



RELATÓRIO Nº 5

Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais



Jose A. Marengo
Lincoln M. Alves
Maria C. Valverde
Rosmeri Porfirio da Rocha
Renaud Laborbe



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA
SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS - SBF
DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE –
DCBio**

Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade

Sub projeto:

**Caracterização do clima atual e definição das
alterações climáticas para o território
brasileiro ao longo do Século XXI**

Relatório 5

**Eventos extremos em cenários regionalizados de
clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI:
Projeções de clima futuro usando três modelos
regionais.**

**Jose A. Marengo¹
Lincoln M. Alves¹
Maria C. Valverde¹
Renaud Laborbe¹
Rosmeri Porfirio da Rocha²**

**¹CPTEC/INPE
²IAG/USP
São Paulo, Brasil**

2007

Equipe Científica:

Jose A. Marengo, Coordenador, CPTEC/INPE, SP

Carlos A. Nobre, CPTEC/INPE, SP

Igor Pishchenko, CPTEC/INPE, SP

Tatiana Tarasova, CPTEC/INPE, SP

María Valverde, CPTEC/INPE, SP

Renaud Laborbe, CPTEC/INPE, SP

Guillermo Obregón, CPTEC/INPE, SP

Julio P. Reyes Fernandez, CPTEC/INPE, SP

Wagner R. Soares, CPTEC/INPE, SP

Lincoln M. Alves, CPTEC/INPE, SP

Tercio Ambrizzi, IAG/USP, SP

Rosemeri P. Rocha, IAG/USP, SP

Simone T. Ferraz, IAG/USP, SP

Santiago. V. Quadra, IAG/USP

Eneas Salati, FBDS, RJ

Eneida Salati, FBDS, RJ

Tatiana Campanhol, FBDS, RJ

Nilson Villa Nova, ESALQ/USP, SP

Apoio Administrativo:

Diana Raigoza, CPTEC/INPE, SP

Evanize Fidalgo, CPTEC/INPE, SP

Josiane C. M. de Oliveira, CPTEC/INPE, SP

Letícia Maria Barbosa de Faria, CPTEC/INPE, SP

ÍNDICE

	Pág.
Agradecimentos	02
Apresentação	03
Índice de Siglas	05
Índice de Tabelas	06
Índice de Figuras	07
Capítulo 1	08
<i>Introdução</i>	
Capítulo 2	19
<i>Antecedentes e estudos de extremos climáticos no Brasil</i>	
<i>Revisão de Literatura</i>	
2.1 <i>Extremos de Chuva</i>	19
2.2 <i>Extremos de Temperatura</i>	23
2.3 <i>Modelagem na mudança de extremos climáticos</i>	27
Capítulo 3	29
<i>Índices de extremos climáticos</i>	
3.1 <i>Índices Baseados na Precipitação</i>	29
3.2 <i>Índices Baseados na Temperatura</i>	29
Capítulo 4	30
<i>Análises de extremos usando os índices climáticos para o clima do presente derivado dos modelos globais do IPCC AR4</i>	
4.1 <i>Eventos Extremos observados</i>	30
4.2 <i>Eventos extremos simulados pelos modelos globais do IPCC AR4</i>	30
4.3 <i>Metodologia e processamento de dados observados e dos modelos</i>	31
4.4 <i>Extremos climáticos de temperatura e chuva para clima do presente segundo os modelos globais de IPCC AR4</i>	32
4.4.1 <i>Temperatura do Ar</i>	33
4.4.2 <i>Tendências regionais da variabilidade interanual de TN90 e R10</i>	35
4.4.3 <i>Variações na PDF (Função de densidade de probabilidades) de TN90 e R10</i>	41
Capítulo 5	46
<i>Análises de extremos usando os índices climáticos para o clima do futuro derivado dos modelos globais do IPCC AR4</i>	
Capítulo 6	50
<i>Análise de extremos climáticos no presente e do futuro derivados do modelo regional HadRM3 (PRECIS) e downscaling do HadAM3P</i>	
6.1 <i>Índices de extremos simulados pelo modelo regional HadRM3P para o clima do presente</i>	50
Capítulo 7	62
<i>Considerações finais e conclusões</i>	
Apêndice 1	64
<i>Lista de índices de extremos de clima (Frisch et al. 2002)</i>	
Apêndice 2	66
<i>Projeções climáticas de extremos para o futuro: Modelos ETA – REGCM3</i>	
Referências	70

Agradecimentos

Este documento é derivado principalmente dos resultados dos projetos “*Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XX*”, apoiado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, financiado pelo MMA/BIRD/GEF/CNPq, e pelo Global Opportunity Fund-GOF do Reino Unido, através do projeto “*Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South América*”, e do Programa Nacional de Mudanças Climáticas do MCT. Os pesquisadores do projeto agradecem ao CNPq pelas outorga de bolsas de pesquisa para os colaboradores e de bolsas de produtividade na pesquisa para os líderes do projeto. Outras fontes de financiamento incluem o Programa Nacional de Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência e Tecnologia, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (*FAPESP-Projeto de Pesquisa Temático 01/13816-1*), o Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq através do Projeto *Instituto do Milênio LBA II, o Projeto GEOMA (Tema Modelagem Climática)* e o Instituto Inter-Americano de Pesquisas sobre Mudanças Globais-Projeto IAI-*PROSUR CRN55*. Grande parte do material incluído neste documento é resultado de estudos publicados pelos autores na literatura nacional e internacional, assim como da revisão de trabalhos realizada para a preparação do Quarto Relatório Científico AR4 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

Estendemos nosso agradecimento ao Centro Técnico Aeroespacial-CTA, Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, a Agência Nacional de Águas-ANA, o CPTEC/INPE, o Instituto Agrônômico de Paraná-IAPAR, e Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo-DAEE pelo fornecimento de informações meteorológicas. Um agradecimento muito especial vai para o Hadley Centre for Climate Research and Prediction, do Reino Unido, por fornecer dados do modelo global HadAM3P que servem de condições de contorno para as simulações dos modelos regionais, e ao IPCC – Data Distribution Centre (DDC) por fornecer as saídas de modelos climáticos globais do IPCC-TAR e AR4 analisados neste relatório. As simulações dos modelos climáticos regionais foram feitas CPTEC-INPE e no IAG/USP, e agradecemos a Dra. Maria Assunção F. Da Silva Dias, Coordenadora Geral do CPTEC por facilitar o uso do supercomputador NEC SX-6 para rodar o modelo Eta/CPTEC.

Estendemos nosso agradecimento a Júlio C. Roma do MMA pelo seu apoio durante o desenvolvimento do projeto, a Hélio Camargo, Letícia Faria, Regina S. Alvalá entre outros pelo apoio na produção de figuras e mapas que fazem parte dos relatórios.

