissertação.

Rocha (2000) discute o comportamento de três esquemas de parametrização da convecção (KAIN E FRITSCH, 1990, 1993; KUO, 1974; e FRITSCH E CHAPPELL, 1980) para um evento de ciclogênese sobre o Atlântico Sul. A autora analisa como os diferentes esquemas afetam o desenvolvimento, a distribuição, a partição de precipitação e as estruturas de mesoescala nas imediações do ciclone. Vizy e Cook (2005) realizaram um estudo com o modelo regional MM5 e a parametrização implícita de Kain-Fritsch para avaliar a consistência das variáveis terrestres e oceânicas do Último Máximo Glacial (LMG- Last Glacial Maximum). Mapes et al. (2004) realizaram um estudo com o modelo MM5 em média resolução (70 a 135 km), fazendo

comparações entre o perfil simulado da divergência do vento utilizando diversas parametrizações de cúmulos e a “observação” em uma simulação de 10 dias sobre a América tropical no verão do hemisfério Norte, mostrando bom desempenho do esquema de KF em resoluções mais baixas.

Oyama (2006) utilizou o modelo regional MM5 (KF para parametrização de cúmulos) com baixa resolução horizontal (250 km) para verificar se o modelo consegue representar realisticamente o clima da região tropical da América do Sul e concluiu que, para a média anual, o modelo conseguiu representar o padrão geral de precipitação. No entanto, regionalmente, houve erros sistemáticos.

Welch et al. (2009) realizaram um estudo de comparação entre a chuva simulada com o modelo GEMRAMS (usando KF) e medições de pluviômetros em um ambiente tropical (Guatemala). Concluíram que o desempenho de KF é bom nos primeiros 5-10 dias de simulação; depois desse período inicial, a precipitação ficou superestimada de forma significativa devido ao aumento da energia potencial disponível para a convecção (*convective available potential energy*, CAPE) e, ao ser aplicado uma relaxação newtoniana central nas simulações com o modelo MM5, para “forçar” a variável prognosticada na direção da observação disponível (*nudging*), os resultados foram excelentes para simulação de um ano inteiro.

Barros (2008) verificou a representação da precipitação em simulações de 24 h de 2005 a 2006 com o modelo regional MM5 (GRELL et al., 1995) para a região do CLA. Os resultados mostraram que o modelo superestima o número de eventos e o total de precipitação para todos os meses do ano, e a distribuição horária de chuva mostra um pico entre 03 e 06 HL, que não corresponde às observações. Testes utilizando uma atualização do esquema KF (KF2) (KAIN, 2004) e modificação do raio de fluxo de massa ascendente para 750 m (KF750) (conforme MAPES et. al, 2004) levaram a uma ligeira redução do erro sistemático, mas essa redução não é suficiente para tornar a

previsão de precipitação satisfatória. Isso significa que procedimentos imediatos (mais simples) para corrigir o erro sistemático não são suficientes. Desta forma, **mudanças mais substanciais e embasadas fisicamente precisariam ser realizadas no esquema KF para obter uma melhor previsão de precipitação sobre o CLA.** Esta é a motivação do presente trabalho.

Vários estudos têm mostrado que mudanças e ajustes nas parametrizações de cúmulos têm impactos substanciais sobre a precipitação simulada (ANDERSON et al., 2006; LEE et al. 2006; TRUONG et al. 2009).

Anderson et al. (2006) alteraram o perfil vertical no desentranhamento do fluxo de massa ascendente em uma implementação do esquema de KF2 e incluíram água e gelo. Após a mudança, testaram a sensibilidade do modelo às modificações no período de junho-julho de 1993, quando aconteceu uma inundação na região central dos Estados Unidos. As modificações impactaram o ciclo diurno de precipitação reduzindo a precipitação convectiva e aumentando a não-convectiva. A combinação da modificação do esquema de KF2 e alta resolução reproduziram melhor a propagação do sistema estudado.

Lee et al. (2006) investigaram possíveis alternativas para o processo de disparo da convecção na tentativa de aumentar a área de precipitação simulada sobre a península coreana, propondo duas modificações da Função de Disparo da Convecção (FDC) no esquema de KF: uma modificação foi o uso da perturbação de temperatura em função da umidade relativa e a outra é a utilização da Energia Cinética Turbulenta (TKE) para superar a Inibição Convectiva (CIN).

Truong et al. (2009) usaram o esquema de KF original e um outro modificado com uma nova equação para computar a velocidade vertical das correntes ascendentes, a hipótese de fechamento e a FDC em um evento de precipitação extrema nas províncias

montanhosas do Vietnã. As modificações resultaram em melhorias no regime de precipitação produzindo nuvens mais extensas (estratiformes) e mais profundas com uma quantidade maior de precipitação.

O presente trabalho propõe a melhoria na previsão quantitativa de precipitação sobre o CLA em simulações com o modelo regional MM5 por meio de ajustes na FDC do esquema KF2 (KAIN, 2004), que é uma versão atualizada do esquema KF. Os objetivos específicos são:

- ajustar a profundidade mínima de nuvem no esquema KF2;
- ajustar (calibrar) parâmetros da FDC do esquema de KF2;
- validar preliminarmente os ajustes realizados para um período independente.

A dissertação está organizada da seguinte forma. Na seção 2, está o material utilizado para o desenvolvimento da dissertação. Na seção 3, é descrito o esquema de parametrização de Kain-Fritsch (KF). Na seção 4, apresentam-se os dados para verificação. Na seção 5, os controles com configurações diferentes são utilizadas para verificar a possibilidade de obtenção imediata de melhorias nas simulações. Na seção 6, descrevem-se as mudanças da profundidade mínima de nuvem. Na seção 7, mostra-se o ajuste da FDC. Na seção 8, mostra-se o ajuste utilizado no Índice de Ascendência (IA). Na seção 9, estão os resultados finais da calibração (2005-2006). Na seção 10, mostram-se os resultados da validação preliminar para 2008. Finalmente, as conclusões finais são mostradas na seção 11.

2 MATERIAL

Nesta seção apresentam-se os dados e o modelo utilizado no trabalho.

2.1 Dados de precipitação

Dados de precipitação para o período de 2005-2006 e 2008 de diversas fontes são utilizados. Os dados consistem em:

- Dados horários de precipitação em superfície coletados no CLA e em São Luís (MA). Os dados são disponibilizados pela Divisão de Ciências Atmosféricas (ACA) do Instituto de Aeronáutica e espaço (IAE) e são medidas de pluviômetros em estações automáticas. A série temporal dos dados apresenta falhas devido a diversos fatores: pane na estação automática, atraso na recuperação do equipamento, etc.
- Dados de precipitação diária do NCEP para a América do Sul. Os dados são obtidos do NOAA/CPC¹ e integram medidas realizadas por vários centros meteorológicos no Brasil e em outros países da América do Sul. Os dados encontram-se em grade regular com espaçamento de 1°. A estimativa do total diário de precipitação no CLA é feita pela média dos totais diários para os 4 pontos de grade que circundam o CLA.
- Dados globais de precipitação diária do GPCP. Os dados são obtidos do GSFC/NASA² e encontram-se em grade regular com espaçamento de 1°. A estimativa do total diário de precipitação no CLA é feita com os valores no ponto de grade centrado em 2,5°S, 44,5°W.
- Estimativas de precipitação a cada 3 horas na faixa tropical do satélite TRMM (produto 3B42). Os dados são obtidos do GSFC/NASA³ e encontram-se em

¹ <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/realtime/gis/retro.shtml>

² <http://precip.gsfc.nasa.gov/index.html>

³ <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>

grade regular com espaçamento de $0,25^\circ$. A técnica de estimativa de precipitação do TRMM fornece valores mais precisos do que as técnicas indiretas baseadas em imagens de outros satélites (Barrera, 2005). A estimativa do total diário de precipitação no CLA é feita pela média dos totais diários para os 4 pontos de grade que circundam o CLA. Maiores informações sobre os dados podem ser obtidos em Simpson et al.(1996) e Kumerow et al.(2000).

2.2 Dados de temperatura de brilho

Dados de temperatura de brilho (TB) do canal 4 do satélite GOES-12 (Geostationary Operational Environmental Satellites), compreendendo um domínio de $100^\circ\text{W} - 28^\circ\text{W}$ e $50^\circ\text{S} - 21^\circ\text{N}$ e na resolução temporal (espacial) de 30 minutos (4 km), obtidos junto à DSA (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais) do CPTEC, são utilizados. A sequência de imagens de 2005-2006 apresenta falhas para alguns períodos, mas há uma boa cobertura temporal. O canal 4 do GOES-12 corresponde ao comprimento de onda de $10,7\ \mu\text{m}$ na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético e o uso deste canal permite visualização de nuvens nos períodos noturno e diurno, sendo adequado para estudar eventos de chuvas ocorridos em qualquer hora do dia. As imagens abrangem a América do Sul e são recortadas para a área do Nordeste.

2.3 Radiossondagens

Os dados de radiossondagens das 00UTC e 12UTC do CLA foram disponibilizados pela Divisão de Ciências atmosféricas (ACA) do Instituto de Aeronáutica e espaço (IAE).

2.4 Dados de análises do NCEP

As análises globais do NCEP disponibilizadas pelo CPTEC/INPE possuem uma resolução temporal de 12 horas (2 vezes ao dia) e resolução horizontal de aproximadamente 1° (T126). Esses dados encontram-se disponíveis e, por apresentarem

resolução horizontal mais alta que as Reanálises, serão utilizadas como condição inicial e de contorno das simulações com o MM5.

2.5 Dados de Reanálise do NCEP/NCAR

Utilizam-se os dados de Reanálises do NCEP/NCAR com resolução temporal e espacial de 6 horas e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, respectivamente, e com 17 níveis na vertical (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20 e 10 hPa). Maiores detalhes sobre os dados encontram-se em Kalnay et al. (1996).

2.6 Modelo

Neste trabalho, utiliza-se o modelo regional MM5. O MM5 é um modelo não-hidrostático que utiliza a coordenada sigma na vertical (GRELL et al., 1995) e grade B de Arakawa-Lamb na horizontal (ARAKAWA e LAMB, 1977). O modelo serve para simulação numérica da atmosfera e foi desenvolvido no final da década de 70 pela Penn State University, em conjunto com o National Center for Atmospheric Research (PSU/NCAR). O MM5 é a 5ª geração desse modelo e inúmeras modificações e melhorias foram feitas nos seus 30 anos de existência. No MM5 os esquemas de convecção disponíveis são: Anthes-Kuo, Grell, Arakawa-Schubert (AS), Fritsch-Chappell (FC), Kain-Fritsch (KF), Betts-Miller (BM) e Kain-Fitsch 2 (KF2). Ele, o MM5, tem sido extensamente utilizado no Brasil e no mundo, tanto operacionalmente quanto em pesquisas de tempo e clima (Cf. <http://box.mmm.ucar.edu/mm5>).

No Brasil, o Laboratório de Prognóstico em Mesoescala (LPM) do Departamento de Meteorologia da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) fornece previsões para o estado do Rio de Janeiro com resolução de 20 km. O Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), por sua vez, em parceria com o Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica (CNMA), ambos subordinados ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), usam o MM5 com objetivos de pesquisa e desenvolvimento da

modelagem numérica para fins Aeronáuticos. As principais vantagens do modelo regional MM5 são o baixo custo (GARRANA, 2001) e a habilidade das previsões efetuadas sobre uma determinada região, além de ser um modelo estável.

As condições iniciais e de contornos laterais são as análises globais do NCEP. Os dados de TSM são semanais, possuindo uma resolução horizontal de 1° e obtidos junto ao sítio do CDC / NOAA (REYNOLDS et al., 2002). A temperatura e umidade do solo foram inicializadas com climatologia mensal da Reanálise do NCEP/NCAR (1971-2000). O domínio das simulações é aproximadamente centrado no CLA (Figura 2.1) e abrange a área entre 9S-4N e 34W-56W. O domínio possui 70 (50) pontos na direção zonal (meridional). A resolução horizontal (vertical) é de 30 km (24 níveis). A pressão no topo da atmosfera é de 50 hPa.

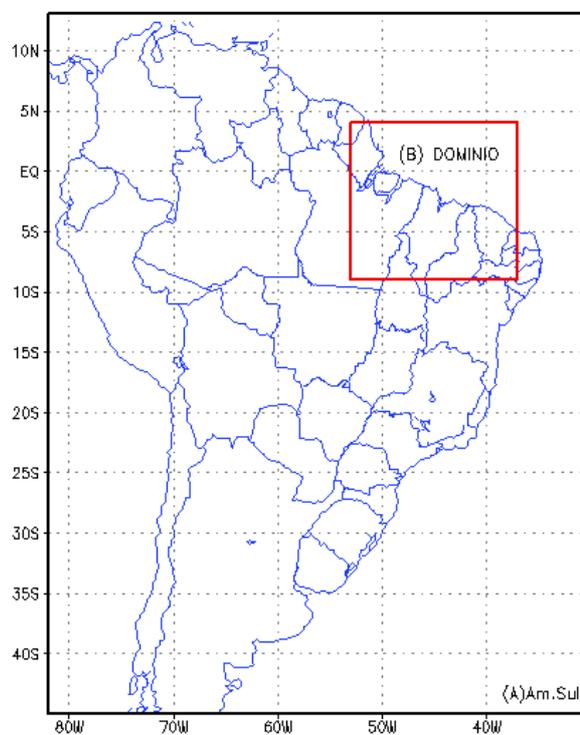


Figura 2.1 - Grades consideradas. A: grade das condições iniciais e de contorno (AmSul, cor preta); B: grade (domínio) das simulações (cor vermelha).

As integrações do modelo se iniciam com a análise de 00 UTC e se estendem por 36 h. As 12 primeiras horas são descartadas como “*spin-up*” (tempo necessário para o modelo entrar em equilíbrio); assim, somente são consideradas as últimas 24 h de cada integração. A precipitação simulada pelo modelo MM5 é obtida para a localização do ponto de grade mais próximo do CLA (2,23039°S; 44,4617°W).

3 ESQUEMA DE PARAMETRIZAÇÃO DE KAIN-FRITSCH

A parametrização de Kain-Fritsch (KF; Kain e Fritsch, 1990, 1993) é um esquema de fluxo de massa dividido em 3 partes: 1) função que dispara a convecção (FDC), 2) formulação do fluxo de massa, e 3) hipótese de fechamento. Recentemente, algumas modificações foram propostas para o esquema KF; o esquema com as modificações é chamado de KF2 (Kain, 2004). As principais modificações são: especificação de uma taxa mínima de entranhamento e desentranhamento; raio de correntes ascendentes variáveis em função da magnitude da velocidade vertical no NCA; extensão vertical mínima das correntes ascendentes em função da temperatura do NCA e inclusão de convecção rasa (não-precipitante). Nesta seção, descreve-se o KF2.

Uma ilustração dos processos considerados no esquema encontra-se na Figura 3.1. A seguir, pelo fato do presente trabalho focar em mudanças na FDC, a parte 1 é apresentada com certo detalhe; as partes 2 e 3 do esquema estão descritas sucintamente.

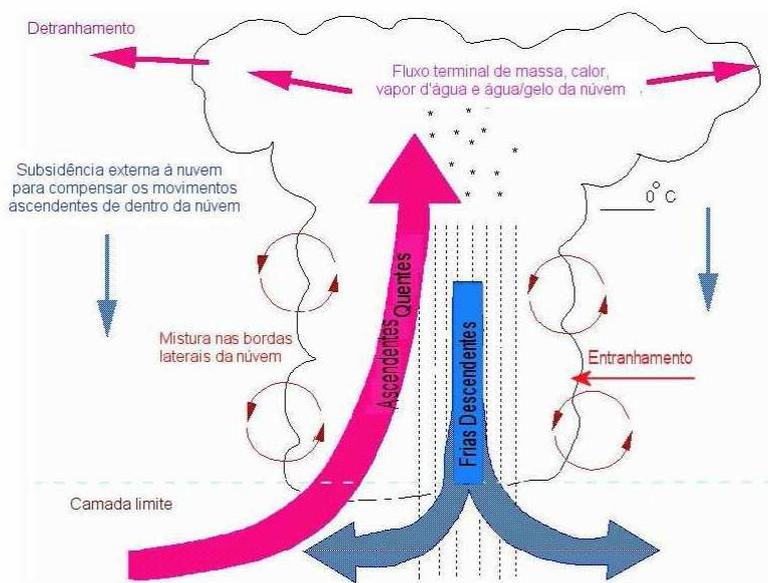


Figura 3.1 - Ilustração dos processos no esquema de convecção profunda de KF

Fonte: Adaptado de Yamasaki (2004).

3.1 Função de Disparo da convecção (FDC)

A FDC é definida como uma sequência hierárquica de tarefas que determina a ocorrência espaço-temporal da atividade convectiva de uma parametrização (KAIN E FRITSCH, 1990). A primeira tarefa da sequência é identificar a camada que poderá servir de fonte para o fluxo de massa ascendente ou *updraft* (USL, *updraft source layer*). A primeira camada pesquisada é de aproximadamente 60 hPa com base na superfície. A partir das características termodinâmicas médias dessa camada, é calculada a altura do Nível de Condensação por Ascensão (NCA), com base na altura do NCA (Z_{NCA}) e na velocidade vertical média na grade resolvida no NCA (w_g), obtém-se uma perturbação de temperatura (δT) definida por:

$$\delta T = K[w_g - c(z)]^{1/3} \quad (3.1)$$

Onde K é uma constante de valor default igual a 4,64 e com dimensões ($K.s^{1/3}.cm^{-1/3}$), w_g é a velocidade vertical média no ponto de grade, e $c(z)$ varia de acordo com a equação.

$$c(z) = \begin{cases} w_0 \left(\frac{Z_{NCA}}{2000} \right), & Z_{NCA} \leq 2000 \text{ m} \\ w_0 & Z_{NCA} > 2000 \text{ m}, \end{cases} \quad (3.2)$$

Onde $w_0 = 2 \text{ cm.s}^{-1}$ e Z_{NCA} a altura do NCA.

Como uma primeira medida para a possibilidade de convecção, a temperatura da parcela no nível de condensação por ascensão (T_{NCA}) acrescida da perturbação de temperatura (δT) é comparada no nível do NCA com a temperatura do ambiente (T_{ENV}). Se $T_{NCA} + \delta T - T_{ENV} > 0$, a parcela passa a ser então uma candidata à convecção profunda por estar mais quente que o ambiente (considerando a soma com a δT). Caso não seja, então é pesquisada a camada imediatamente acima, essa pesquisa continua até a camada cujo topo encontra-se 300 hPa acima da superfície.

Se a parcela é candidata à convecção profunda, então se calcula a velocidade inicial da parcela na base da nuvem (W_p) por meio da equação:

$$W_p = 1 + 1.1 \left[\frac{(Z_{NCA} - Z_{USL}) \delta T}{T_{ENV}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

Onde Z_{USL} é a altura da base da camada fonte de fluxo de massa ascendente e T_{ENV} é a temperatura do ambiente. A partir da base da nuvem, estima-se W_p em cada nível do modelo levando em conta o entranhamento, desentranhamento e efeito da água líquida na flutuabilidade. A taxa de entranhamento mínima sobre um intervalo de pressão δp é dada pela fórmula:

$$\delta M_e = - \frac{0.03 \delta p M_{u0}}{R} \quad (3.4)$$

Sendo R o raio do fluxo de massa ascendente em metros (m), M_{u0} o fluxo de massa ($Kg \cdot s^{-1}$) na base da nuvem, e 0,03 uma constante de proporcionalidade com unidade de $m \cdot Pa^{-1}$. No esquema KF2 original, R depende da magnitude da velocidade vertical no ponto de grade de acordo com a equação.

$$R \begin{cases} 1000 \left(1 + \frac{W_{KL}}{10} \right), & 0 \leq W_{KL} \leq 10 \\ 2000, & W_{KL} > 10 \\ 1000, & W_{KL} < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

Onde $W_{KL} (cm \ s^{-1})$ é igual à $[w_g - c(z)]$.

A profundidade da nuvem é determinada quando a corrente ascendente muda de sinal (de positivo para negativo). Se a profundidade for maior que um limiar (D_{min}), a convecção profunda é ativada; se menor, realiza-se convecção rasa. No esquema KF2 original, D_{min} varia de 2 a 4 km em função da temperatura do NCA (T_{NCA}) de acordo com a seguinte equação:

$$D_{\min} = \begin{cases} 4000, & T_{NCA} > 20^{\circ}C \\ 2000, & T_{NCA} < 0^{\circ}C \\ 2000 + 100 \cdot T_{NCA}, & 0 \leq T_{NCA} \leq 20^{\circ}C \end{cases} \quad (3.6)$$

3.2 Formulação do fluxo de massa

Testes de sensibilidade indicam que o aquecimento convectivo e o perfil de umidade são mais sensíveis quando entranhamento e desentranhamento são variáveis. A inclusão do fluxo de massa descendente (*downdraft*) dentro do esquema convectivo equilibra o fluxo de massa na baixa troposfera e ajuda a produzir aquecimento convectivo e secamento da parte mais baixa da nuvem. Embora o esquema original de Kain-Fritsch utilize o nível de afundamento livre como o nível de origem do fluxo de massa descendente, o nível de pressão do afundamento livre pode variar significativamente de aproximadamente 300 hPa até abaixo de 850 hPa. Isto conduz a vários problemas com o aquecimento previsto e secamento do esquema convectivo. Assim, a mais recente versão do esquema assume que o fluxo de massa descendente origina entre 150 e 200 hPa acima da USL (KAIN, 2004).

O fluxo de massa descendente é saturado acima da base da nuvem, enquanto abaixo, a umidade relativa do fluxo de massa descendente diminui a 20% por km. A magnitude do fluxo de massa descendente no topo da USL é definida como uma função do fluxo de massa ascendente e da umidade relativa dentro da camada 150-200 hPa (camada que é fonte do fluxo de massa descendente).

3.3 Hipótese de fechamento

Cada esquema de parametrização de convecção adota uma hipótese de fechamento diferenciada para definir a relação entre as nuvens implícitas e as variáveis na escala de

grade. A hipótese de fechamento do esquema de KF controla a intensidade da convecção e relaciona a parametrização com a grande-escala sendo descrita em Bechtolt et al. (2001). Uma vez que as relações entre fluxo de massa ascendente e descendente foram estabelecidas, o esquema rearranja a massa na coluna usando os fluxos de massa ascendente, descendente e do ambiente até que pelo menos 90% da CAPE inicial seja removida pelo processo de convecção profunda. No esquema, o cálculo da CAPE inicial baseia-se na ascensão de uma parcela não diluída, tendo as características da USL.

4 DADOS PARA VERIFICAÇÃO

Nesta seção, apresentam-se como são obtidas as estimativas do total mensal de precipitação (P) e da fração dos dias do mês com chuva (F) para a região do CLA com base nos dados observados. Devido à grande variabilidade espacial da precipitação, várias fontes de dados (Cf. seção 2) foram utilizadas para estimar o valor máximo e mínimo de P e F para cada mês, evitando erros que apareceriam se fossem considerados somente dados pontuais de precipitação e aumentando a representatividade espacial das estimativas. Como as fontes de dados não possuem a mesma resolução temporal, diferentes critérios para definir a ocorrência de precipitação são utilizados. As fontes e os critérios na encontram-se na Tabela 4.1.

Tabela 4. 1 - Fontes de dados observados e critérios para ocorrência de precipitação.

Fonte de dados	Critério
Dados horários de precipitação coletados no CLA e em São Luís.	Considera-se horário com chuva quando o valor medido é maior ou igual a 0,1 mm. Considera-se dia com chuva quando há chuva em pelo menos 1 horário no dia.
Dados de precipitação diária do NCEP.	Considera-se dia com chuva quando o valor para o CLA é maior que $0,09 \times 24 = 2,16$ mm.
Dados de precipitação diária do GPCP.	Considera-se dia com chuva quando o valor para o CLA é maior que $0,09 \times 24 = 2,16$ mm.
Dados de precipitação a cada 3 horas do TRMM.	Considera-se horário com chuva quando o valor do total de precipitação em 3 horas para o CLA é maior que $0,09 \times 3 = 0,27$ mm. Considera-se dia com chuva quando há chuva em pelo menos 1 horário no dia.

Para cada mês, há 5 valores de P e F (um valor por fonte de dado); com base nesses valores, calculam-se a média e o desvio-padrão. Considera-se o valor máximo (mínimo) do mês como a média mais (menos) o desvio-padrão. As séries mensais de P e F para as fontes de dados, bem como os valores máximos e mínimos, estão mostradas nas figuras 4.1 e 4.2 (4.3 e 4.4) para P (F). Espera-se que PS e FS (total mensal de precipitação e fração dos dias do mês com chuva simulada, respectivamente) estejam no intervalo entre os valores máximos e mínimos.

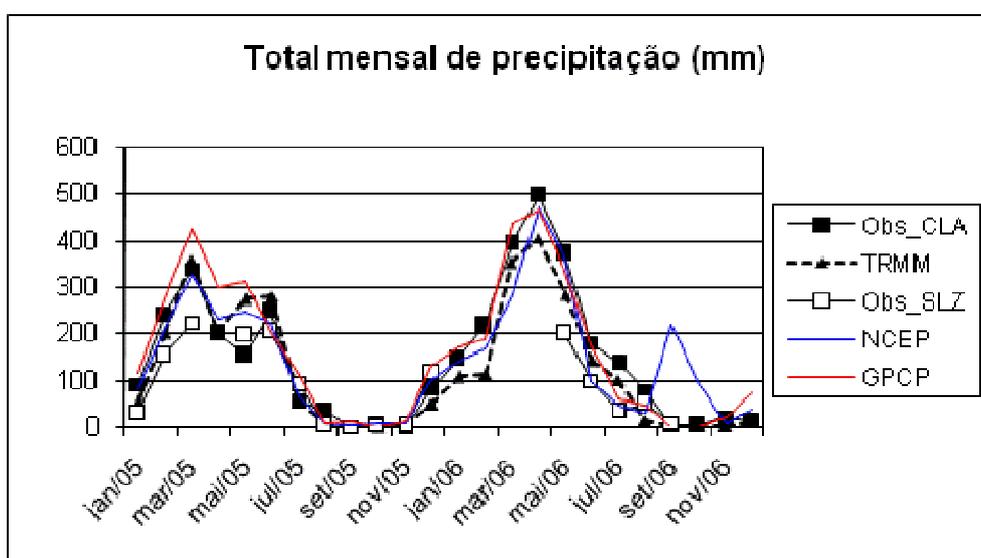


Figura 4.1 - Total mensal de precipitação (P) dos dados do CLA, TRMM, São Luis, NCEP e GPCP para o período 2005-2006.

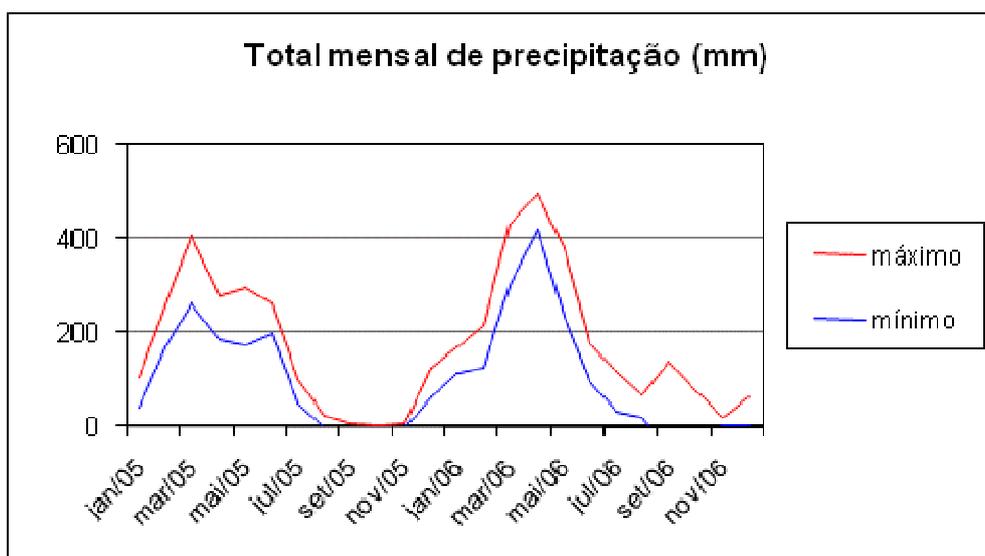


Figura 4.2 - Intervalo onde se espera ficar *PS*. Máximo (média + σ) e mínimo (média - σ) dos dados observados.

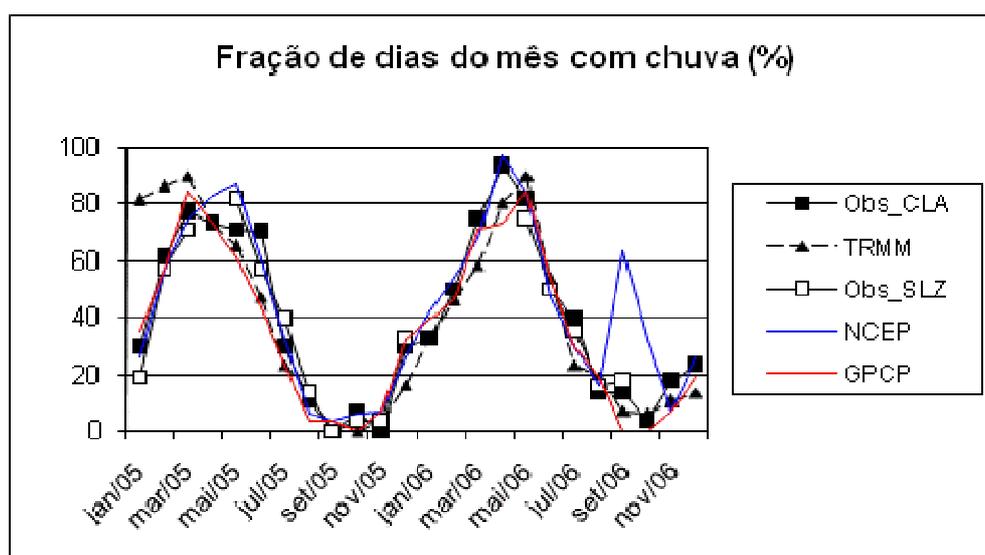


Figura 4.3 - Fração de dias do mês com chuva (F) dos dados do CLA, TRMM, São Luis, NCEP e GPCP para o período 2005-2006.

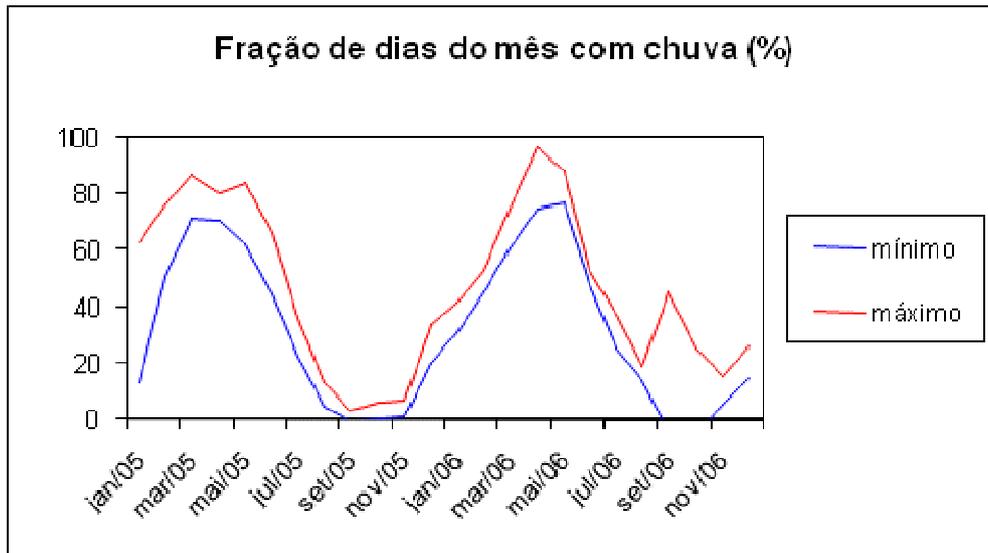


Figura. 4.4 - Intervalo onde se espera ficar *FS*. Máximo ($média + \sigma$) e mínimo ($média - \sigma$) dos dados observados.

5 CONTROLES

Controles com desenhos experimentais distintos foram propostos para verificar a possibilidade de obtenção de melhorias imediatas nas simulações. Como “background”, usou-se a simulação de Barros (2008), que recebeu o nome de “controle_0” (CTL-0) e utiliza o esquema de KF original para convecção implícita e Grell para convecção rasa. Outro controle, motivado pelos resultados de Barros (2008), que teve uma melhor representação da estação seca é o “controle_1” (CTL-1), que utilizou KF2 para convecção implícita e rasa (como o KF2 possui um esquema de convecção rasa em seu próprio código, a convecção rasa de Grell foi desativada).

Barros (2008) simulou por somente 2 meses utilizando o CTL-1. No presente trabalho, completou-se a simulação para o período 2005 e 2006, e a seguir identificaram-se os erros de CTL-0 e CTL-1 para *PS* e *FS* comparando os resultados da simulação com os dados observados (Figura 5.1). Além de *PS* são considerados para análise a precipitação convectiva *PC* devido à convecção implícita (Figura 5.2) e a não-convectiva *PN* devido à convecção explícita (Figura 5.3).

5.1 Comparação entre CTL-0 e CTL-1

Na Figura 5.1 observa-se que os controles apresentaram erros para *PS* em vários meses do ano. No CTL-0, *PS* ficou no intervalo esperado somente no mês de junho de 2005; os demais meses apresentaram superestimativa. No CTL-1, *PS* ficou no intervalo nos meses de maio 2005 e junho a outubro de 2006 (6 meses); maior que o limite máximo de janeiro a abril, agosto de 2005 a maio de 2006, novembro e dezembro de 2006 (16 meses) e menor do que limite mínimo, nos meses de junho e julho de 2005 (2 meses). Apesar de uma representação mais próxima das observações nas estações seca e de transição (em relação à CTL-0), CTL-1 mostra uma superestimativa muito grande nos meses de março de 2005 e março e abril de 2006 (estação chuvosa) simulando cerca de

3 vezes o valor observado. Na Figura 5.2 observa-se que o comportamento de *PC* foi semelhante a *PS*. Como o espaçamento de grade utilizado nas simulações é de 30 km, não são esperados valores expressivos para *PN*; no entanto, *PN* possui valores altos na estação chuvosa, sendo o erro maior em CTL-1 (Figura 5.3).

Quanto à *FS*, o CTL-1 apresenta valores mais próximos ao observado e uma sazonalidade mais bem definida com relação ao CTL-0 (Figura 5.4), que superestima *FS* para quase todo o período e não representa bem a sazonalidade. CTL-1 tem *FS* no intervalo esperado nos meses de maio e julho de 2005, abril, maio e outubro de 2006.

Com base nos erros levantados, pode-se precisar o objetivo do trabalho. Como o CTL-1 levou a menores erros, exceto na estação chuvosa, tomá-lo-emos como referência. Assim, os ajustes no esquema KF2 (a serem apresentados posteriormente) devem **reduzir a precipitação total e não-convectiva nos meses mais chuvosos**. Com os ajustes, espera-se que a precipitação total, nos meses mais chuvosos, fique próxima a *PS* do CTL-0.

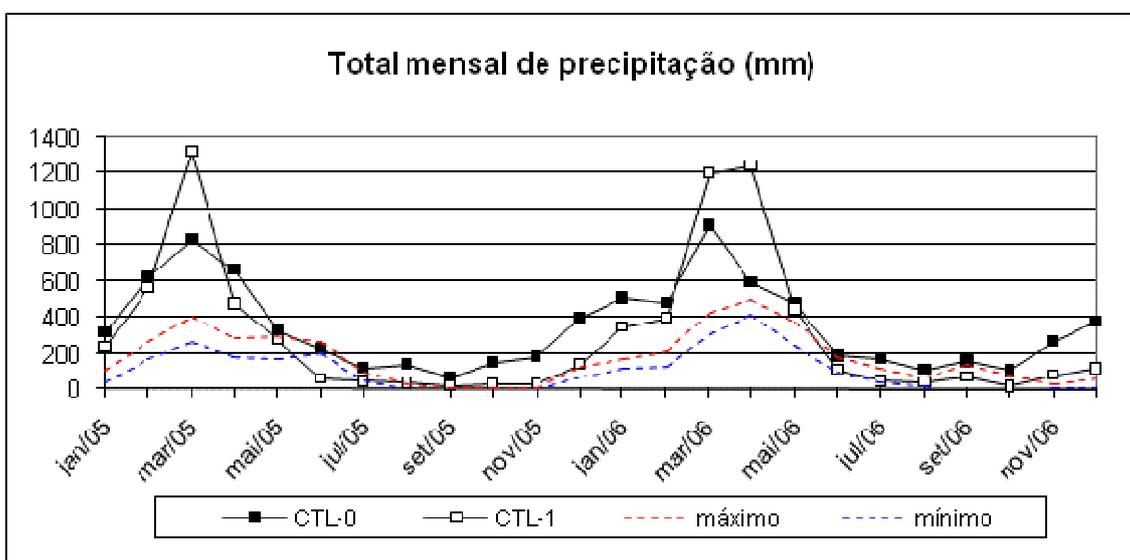


Figura 5.1 - Comparação de PS entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 e 2006.

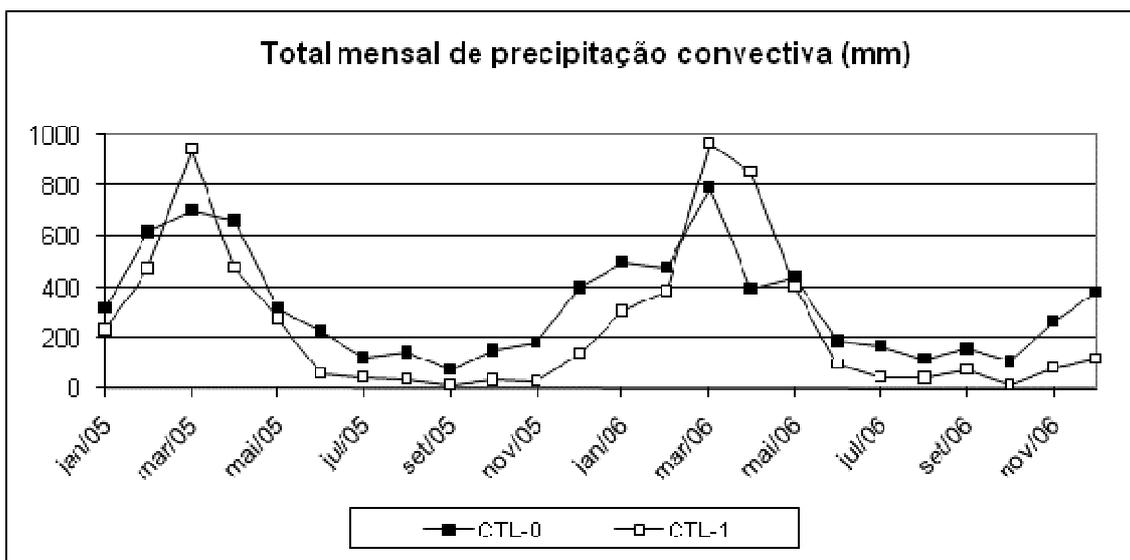


Figura 5.2 - Comparação de PC entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 – 2006.

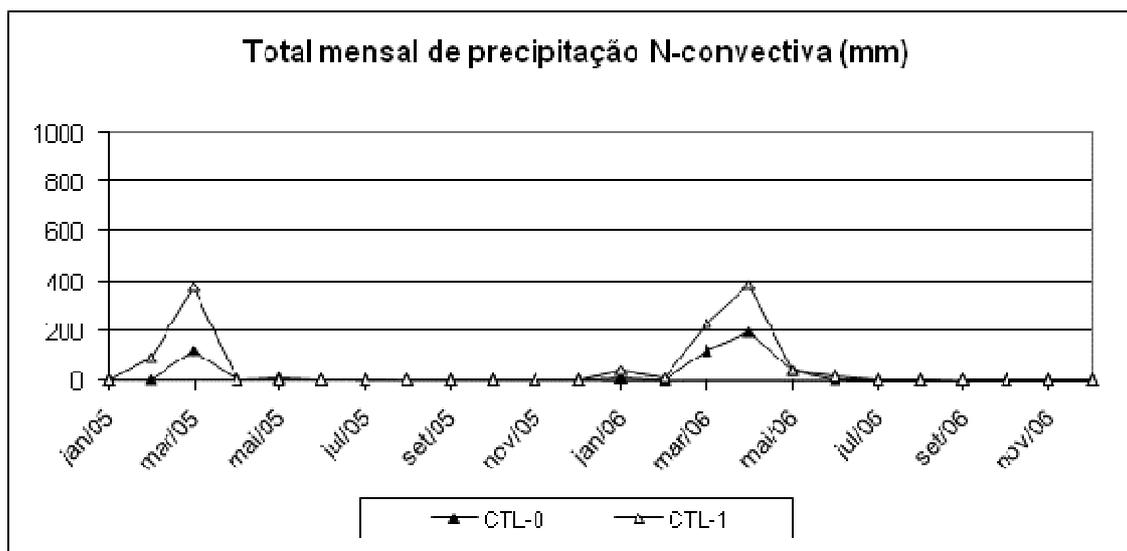


Figura 5.3 - Comparação de PN entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 e 2006.

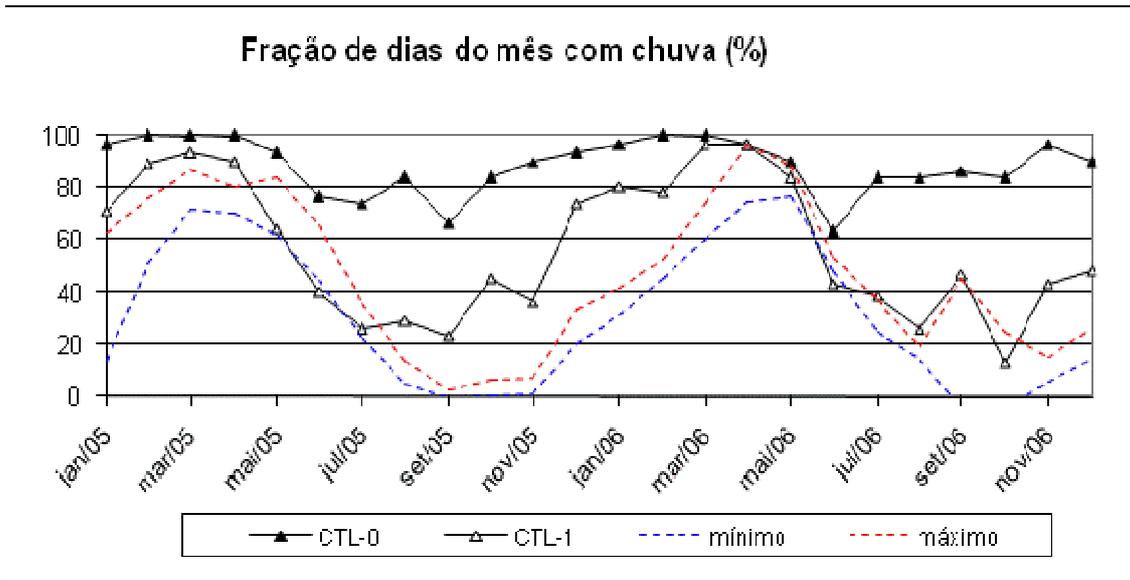


Figura 5.4 - Comparação de F entre CTL-0 e CTL-1 para o período 2005 e 2006.

5.2 Novo controle (controle_2)

Tomando CTL-1 como referência, realizam-se simulações de teste para obter uma nova configuração (convecção explícita, passo de tempo e tipo de convecção rasa) que minimize esses erros. Testes avulsos (não-mostrados) indicam que a precipitação simulada é sensível ao esquema de convecção explícita e ao tipo de convecção rasa adotados; isso motivou a realização de testes mais sistemáticos para subsidiar a escolha de uma configuração que levasse a melhores resultados. Xu et al. (2001) realizaram simulações com o modelo MM5 para reproduzir um sistema convectivo de mesoescala testando diferentes passos de tempo. Os resultados mostram que a precipitação (intensidade e localização do sistema convectivo) é o campo mais sensível à mudança do passo de tempo. Isso motivou a inclusão do passo de tempo nos testes.

Como o erro mais expressivo de PS ocorre no mês de março de 2005, e devido ao caráter exploratório, as simulações são somente para este mês (total mensal de 1326 mm

em CTL-1) com as configurações mostradas na Tabela 5.1. Em cada teste, somente uma configuração é diferente de CTL-1 (teste de sensibilidade).

Tabela 5.1- Configuração dos testes. Em todos os testes, o esquema de convecção profunda é o KF2. As configurações do CTL-1 estão sombreadas.

Nome	Convecção explícita	Passo de tempo	Convecção rasa de Grell
CTL-A	Simple ice	10 s	Não
CTL-B	Simple ice	60 s	Não
CTL-C	Simple ice	30 s	Sim
CTL-D	Warm rain	30 s	Não

Os resultados das simulações são mostrados nas Figuras 5.5 e 5.6.

- A redução do passo de tempo de 30 s (CTL-1) para 10 s (CTL-A) leva a uma pequena redução em *PC* e aumenta em demasia *PN*, agravando a superestimativa de precipitação. O aumento do passo de tempo para 60s (CTL-B) não leva a instabilidades numéricas, aumenta muito pouco *PC* e reduz bem *PN*, ficando melhor que CTL-1 e CTL-A. Portanto, o aumento do passo de tempo leva a duas melhorias: reduz um pouco o erro sistemático e reduz o custo computacional.
- A introdução da convecção rasa de Grell (juntamente com a que já existe no KF2), (CTL-C) leva à redução tanto de *PC* quanto de *PN*. Isso indica que a convecção rasa “inline” no KF2 não parece ser eficiente.
- A mudança da convecção explícita para “warm rain” sem a convecção rasa de Grell (CTL-D) leva à redução de *PC* e aumento de *PN*.

Testando uma configuração com as 3 mudanças que promoveram melhorias – **aumento do passo de tempo para 60 s, introdução da convecção rasa de Grell e mudança da convecção explícita para “warm rain”** (CTL-2 nas Figuras 5.5 e 5.6) –, há uma redução expressiva de *PC* e *PN* (em relação à CTL-1), com *PS* tendo valores

semelhantes à CTL-0, e *FS* dentro do intervalo observado. Assim, essa nova configuração é chamada de “controle_2” (CTL-2) e usada como base para os ajustes do KF2.

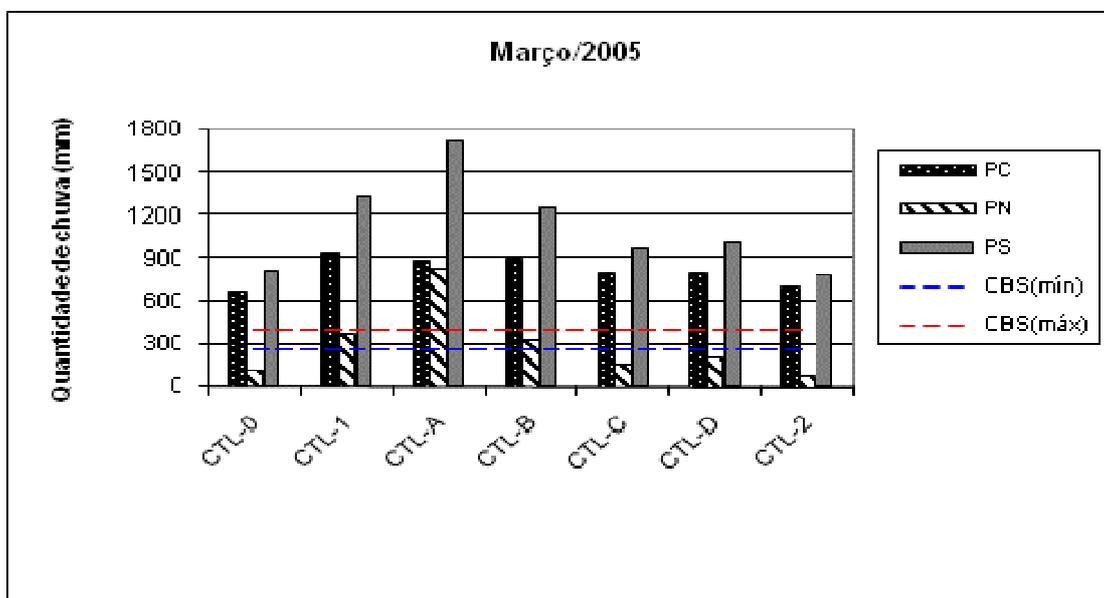


Figura 5.5 - Quantidade de chuva (mm) para simulações em março de 2005 (13UTC de 01/03/2005 às 23UTC de 31/03/2005).

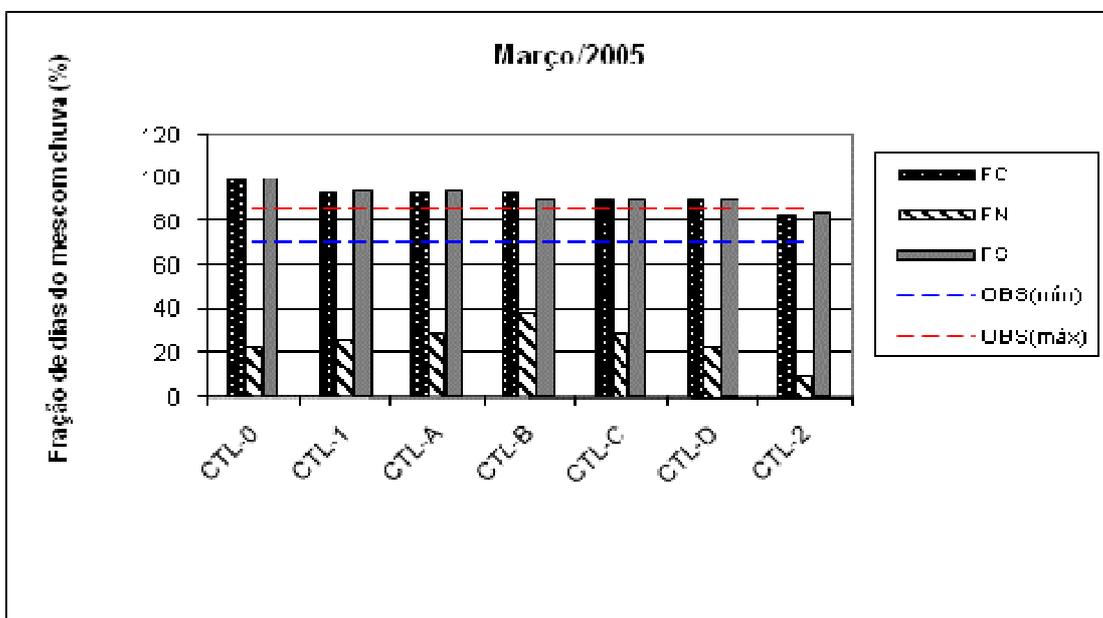


Figura 5.6 - Fração de dias do mês com chuva (%) para simulações em março de 2005 (13UTC de 01/03/2005 a 23UTC de 31/03/2005).

5.3 Comparação entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2

No geral, CTL-2 reduz *PS* com relação aos outros controles (Figura 5.7) e coloca *PS* no intervalo esperado janeiro de 2005 e maio a outubro de 2006 (7 meses), ficando acima do limite superior, mas muito próximo deste de fevereiro a abril de 2005, setembro de 2005 a abril de 2006, novembro de 2006 e dezembro de 2006 (13 meses) e abaixo do limite inferior, mas muito próximo deste de maio a agosto de 2005 (4 meses). Na Figura 5.8 observa-se que *PC* no CTL-2 manteve o mesmo comportamento de *PS*. Na Figura 5.9 observa-se que *PN* ocorre somente em alguns meses da estação chuvosa e a magnitude é próxima de CTL-1. Na Figura 5.10 observa-se *FS* com pouca diferença em relação à CTL-1. Assim, **CTL-2 reproduz os aspectos positivos de CTL-1 e reduz a *PS* nos meses mais chuvosos aos encontrados em CTL-0.** Os ajustes a serem feitos nas próximas seções objetivam, para a estação chuvosa, reduzir *PC* sem aumentar *PN*, e manter *FS* dentro do intervalo observado.

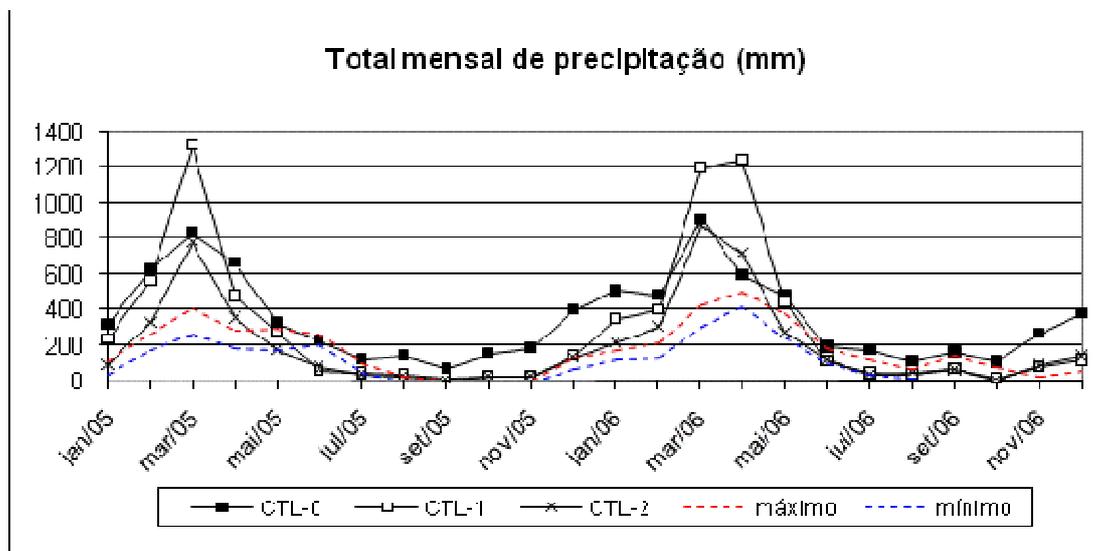


Figura 5.7 - Comparação de *PS* entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.

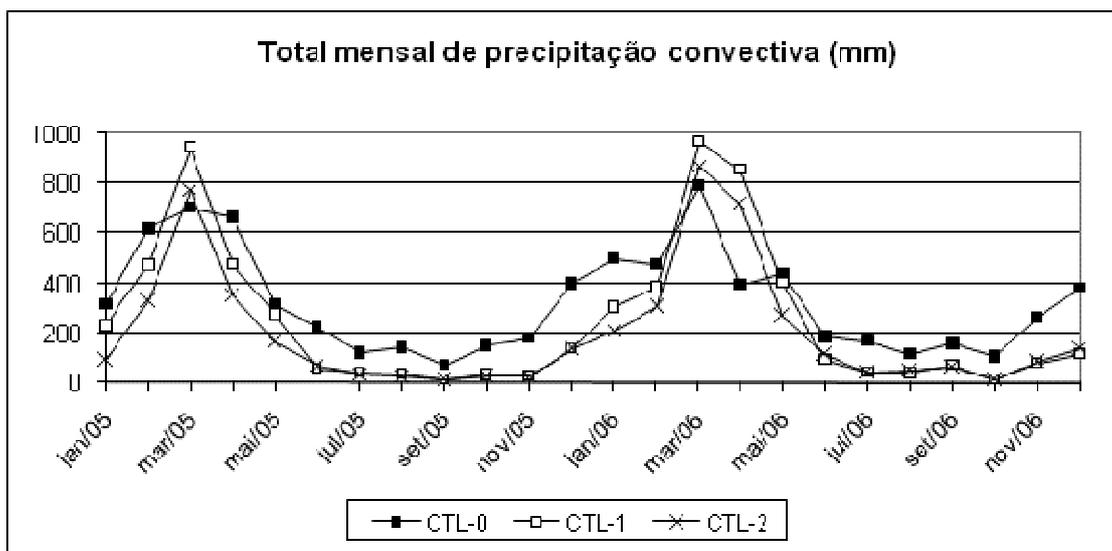


Figura 5.8 - Comparação de PC entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.

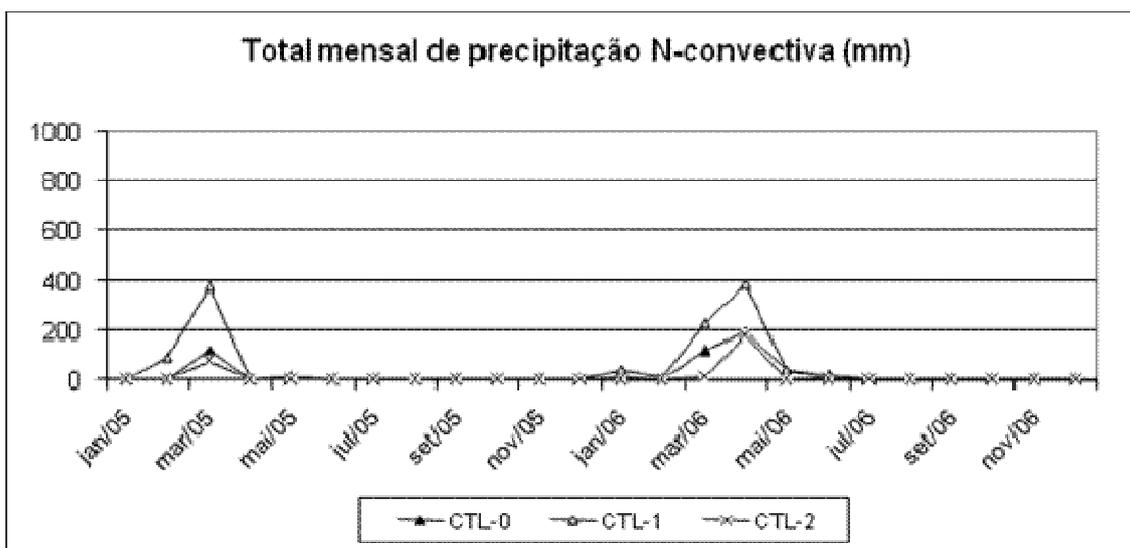


Figura 5.9 - Comparação de PN entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.