Apresentação

O presente relatório mostra os resultados de estudos observacionais e de modelagem de extremos climáticos. Foi elaborado em conjunto pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) e o Grupo de Estudos Climáticos (GrEC) do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. As análises incluem estudos de tendências de índices de extremos climáticos durante o período 1961-2000 com a finalidade de identificar tendências observadas em extremos de chuva e temperatura no Brasil. Devido à falta de informação confiável as análises são feitas principalmente para o Sudeste e Sul do Brasil. Também são avaliadas as tendências projetadas pelos modelos climáticos do IPCC AR4 para o cenário A1B para segunda metade do Século XXI. Finalmente são avaliadas as projeções de extremos para os cenários A2 e B2 na segunda metade do Século XXI derivadas de três modelos regionais climáticos (MRC) que foram integrados usando dados iniciais obtidos de um modelo global de circulação atmosfera (MCGA) HadAM3P tanto para o clima presente, para validação do próprio modelo, como para o clima futuro. Este documento constitui o Relatório 5 do Projeto PROBIO sobre cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI, através de projeções de clima e extremos climáticos usando três modelos climáticos e dados de modelos climáticos globais do IPCC-AR4.

Através das análises de dois conjuntos dos dados observacionais durante os últimos 50 anos, pode se observar um aumento gradativo de extremos de chuva e de temperaturas noturnas, levando a um aumento gradativo na frequência de noites quentes (e redução de noites frias), que sugerem aumento na tendência das temperaturas mínimas, indicador de aquecimento. As projeções de extremos de chuva e temperatura nos 30 anos de simulações de cenários climáticos para o período de 2070-2100, uma para o cenário de emissão A2 e o outro para B2 do IPCC, mostram aumentos nas tendências de noites e dias quentes, assim como de eventos extremos de chuva. Estas tendências são consistentes com uma continuidade na intensificação das tendências observadas nos últimos 50 anos no Sudeste, Centro Oeste e Sul do Brasil, com chuvas mais violentas. Para outras regiões no Brasil tropical não temos como validar os cenários presentes de extremos,

mas, aparentemente, o aumento nos extremos de chuva e temperatura também está presente. Nos cenários extremos mostram ainda maiores certezas e incertezas inerentes aos resultados obtidos através da modelagem numérica que serão discutidas nas conclusões finais.

Índice de Siglas

AR4	<i>Fourth Assessment Report-IPCC (Quarto Relatório de Avaliação)</i>
BIRD	<i>Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (Banco Mundial)</i>
CCCMA	<i>Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (Canada)</i>
CEPAGRI-UNICAMP	<i>Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura-Universidade de Campinas</i>
CNPq	<i>Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico</i>
CNRM	<i>Centre National de Recherches Meteorologiques (França)</i>
CPTEC	<i>Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos</i>
CRU	<i>Climate Research Unit (UK)</i>
CTA	<i>Centro Técnico Aeroespacial</i>
DTR	<i>Diurnal Temperature Range</i>
FAPESP	<i>Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo</i>
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
GFDL	<i>Geophysical Fluid Dynamic Laboratory (EUA)</i>
GOF	<i>Global Opportunity Fund (UK)</i>
IAG	<i>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas</i>
INMET	<i>Instituto Nacional de Meteorologia</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPCC - DDC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change – Data Distribution Centre</i>
MMA	<i>Ministério do Meio Ambiente</i>
OMM	<i>Organização Meteorológica Mundial</i>
PCM	<i>Parallel Climate Model (EUA)</i>
PNUMA	<i>Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente</i>
PROBIO	<i>Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira</i>
SALLJ	<i>South American Low Level Jet East of the Andes</i>
TAR	<i>Third Assessment Report-IPCC (Terceiro Relatório de Avaliação)</i>
TSM	<i>Temperatura da Superfície do Mar</i>
USP	<i>Universidade de São Paulo</i>
ZCAS	<i>Zona de Convergência do Atlântico Sul</i>

Índice de Tabelas

Tabela	Descrição	Pág.
Tabela 1	Valores de SPI associados a classificação da estiagem	16
Tabela 2	Tabela 2. Lista de eventos de tempo frio no Estado de São Paulo - Brasil, e sua intensidade (Marshall, 1983, Marengo & Rogers, 2000), atualizada por J. Zullo (CEPAGRI-UNICAMP/São Paulo). Não foi registrado nenhum evento que tenha afetado o café, após os ocorridos no inverno de 1994. A intensidade foi definida como Fr=Fraca, M=Moderada, FO=Forte, MI=Muito intensa.	25

Índice de Figuras

Figuras	Descrição	Pág.
Figura 1	Anomalias de chuva de Setembro 2000 a Maio 2001, em mm/mes (Cavalcanti e Kouksy 2001).	10
Figura 2	Esquerda: Imagem de satélite do Furação Catarina de Marco 27 2004 e fotos de danos produzidos em Torres-RS. Direita: Projeções do Modelo do Hadley Centre HadCM3 para 2071-2100, cenário pessimista A2. As áreas em vermelho apresentam áreas com condições favoráveis para a desenvolvimento de ciclones extratropicais, e a linha preta mostra a trajetória do Catarina (Fonte: B. McDonald, Hadley Centre UK).	11
Figura 3	Índices de chuva para Amazônia do Sul durante a estação chuvosa DJFM de 1950 a 2005. Dados de chuva são de várias fontes. Anomalias são em mm/dia, e são calculadas usando vários períodos de referência. Flechas indicam anos com ocorrência de grandes secas (Marengo et al. 2006).	12
Figura 4	Anomalias de chuva durante anos de El Niño, La Niña, o Atlântico tropical norte mais quente (ou Atlântico tropical sul mais frio), e Atlântico tropical Norte mais frio (ou Atlântico tropical sul mais quente) (Ronchail et al. 2002).	13
Figura 5	Índice de chuva normalizado para a região Sul.	14
Figura 6	Frequência (%) de ventos extremos de chuva durante compostos de LLJ mais fracos (esquerda) e mais intensos (direita) nos meses de verão.	20
Figura 7	Tendência de episódios de chuva intensa na América do Sul definidos pelo índice R10 (número de dias com mais de 10 mm) e pelo índice de extremos de chuva intensa definido pelo índice R95t (fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95 th), para o período de 1961-2000. Escala de cores aparece na parte inferior do mapa.	23
Figura 8	Tendências nas frequências (em %) de noites quentes (TN90P) e frias (TN10P), e de dias quentes (TX90P) e frios (TX10P) em Campinas e Água Funda, São Paulo. Índices são definidos em Vincent et al. (2005). (Fonte: T. Ambrizzi, IAG/USP).	26
Figura 9	Tendência de noites quentes na América do Sul definidos pelo índice TN90 para o período de 1961-2000. O painel da esquerda apresenta os valores para cada estação e da direita mostra os valores interpolados. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.	27
Figura 10	Caraterização dos oito modelos globais do IPCC AR4 utilizados nestas análises.	31
Figura 11	Tendência de TN90 de 6 modelos globais de IPCC AR4 e de observações durante o período de 1960-2000.	34
Figura 12	Tendência de R10 de 6 modelos globais de IPCC AR4 e de observações durante o período de 1960-2000.	36
Figura 13	Variabilidade interanual dos índices TN90 (painel superior, em %) e R10 (painel inferior, em número de dias) para os 6 modelos de IPCC AR4 e observações numa área de Sudeste da América do Sul.	38
Figura 14	Variabilidade interanual dos índices TN90 (painel superior, em %) e R10 (painel inferior, em número de dias) para os 6 modelos de IPCC AR4 e observações numa área do Norte da Argentina.	39
Figura 15	Variabilidade interanual dos índices TN90 (painel superior, em %) e R10 (painel inferior, em número de dias) para os 6 modelos de IPCC AR4 e observações numa área do sul do Chile.	40
Figura 16	Probability Density Function (PDF) dos 7 modelos de IPCC AR4 e de observações.	44
Figura 17	Médias dos nove modelos de IPCC AR4 usados por Tebaldi et al (2006) para definir tendências de extremos climáticos na América do Sul. O cenário usado é A1B para o período 2080-2099 em relação ao clima do presente 1980-1999. Os valores apresentados em cada ponto de grade têm sido estandarizados e depois a média dos modelos foi calculada. Regiões com pontos pretos correspondem a áreas onde ao menos cinco dos nove modelos apresentam o mesmo sinal da tendência estatisticamente significativa. As escalas de cor aparecem na parte inferior de cada mapa. Os índices aparecem listados no Apêndice 1 (Fonte: Tebaldi et al. 2006).	48
Figura 18	Tendências observadas de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa. Período é de 1961-90.	54
Figura 19	Tendências simuladas pelo modelo regional HadRM3 de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa. Período é de 1961-90.	56
Figura 20	Tendências projetadas pelo modelo regional HadRM3, cenário B2, período 2071-2100 de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.	58
Figura 21	Tendências projetadas pelo modelo regional HadRM3, cenário A2, período 2071-2100 de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.	60