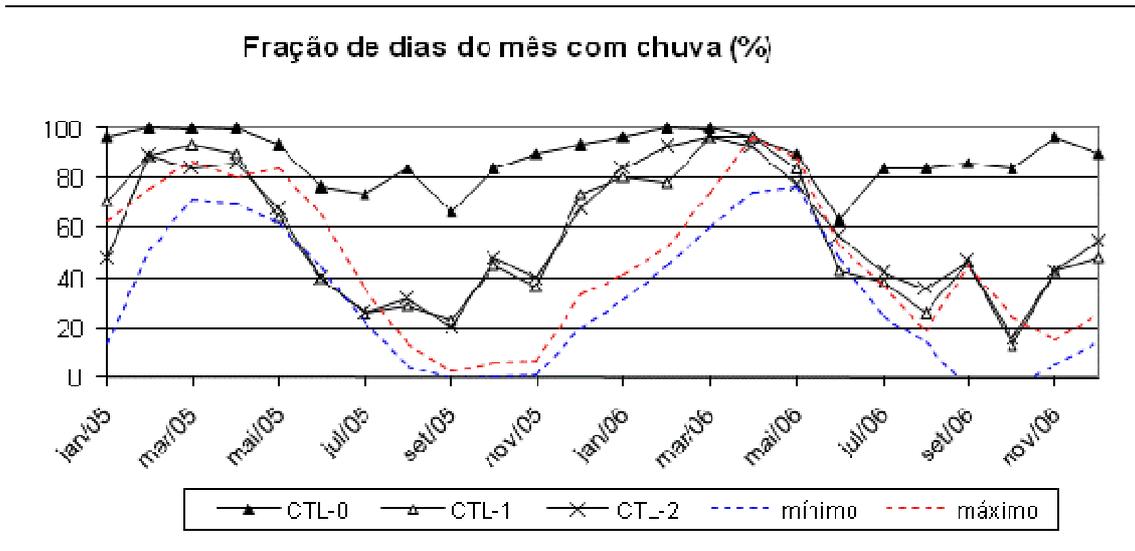


Figura 5.10 - Comparação de F entre CTL-0, CTL-1 e CTL-2 para o período 2005 e 2006.

6 MUDANÇAS DA PROFUNDIDADE MÍNIMA DE NUVEM

A mudança no critério de profundidade mínima de nuvem (D_{min}) tem a finalidade de torná-lo mais coerente com a profundidade esperada para as nuvens associadas à convecção profunda na região equatorial. A motivação não é levar a uma melhor representação da precipitação, mas tornar o esquema mais correto conceitualmente. D_{min} é um parâmetro-chave do esquema KF2 para ativação da convecção profunda; se a profundidade da nuvem for maior (menor) que D_{min} , a convecção profunda (rasa) é ativada.

A média mensal da T_{NCA} para o CLA, verificada através de uma “climatologia” com os dados das sondagens do período 1989-2008, para uma camada entre 1000 e 950 hPa (camada mais próxima à superfície), é de aproximadamente 20°C, e não varia muito ao longo do ano como pode ser observado na Figura 6.1. Considerando essa camada como fonte de correntes ascendentes, ou seja, a camada a partir da qual o esquema KF2 desenvolve o fluxo de massa e obtém D_{min} , ela também não irá variar muito ao longo do ano.

No esquema KF2 original, D_{min} varia de 2 a 4 km (Equação 3.6). O topo de uma nuvem com profundidade igual à D_{min} de 4 km, considerando um lapse rate de 6°C km⁻¹ e temperatura do NCA de 20°C, teria uma temperatura de -4°C. **A essa temperatura, seria muito improvável a presença de cristais de gelo e, conseqüentemente, a ocorrência de processos microfísicos de gelo.** Como a convecção profunda demanda processos microfísicos de gelo muito ativos, o valor de D_{min} precisaria ser modificado no esquema KF2 original.

Propõe-se definir um valor de D_{min} tal que o topo da nuvem com profundidade igual a D_{min} esteja à temperatura de -20°C (253 K). Nuvens com topos a temperaturas menores

(maiores) que esse limiar estariam associadas à convecção profunda (rasa). A adoção desse limiar baseia-se nos seguintes argumentos:

- Considerando a emissividade no topo das nuvens unitária, os valores de TB, em imagens de satélite, corresponderiam à temperatura no topo das nuvens. Limiares próximos a -20°C foram utilizados por alguns autores para identificar sistemas convectivos [p.ex., $\text{TB} < -28^{\circ}\text{C}$ (245 K) foi utilizado por Vila e Machado, 2004; $\text{TB} < -23^{\circ}\text{C}$ (250 K), por Barros, 2008].
- Cristais de gelo são, certamente, encontrados a temperaturas inferiores a -13°C (260 K) (Wallace e Hobbs, 2006, p.236⁴). Entre 0°C (273 K) e -8°C (265 K); as nuvens são tipicamente compostas de gotículas de água superesfriada; quando a temperatura está, entre -8°C (265 K) e -13°C (260 K), a probabilidade de haver cristais de gelo aumenta drasticamente.
- Para que nuvens convectivas produzam relâmpagos, que é um parâmetro muito utilizado nas observações meteorológicas para identificação de nuvens Cumulonimbus (CB) (Wilson, 1920), é necessário que o seu topo possua temperaturas entre -15°C e -20°C . (Houze, 1993, p.270⁵). Nesse caso, a profundidade da nuvem é suficiente para serem criadas regiões com cargas diferentes, que propiciem a formação de descargas elétricas dentro da nuvem.
- A temperatura de 253 K é utilizada, como limiar, para ativação de núcleos de deposição de gelo (Wallace e Hobbs, 2006, p.234⁶).

Para obter as características da nebulosidade (topo e altura) sobre a região do CLA, foi feita uma análise baseada no campo de TB para os anos de 2005 e 2006. O ponto de grade de 30 km centrado no CLA (que o modelo MM5 considera) corresponde a 49 regiões com dimensões de $4\text{ km} \times 4\text{ km}$ com dados de TB. Para cada horário, obteve-se

⁴ “Results shown in Fig. 6.33 indicate that the probability of ice being present is 100% for cloud top temperature below about -13°C .”

⁵ “Frequent lightning does not occur until cloud top rises above the -15 to -20°C level (about 7 km in Fig. 8.2).”

⁶ “(...) T_1 is the temperature at which one ice nucleus per liter is active (typically about -20°C) (...)”

o número de regiões com $TB \leq 253$ K. Em seguida, para cada mês, foi obtida a fração (%) de horários em que existia, pelo menos, uma região com $TB \leq 253$ K. Para a estação chuvosa, em aproximadamente 50% dos horários, houve pelo menos uma região com $TB \leq 253$ K no interior do ponto de grade (Figura 6.2); para a estação seca, a fração de horários é menor que 1% considerando o mesmo limiar. (Figura 6.3).

Para encontrar um valor de D_{min} sobre o CLA, é necessário também saber qual é a taxa média de mudança de temperatura com a altura (lapse-rate). Utilizando a “climatologia” com os dados das sondagens do período 1989-2008, achou-se o valor médio de $5,5 \text{ }^\circ\text{C km}^{-1}$ para o lapse-rate da parcela entre 850 e 500 hPa (Figura 6.4). O lapse rate não variou muito ao longo do ano.

Assim, considerando T_{NCA} aproximadamente de 20°C e a taxa média de mudança de temperatura com a altura (lapse-rate) de $5,5 \text{ }^\circ\text{C km}^{-1}$, a espessura mínima da nebulosidade, na região de Alcântara, para se ter as características de convecção profunda e apresentar descargas elétricas e gelo, é de 7,3 km. A Figura 6.5 ilustra a média da variação da altura da nebulosidade e da isoterma de -20°C para os doze meses do ano, baseados na “climatologia” das sondagens das 00Z e 12Z entre 1989 e 2008.

Com esses resultados, a relação entre D_{min} e T_{NCA} no CLA para que o esquema de KF2 represente, mais realisticamente, os casos de convecção profunda, seria uma interpolação linear entre os valores de D_{min} igual a 3,5 km, quando $T_{NCA} < 0^\circ\text{C}$, e D_{min} igual a 7,0 km, quando $T_{NCA} > 20^\circ\text{C}$:

$$D_{min} = \begin{cases} 7000, & T_{NCA} > 20^\circ\text{C} \\ 3500, & T_{NCA} < 0^\circ\text{C} \\ 3500 + 175 \cdot T_{NCA}, & 0 \leq T_{NCA} \leq 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (6.1)$$

Essa relação é diferente da proposta por KF2, embora mantenha a mesma concepção de D_{min} dependente de T_{NCA} e os mesmos limites de T_{NCA} (0°C e 20°C), e aplicada em todos os pontos de grade onde o esquema KF2 é acionado. A Figura 6.6 mostra a

concentração de pontos definindo as características da nebulosidade (D_{min} e isoterma) sobre o CLA, obtidas através das sondagens das 00Z e 12Z.

Após a correção da Equação 3.6 para a região equatorial, foi realizada uma simulação para 2005 e 2006 com configurações iguais a CTL-2 mais o ajuste de D_{min} . Essa simulação foi chamada de CTL-2+DMIN.

Verifica-se na Figura 6.7 que, no CTL-2+DMIN, PS ficou muito próximo ao CTL-2, porém, aumentou um pouco nos meses mais chuvosos ficando acima do CTL-2. Comparando com as observações, PS permaneceu no intervalo nos meses de janeiro e abril de 2005, de agosto de 2005 a janeiro de 2006, maio de 2006 e de setembro a dezembro de 2006 (13 meses); maior que o limite máximo nos meses de fevereiro e março de 2005, fevereiro, março e abril de 2006; e menor que o limite mínimo nos meses de maio a julho de 2005 e junho a agosto de 2006, totalizando erro em 11 meses. Excluindo os meses mais chuvosos, CTL-2+DMIN diminui a PS em relação ao CTL-2.

Na Figura 6.8, PC diminuiu para quase todos os meses em relação ao CTL-2, o que é coerente com a equação 6.1, pois a profundidade da nuvem precisa ser maior (em relação ao KF2 original) para ativar a convecção profunda, e PN aumentou muito pouco em relação ao CTL-2 (Figura 6.9). Esse comportamento – redução da precipitação convectiva e aumento da não-convectiva decorrentes de mudanças somente no esquema de convecção implícita – consiste em um fator complicador para ajustes do esquema implícito.

Na Figura 6.10, observa-se que FS permanece próximo, mas fora dos limites em 15 meses, passando a ser subestimado nos meses de abril a agosto de 2005, maio a agosto de 2006 e superestimado em fevereiro e outubro de 2005 e janeiro a março de 2006. Em geral, CTL-2+DMIN diminui FS em relação à CTL-2.

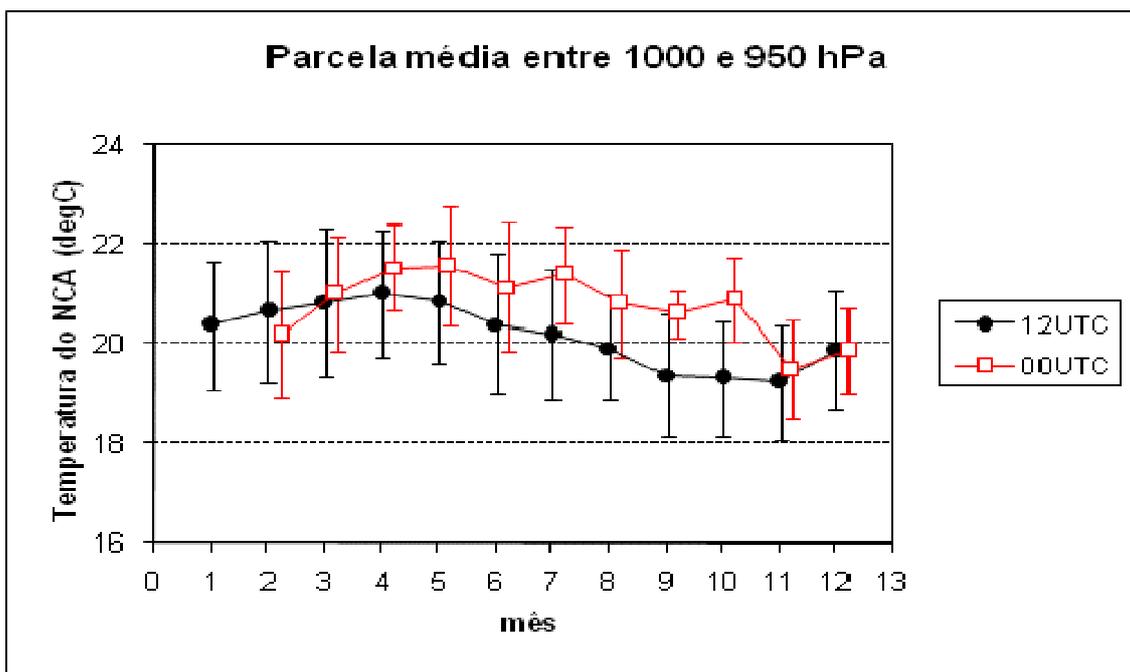


Figura 6.1 - "Climatologia" com dados de radiossondagens lançadas no CLA para a temperatura do NCA (parcela entre 1000 e 950hPa) às 00UTC e 12UTC do período 1989-2008.

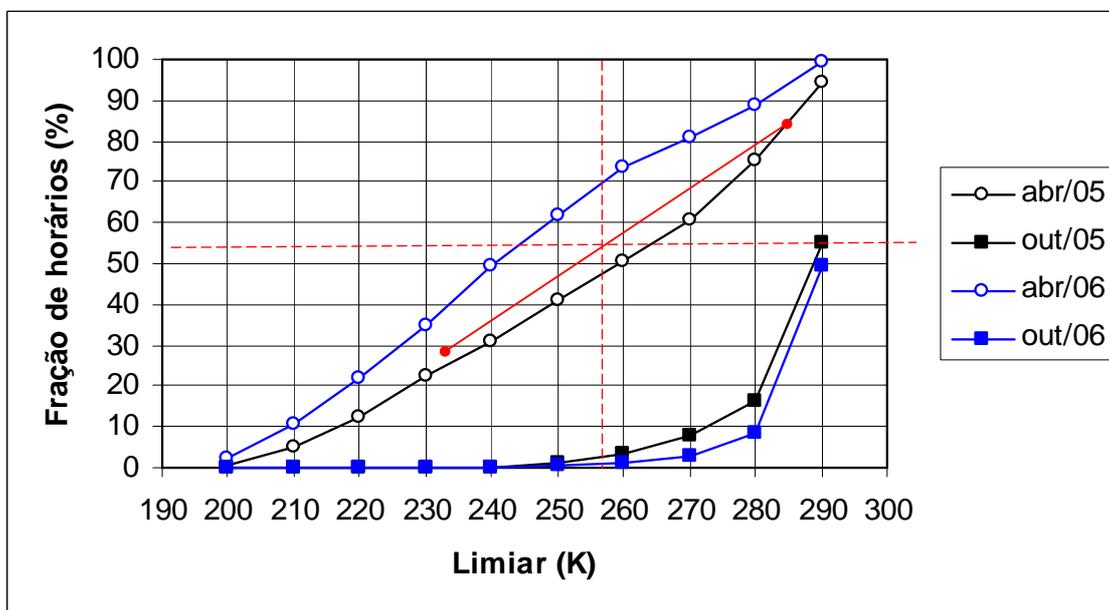


Figura 6.2 - Fração de horários quando existem regiões com $TB \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (253K) no ponto de grade centrado no CLA para abril e outubro de 2005 e 2006.

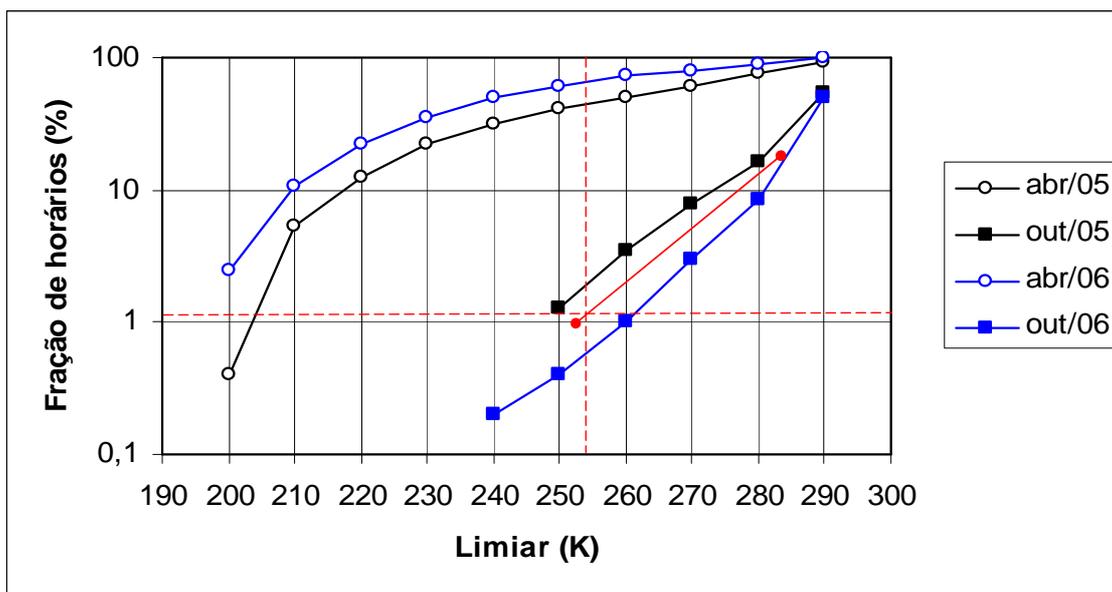


Figura 6.3 - Fração de horários quando existem regiões com $T_B \leq 253K$ no ponto de grade sobre o CLA para outubro (em escala logarítmica) (estação seca).

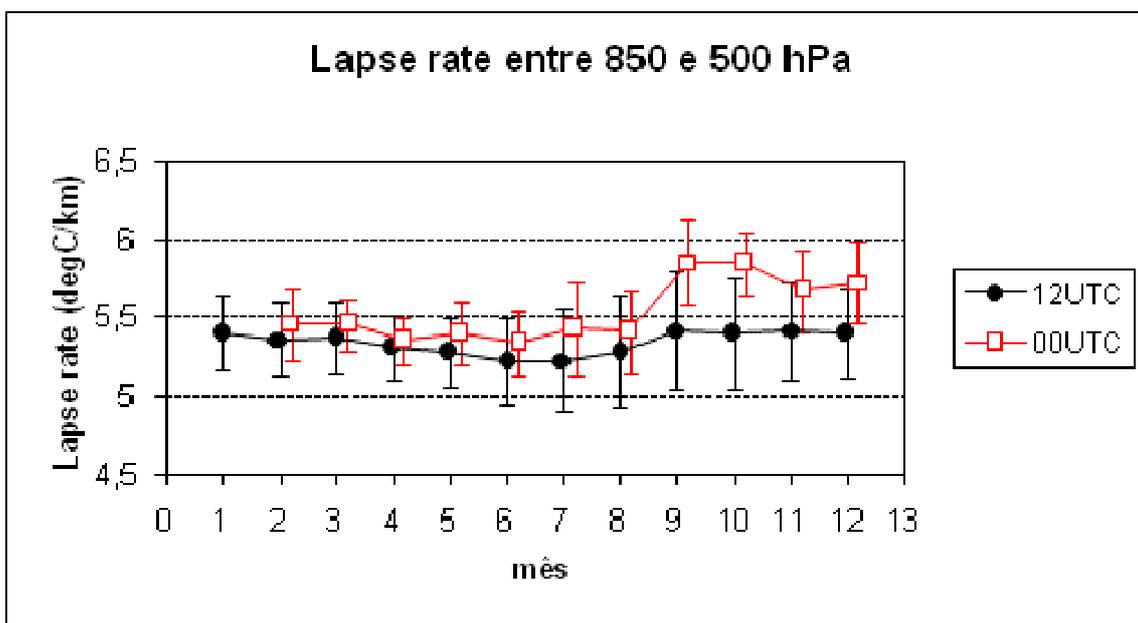


Figura 6.4 - "Climatologia" com dados de radiossondagens lançadas no CLA para a Lapse-rate entre 850 e 500 hPa às 00UTC e 12UTC do período 1989-2008.

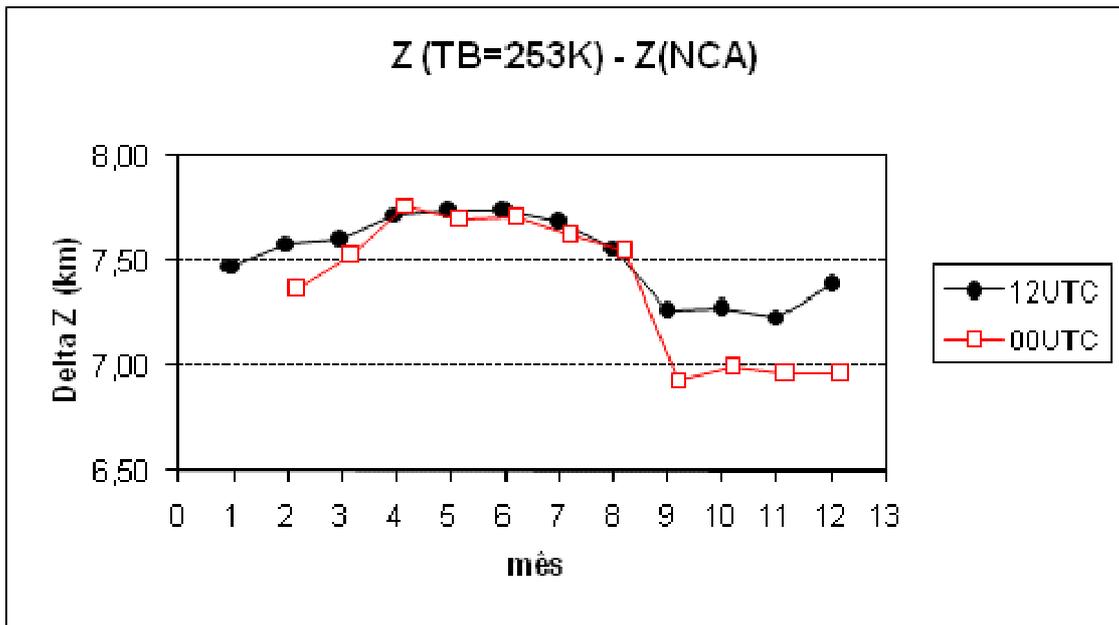


Figura 6.5 - "Climatologia" com dados de radiossondagens lançadas no CLA para a Variação da altura média da nebulosidade [$\Delta Z = Z(TB=253K) - Z(NCA)$] do período 1989- 2008.

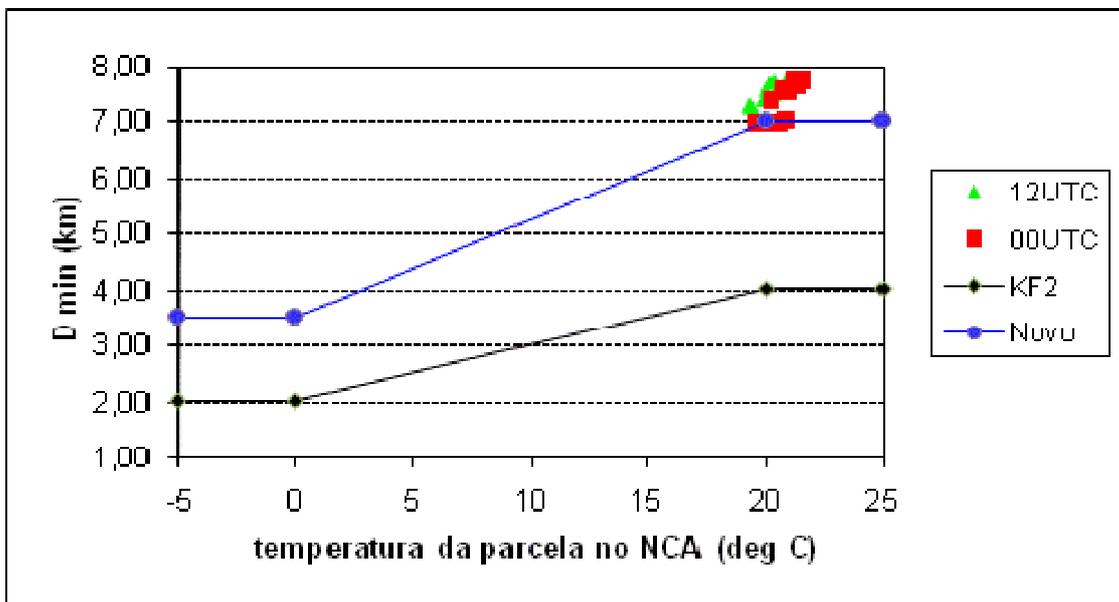


Figura 6.6 - Características das sondagens (D_{min} e T_{NCA}) de 00 e 12UTC sobre o CLA Para o período de 1989 a 2008.

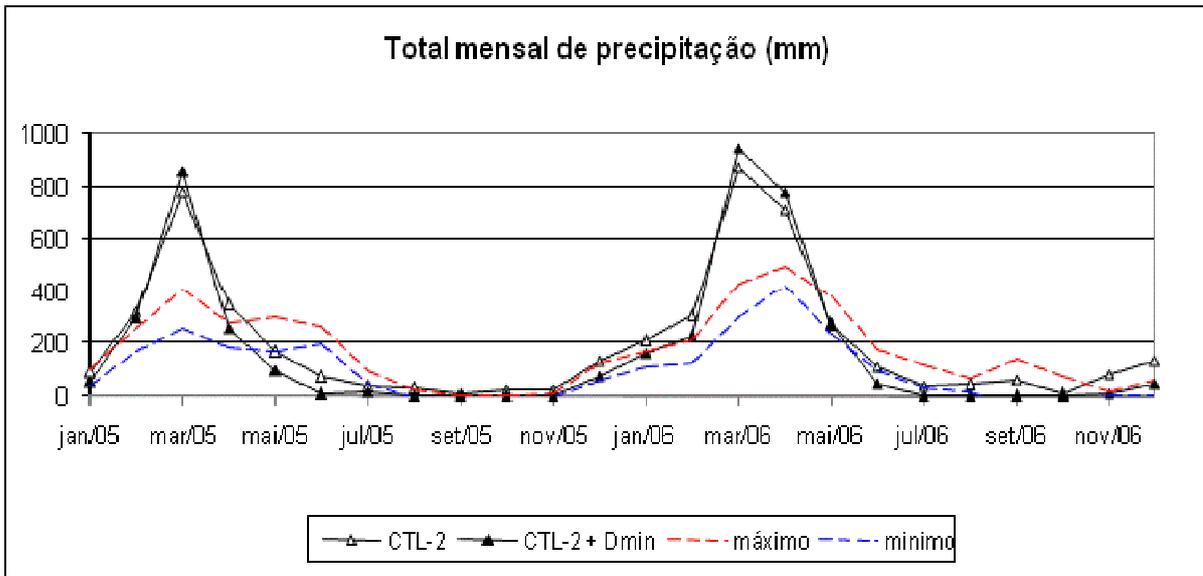


Figura 6.7 - Comparação de *PS* entre o CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.

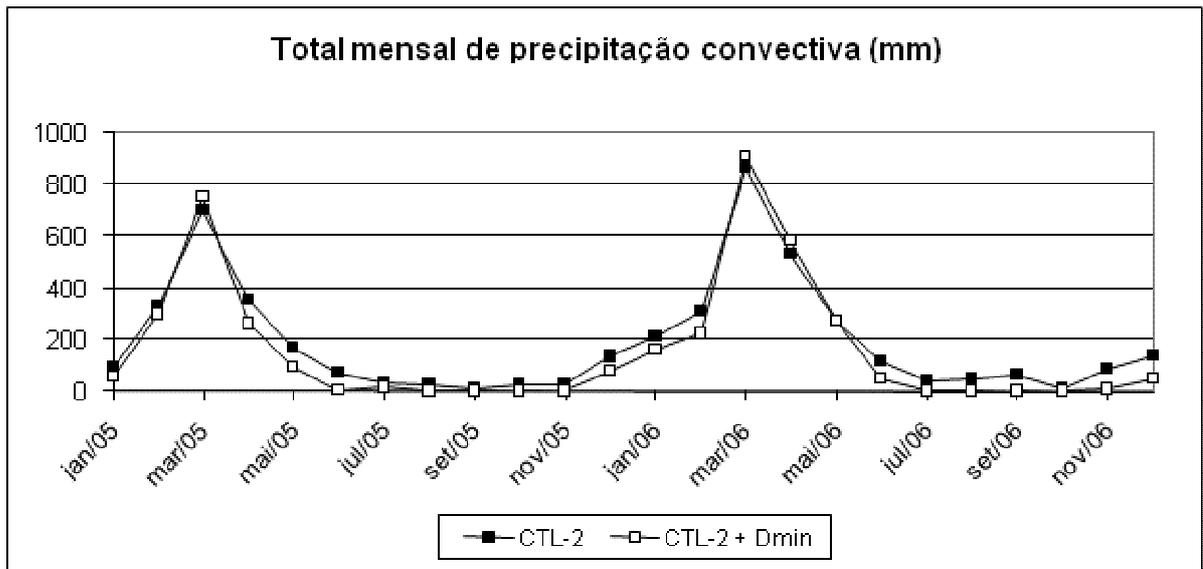


Figura 6.8 - Comparação de *PC* entre CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.