CAPÍTULO 1

Introdução

Tradicionalmente, a temperatura do ar e a precipitação são consideradas indicadores clássicas de mudanças de clima. Porém, é geralmente aceito que as mudanças nos padrões de precipitação e chuva, e dos eventos extremos podem ter fortes impactos no meio ambiente e na sociedade, ainda que as tendências na precipitação acumulada ou na temperatura média sejam a nível anual ou sazonal.

O *Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC)* conclui no seu Terceiro (IPCC 2001 a, b) e Quarto Relatórios de Avaliação (a ser publicado em 2007) que existem evidências de que eventos extremos como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furações e tempestades têm se intensificado nos últimos anos afetando diferentes partes do planeta e têm produzido enormes perdas econômicas e de vidas. A sociedade a nível mundial é sensível a variações e mudanças em eventos extremos, e é de esperar que em cenários futuros de clima, como consequência de aquecimento global, a frequência e intensidade de eventos extremos podem ser alteradas, com consequências para a população e os ecossistemas naturais. Como exemplo, o verão atual 2007 no Sudeste do Brasil é testemunha de extremos de chuvas nos estados de MG, SP e RJ, com perda de vidas (aproximadamente 120 até finais de Janeiro de 2007), e com graves prejuízos na infraestrutura, população e estradas nestes estados.

Avaliações do IPCC e estudos referidos neste relatório têm mostrado que eventos extremos de precipitação podem aumentar ainda mais que a média, podendo gerar enchentes e alagamentos mais severos e intensos num clima mais quente. *Trenberth (2005)* sugeriu que uma intensificação nos extremos de precipitação pode ser causada pelo aumento no conteúdo de umidade da atmosfera, o que pode aumentar a disponibilidade e umidade para sistemas de tempo, como frentes, tempestades tropicais e extratropicais e complexos convectivos de mesoscala.

A nível mundial, entre os eventos extremos mais importantes dos últimos anos, pode-se citar as ondas de calor na Europa em 2003 e 2006, os furacões Katrina, Wilma e Rita no Atlântico Norte durante intensa estação de furacões

no Atlântico Tropical Norte em 2005 e o inverno extremo da Europa e Ásia em 2006. O verão europeu de 2003 foi o mais quente dos últimos cinco séculos, ultrapassando a média dos verões do século XX em 2 °C. Este aquecimento foi excepcionalmente forte e sem precedentes a partir de 1977, com as temperaturas médias subindo ao ritmo de 0,36 °C por década. Ações humanas, como a emissão de gases-estufa, pelo menos duplicam as chances de surgimento de ondas de calor, como a que matou milhares na Europa em 2003. Esta onda de calor de 2003 levou alguns investigadores a associar as atividades humanas e mudanças climáticas catastróficas com a ocorrência deste evento. Estudos desenvolvidos no Hadley Centre do Reino Unido sugerem que a onda de calor poderia ter uma origem natural, e que as chances de que apareçam dobram quando inserimos a ação do homem no contexto. Eles também acharam que por volta da década de 2040, pelo menos metade dos verões será mais quente do que o registrado no ano passado e que, lá no final do século, a estação quente de 2003 será considerada até amena. Os impactos de eventos extremos, como esta onda de calor de 2003, serão sentidos em mortes extras, incêndios florestais, e um grande abalo em plantações. Só em 2003 a agricultura europeia sofreu um prejuízo de US\$ 12,3 bilhões, em decorrência das altas temperaturas.

Eventos extremos podem ser definidos como anomalias em relação à climatologia, em escalas de tempo que podem variar de dias até milênios. É difícil atribuir eventos extremos ao tempo e ao clima, pois têm diferentes considerações espaciais e temporais. Recentemente, eventos extremos de curta duração têm sido considerados como os mais importantes pelos climatologistas, pois alguns modelos climáticos e estudos de projeções de clima para o futuro apontam maiores frequências e intensidades de eventos extremos de curta duração (chuvas intensas, ondas de calor e frio, períodos secos), temporais e furacões, em cenários de aquecimento global. Por exemplo, três geadas intensas no inverno de 1994 (que foi um inverno mais quente que o normal) afetaram a agricultura do sul e sudeste do Brasil e destruíram mais de 50% da produção de café nestas regiões. Episódios de chuvas intensas têm produzido enchentes e avalanches que têm afetado as populações mais pobres das regiões Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil, afetando a economia regional e causando grandes danos materiais e perdas de vidas humanas.

Em seguida, podemos mencionar os mais importantes eventos extremos climáticos de escala sinótica e sazonal que tem afetado o Brasil nos últimos 5 anos:

a) A seca que afetou a região Sudeste, Nordeste e Centroeste do Brasil no verão de 2001 (Figura 1), o que reduziu grandemente o nível dos reservatórios até valores próximos a 5% do volume útil, e que motivou racionamento e cortes de energia elétrica em grandes cidades como Rio de Janeiro, Brasília, São Paulo e Fortaleza entre outras. Esta seca gerou grandes perdas econômicas (Relatório 1-Marengo 2007).

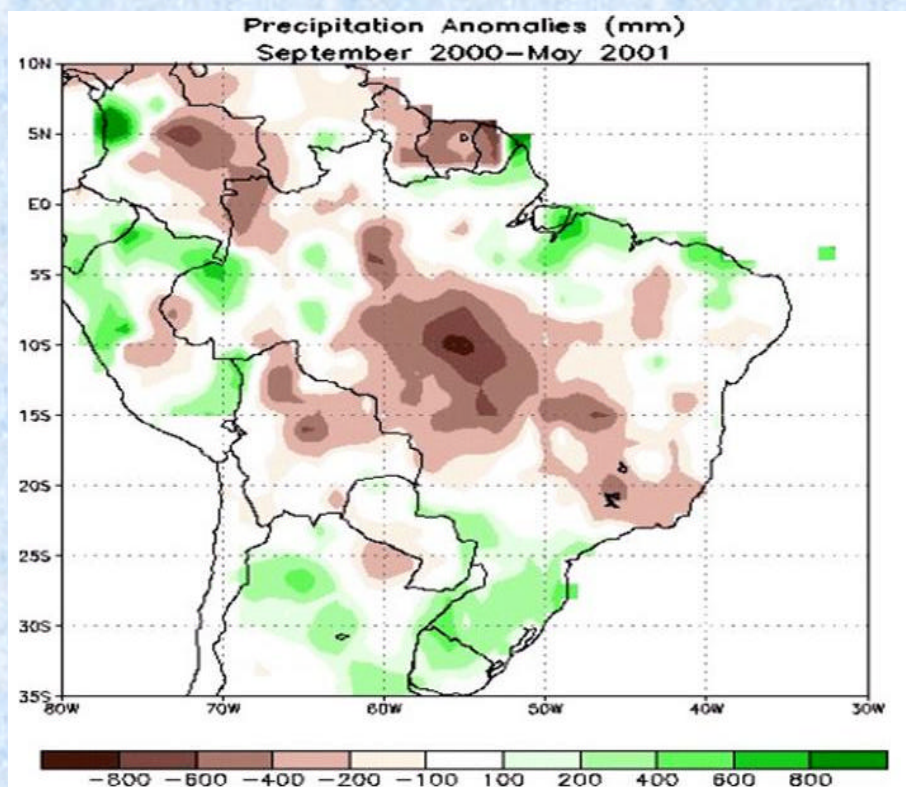


Figura 1. Anomalias de chuva de Setembro 2000 a Maio 2001, em mm/mes (Cavalcanti e Kouksy 2001).

b) O Catarina foi o primeiro “furacão” do Atlântico Sul e pegou de surpresa moradores do Sul do país em 2004. O Catarina gerou muitas indagações sobre suas causas, e não está excluída a possibilidade de estar relacionado ao aquecimento global. Na verdade, ainda existe incerteza nos meios científicos sobre as possíveis conseqüências das mudanças climáticas associadas ao aquecimento global no aumento na freqüência e na intensidade de furacões. Para o Atlântico Sul, em comparação, não há estatísticas confiáveis sobre esses fenômenos que cubram um longo tempo, além do período de observações por satélites. Portanto, não se pode afirmar com absoluta certeza que o furacão Catarina foi o primeiro evento desse gênero no Atlântico Sul, entretanto certamente nada comparável aconteceu nos últimos 50 anos e não há registros, na história brasileira, de fenômeno tão intenso na costa sul do Brasil (Figure 2). Os danos produzidos pelo Catarina são aparentes na Figura 2. Alguns estudos indicam que o aumento da temperatura das águas oceânicas estaria tornando mais intensos esses fenômenos, entretanto ainda há incertezas quanto a real influência do aquecimento global em mudanças na freqüência de furacões e tufões e em sua ocorrência em locais onde não eram observados (Trenberth 2005, Marengo e Nobre, 2005, Webster et al, 2005). As projeções do Modelo HadCM3 para o cenário pessimista A2 para a segunda metade do Século XXI sugerem condições mais favoráveis para o desenvolvimento de ciclones extratropicais no Atlântico do Sul, na mesma região onde o Catarina apareceu.

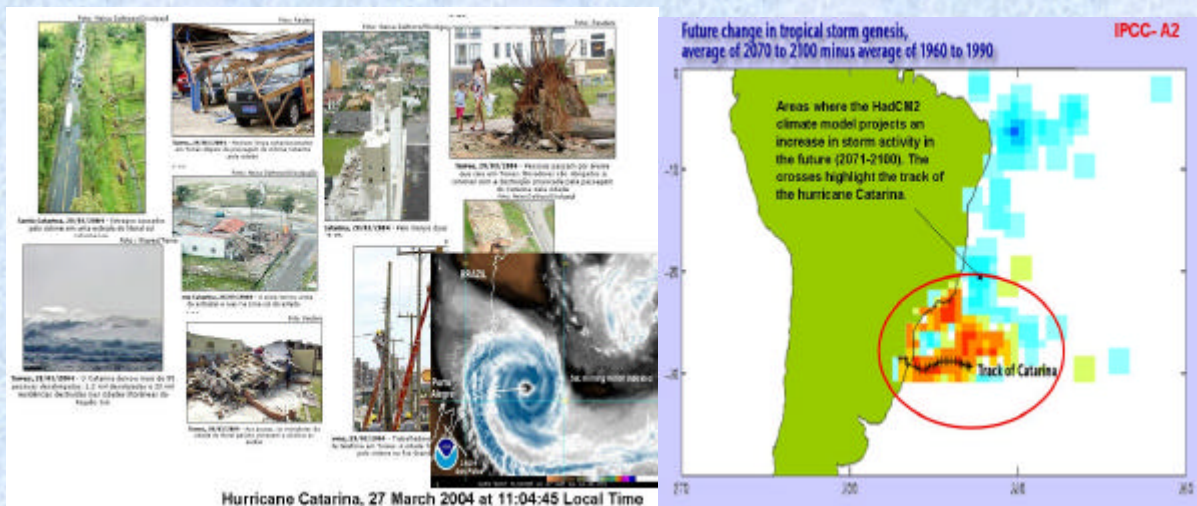


Figura 2: Esquerda: Imagem de satélite do Furação Catarina de Março 27 2004 e fotos de danos produzidos em Torres-RS. Direita: Projeções do Modelo do Hadley Centre HadCM3 para 2071-2100, cenário pessimista A2. As áreas em vermelho apresentam áreas com condições favoráveis para a desenvolvimento de ciclones extratropicais, e a linha preta mostra a trajetória do Catarina (Fonte: B. McDonald, Hadley Centre UK).