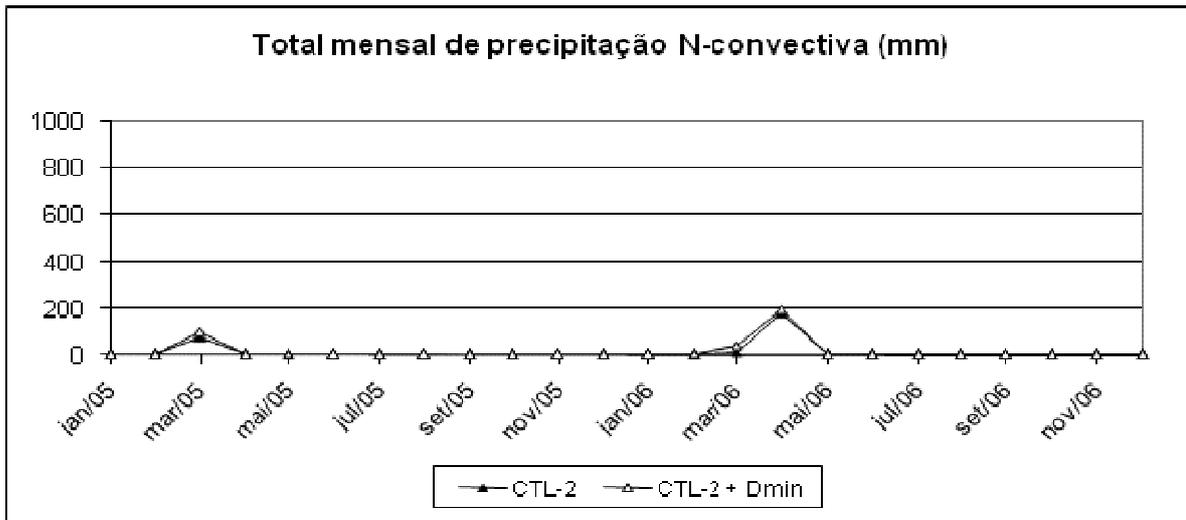


Figura 6.9 - Comparação de PC entre CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.

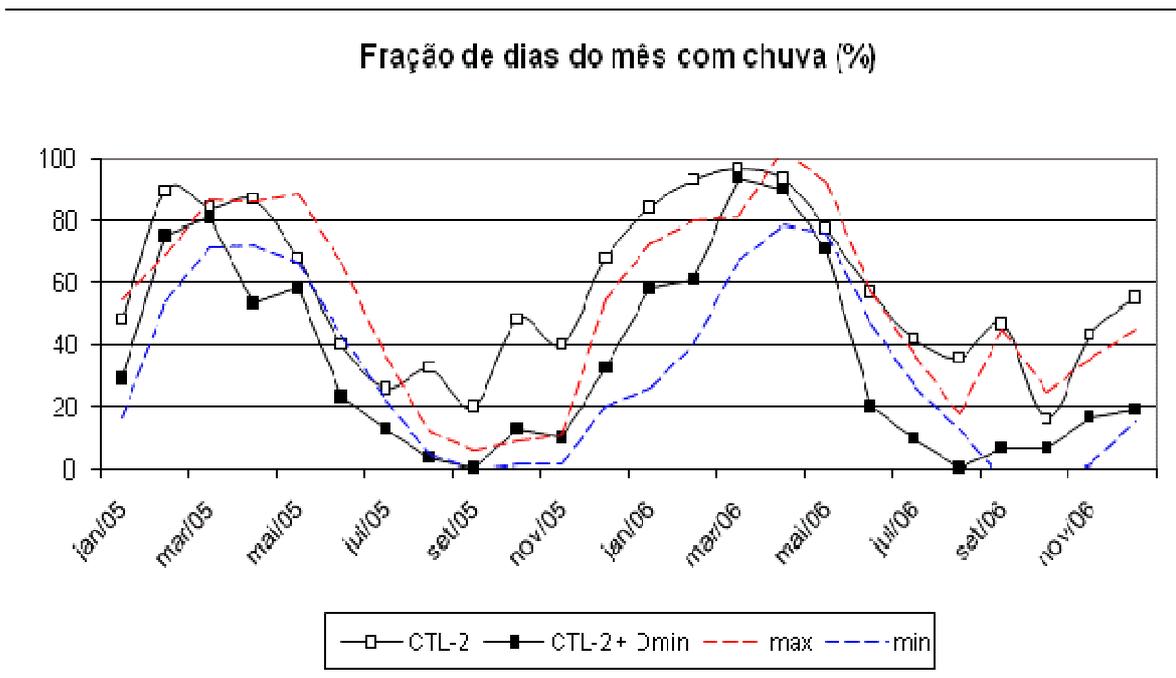


Figura 6.10 - Comparação de FS entre CTL-2 e CTL-2 + D_{min} para 2005 e 2006.

7 AJUSTES DA FUNÇÃO DE DISPARO DA CONVECÇÃO (FDC)

7.1 Ajuste para estação chuvosa

Para corrigir ou atenuar o erro expressivo nos meses mais chuvosos de 2005-2006, inicialmente, realiza-se um diagnóstico das condições atmosféricas simuladas procurando resposta para seguinte pergunta: **por que o modelo simula muita chuva nos meses de março de 2005 e março e abril de 2006?**

Para tanto, foi analisada, para algumas variáveis, a variação mensal do ciclo diário com base nos resultados da simulação CTL-2+DMIN no período de 2005-2006 (Figura 7.1). Essa análise objetiva identificar os fatores que levam o modelo a simular a precipitação muito acima do observado em alguns meses da estação chuvosa.

Nas Figuras 7.1a e 7.1b são mostradas a altura do NCA (Z_{NCA}) e a velocidade vertical do NCA (w_{NCA}) (parâmetros de entrada utilizados na FDC) para uma camada da superfície até o nível de 975 hPa – considerada, **por simplicidade**, como o nível provável de surgimento de USL's na região do CLA. Observa-se que, em geral, mínimos de Z_{NCA} ocorrem nos meses mais chuvosos; nos meses de março de 2005 e março e abril de 2006, o valor de Z_{NCA} encontra-se em torno de 800 m; conseqüentemente, $c(z)$ é inferior a 1 cm s^{-1} (Equação 3.2). Como a velocidade vertical no NCA (w_{NCA}) possui máximos na ordem de $3\text{-}4 \text{ cm s}^{-1}$ nos meses mais chuvosos (Figura 7.1b), ocorre diferença positiva entre w_{NCA} e $c(z)$, e isso resulta em um valor acima de 1°C para δT (Figura 7.1c). Como a diferença de temperatura entre parcela e ambiente é da ordem de $-0,5^\circ\text{C}$ (Figura 7.1d), δT consegue, assim, suprir essa diferença e a parcela torna-se instável em relação ao ambiente, iniciando as correntes ascendentes.

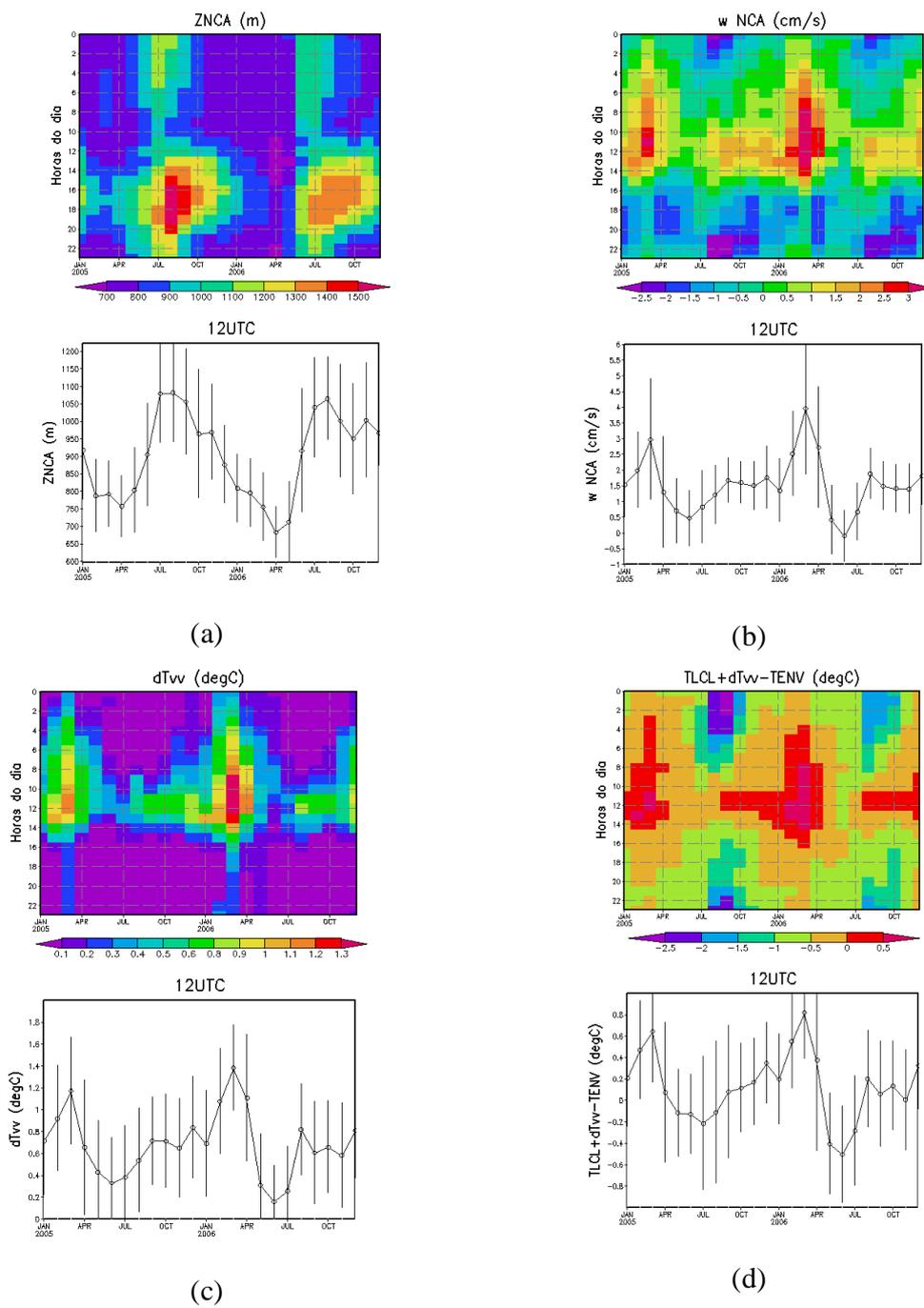


Figura 7.1 - Variância de algumas variáveis termodinâmicas originadas do “CTL-2 + DMIN”:
a) Altura do NCA (ZNCA), b) Velocidade vertical no NCA (w_{NCA}) em cm/s, c) Perturbação de temperatura (δT_{VV}) em $^{\circ}C$.

Em uma camada profunda (na ordem de vários km), uma diferença de temperatura na ordem de 1°C é suficiente para gerar correntes ascendentes na ordem de 1-10 m s⁻¹ (se entranhamento não for considerado). Isso significa que a velocidade vertical de grande escala na coluna atmosférica, que é da ordem de alguns cm s⁻¹, não influencia diretamente as correntes ascendentes. Assim, haveria duas formas de reduzir a excessiva precipitação na estação chuvosa observada em CTL-2+DMIN:

- Inibir a iniciação de convecção;
- aumentar o entranhamento para reduzir a profundidade da nuvem e aumentar a possibilidade de convecção rasa (em vez da profunda).

Os ajustes descritos a seguir seguem essas 2 estratégias e são realizados por meio das seguintes etapas:

- 1) Escolha de um parâmetro;
- 2) simulação para vários valores do parâmetro;
- 3) escolha do valor do parâmetro que minimiza o erro;
- 4) retorna para 1, escolhendo outro parâmetro.

7.1.1 Ajuste da subrotina “CONDLOAD” do esquema de KF2

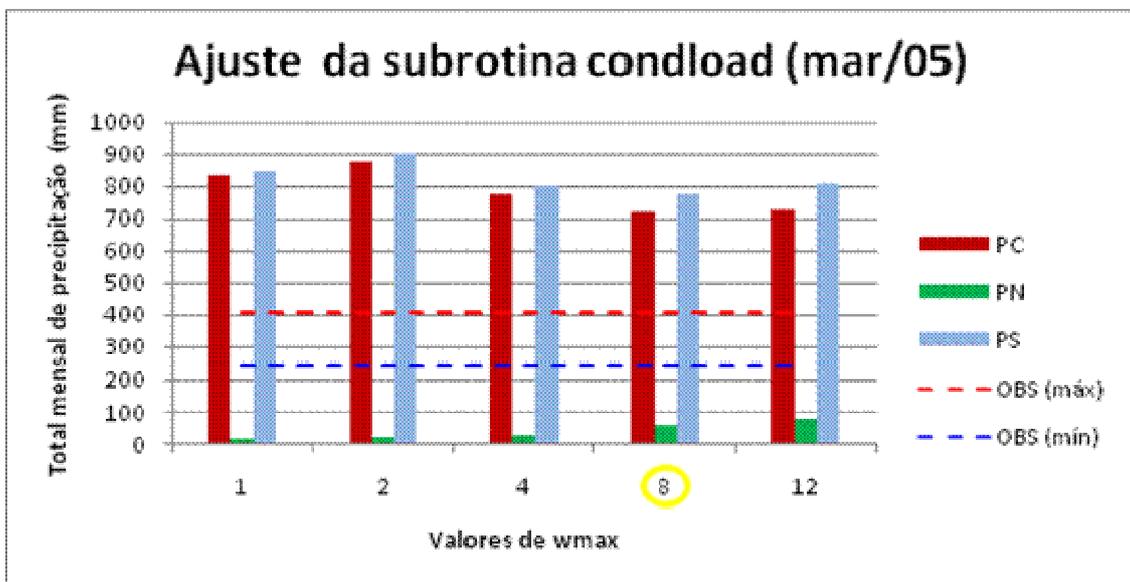
A remoção de material condensado (água líquida e/ou gelo) das correntes ascendentes é dada pela seguinte expressão:

$$\delta r_c = r_{c0} [1 - \exp(-c_1 \delta z / w)] \quad (7.1)$$

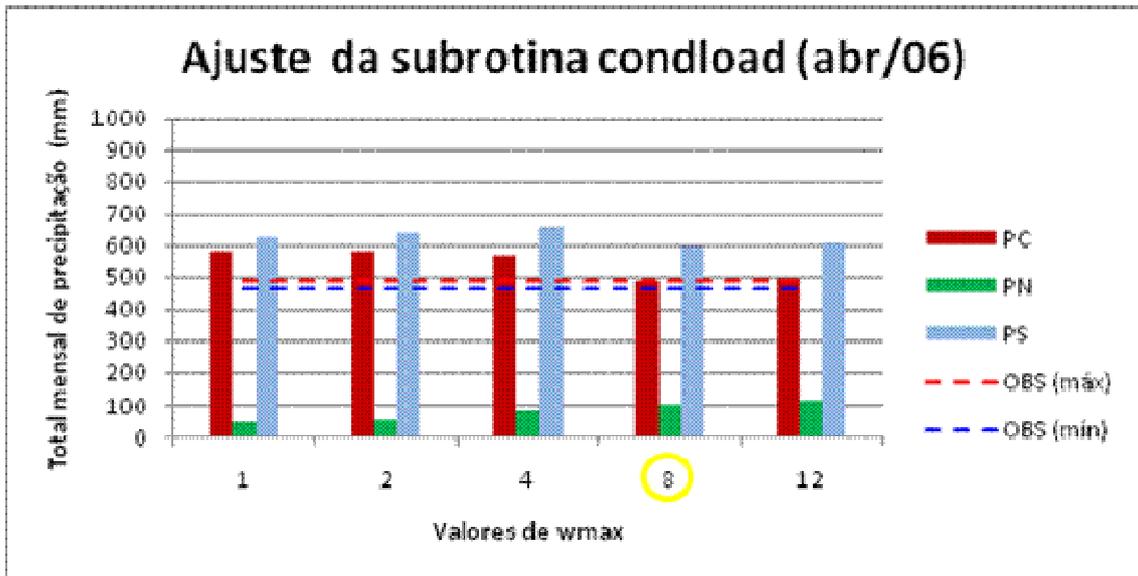
sendo δr_c a quantidade removida; r_{c0} a quantidade na base da camada; δz a espessura da camada; w a velocidade vertical média da corrente ascendente na camada; e c_1 uma constante. Quando a velocidade vertical torna-se muito alta – no limite, w tendendo a infinito, o material condensado removido tende a zero. Isso leva a corrente ascendente a manter todo o condensado até o seu desentranhamento forçado no topo da nuvem. Para evitar isso, ou seja, para haver desentranhamento contínuo mesmo com fortes correntes ascendentes, introduz-se uma limitação de w na Equação 7.1:

$$\delta r_c = r_{c0} [1 - \exp(-c_1 \delta z / \min\{w, w_{\max}\})] \quad (7.2)$$

Onde w_{\max} é um parâmetro de calibração. Na Figura 7.2 estão os resultados dos testes realizados com w_{\max} variando de 1 a 12 m.s^{-1} . Na busca de um menor valor para PS , o melhor resultado foi obtido para w_{\max} igual a 8 m.s^{-1} . Essa limitação reduziu PS em 85 mm (188 mm), PC em 38 mm (97 mm) e PN em 47 mm (91 mm) em março de 2005 (abril de 2006) com relação ao CTL-2+DMIN. A melhoria foi significativa, mas PS continuou bem acima das observações com 775 mm (594 mm) em março de 2005 (abril de 2006).



(a)

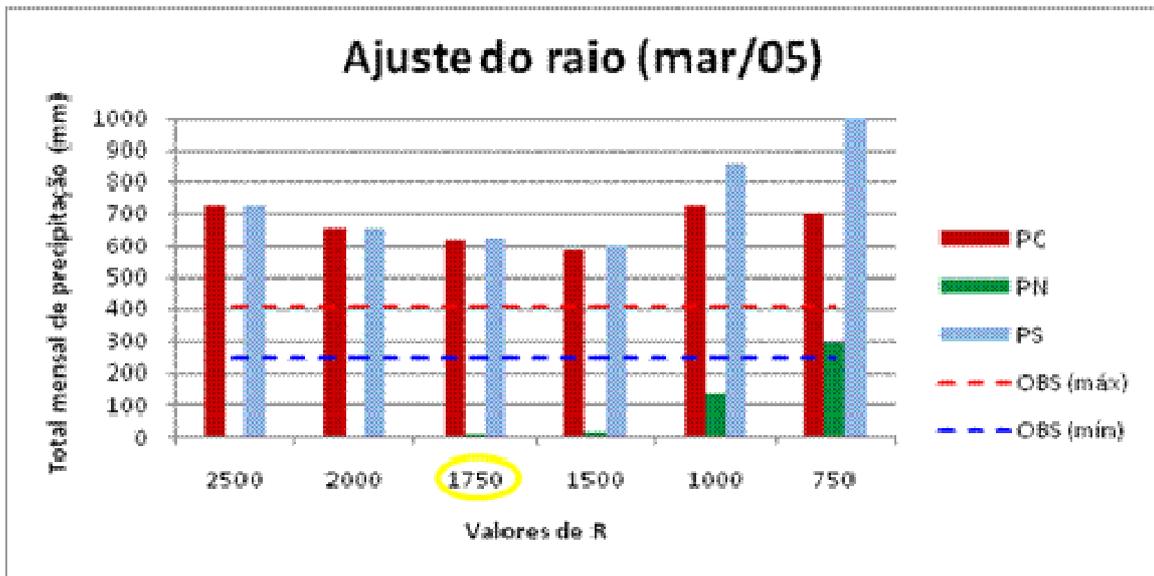


(b)

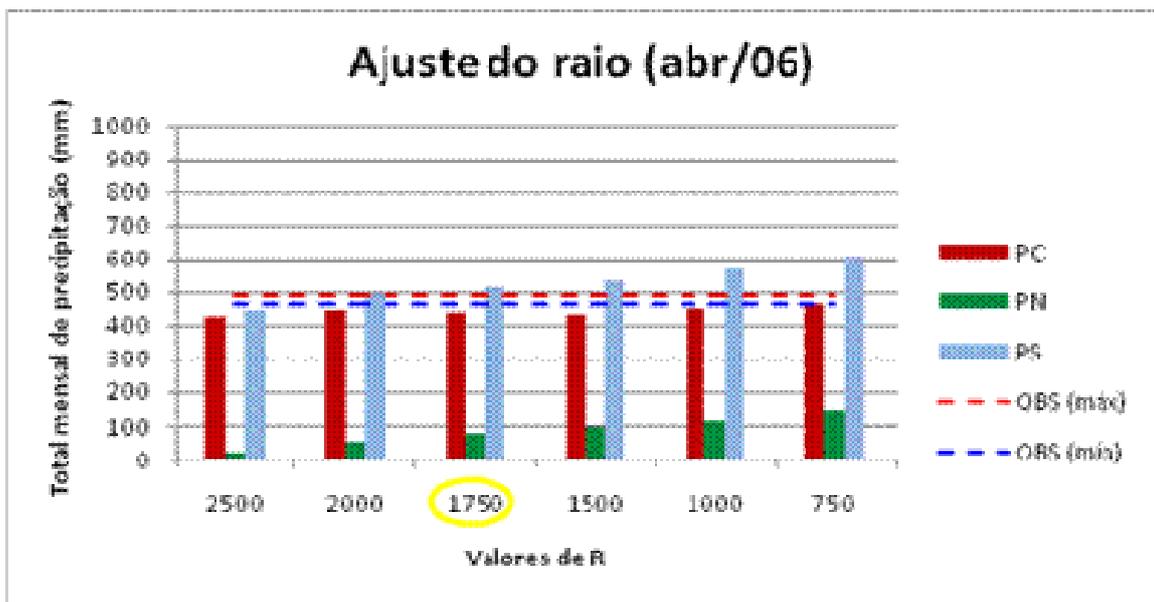
Figura 7.2 - Ajuste da subrotina “condload” para o total mensal de precipitação (*PC*, *PN* e *PS*) nos meses de março de 2005 (a) e abril de 2006 (b).

7.1.2 Ajuste do raio do fluxo de massa ascendente (*R*)

Como existe superestimativa da velocidade vertical no NCA, *R* fica sempre alto (Equação 3.5), o que diminui a taxa de entranhamento mínima e conseqüentemente a diluição. Isso implica em maior profundidade da nuvem e agrava o excesso de precipitação. Para fins de ajuste, por simplicidade, fixa-se o valor do raio (em vez de utilizar a formulação da Equação 3.5); trata-se de uma estratégia utilizada no KF original, que utiliza um valor “default” de 1500 m para o raio. Dentre os diversos valores de raio testados, o melhor resultado foi obtido utilizando um raio constante de 1750 m (Figura 7.3). Com o ajuste de *R*, houve redução de 148 mm (79 mm) para *PS*, 100 mm (50 mm) para *PC*, e 42 mm (28 mm) para *PN* em março (abril) de 2005 (2006) com relação aos valores decorrentes do ajuste da subrotina “condload”. Novamente a melhoria foi expressiva, mas continua fora do intervalo esperado com 627 mm (515 mm) em março de 2005 (abril de 2006).



(a)



(b)

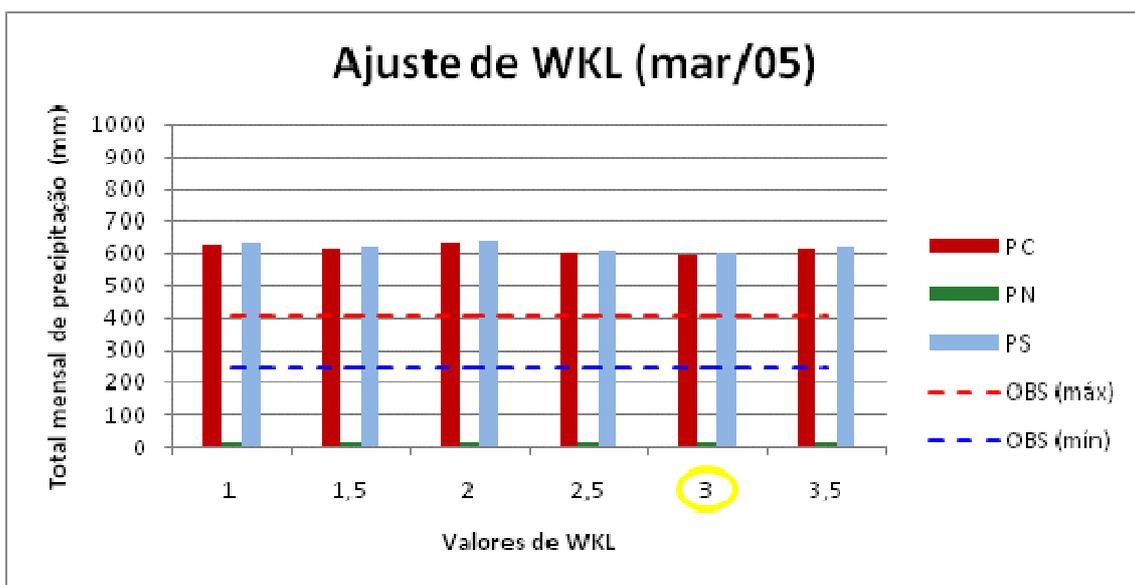
Figura 7.3 - Ajuste do raio das correntes ascendentes para o total mensal de precipitação (PC, PN e PS) nos meses de março de 2005 (a) e abril de 2006 (b).

7.1.3 Ajuste do parâmetro *WKL* da subrotina “KF2PARA” do esquema de KF2

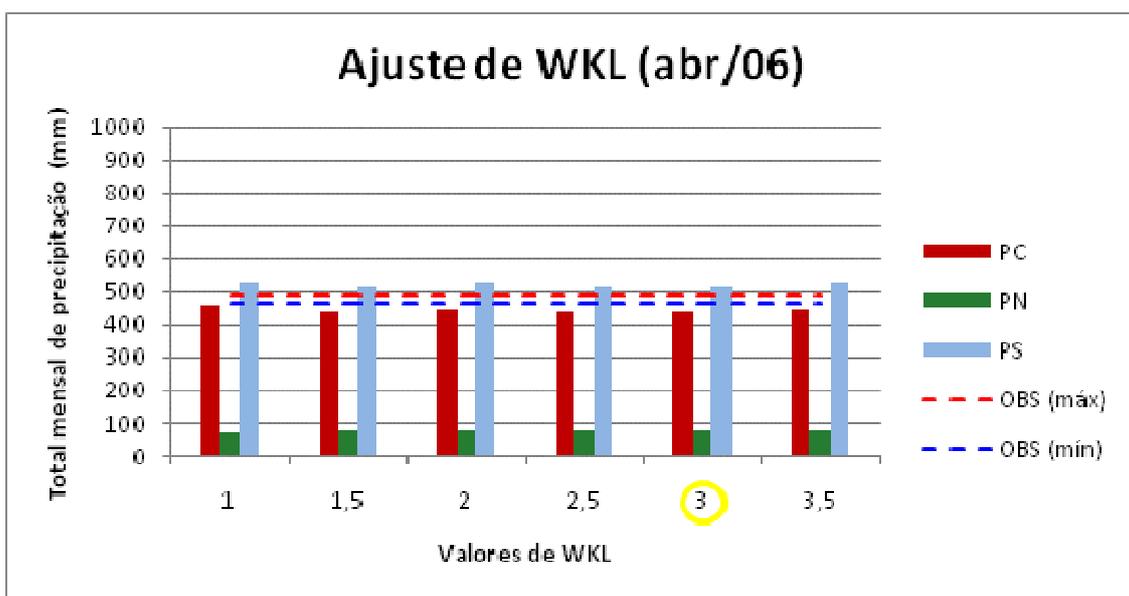
Uma forma direta de reduzir a perturbação de temperatura (δT) é limitar o parâmetro *WKL* da Equação 3.1:

$$\delta T = K[\min\{wkl, wkl_{\max}\}]^{1/3} \quad (7.2)$$

Onde wkl_{\max} é um parâmetro de calibração. Vários testes foram feitos com *WKL* variando de 1 a 3,5 cm.s^{-1} (Figura 7.4). Os melhores resultados foram obtidos com wkl_{\max} igual a 3 cm.s^{-1} : *PS* foi reduzido em 27 mm, *PC* em 24 mm e *PN* em 3 mm para março de 2005 (sem alteração para abril de 2006) em relação aos valores decorrentes dos ajustes da subrotina “condload” e do raio. A melhoria não foi muito expressiva, mas houve redução em *PS* que ficou com 600 mm (515 mm) em março de 2005 (abril de 2006).



(a)



(b)

Figura 7.4 - Ajuste de *WKL* para o total mensal de precipitação (*PC*, *PN* e *PS*) nos meses de março de 2005 (a) e abril de 2006 (b).

7.2 Ajuste de março de 2006

Os valores obtidos para março de 2005 e abril de 2006 reduzem muito pouco o erro em março de 2006. Após todos os ajustes anteriores, março de 2006 permaneceu com 811 mm para *PS*, 803 mm para *PC* e 8 mm para *PN*. Assim, o ajuste deste mês é feito separadamente. Testes mudando o raio não levaram a uma melhoria nos resultados; assim, apresentam-se os ajustes da subrotina “condload” e no parâmetro *WKL*.

7.2.1 Ajuste da subrotina “CONDLOAD” do esquema de KF2

A Figura 7.5a mostra um resultado satisfatório com 12 cm.s^{-1} para w_{max} . Essa limitação reduz *PS* em 101 mm, *PC* em 102 mm e *PN* em 1 mm para março de 2005 com relação aos ajustes feitos para março de 2005 e abril de 2006. A melhoria foi expressiva ficando *PS* com 710 mm (Tabela 7.5).