c) A Seca na Amazônia de 2005 foi uma das maiores secas dos últimos 40 anos. A falta prolongada de chuvas nas calhas dos rios Solimões, no Amazonas, e Madeira, em Rondônia, fez cair o nível da água e está deixando cidades da região Amazônica praticamente isolada. Para a população ribeirinha os reflexos são a falta de água potável, surtos epidêmicos de doenças e dificuldade de acesso a outras cidades. Com menos chuva, o rio Madeira secou na margem esquerda, onde está a cidade de Manicoré (332 km de Manaus). No lugar do rio surgiu uma praia de 5.000 m² com muitas pedras, fazendo com que as 12 embarcações permaneçam paradas no porto. A média anual do nível do rio é de 12,9 m; ficando em Maio de 2005 em 1,7 m. É a maior seca dos últimos 30 anos (Marengo et al. 2006). Em Tabatinga (1.106 km de Manaus), barcos também não conseguem mais atracar no porto. O nível do Solimões caiu de 13,8 m para 46 cm, de maio a setembro 2005. Após de Novembro 2006 as chuvas começaram e os rios apresentaram elevações no nível, chegando ate produzir enchentes em março 2006 (Figura 3).

As causas da seca de 2005 não foram associadas ao El Niño, mas foram associadas: (a) Atlântico tropical do norte anormalmente mais quente, (b) enfraquecimento dos ventos alísios e do transporte de umidade do Atlântico tropical para a Amazônia durante a estação chuvosa de verão, e (c) enfraquecimento do movimento vertical de ascensão do ar nesta parte da Amazônia, inibindo o desenvolvimento de convecção e chuva. As condições de seca foram intensificadas durante a estação seca até Setembro de 2005 quando a umidade do ar foi muito menor que o normal e as temperaturas do ar chegaram até 3-5°C acima do normal. Como consequência da intensa estação seca nesta região, incêndios florestais afetaram grande parte da Amazônia ocidental. Chuvas voltaram à normalidade em Outubro 2005, gerando enchentes depois de Fevereiro 2006.

A Figura 4 mostra tendências de chuva na Amazônia-Tocantins durante anos de El Niño, La Niña, o Atlântico tropical norte mais quente (ou Atlântico tropical sul mais frio), e Atlântico tropical Norte mais frio (ou Atlântico tropical sul mais quente). Pode se observar condições de redução de chuva no leste da Amazônia e na bacia do Tocantins durante El Niño, enquanto que durante episódios do Atlântico tropical Norte mais quente a redução de chuvas parece ser mais intensa no leste da Amazônia e no norte da bacia do Tocantins. Durante La Niña e episódios do Atlântico tropical sul mais quente a chuva é acima no normal no leste da Amazônia e na bacia do Tocantins. A seca de 2006 na corresponde a estes padrões, pois as anomalias de chuvas foram na região sudoeste da Amazônia (como no painel [a] de El Niño), mais a seca não se estendeu até a Amazônia central e de leste, como foram observados em anos de El Niño como 1983 e 1998.

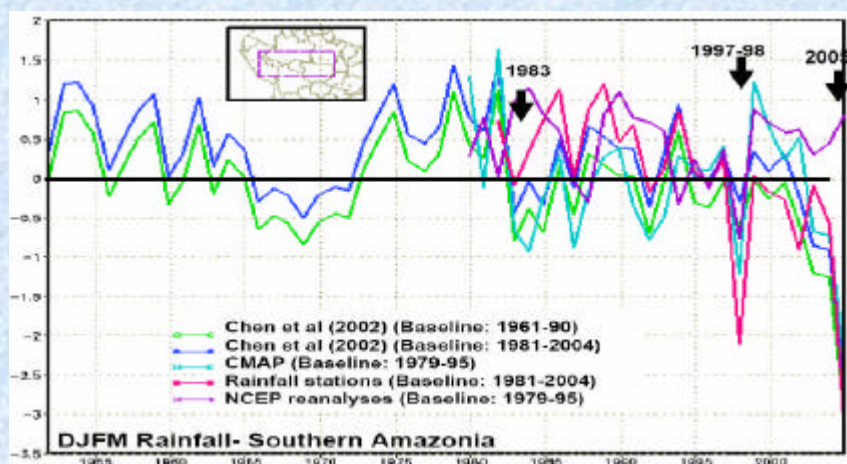


Figura 3. Índices de chuva para Amazônia do Sul durante a estação chuvosa DJFM de 1950 a 2005. Dados de chuva são de várias fontes. Anomalias são em mm/dia, e são calculadas usando vários períodos de referência. Flechas indicam anos com ocorrência de grandes secas (Marengo et al. 2006).

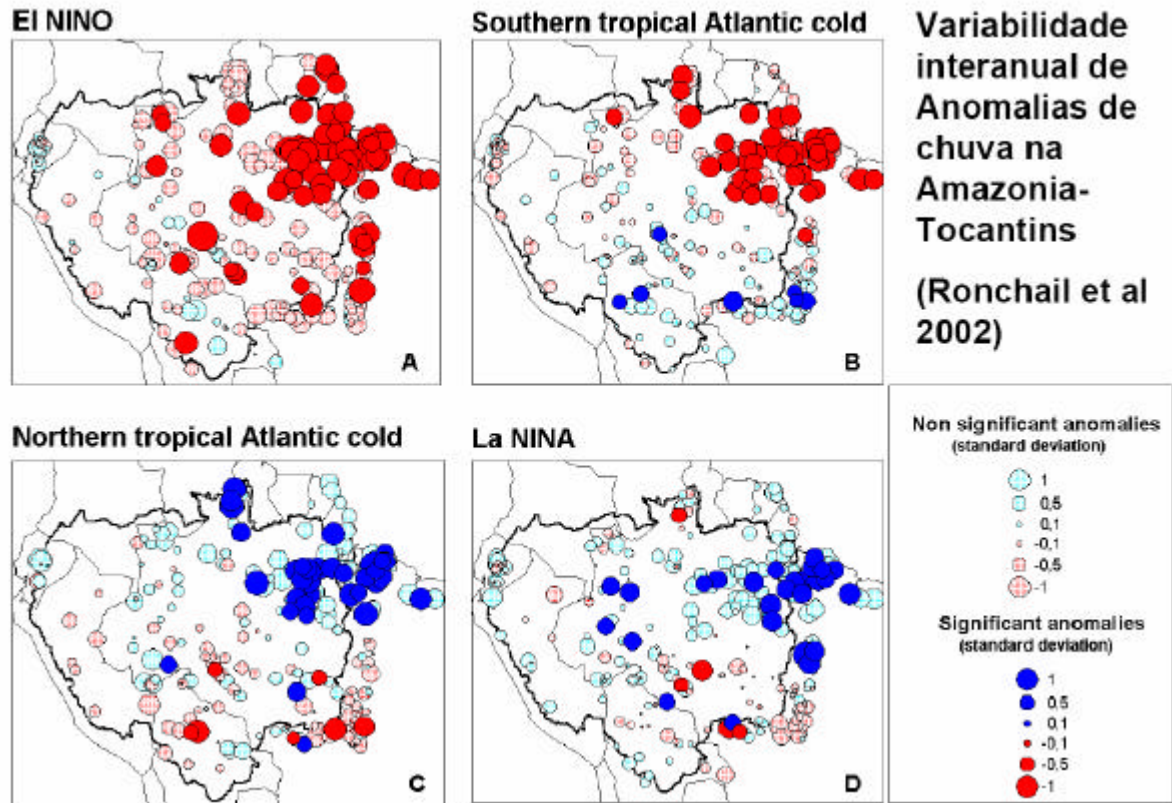


Figura 4. Anomalias de chuva durante anos de El Niño, La Niña, o Atlântico tropical norte mais quente (ou Atlântico tropical sul mais frio), e Atlântico tropical Norte mais frio (ou Atlântico tropical sul mais quente) (Ronchail et al. 2002).