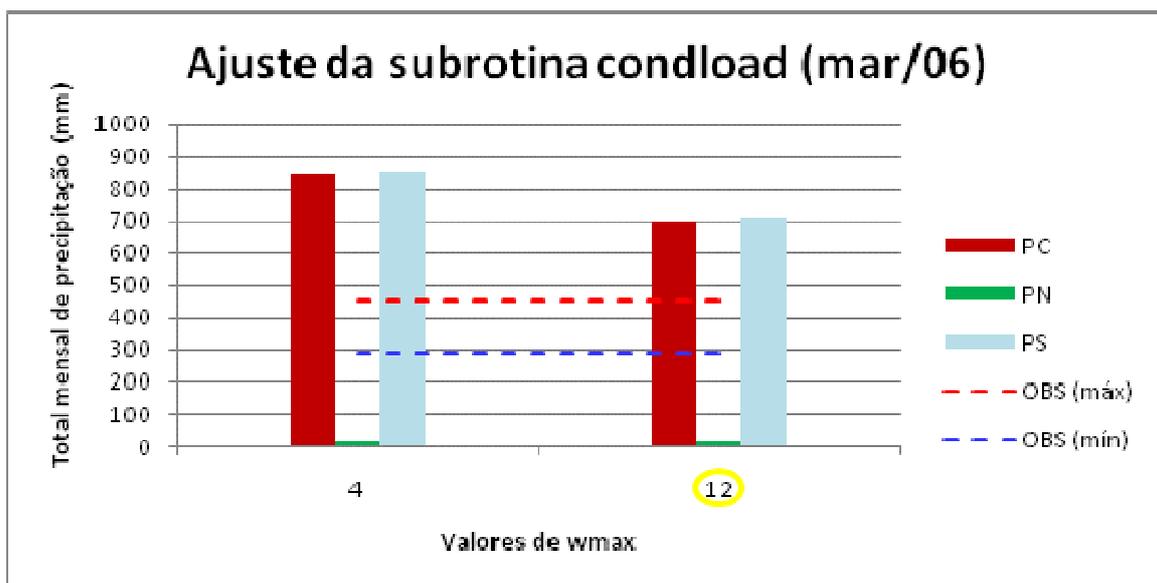


Figura 7.5 - Ajuste da subrotina “condload” para o total mensal de precipitação (*PC*, *PN* e *PS*) no mês de março de 2006.

7.2.2 Ajuste do parâmetro *WKL* da subrotina “KF2PARA” do esquema de KF2

A limitação desse parâmetro para março de 2006 ficou em 1 cm.s^{-1} para produzir uma melhoria discreta (Figura 7.6). *PS* e *PC* ficaram reduzidos em 9 mm e *PN* não sofreu alteração em relação aos valores decorrentes do ajuste do item anterior.

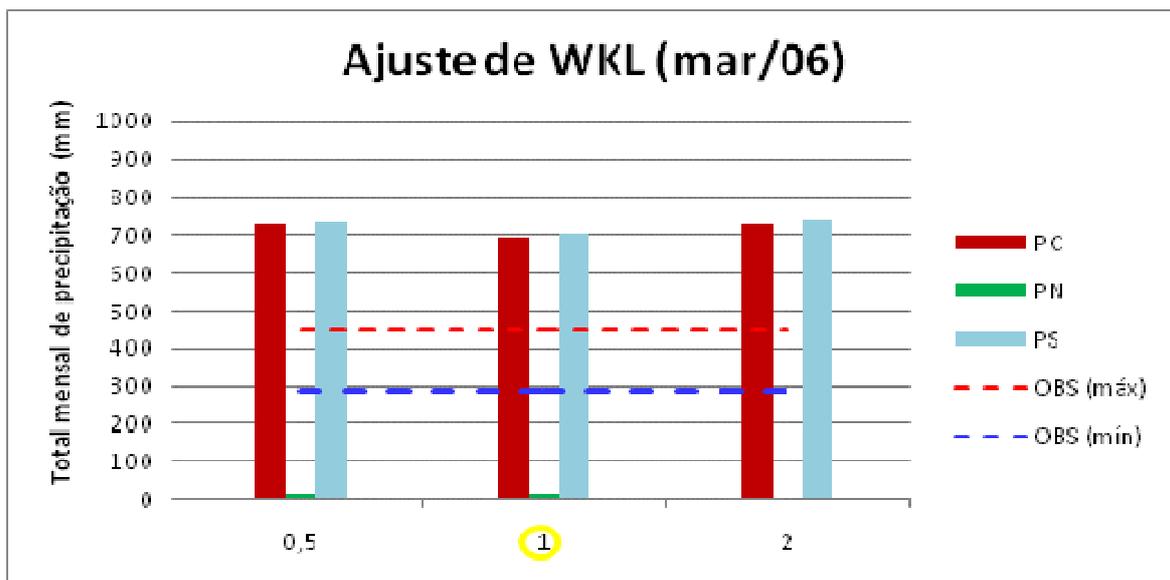


Figura 7.6 - Ajuste de *WKL* para o total mensal de precipitação (*PC*, *PN* e *PS*) no mês de março de 2006.

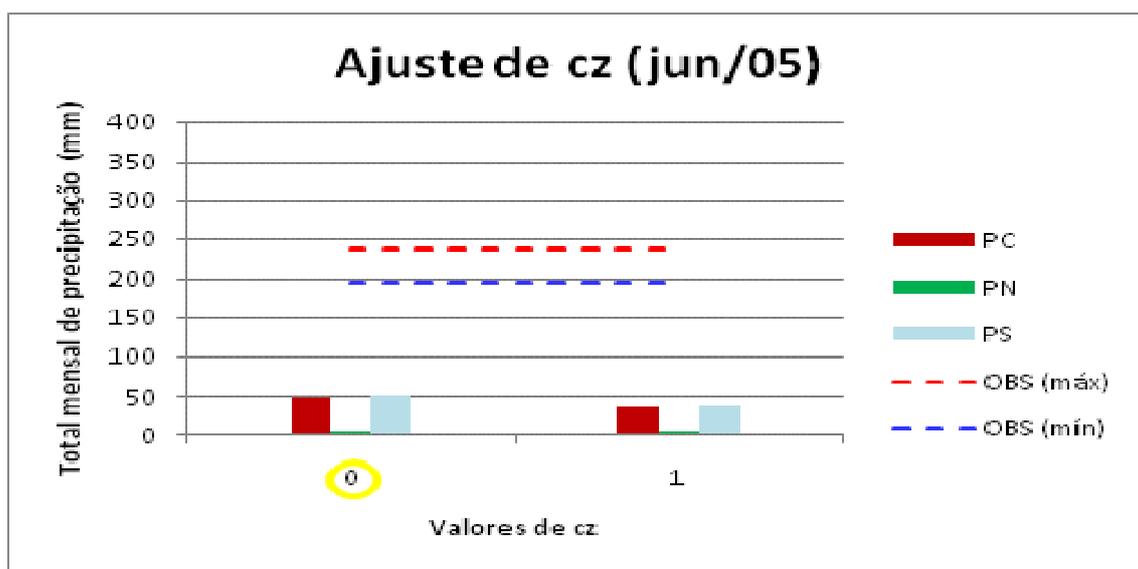
7.3 Ajuste da estação de transição

Simulando com os ajustes obtidos para março/05 e abril/06, a estação de transição ficou com *PS* de 57 mm (75 mm), *PC* de 56 mm (75 mm), *PN* de 1 mm (0 mm) e *FS* de 37% (23%) para o mês de junho de 2005 (2006). Esses valores são inferiores aos limites observados. Assim, há a necessidade de ajustar a estação de transição procurando aumentar tanto *PS* quanto *FS* para colocá-los dentro do intervalo observado. Trata-se de um esforço oposto ao realizado para a estação chuvosa.

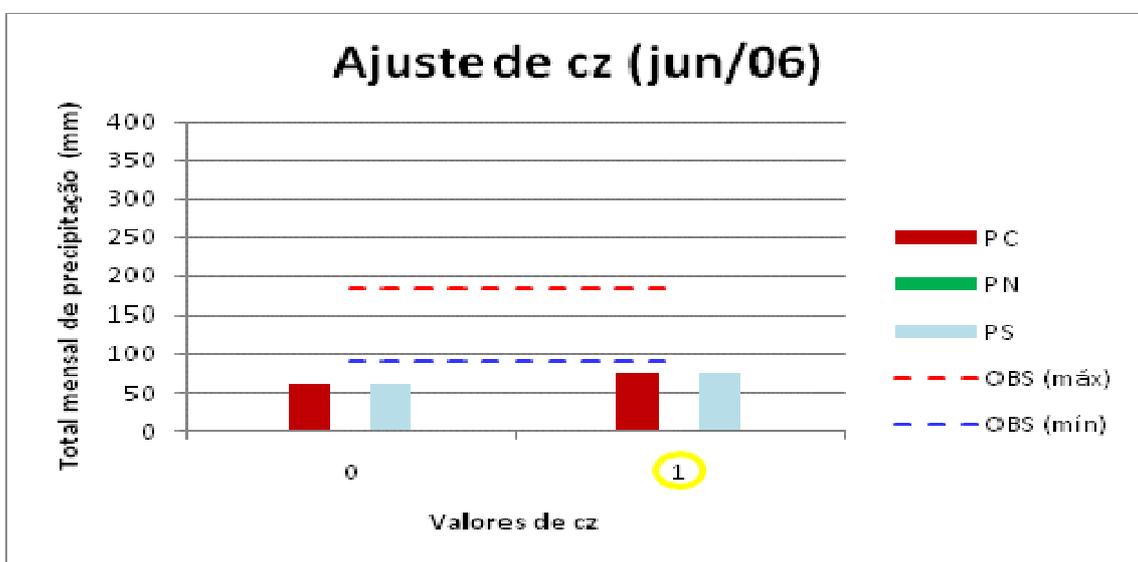
7.3.1 Ajuste do parâmetro c_z da subrotina “KF2PARA” de KF2

No esquema de KF2, $c(z)$ é um limiar de corte da velocidade vertical. Pela Figura 7.1a do diagnóstico, a altura do NCA para o mês de junho de 2005 fica em torno de 1200 m, o que leva a um valor de $c(z)$ igual a 1 cm.s^{-1} usando a Equação 3.2. Ao diminuir o valor de $c(z)$, aumenta-se o valor de δT e, assim, favorece-se a ativação do esquema de

convecção profunda. Foram feitos testes com valor máximo de $c(z)$ igual a 0 e 1 cm.s^{-1} , e o melhor resultado foi com o valor 0 (Figura 7.7). Utilizando esse valor (que significa não haver limitação na velocidade vertical), FS atinge o limite mínimo observado de 43%.



(a)

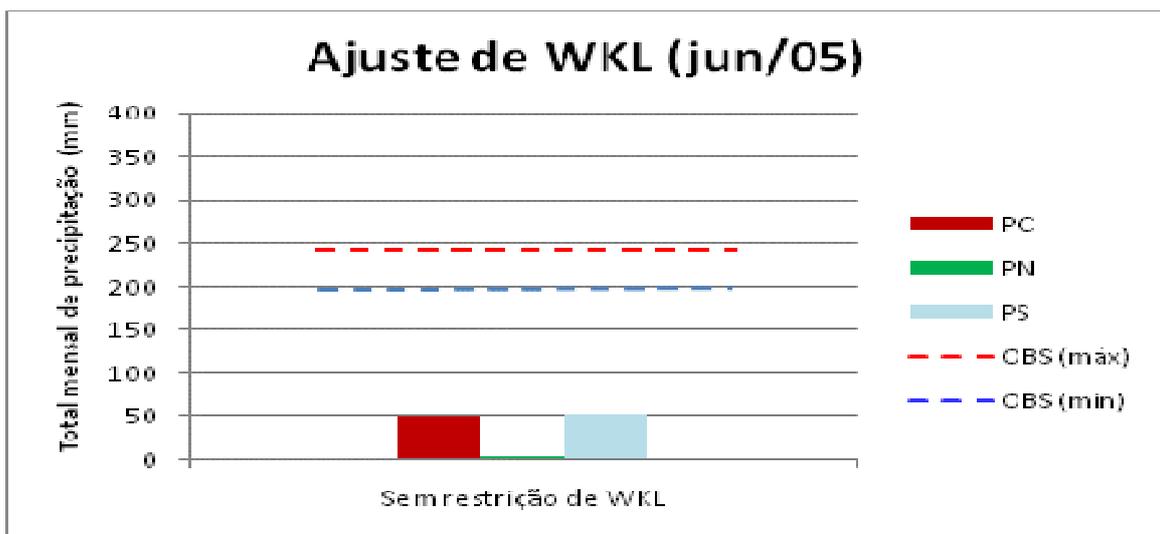


(b)

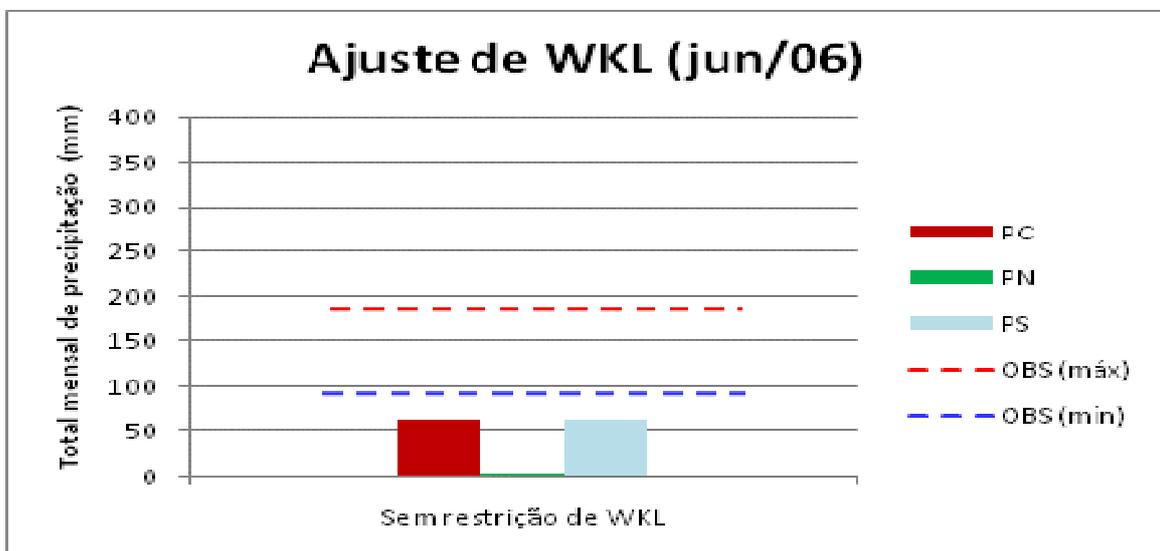
Figura 7.7 - Ajuste do parâmetro c_z para o total mensal de precipitação (PC , PN e PS) nos meses de junho de 2005 (a) e junho de 2006 (b).

7.3.2 Ajuste do parâmetro *WKL* da subrotina “KF2PARA” do esquema de KF2

Para a estação de transição foi retirada a limitação de *WKL* para produzir resultados satisfatórios. *PS* aumentou 1 mm (2 mm), *PC* aumentou 2 mm (1 mm), *PN* reduziu 1 mm (0 mm) e *FS* não alterou para junho de 2005 (2006).



(a)

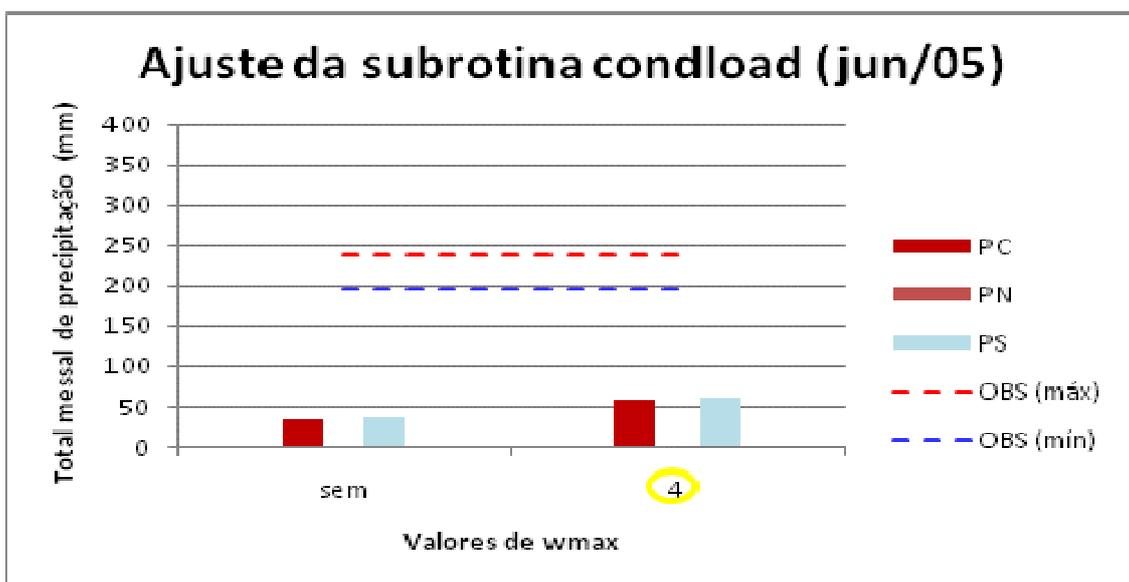


(b)

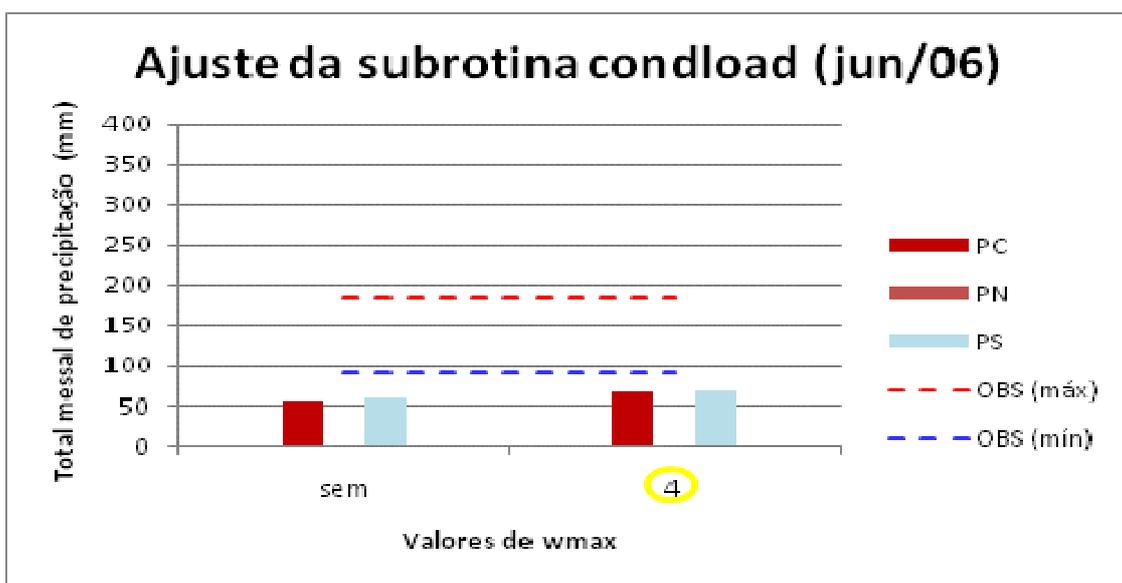
Figura 7.8 - Ajuste de *WKL* para o total mensal de precipitação (*PC*, *PN* e *PS*) nos meses de junho de 2005(a) e junho de 2006 (b).

7.3.3 Ajuste da subrotina “CONDLOAD” do esquema de KF2

Dos testes realizados para junho/05, o melhor resultado foi obtido com w_{\max} igual 4 cm.s^{-1} . Os resultados podem ser observados na Figura 7.9: *PS* aumentou 9 mm (4 mm), *PC* aumentou 8 mm (4 mm) e *PN* aumentou 1 mm em junho de 2005 (2006) com relação ao ajuste de *WKL*. *PS* continuou abaixo das observações com 61 mm (68 mm) em março de 2005 (abril de 2006).



(a)

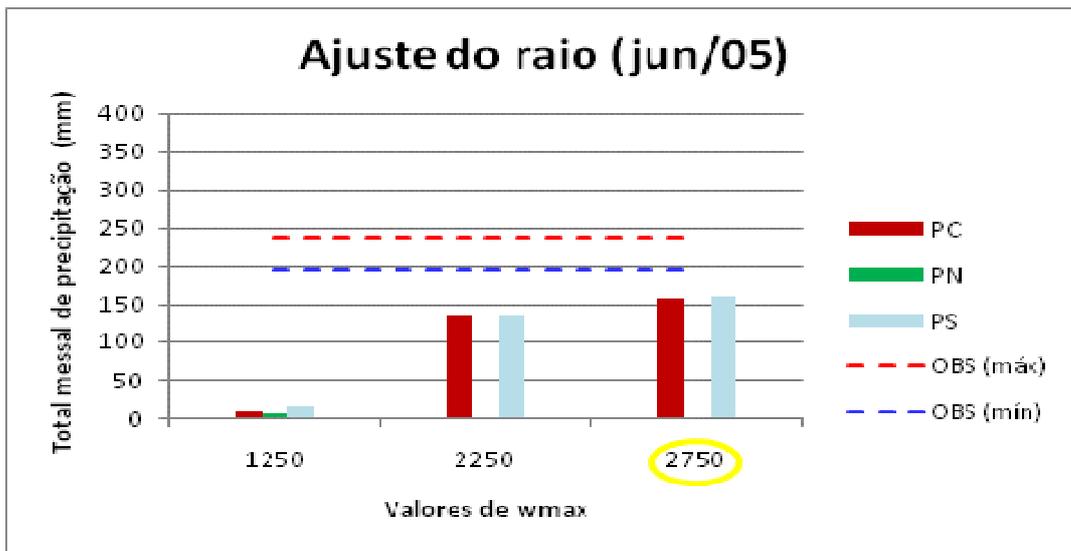


(b)

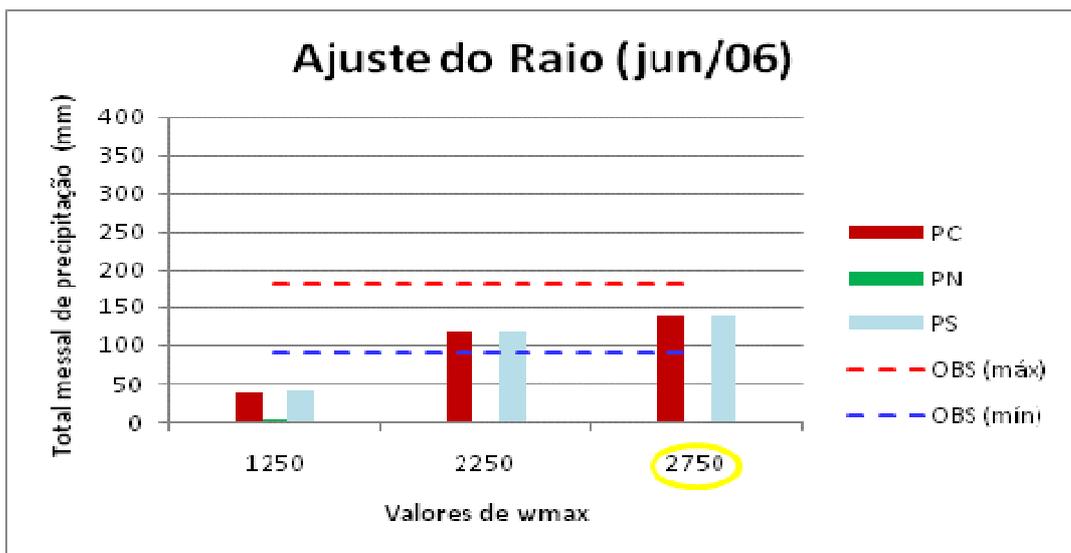
Figura 7.9 - Ajuste da subrotina “condload” para o total mensal de precipitação (*PC*, *PN* e *PS*) nos meses de junho de 2005 (a) e junho de 2006 (b).

7.3.4 Ajuste do raio do fluxo de massa ascendente (*R*)

Para diminuir a taxa de entranhamento e a diluição, aumentando assim a precipitação, *R* foi mudado de 1750 m para 2750 m. Com este ajuste, pode-se observar na Figura 7.10 que *PS* aumentou 99 mm (70 mm); *PC*, 100 mm (71 mm); e *PN* diminuiu 1 mm (1 mm) para junho de 2005 (2006). Essa melhoria expressiva levou *PS* a 160 mm (138 mm) e *FS* com 60% (40%) para junho de 2005 (2006).



(a)

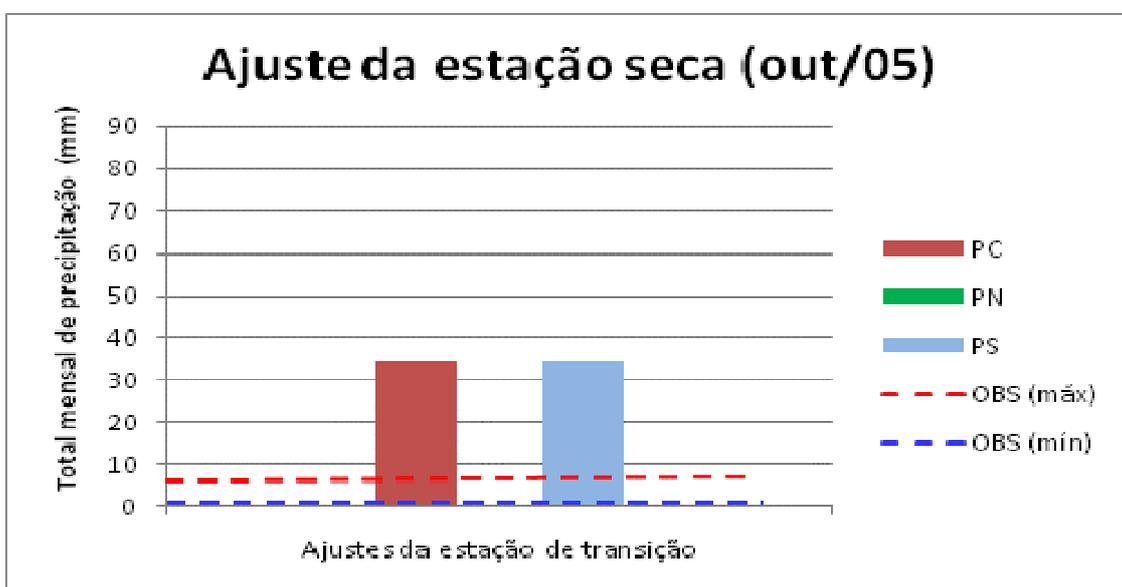


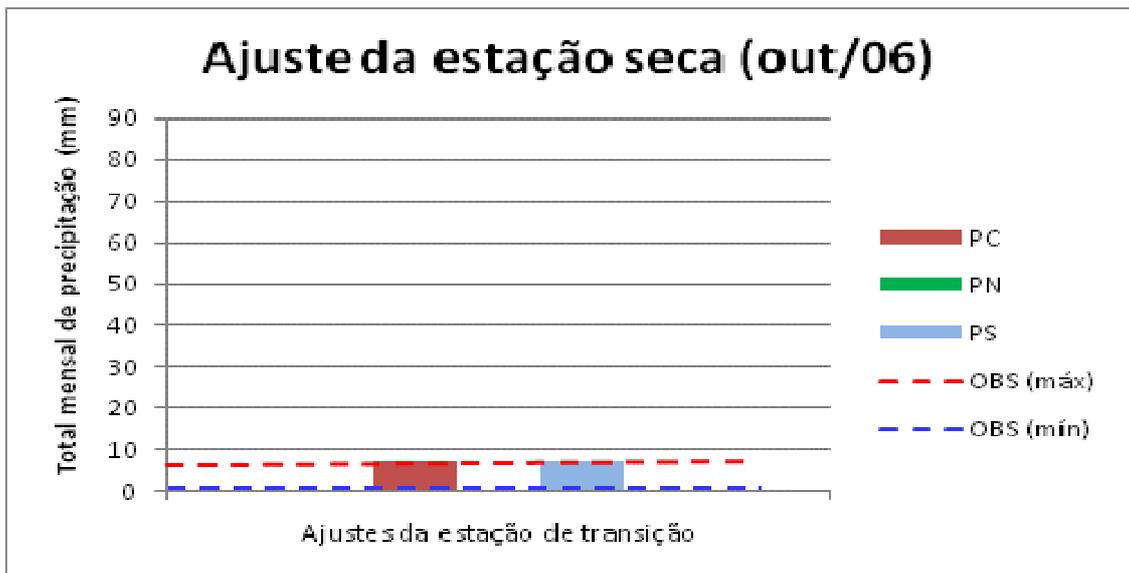
(b)

Figura 7.10 - Ajuste do raio do fluxo de massa ascendente para o total mensal de precipitação (PC, PN e PS) nos meses de junho de 2005 (a) e junho de 2006 (b).

7.4 Ajuste da estação seca

Com os ajustes da estação de transição, os meses de outubro de 2005 e 2006 (estação seca) apresentaram resultados aceitáveis e melhores que CTL-1, CTL-2 e CTL-2+DMIN, mas com quantidades um pouco maiores. Pode-se observar na Figura 7.11 que *PS* ficou com 34 mm (7 mm), *PC* com 34 mm (7 mm) e *PN* com 0 mm nos dois meses. Assim, não foram feitos testes adicionais (considera-se que os parâmetros ajustados para a estação de transição sejam válidos para a estação seca).





(b)

Figura 7.11 - Ajuste da estação seca para o total mensal de precipitação (*PC*, *PN* e *PS*) nos meses de outubro de 2005 (a) e outubro de 2006 (c).