d) A região Sul do Brasil tem experimentado baixos índices pluviométricos desde 2003 apontando para uma situação de seca que se estende até 2006. Em 2006 a seca atingiu principalmente o setor energético, onde choveu até menos de 60% do valor normal sobre as bacias dos rios Uruguai, Jacui e Iguaçu entre outros, e o volume útil dos reservatórios alcançou menos de 20% neste em Julho de 2006 em alguns reservatórios. O comportamento da precipitação no período de janeiro de 2003 a junho 2006 mostra que a maioria dos meses apresentou chuvas acumuladas abaixo dos valores normais, sendo que as situações de estiagem prolongadas não dependem da situação de um mês em particular senão da evolução do comportamento das precipitações ao longo de um período maior, foi utilizado o Índice de Chuva Normalizado (SPI), que quantifica a falta ou o excesso de precipitação acumulada para diferentes escalas de tempo. As anomalias de chuva em distintas escalas temporais determinam diversos impactos para as diferentes atividades econômicas. Assim, como exemplo o armazenamento de água em reservatórios, principalmente aqueles de maior volume, depende do comportamento das anomalias de chuva em períodos prolongados. Com essa idéia, o índice de chuva foi calculado para escalas de tempo de -1, -2, -3, -6, -9, -12, -18, -24, -36 e -48 meses. Dessa forma, o SPI permite constatar o comportamento das chuvas em varias escalas de tempo, possibilitando um diagnóstico mais em longo prazo em termos climáticos. A Figura 4 apresenta o índice de chuva normalizado para a região sul do Brasil (área no retângulo roxo no topo da figura).

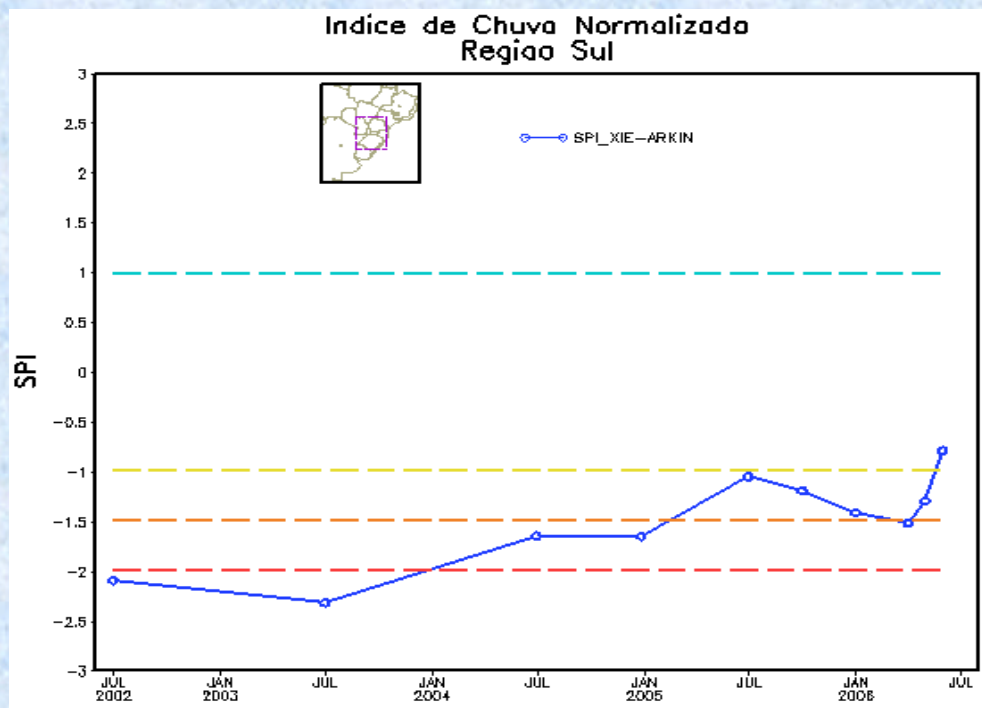


Figura 5 – Índice de chuva normalizado para a região Sul.

Cada ponto na linha azul representa o SPI “acumulado” para a região em estudo para um número de meses terminando em junho de 2006. O penúltimo para os meses de maio e junho de 2006, o antepenúltimo para os meses de abril, maio e junho de 2006 e assim sucessivamente, indo para a esquerda, onde o último ponto (mais a esquerda na Fig. 4) representa o SPI para os últimos 48 meses. As linhas tracejadas horizontais representam os limiares dos valores de SPI, em função do valor médio e do desvio padrão, para caracterizar a situação de seca, caso os valores sejam negativos, ou de excesso de chuva, caso os valores sejam positivos. A Tabela 1 (abaixo) associa as cores aos valores de SPI e a classificação dos episódios de seca ou excesso de chuva.

Tabela 1 – Valores de SPI associados a classificação da estiagem

Valores de SPI		Categoria
	> 2	Extremamente chuvoso
	Entre 1.5 e 1.99	Muito chuvoso
	Entre 1.0 e 1.49	Moderadamente chuvoso
	Entre -0.99 e 0.99	Normal
	Entre -1.49 e -1.0	Moderadamente seco
	Entre -1.5 e -1.99	Muito seco
	< -2	Extremamente seco

Fazendo a análise da Figura 4, nota-se que, durante todo o período considerado os valores do SPI foram inferiores ao nível moderadamente seco. Se levamos em conta o índice desde julho de 2002 a junho de 2006 (ponto mais à esquerda no gráfico), pode-se ter uma idéia da extensão da seca, com baixos índices pluviométricos que vem ocorrendo há praticamente 3 ou 4 anos. Assim, conclui-se que o atual quadro de estiagem na região sul do país não é resultado do déficit de precipitação ocorrido apenas no ano de 2006, senão a consequência de um déficit pluviométrico que se acumulou durante os últimos 3 a 4 anos. Esta situação prejudicou em parte a safra agrícola da Região, em que os agricultores tiveram perdas bem significativas na ordem de 11% na soja e com a contribuição da geada tardia foi de 48% no trigo.