8 AJUSTES DO ÍNDICE DE ASCENDÊNCIA (IA)

Os valores do melhor ajuste variam conforme a estação do ano. Essa dependência pode ser implementada diretamente – por exemplo, utilizando um valor determinado dependendo da data da condição inicial – ou relacionando o valor dos parâmetros a alguma variável que tenha relação direta com os processos convectivos e possua expressiva variação sazonal. Essa segunda estratégia é adotada. Escolhe-se a velocidade vertical como variável a partir da qual se calcula o valor dos parâmetros. Especificamente, define-se um índice, chamado aqui de **índice de ascendência (IA)**, que integra a velocidade vertical positiva (ascendente) da superfície até 300 hPa (unidade: Pa.cm.s⁻¹):

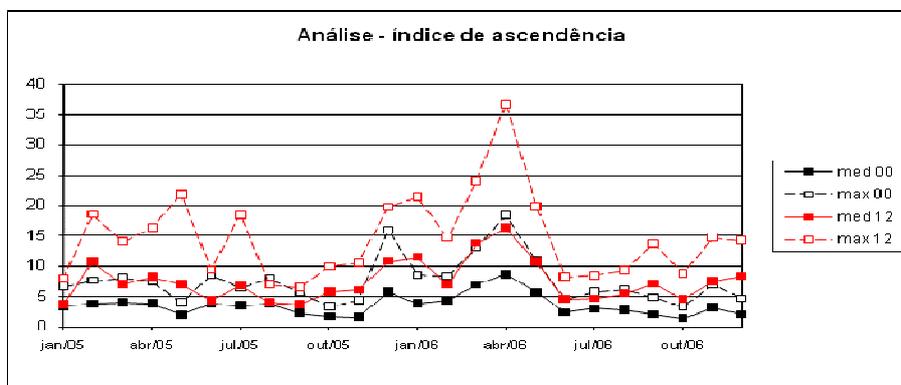
$$IA = \int_{sfc}^{300hpa} f(w) dp \quad , \quad f(w) = \begin{cases} w, & w > 0 \\ 0, & w \leq 0 \end{cases} \quad (8.1)$$

Onde w é a velocidade vertical e dp é a variação da pressão na camada entre a superfície e o nível de 300 hPa. O IA é uma medida da “intensidade” dos movimentos verticais ascendentes na coluna atmosférica.

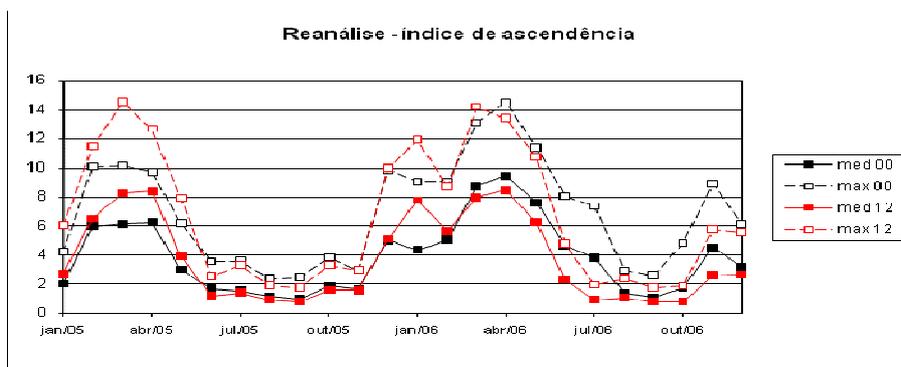
Na Figura 8.1 observa-se o IA para análise, reanálise e MM5 durante o período estudado para o ponto de grade referente ao CLA. O ciclo anual é semelhante nos 3 casos, com IA maior (menor) na estação chuvosa (seca). A diferença de magnitude reflete a diferença de resolução: quanto maior a resolução espera-se que a variância do sinal de velocidade vertical seja maior. O “first guess” dos limites de IA são obtidos da Figura 8.2: IA varia de 10 (estação seca) a 40 Pa.cm.s⁻¹ (estação chuvosa).

A relação entre o valor dos parâmetros e IA está mostrada na Figura 8.3. Para IA alto (baixo), os parâmetros tendem para os ajustados na estação chuvosa (seca). Para a definição dos limites de IA (IA_{min} e IA_{max}), foram realizados testes a partir do “first guess”. Os limites que apresentaram melhores resultados foram de 15 Pa.cm.s⁻¹ para

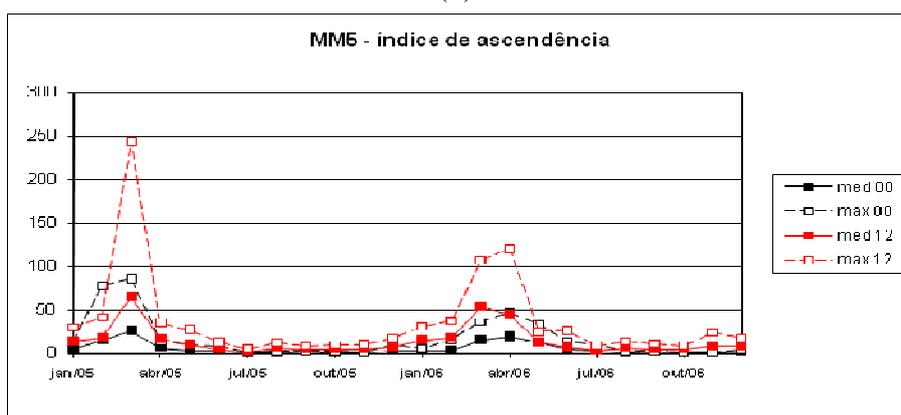
I_{Amin} (estação seca e de transição) e de 40 Pa.cm.s^{-1} para I_{Amax} (estação chuvosa), conforme a Figura 8.4.



(a)



(b)



(c)

Figura 8.1 - Índice de ascensão (IA) para o período 2005 – 2006 com dados de: (a) Análise, (b) Reanálise e (c) modelo MM5.

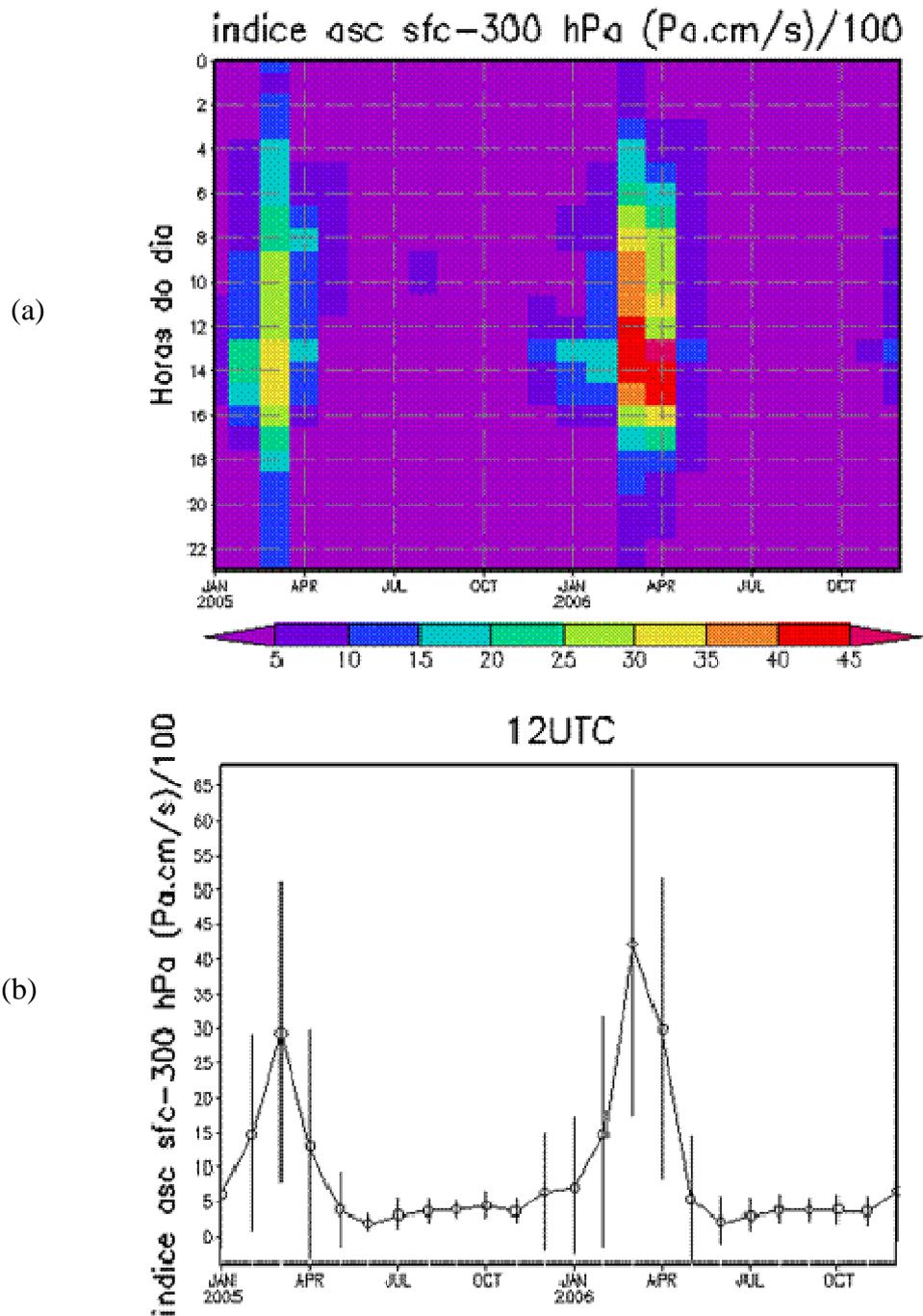
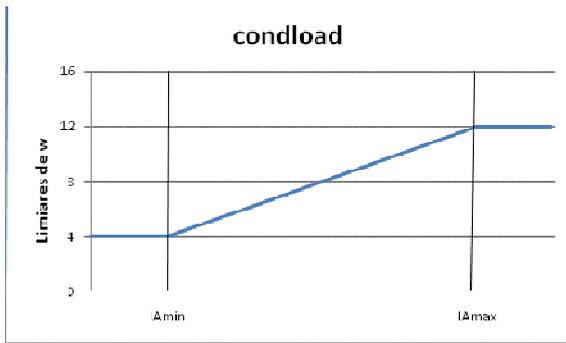
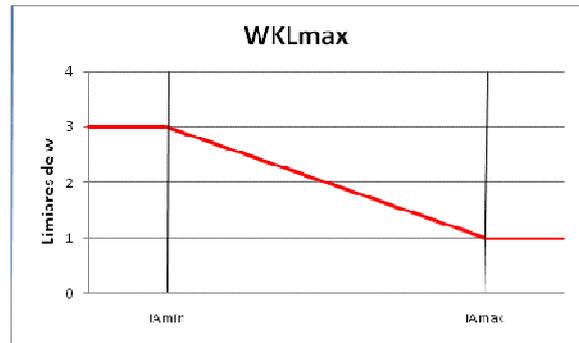


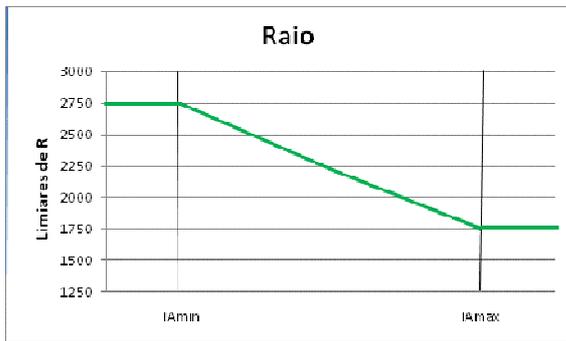
Figura 8.2 - Índice de ascensão em $\text{Pa.cm.s}^{-1}/100$. (a) variação da média mensal para as horas do dia no período 2005-2006 e (b) média mensal às 12 UTC.



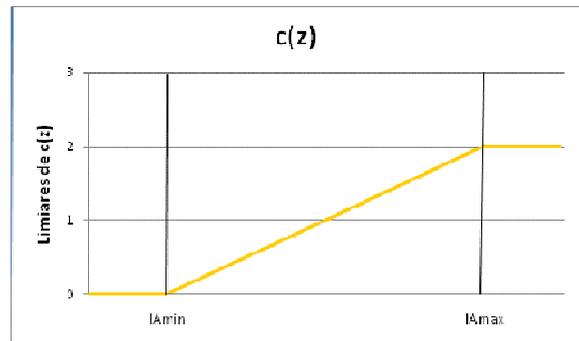
(a)



(b)

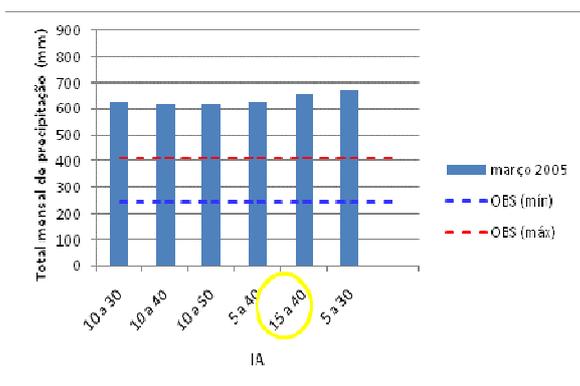


(c)

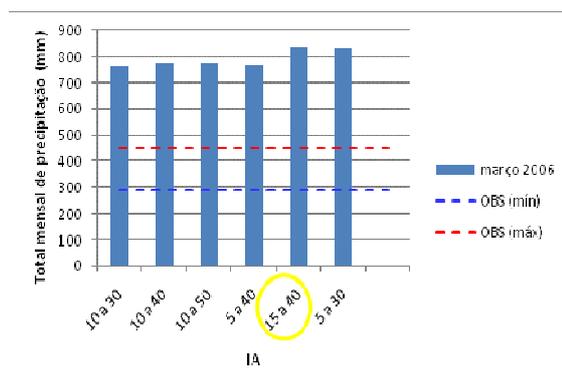


(d)

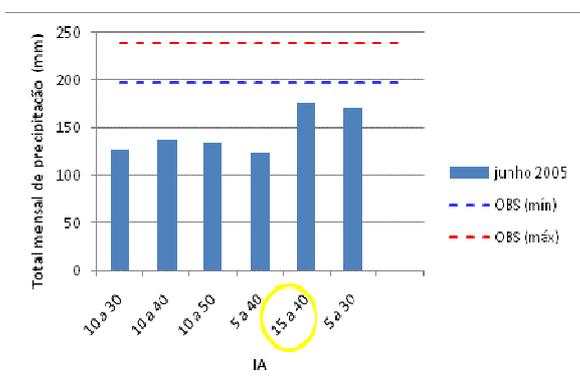
Figura 8.3 - Síntese dos ajustes: a) "condload", b) WKL_{max} , c) R e d) c_z .



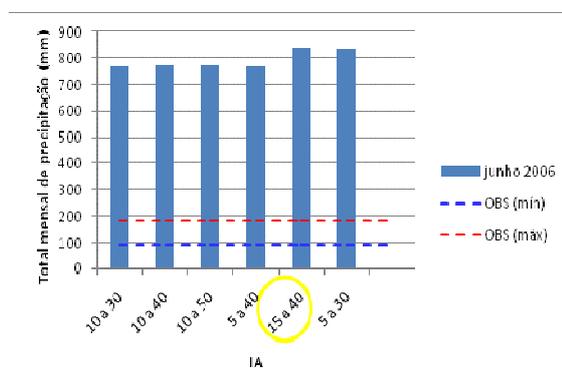
(a)



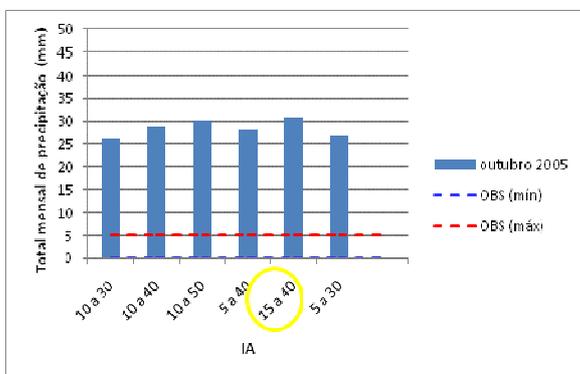
(b)



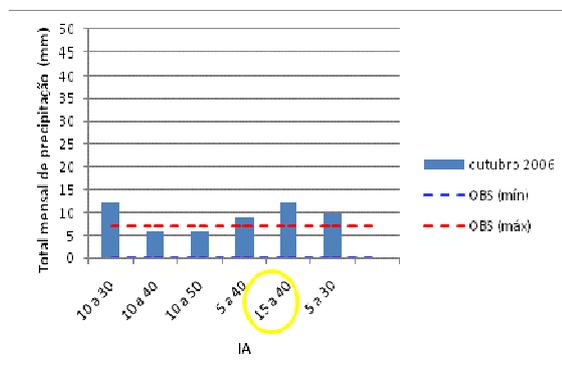
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 8.4 - Ajuste do IA, No lado esquerdo tem-se a) março, b) junho e c) outubro de 2005, No lado direito tem-se a) março, b) junho e c) outubro de 2006.

9 RESULTADOS FINAIS DA CALIBRAÇÃO

Depois de finalizados todos os ajustes, realizou-se uma simulação final e compararam-se os resultados dessa simulação com as demais simulações [controle_0 (KF original, Grell, *simple ice*, 30s); controle_1 (KF2 para convecção profunda e rasa, *Simple ice*, 30s); controle_2 (KF2, Grell, *warm rain*, 10s), controle + Dmin]. Os resultados são apresentados nas Figuras 9.1 e 9.2. Na Figura 9.1 observa-se que *PS* ficou entre os limites somente em 7 meses. Nos meses críticos da estação chuvosa, a precipitação ficou reduzida em aproximadamente 700 mm (450 mm) em março de 2005 (2006) e 890 mm em abril de 2006, comparado ao CTL-1; 211 mm (152 mm) em março de 2005 (2006) e 240 mm para abril de 2006, comparado ao CTL-0; 162 mm (116 mm) em março de 2005 (2006) e 364 mm para abril de 2006, comparado ao CTL-2, 242 mm (191 mm) em março de 2005 (2006) e 782 mm para abril de 2006, comparado ao CTL-2 + *Dmin*. Nas estações seca e de transição, os resultados da simulação final ficaram muito próximo dos limites. Na Figura 9.2, observa-se *FS* e o destaque desse campo é a estação seca, quando os ajustes deixaram o simulado muito próximo dos limites da observação.

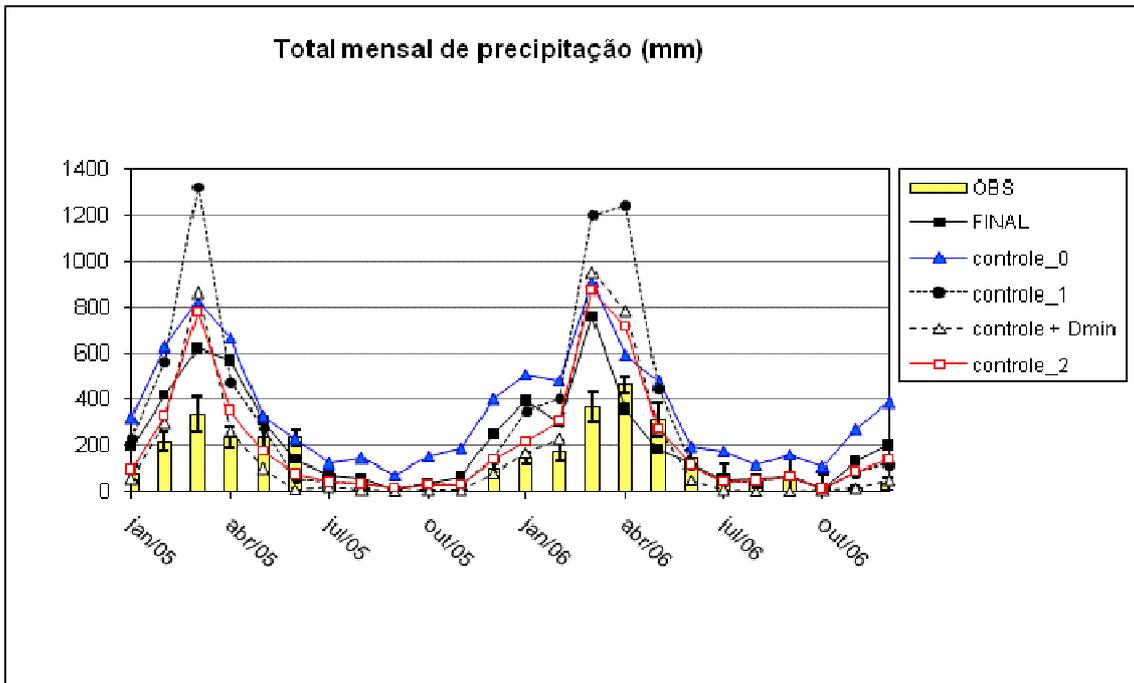


Figura 9.1 - Total mensal de precipitação no CLA (mm) para simulação final.

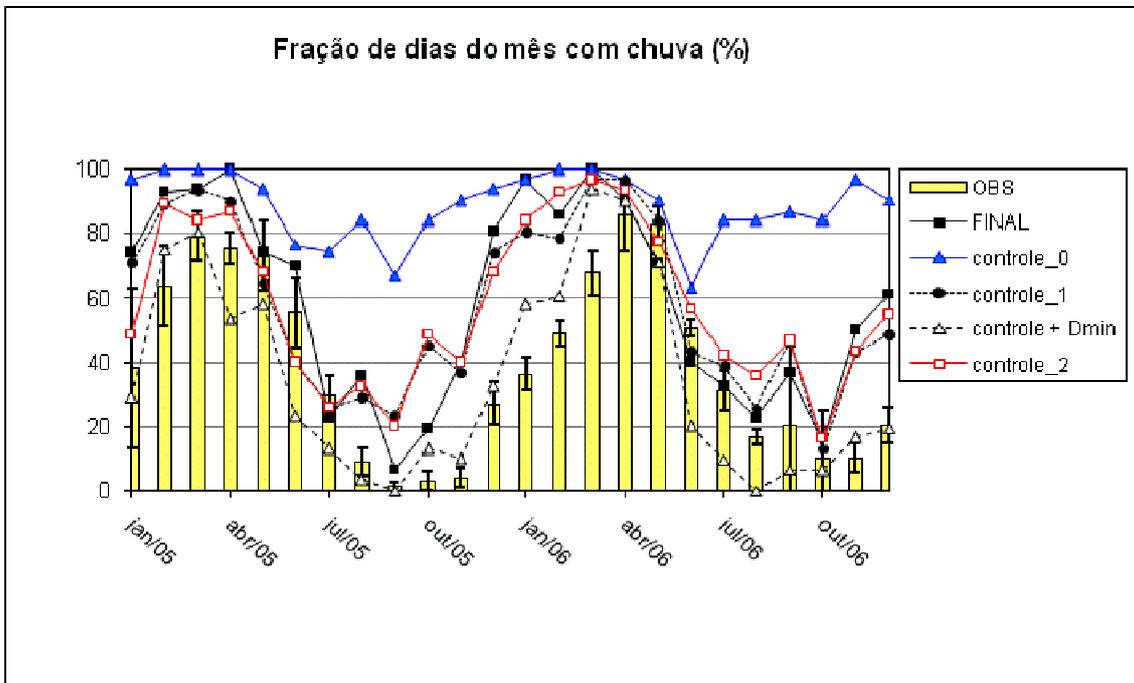


Figura 9.2 - Fração de dias do mês com chuva no CLA (%) para 2005 e 2006.

Embora o foco do presente trabalho seja a região do CLA, apresentam-se a seguir campos mensais do total de precipitação para 1 mês de cada estação do ano no período de 2005 e 2006. O objetivo é verificar de que forma os ajustes realizados influenciam as outras regiões do domínio e se há modificação no padrão de erros. A análise é breve e centrada nos aspectos comuns aos vários campos.

Em geral, os campos mostram que (Figuras 9.3 a 9.10):

- No continente, o gradiente de precipitação entre a região da Ilha do Marajó (PA) (maior precipitação) e o Nordeste brasileiro (menor precipitação) é bem representado em todos os meses simulados;
- os maiores erros ocorrem sobre o oceano em todas as estações embora haja grande variação dos erros em função das diferentes simulações;
- o modelo simula melhor a precipitação sobre o continente que sobre o oceano;
- em parâmetros de magnitude, CTL-0 mostra a maior precipitação; CTL-2+DMIN, a menor (isso é esperado, pois para ativar a convecção profunda é necessária maior profundidade para a nuvem);
- embora os ajustes tenham melhorado a precipitação sobre o CLA, não há mudança no padrão espacial dos erros;
- os ajustes têm o mérito de reduzir substancialmente a precipitação não-convectiva em todo o domínio;
- na estação chuvosa, nas simulações, o CLA encontra-se entre uma região de excessiva (e errônea) precipitação ao norte (acompanhando o litoral) e uma menor precipitação ao sul (boa representação).

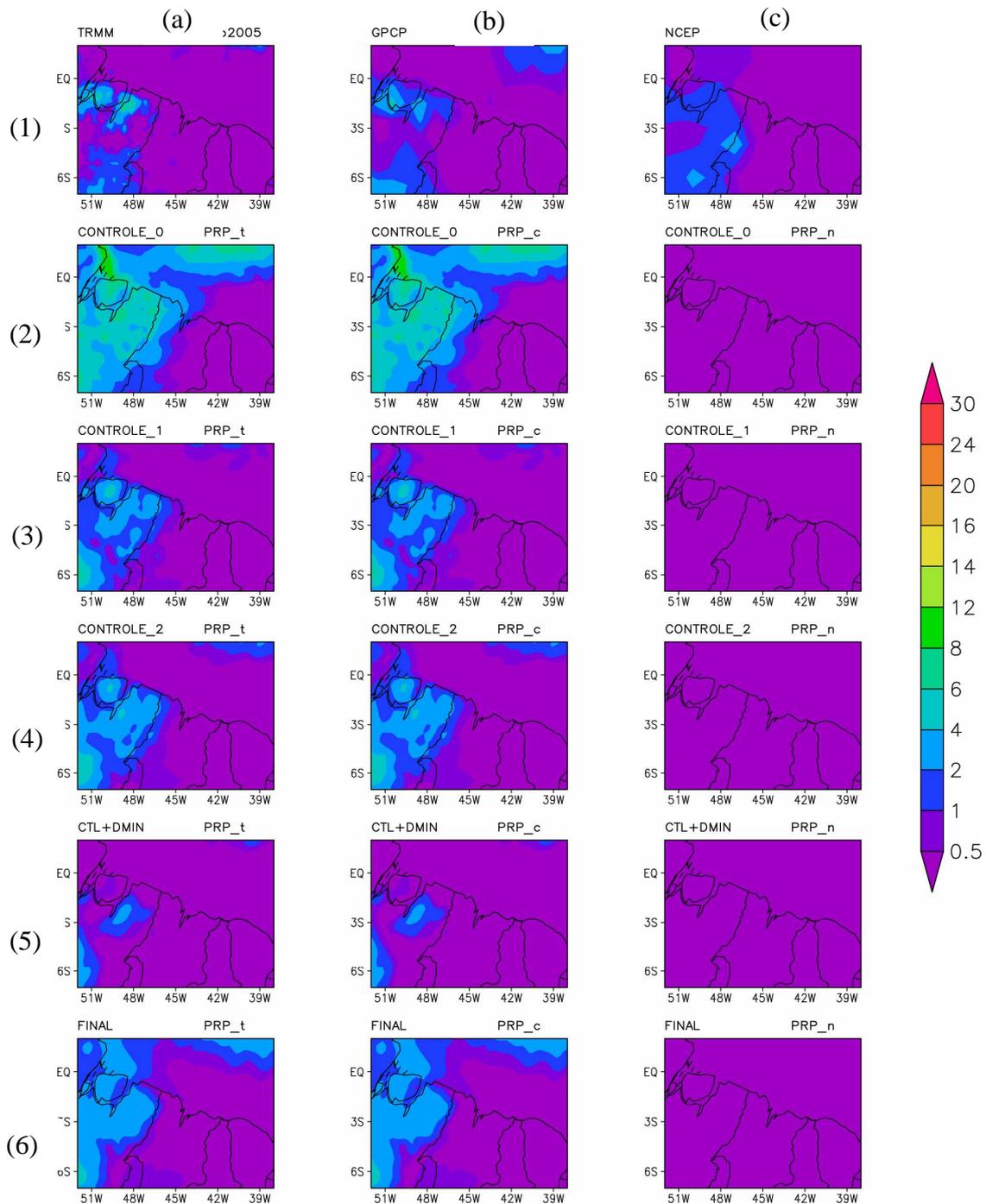


Figura 9.3 - Precipitação média (mm mês⁻¹) em setembro/2005. 1^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas: controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