Em 2006, o estado de Paraná enfrentou uma das maiores estiagens de sua história. Em março, o prejuízo no campo por causa da seca já estava em R\$ 1,57 bilhões devido à quebra das safras de soja, milho, trigo e feijão. O rio Iguazu apresentou a menor vazão de suas águas dos últimos 75 anos em julho de 2006, segundo a Companhia Paranaense de Energia. As sempre caudalosas Cataratas do Iguazu, um dos principais cartões postais do Brasil, minguaram, com um volume de 13% da vazão normal. De acordo com a Hidrelétrica de Itaipu, esse é o pior índice desde que o volume das cataratas começou a ser medido.

e) Eventos climáticos extremos têm acontecido em 2006, gerando valores de temperatura ou chuva que determinaram recordes históricos. O Meteorologista Francisco de Assis Diniz do INMET forneceu a seguinte informação sobre extremos: Em 2006, eventos extremos de temperaturas mínima e máxima com alguns recordes têm ocorrido em algumas regiões do Brasil. No mês de janeiro, temperaturas elevadas ocorreram no Estado do Piauí, em que na cidade de Bom Jesus, foi observada uma das maiores temperaturas do ocorridas no Brasil de 44.6°C, em 30/01/2006. Antes tinha sido nos anos de 1963 e 2005. O inverno deste ano foi caracterizado com alta irregularidade nas temperaturas em grande parte do Brasil.

Ondas de calor ocorreram de janeiro a março na Região Sul do Brasil, relacionadas com as estiagens, em que foram observadas temperaturas máximas extremas de: 41.6°C, em 10/01/2006, em Campo Bom/RS; de 39.4°C, em 03/02/2005, em Uruguaiana/RS; e de 40.2°C, em 17/03/2006, na cidade de Campo Bom/RS. Recordes de temperaturas extremas máximas foram observadas no Espírito Santo, no mês de março, de 39.6°C, no dia 02, em Vitória, que não tinha sido registrado desde 1924, desde quando começaram as medições. Em Setembro, outra onda de calor na Região Sul do Brasil, com quebra de recordes temperaturas. Em Florianópolis a máxima observada foi de 36°C, em 12/09/2006 e o recorde anterior era de 32,4°C em 09/09/1999.

Recorde de temperatura extrema máxima, em outubro, na cidade de Indaial em Santa Catarina foi registrada a maior temperatura do ano, de 37.4°C, em 26/10/2006, maior dos meses de outubro desde 1970, do início das observações. Recorde de temperaturas extrema máxima foram observadas durante o inverno deste ano nas cidades de São Paulo de 30.2°C, em 24/07/2006; recorde de 63 anos; em Porto Alegre calor de 32°C, em 12/07/2006, semelhantes aos anos de 1987 e 2005; na cidade de Curitiba foi observada máxima de 30.8°C, em 13/08/2006, maior dos últimos 12 anos. Frio severo em pleno mês de setembro, com neve, que há tempo não ocorria os valores extremos mínimos de temperaturas. Em Curitiba a extrema mínima de 0.4°C, recorde de 34 anos; em Porto Alegre em que foi observada uma mínima de 3.8°C; em São Joaquim, a cidade mais fria do Brasil, Santa Catarina, desde 1990 que não tinha um setembro tão frio, a mínima observada foi de -5.0°C, em 05/09/2006; e em São Paulo a temperatura mínima observada foi de 6.2°C, um frio semelhante com os anos de 1964 e 2002.

No primeiro semestre do ano, a Região Sul do Brasil novamente foi afetada pela irregularidade nas chuvas, com redução acentuada na precipitação (seca), especialmente no Estado do Rio Grande do Sul, devido à alta variabilidade atmosférica em que as frentes frias eram desviadas com maior rapidez para norte ou para o Oceano Atlântico. Esta situação prejudicou em parte a safra agrícola da Região, em que os agricultores tiveram perdas bem significativas na ordem de 11% na soja e com a contribuição da geada tardia foi de 48% no trigo.

Com a finalidade de desenvolver estudos de tendências observadas de extremos a nível mundial para a elaboração do IPCC AR4, a OMM estabeleceu um grupo de trabalho para definir eventos extremos de curta duração, os índices desenvolvidos aparecem em Frisch et al (2002). Uma análise destes índices de extremos de curta duração para o clima do presente, baseada em observações e simulações para o Século XX, já foi feita para América do Sul para temperatura e chuva (Vincent et al. 2005, Haylock et al 2006, Alexander et al 2006), e que já foram discutidas no Relatório 1 (Marengo 2007). Para a região Sudeste da América do Sul, talvez pelo fato de ter uma cobertura observacional mais completa, as tendências observadas e simuladas de temperatura são bastante consistente em relação a tendência de aquecimento, enquanto que nos eventos extremos de chuvas, os resultados preliminares mostram alguma concordância.

Os índices de extremos de Frisch e discutidos no IPCC AR4 são de curta duração, e não consideram eventos de duração sem levar em conta eventos de duração sazonal ou de eventos extremos de circulação, como intensidade/freqüência de furacões ou tornados (Apêndice 1). Considerando alguns eventos extremos a nível sazonal que tem ocorrido no Brasil nestes últimos anos (seca na Amazônia em 2005, Sul do Brasil em 2004-2006 e Sudeste do Brasil, e 2001), estes não podem ser estudados com os índices de Frisch. Assim, outros índices teriam que ser definidos para estes extremos climáticos sazonais.

Mudanças nos extremos de precipitação e temperatura, como por exemplo, a freqüência de chuvas intensas e conseqüentemente de enchentes, podem potencialmente ter graves conseqüências econômicas e sociais. Ecossistemas naturais podem ser afetados pelas mudanças nos extremos de temperatura e chuva. A população pode ser afetada por enchentes, ondas de calor o frio e vendavais. Daí a importância de estimar o potencial de mudanças futuras em extremos de temperatura e precipitação, e tem grande utilidade na análise de impactos de mudanças de clima e nas avaliações de vulnerabilidade e de risco frente a mudanças de clima. Isto pode ajudar na definir políticas de planejamento ambiental, assim como a implementação de políticas nacionais de avaliação de vulnerabilidade as mudanças de clima, assim definir zonas de risco a eventos extremos de tempo e clima, com finalidade de definir critérios de adaptação políticas de mitigação.