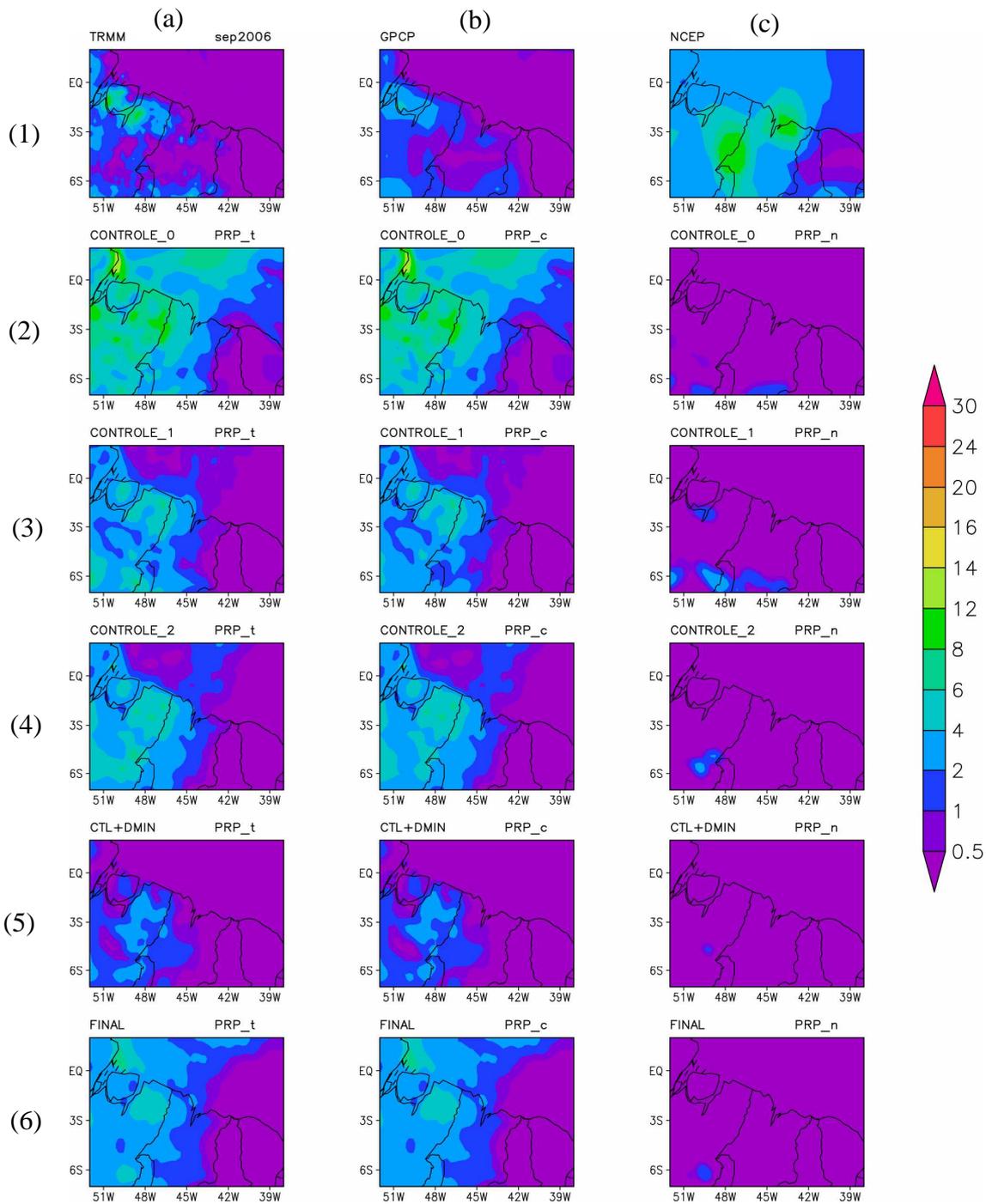


Figura 9.4 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) em setembro/2006. 1^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas: controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

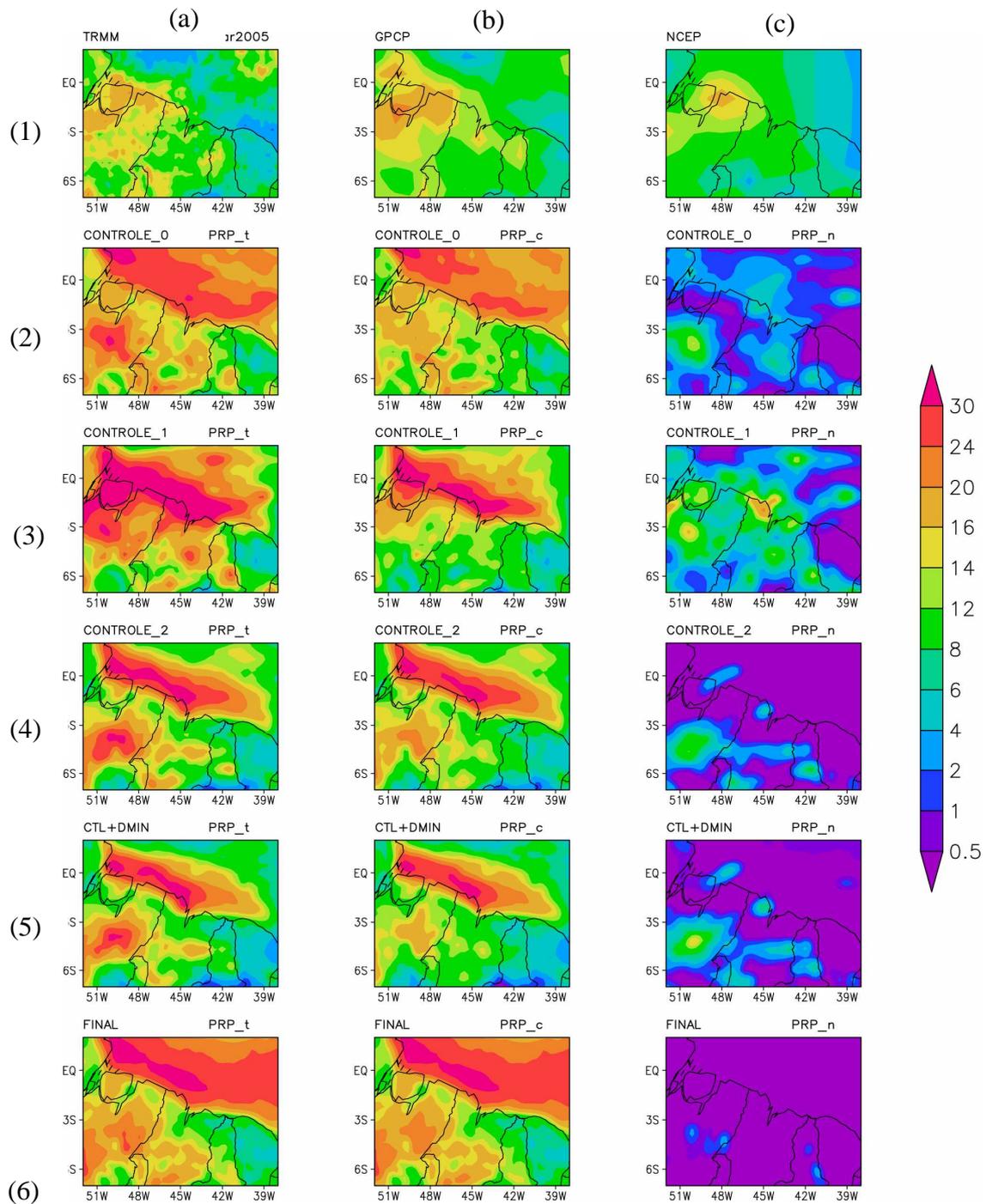


Figura 9.5 - Precipitação média (mm.mês^{-1}) em março/2005. 1^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

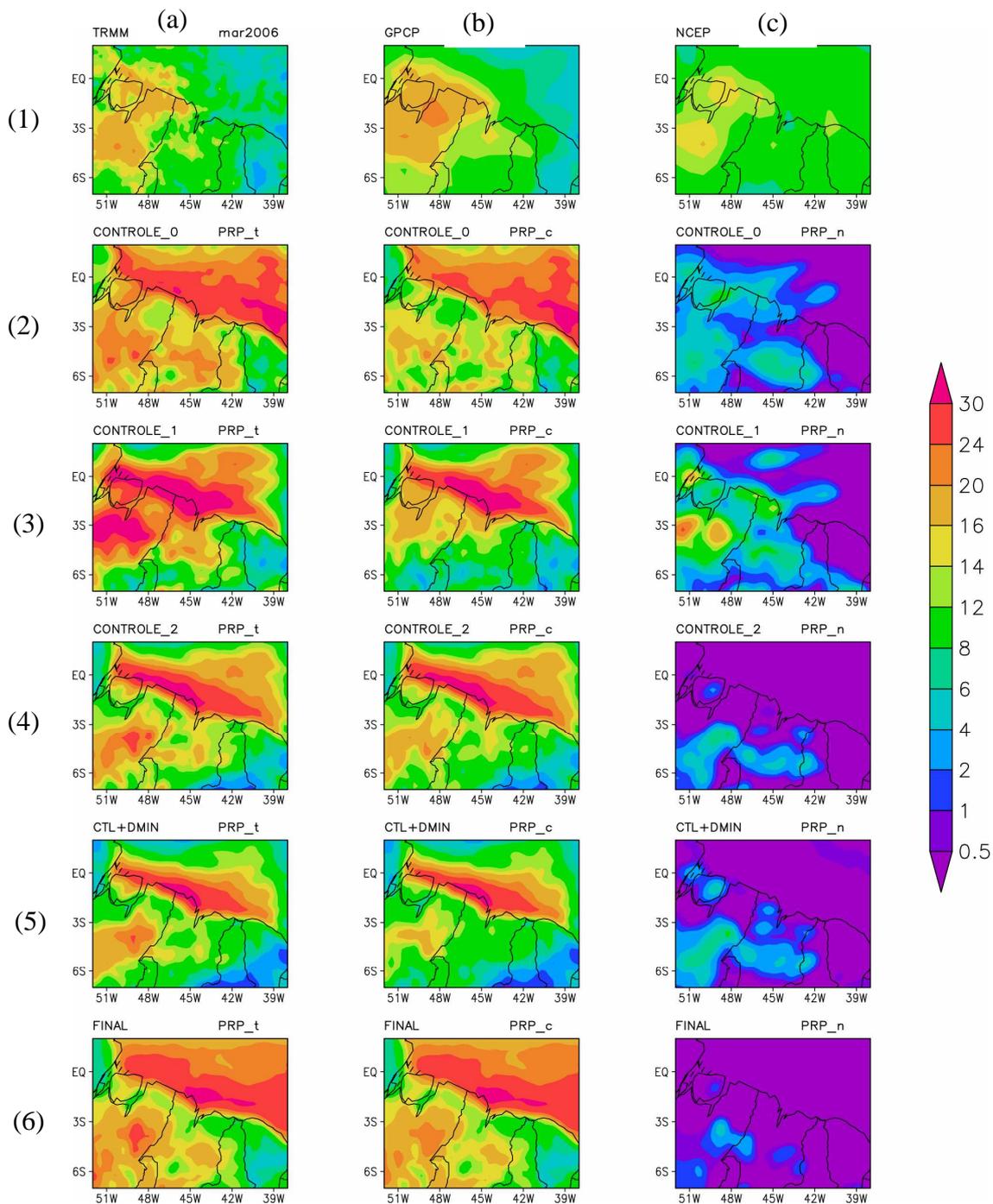


Figura 9.6 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) em março/2006. 1^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

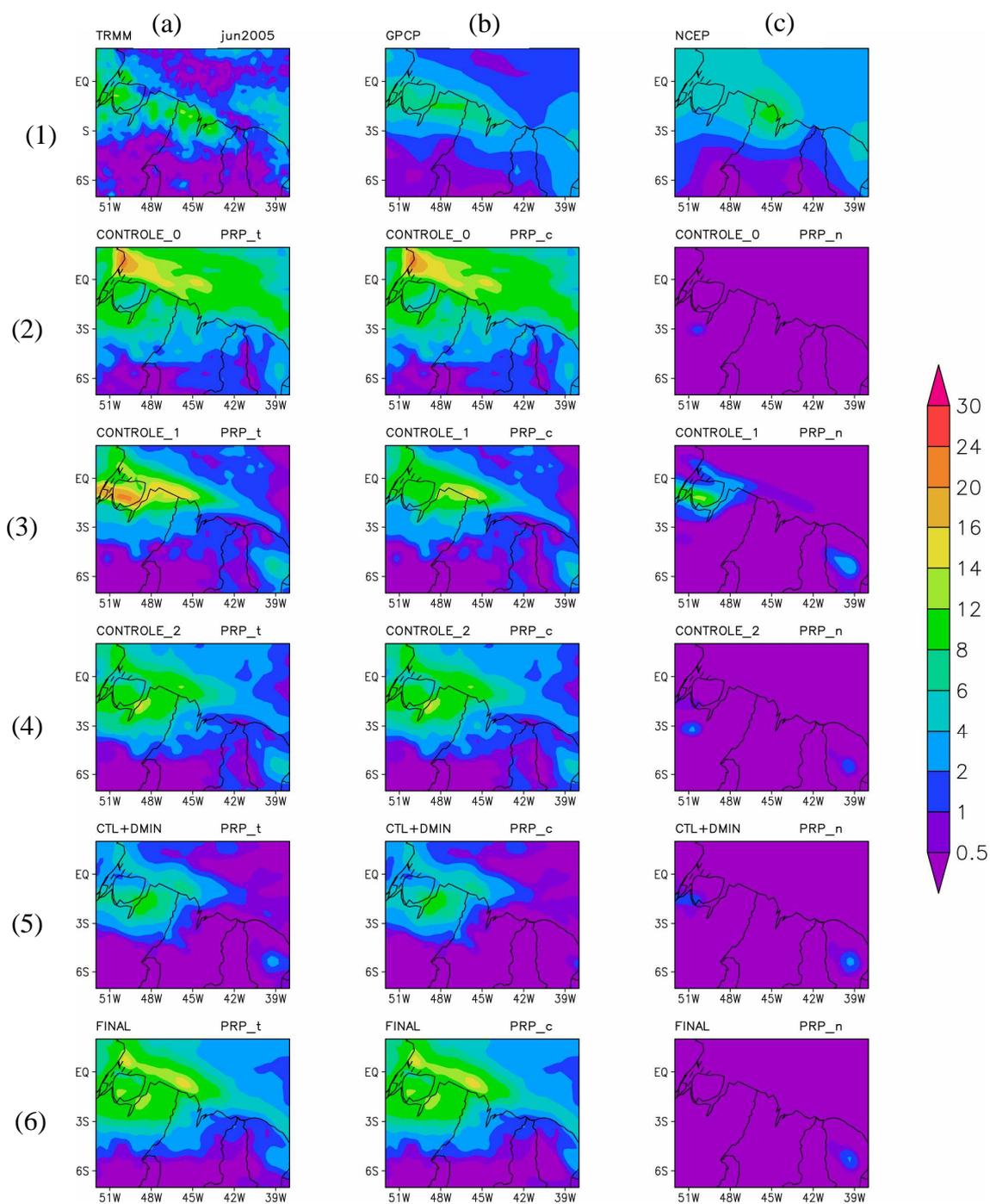


Figura 9.7 - Precipitação média (mm.mês^{-1}) em junho/2005. 1ª Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

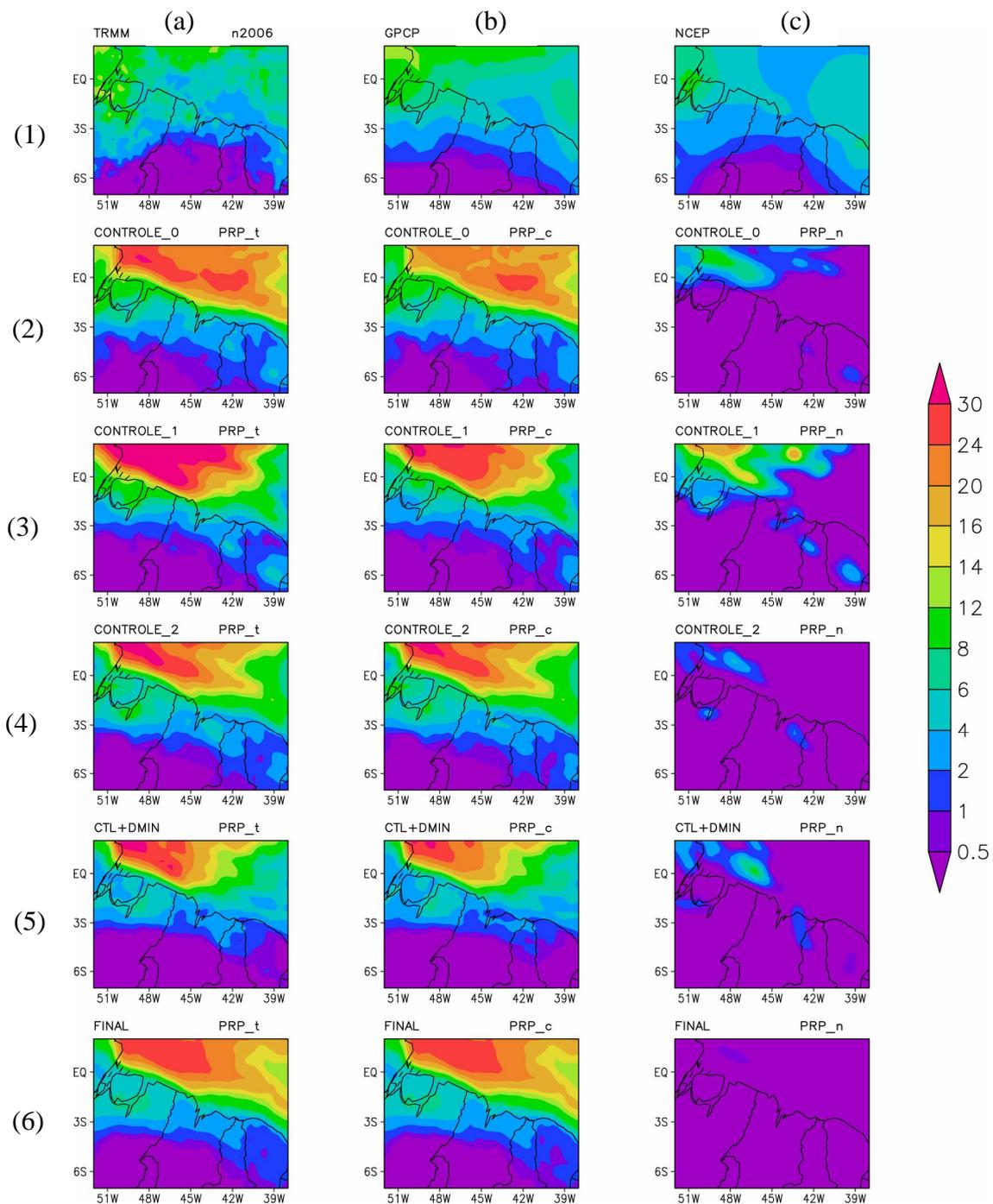


Figura 9.8 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) em junho/2006. 1^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

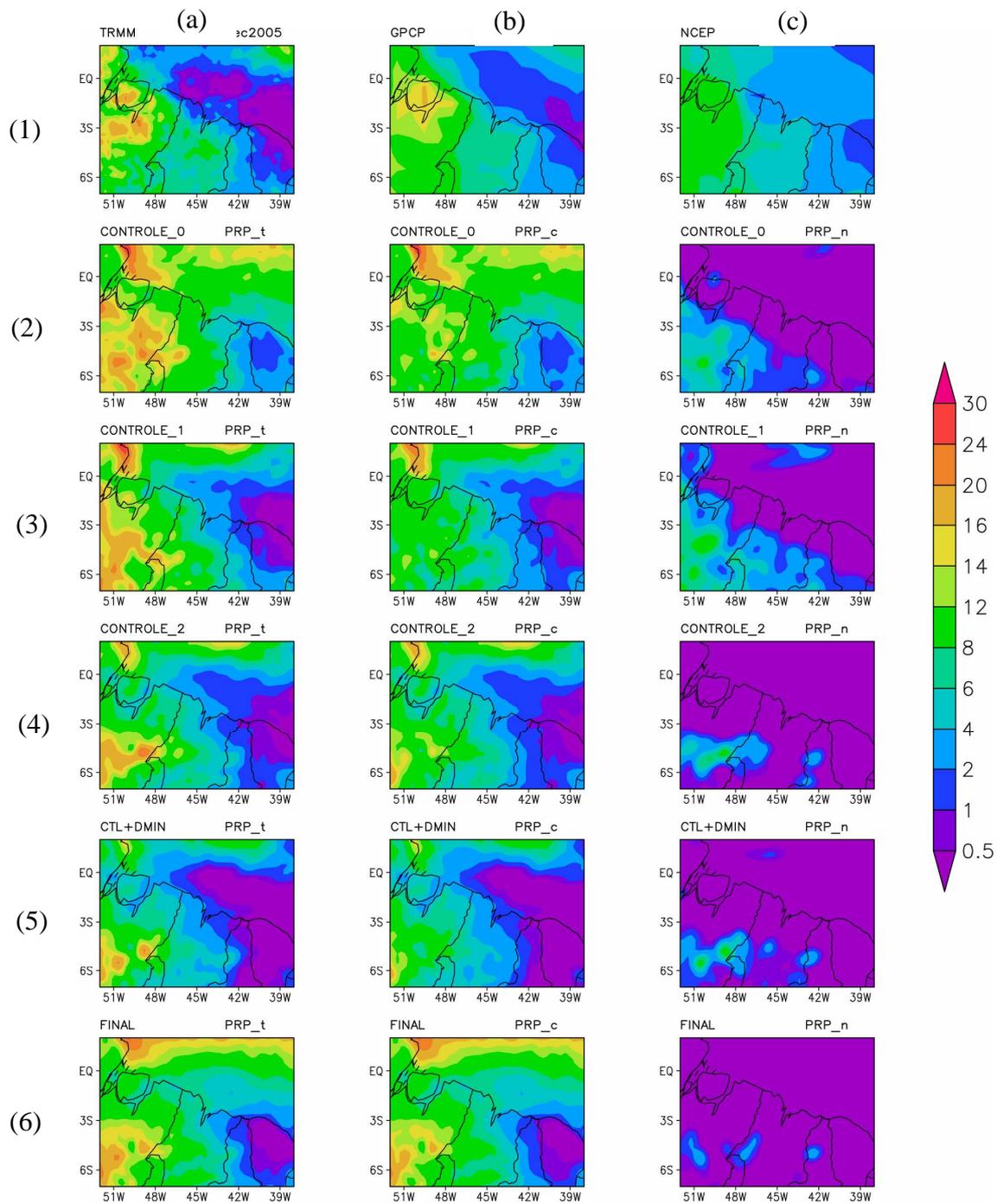


Figura 9.9 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) em dezembro/2005. 1^a Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas: controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

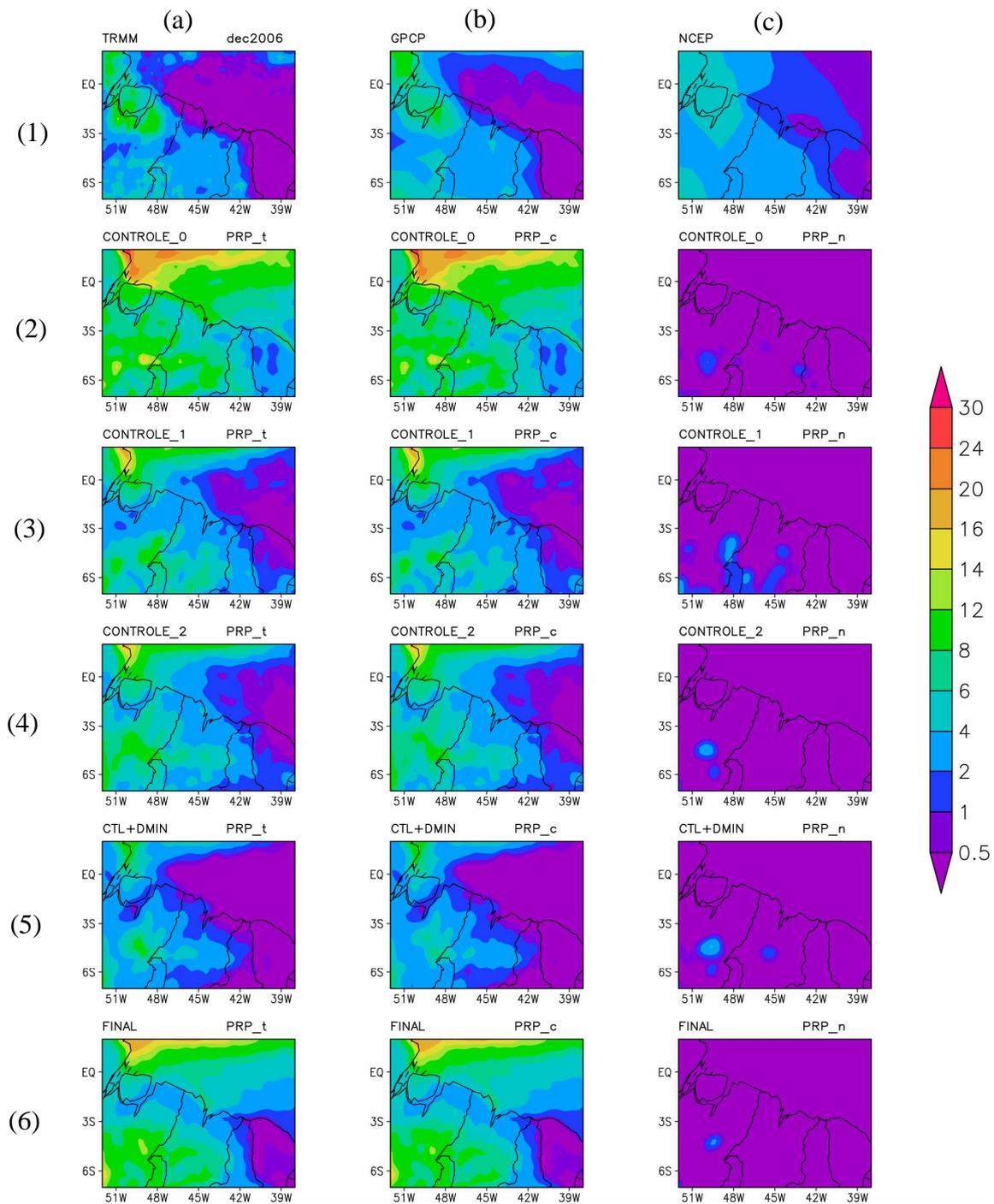


Figura 9.10 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) em dezembro/2006. 1ª Linha: campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Demais linhas; controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final com *PS* (a), *PC* (b) e *PN* (c).

10 VALIDAÇÃO PRELIMINAR PARA 2008

Realizou-se uma simulação para 2008 para fins de validação preliminar. Nas Figuras 10.1-2, pode-se notar que os ajustes levaram a uma melhor representação da precipitação sobre o CLA: os picos de CTL-1 na estação chuvosa foram corrigidos, e a sazonalidade foi melhor representada que CTL-0 e (em geral) CTL-1.

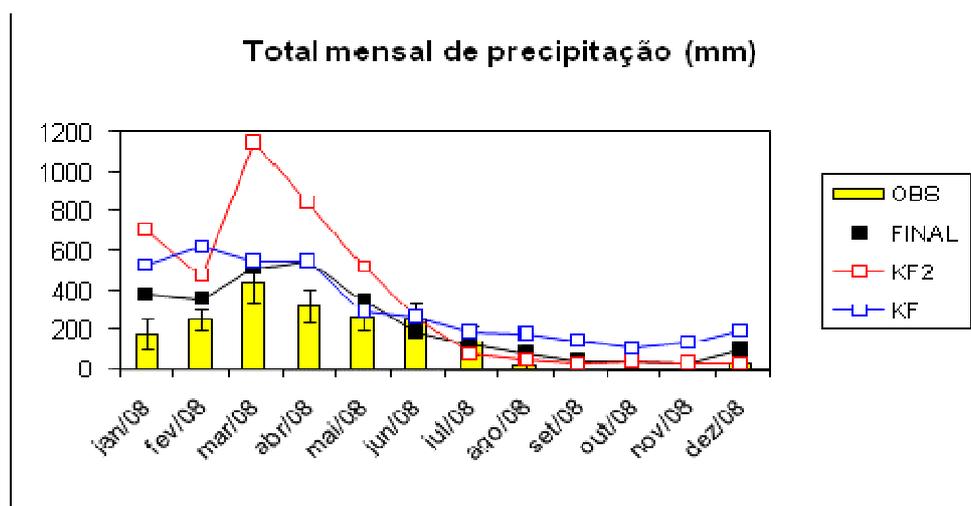


Figura 10.1 - Total mensal de precipitação no CLA (mm) para a validação 2008.

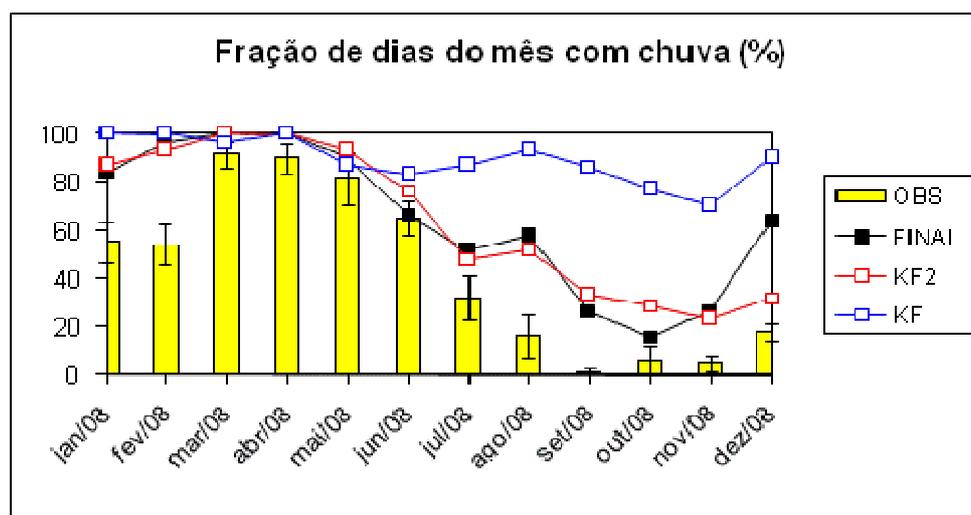


Figura 10.2 - Fração de dias do mês com chuva no CLA (%) para a validação 2008.

Em relação aos campos, os resultados foram semelhantes aos encontrados na simulação de 2005-2006: os ajustes não alteram o padrão de erros sobre o continente, apesar das melhorias sobre o CLA; a precipitação é melhor representada sobre o continente que sobre o oceano; ocorrem erros expressivos sobre o oceano. Embora o padrão de precipitação seja, em geral, melhor na simulação final, em alguns meses do ano isso pode não ocorrer (por exemplo, CTL-1 tem um padrão espacial de precipitação mais próximo do observado em setembro de 2008).

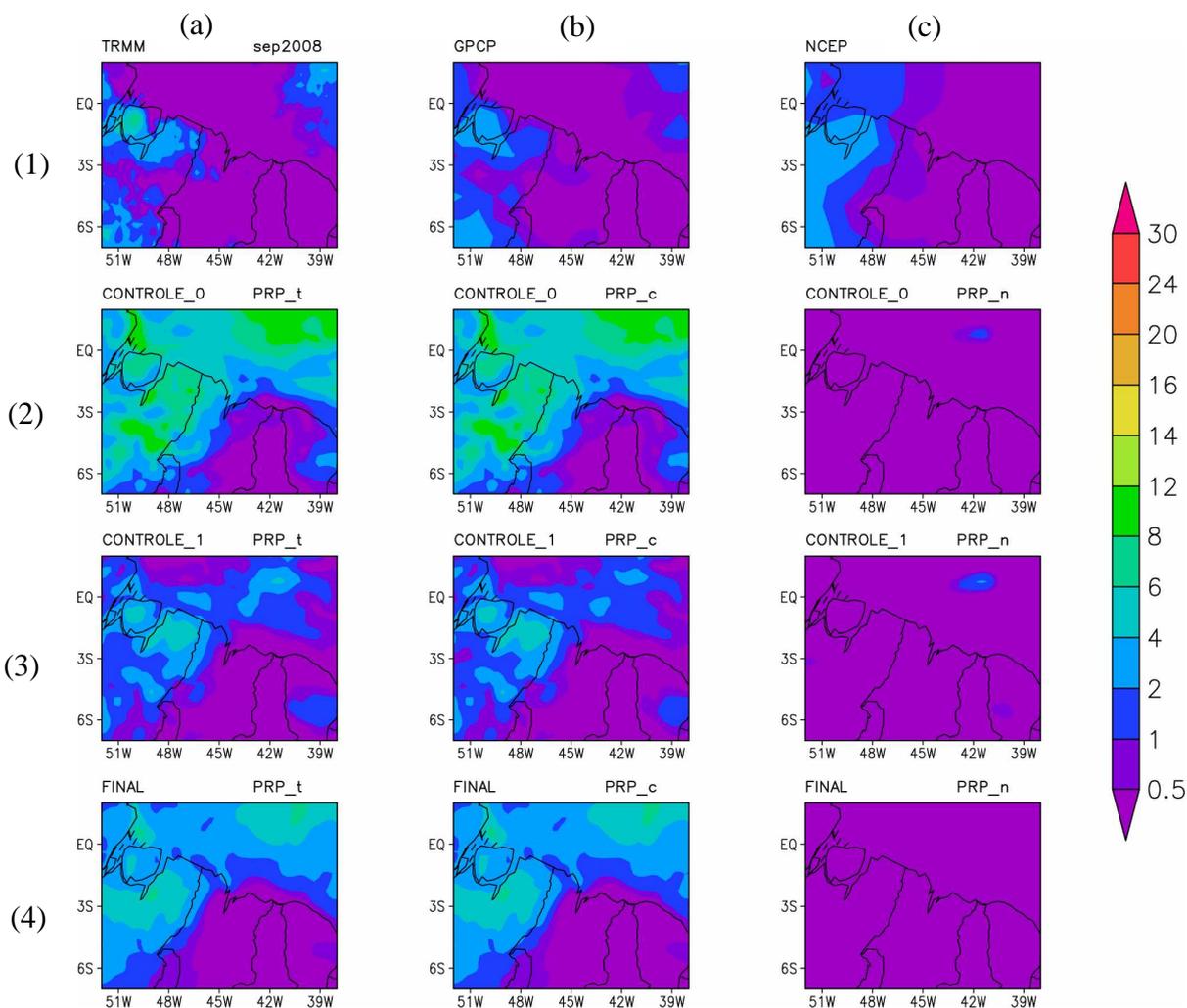


Figura 10.3 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) no mês de setembro de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1, e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).

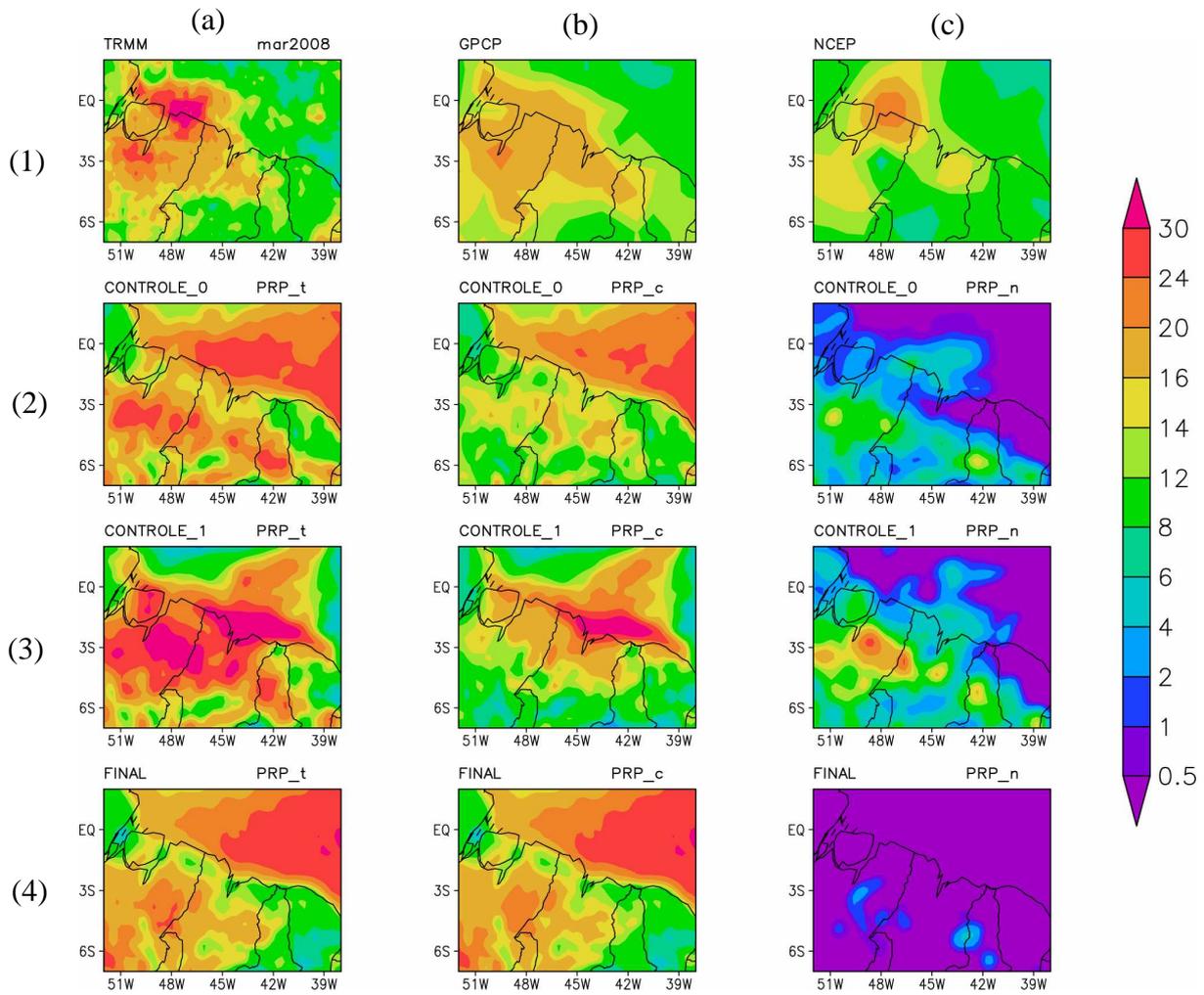


Figura 10.4 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) no mês de março de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1, 2, CTL-2 + Dmin e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).

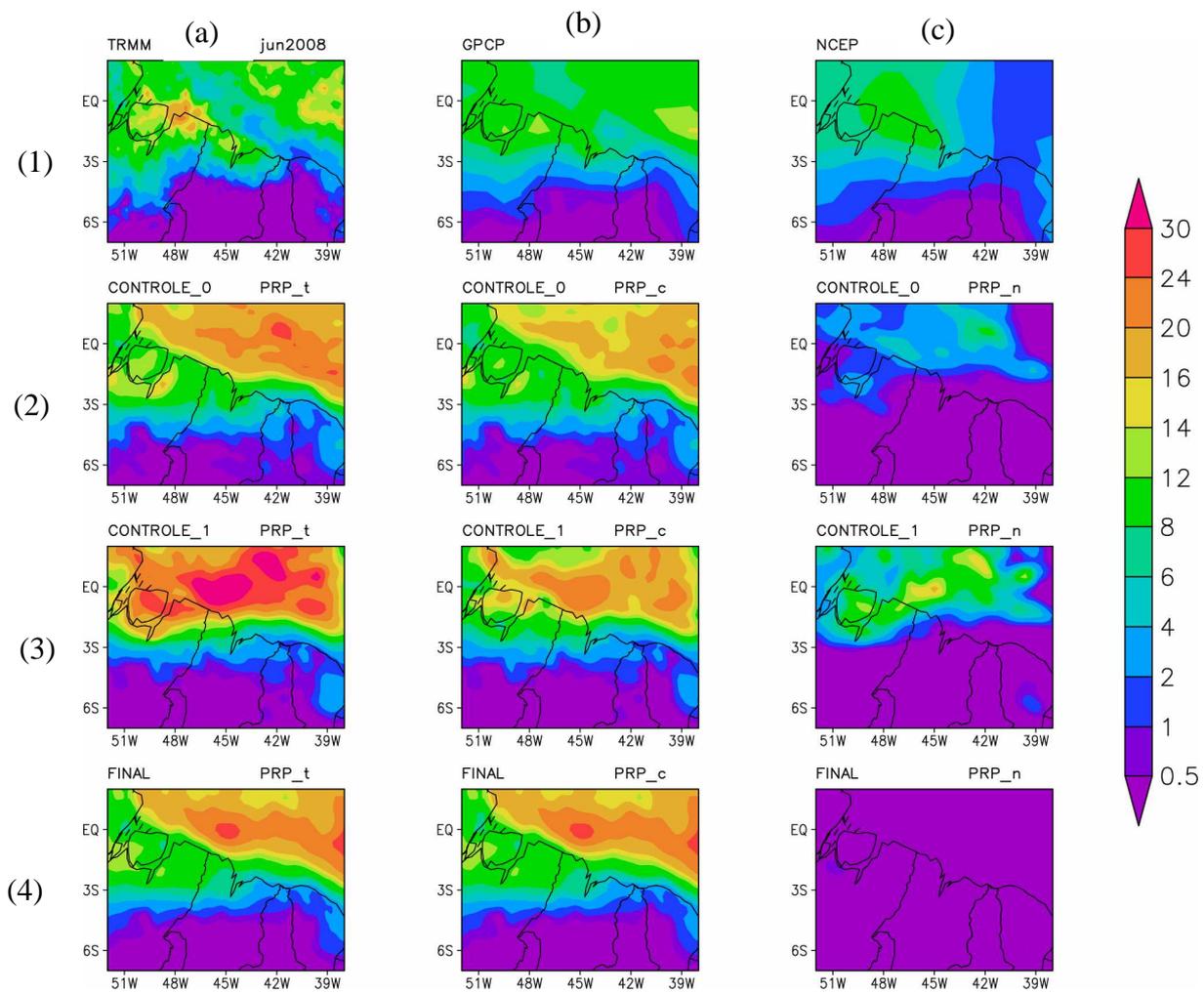


Figura 10.5 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) no mês de junho de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1, e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).

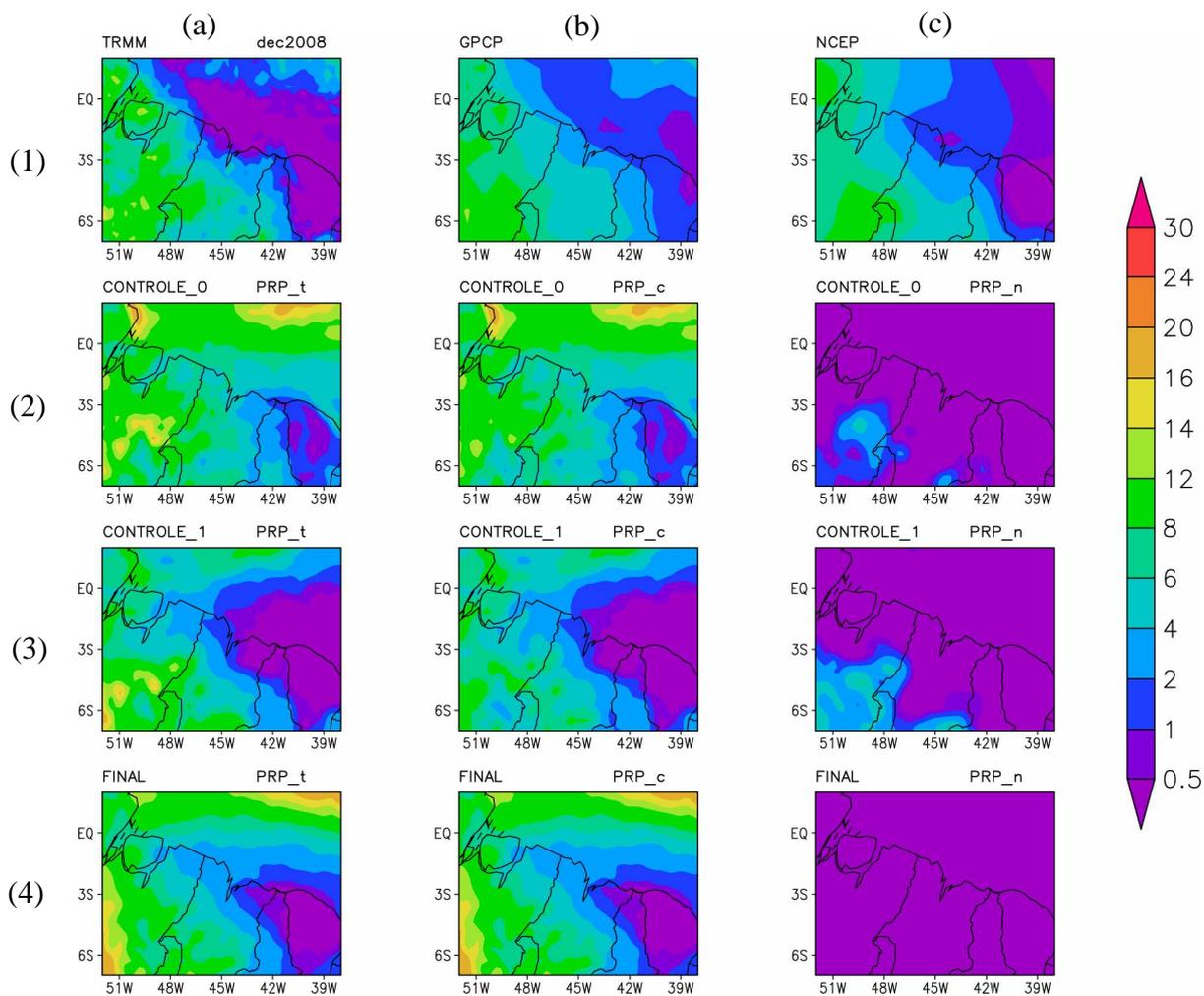


Figura 10.6 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) no mês de dezembro de 2008. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1 e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).

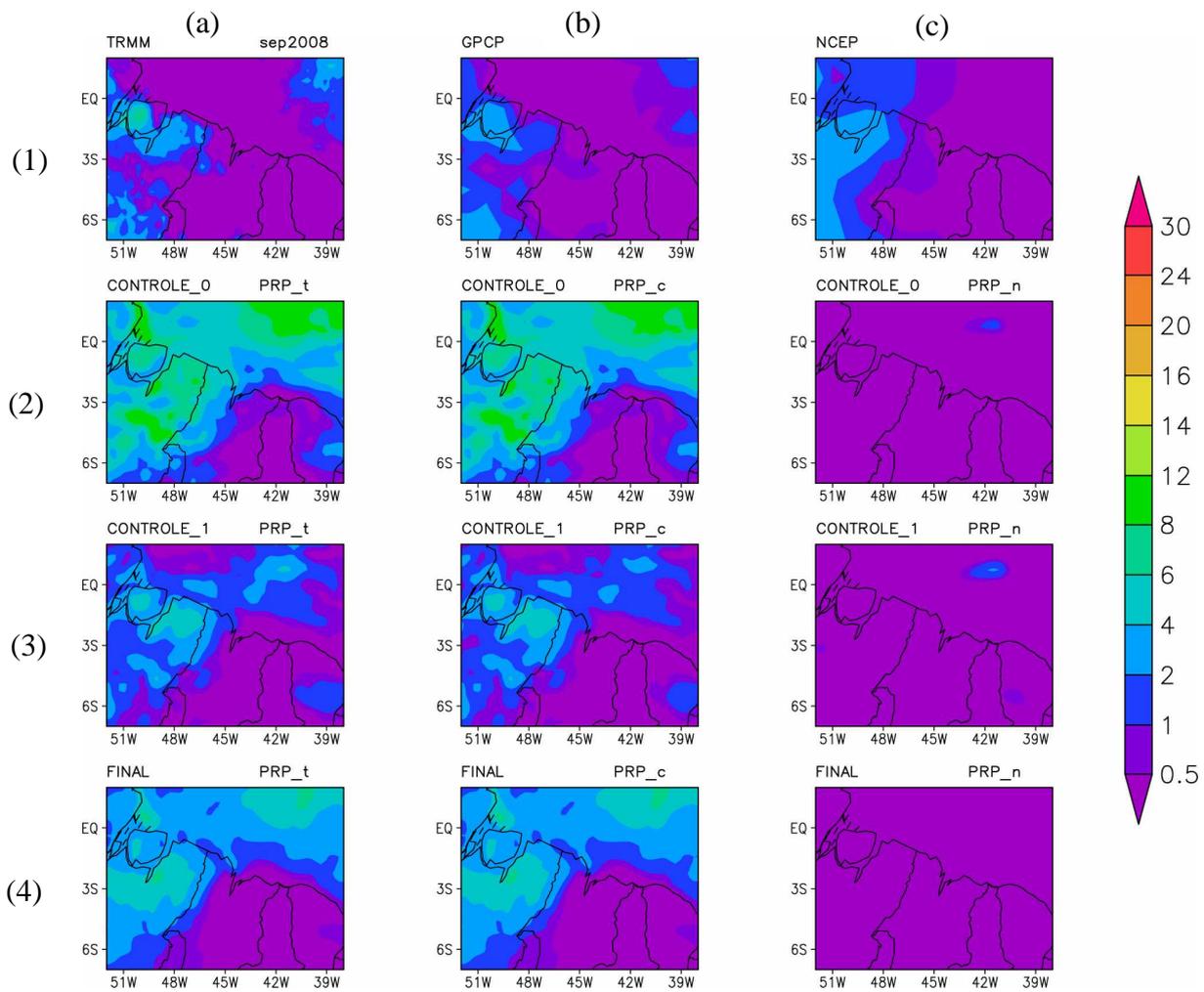


Figura 10.7 - Precipitação média (mm.mês⁻¹) no mês de setembro de 2006. Na linha 1 temos os campos observados com TRMM (coluna a), GPCP (coluna b) e NCEP (coluna c). Nas demais linhas têm-se as simulações com os controles 0, 1 e Final mostrando a precipitação total (a), convectiva (b) e não convectiva (c).

11 CONCLUSÕES

Ajustes na Função de Disparo da Convecção (FDC) do esquema KF2 foram realizados com o intuito de representar de forma mais realista a precipitação sobre a região do CLA. Os ajustes (calibração) foram realizados para o período de 2005-2006. Os principais ajustes foram:

- Utilização do esquema de convecção explícita “warm rain”, passo de tempo (em s) de duas vezes o espaçamento da grade (em km) e do esquema de convecção rasa de Grell juntamente com o “inline” no KF2;
- Aumento da profundidade de nuvem necessária para ativar a convecção (topo da nuvem deve ter temperatura abaixo de -20°C);
- Parâmetros como w_{\max} , WKL , R , e $c(z)$ dependentes do movimento vertical ascendente na coluna atmosférica (índice de ascendência, IA).

Os resultados mostraram que, com os ajustes:

- O total de precipitação e a fração dos dias do mês com chuva (F), em escala mensal, foram melhor representados;
- Reduziu-se o pico de total de precipitação nos meses mais chuvosos encontrado na simulação de controle;
- Conservou-se a boa sazonalidade de F da simulação de controle;
- Não houve mudanças no padrão espacial de erros para o domínio sobre o continente.

Em geral, a precipitação é melhor representada sobre o continente que sobre o oceano, onde se encontram erros expressivos.

A validação preliminar para 2008 mostrou resultados semelhantes aos da calibração, confirmando a utilidade dos ajustes propostos.

Neste trabalho, procurou-se apresentar detalhadamente as etapas de ajuste. Essa metodologia poderá ser empregada por outros grupos para ajustes em situações específicas. Especificamente para o CLA, a melhoria da representação da precipitação significa maior segurança nas operações de integração e lançamento de foguetes.

Para trabalhos futuros, o processo de ajuste poderá ser aprofundado para, por um lado, modificar e atenuar o padrão espacial de erros, particularmente sobre o oceano; por outro lado, para atenuar erros sistemáticos no ciclo diário simulado para o CLA. A seguir são apresentadas outras sugestões para trabalhos futuros.

- Usar estatísticas adicionais, por exemplo, erro quadrático médio, para caracterizar os erros da precipitação simulada na CLA;
- Usar TSM diária (em vez de semanal interpolada);
- Realizar ajustes sobre o continente sem incluir o oceano, por exemplo, usando uma máscara sobre o oceano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, C. J.; ARRITT, R. W. A Revised version of the Kain-Fritsch convective parameterization and its effects in seasonal simulations. **Mon. Wea. Rev.**, v. 126, p. 578–599, 2006.

ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, part I. **J. Atmos. Sci.** v. 31, n. 3, p. 674-701, 1974.

ARAKAWA, A.; LAMB, R. Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model. **Methods in computational physics**, v.17, p. 173-265, 1977.

BARRERA, D. F. Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against rain gauge observations. In: CONGRESSO DA IAHS, 7., 2005. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: IAHS, 2005.

BARROS, S. S. **Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara**: aspectos observacionais e de modelagem. 2008. 112 p. (INPE-15319-TDI/1362). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.13.43>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

BECHTOLD, P.; BAZILE, E.; GUICHARD, F.; MASCART, P.; RICHARD, E. A mass-flux convection scheme for regional and global models. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, v.127, p. 869-886, 2001.

BETTS, A. K.; MILLER, M. J. A new convective adjustment scheme. Part II: single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, v.112, p. 693-709, 1986.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. 1982. 133p. (INPE-2494-TDL/097). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São José dos Campos.

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

EMANUEL, K. A., 1991: A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **J. Atmos. Sci.**, v.48, p. 2313-2335.

FIGUEROA, S. N. **Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a America do Sul e suas simulações com modelos numéricos.** 1997-08. 181 p. (INPE-7121-TDI/672). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1997.

FRITSCH, J. M.; CHAPPELL, C.F. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I.: Convective Parameterization. **J. Atmos. Sci.**, v. 37, n. 8, p. 1722-1733, 1980.

GARRANA, D. Técnicas de baixo custo para previsão de mesoescala. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 11., 2001, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: [s.n], 2001. 1 CDROM.

GRAY, W. M.; JACOBSON, R. W. Diurnal variation of deep cumulus convection. **Mon. Wea. Rev.**, v.105, p. 1171-1188, 1977.

GRELL, G.A.; DUDHIA, J.; STAUFFER, D.R. **A Description of the fifth-generation penn state/NCAR Mesoscale Model (MM5).** Boulder, Colorado: NCAR, 1995. 122p. NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR.

GREGORY, D.; ROWNTREE, P. R. A mass flux convection scheme with representation of cloud ensemble characteristics and stability-dependent closure. **Mon. Wea. Rev.**, v.118, p.1483-1506, 1990.

HOUZE, R. A. Jr. Stratiform precipitation in regions of convection: A meteorological paradox? **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 78, p. 2179-2196, 1997.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 77, p. 437-471, 1996.

KAIN, J.S. The Kain-Fritsch convective parameterization: An Update. **J. Appl. Meteorol.**, v. 43, n.1, p. 170-181, 2004.
KAIN, J. S.; FRITSCH, J.M. A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. **J. Atmos. Sci.**, v. 47, n. 23, p. 2748-2802, 1990.

Chapter 16 – Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch Scheme, in meteorological monographs. **Amer. Meteor. Soc.**, v. 24, n. 46, 1993.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Mon. Wea. Rev.**, v. 108, p. 488 – 498, 1980.

KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A. T. C.; STOCKER, E.; ADLER, R. F.; HOU, A.; KAKAR, R.; WENTZ, F.; ASHCROFT, P.; KOZU, T. HONG, Y.; OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; KUROIWA, H.; IM, E.; HADDAD, Z.; HUFFMAN, G.; FERRIER, B.; OLSON, W. S.; ZIPSER, E.; SMITH, E. A.; WILHEIT, T. T.; NORTH, G. KRISHNAMURTI, T.; NAKAMURA, K. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **J. Appl. Meteorol.**, v. 39, p. 1965-1982, 2000.

KUO, H. L. On the formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. **J. Atmos. Sci.**, v. 22, p. 40-63, 1965.

KUO, H. L. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. **J. Atmos. Sci.** 31 , p. 1232 – 1240, 1974.

KUO, Y. H.; BRESH, J.F.; M. D; KAIN, J.; PARSONS, D. B.; TAO, W. K.; ZHANG, D. L. Summary of a mini workshop on cumulus parameterization for mesoscale models. **Bulletin of American Meteorology Society**, v.78, p. 475-491, 1997.

LEE, M. J.; LEE, D. K. Effects of Trigger Function in the Kain-Fritsch Cumulus Parameterization Scheme on Heavy Rainfall Simulation, **Journal of the Korean Meteorological Society**, v.42 , p. 397-410, 2006.

LIU, C.; MONCRIEFF, M. W. A. Numerical study of the diurnal cycle of tropical oceanic convection. **J. Atmos. Sci.**, v. 55, p. 2329-2344, 1998.

MAPES, B. E.; WARNER, T. T.; XU, M.; GOCHIS, D. J. Comparison of cumulus parameterizations and entrainment using domain-mean wind divergence in a regional model. **J. Atmos. Sci.**, v. 61, p. 1284–1295, 2004.

MARQUES, R. F. C.; FISCH, G. F. As atividades de meteorologia aeroespacial no Centro Técnico Aeroespacial (CTA). **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 21-25, 2005.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MOURA, A. D. Von Neumann e a previsão numérica de tempo e clima. **Estudos Avançados**, v.10, n. 26, p. 227-236 1996. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40141996000100021&script=sci_arttext
Acesso em: 09 fev. 2010.

ORLANSKI, I. A Radional subdivision of scales for atmospheric processes. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, n. 56, p. 529-530, 1975.

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**, São Paulo, v.21, n.1, p. 118-133, 2006.

PEREIRA, E. I.; MIRANDA, I.; FISCH, G. F.; MACHADO, L. A .T.; ALVES, M. A. S. **Atlas climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara**: relatório de desenvolvimento. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, 2002. ACA/RT-01/01, GDO-000000/B0047.

RANDALL, D. A.; HARSHVARDHAN; DAZLICH, A. Diurnal variability of the hydrologic cycle in a general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, v. 48, p. 40-62, 1991.

REYNOLDS, R.W.; RAYNER, N.A.; SMITH, T.M.; STOKES, D.C.; WANG, W. An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate. **J.Climate**, v.15, p.1609-1625, 2002.

ROCHA, R. P. **Impacto de parametrizações de convecção em ciclogênese sobre o oceano**. 2000-08. 181 p. (INPE-7505-TDI/720). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 2000.

STENSRUD, D. J. Parameterization schemes. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, p.459, 2007.

TAVARES, P. S. **Um estudo observacional da incursão de sistemas frontais no Nordeste Brasileiro e sua influência na atmosfera do Centro de Lançamento de**

Alcântara (CLA). 03/04/2008. 152 p. (INPE--T/). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.19.20.01>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

TIEDKE, M. A Comprehensive Mass Flux Scheme for Cumulus Parameterization in Large-Scale Models. **Mon. Wea. Rev.**, v. 117, n. 8, p. 1779-1800, 1989.

TRUONG, N.M.; TIEN, T.T, PIELKE; R. A.; CASTRO, C.L.; LEONCINI, G.: A Modified kain-fritsch scheme and its application for simulation of an extreme precipitation event in vietnam. **Mon. Wea. Rev.** v137, p.766-789, 2009.

VIZY, E. K.; COOK, K. H. Evaluation of last glacial maximum sea surface temperature reconstructions through their influence on South American climate. **J. Geophys. Res.** 110, 2005.

YANG, S.; SMITH, E. A. Mechanisms for diurnal variability of global tropical rainfall observed from TRMM. **J.Climate**, v.19, p. 5190-5226, 2006.

WANG, W.; SEAMAN, N. L. A comparison Study of convective parameterization schemes in a mesoscale model. **Mon. Wea. Rev.**, v.125, p. 252-278, 1997.

WARNER, T. T.; MAPES, B. E.; XU, M. Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America. Part II: Model simulations. **Mon. Wea. Rev.**, v.131, p. 813-829.

WELCH, R.; SONG, A., BELTRAN-PRZEKURAT, A.; STARRY MANOHARAN, V.; COHEN, C.; PIELKE, R. A. An application of the Kain-Fritsch cumulus parameterization to a tropical environment with/without nudging. **Mon. Wea. Rev.** Submitted.

WILSON, C. T. R. Investigations on lightning discharges and on the electric field. **Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A** 221, p.73–115, 1920.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)