Para este relatório, foram calculados alguns dos índices de extremos derivados dos modelos globais do IPCC AR4 e de três modelos regionais definidos pelo projeto CREAS (Marengo e Ambrizzi et al. 2006), para o tempo e para o clima do presente e a segunda metade do Século XXI. Para o clima do presente, as simulações durante 1961-90 são comparadas aos dados de 105 estações meteorológicas obtidas de várias fontes (CTA, INMET, CPTEC), na forma de mapas e séries de tempo. Esta comparação é feita com o intuito de avaliar se os modelos conseguem simular as tendências de extremos no presente, o que poderia ajudar a determinar o *skill* dos modelos nas projeções climáticas futuras. Avaliam-se as simulações de vários índices de extremos de clima definidos pelo Frisch et al (2002) de vários modelos de IPCC AR4 através da comparação dos dados observacionais para o presente. Similarmente será feita uma avaliação detalhada do estudo de Tebaldi et al. (2006) para a segunda metade do Século XXI usando os modelos globais do IPCC AR4 para o Brasil. A terceira avaliação será as projeções dos cenários de extremos climáticos derivados dos modelos Eta/CPTEC, RegCM3 e HadRM3P para o período 2071-2100 em relação ao clima do presente, para os cenários de emissão A2 e B2. Os detalhes do downscaling do modelo global HadAM3P para os modelos regionais Eta/CPTEC, RegCM3 e HadRM3P aparecem no Relatório 3 (Ambrizzi et al. 2007) e nos estudos de Pisnitchenko et al. (2006).

Esperamos que as análises apresentadas neste relatório possam ajudar a entender como os extremos climáticos estão mudando na América do Sul com ênfase no Brasil no clima do presente, e como este cenário pode mudar ante a perspectiva de um clima mais quente, considerando as incertezas associadas aos cenários e modelos climáticos a serem discutidos.

CAPÍTULO 2

Antecedentes e estudos de extremos climáticos no Brasil

Revisão de literatura

Existem poucos estudos sobre variabilidade de longo prazo de extremos de tempo e clima no Brasil na América do Sul. Alguns estudos foram feitos para algumas regiões do Brasil ou para o resto da América do Sul têm usado diferentes metodologias, o que não permite uma integração geográfica ou intercomparações. A falta de informação meteorológica de boa qualidade em séries de tempo a nível diário em grandes extensões do Brasil, assim como o acesso muito restrito a informação meteorológica diária armazenada nos bancos de dados dos serviços meteorológicos não tem permitido identificação de extremos climáticos e sua variabilidade, especialmente na região tropical da América do Sul.

Estudos recentes para a América do Sul foram desenvolvidos por Vincent et al. (2005), Haylock et al (2006) e Alexander et al (2006) usaram os índices climáticos de extremos de Frisch et al. (2002) (os índices aparecem listados no Apêndice 1). A Seção 3.5 do Relatório 1 (Marengo 2007) analisa alguns estudos feitos sobre extremos no Brasil e na América do Sul. Uma revisão extensiva de eventos extremos hidrológicos, climáticos e de circulação para o Sudeste da América do Sul com ênfase na bacia do Paraná-Prata pode ser achada em Marengo et al (2004, 2007 a).

2.1 Extremos de chuva

Groisman et al. (2005) identificou tendências positivas de aumentos sistemáticos de chuva e de extremos de chuva na região subtropical do Brasil, Sul do Brasil e Nordeste. Eles acharam que o Sudeste do Brasil tem mostrado aumentos sistemáticos na frequência de chuvas intensas desde 1940, de até quase 58%/100 anos. Carvalho et al. (2002) observou que em São Paulo observam-se mais eventos extremos de chuvas durante El Niño. Extremos de chuva no mesmo estado são sensíveis a intensidade ZCAS (Carvalho *et al.* 2002, 2004).

A presença do Jato de baixos níveis na América do Sul (LLJ durante os meses de verão) está associada a eventos extremos de chuva (Figura 5), que acontecem com maior frequência quando se registram eventos de LLJ intensos mais freqüentes, enquanto que durante episódios de LLJ mais fracos a freqüência de extremos de chuva na região sudeste e sul do Brasil, na saída do jato podem ser menores; este está associado ao desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoscala, que aparecem na região de saída do LLJ e que são mais intensos quando aparecem LLJ trazendo umidade da Amazônia.

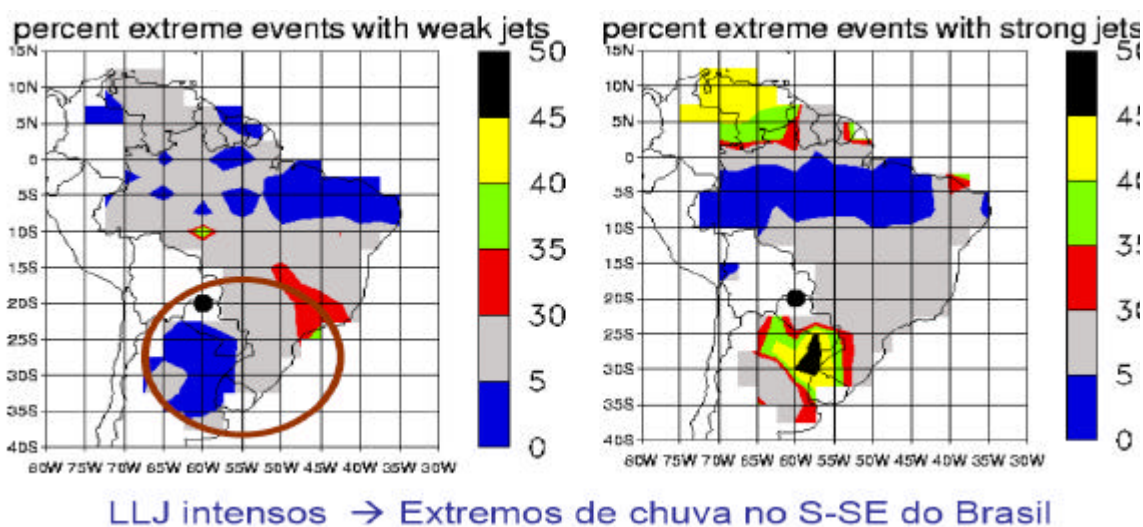


Figura 6. Frequência (%) de ventos extremos de chuva durante compostos de LLJ mais fracos (esquerda) e mais intensos (direita) nos meses de verão.

A variabilidade da precipitação diária na cidade de São Paulo durante o período 1933-1986 (Xavier et al. 1994) mostra que: (a) fraca tendência a aumento de precipitação mensal nos meses de fevereiro e maio, (b) acumulações superiores a 30 mm dia⁻¹ aumentaram nos meses de fevereiro e maio, (c) acumulações inferiores a 2 e 5 mm dia⁻¹ diminuíram de forma mais significativa em fevereiro, mas ocorrem também em outros meses do ano. É possível que no caso da cidade de São Paulo o efeito urbano tenha sido de (d) acumulações inferiores a 2 mm dia⁻¹ diminuíram de forma significativa em todos os meses do ano. No caso da cidade de São Paulo é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação (Xavier et. al 1992).

No Sul do Brasil, Teixeira (2004) identificou uma ligeira tendência de aumento no número de eventos extremos e chuva, com maiores freqüências em anos como 1993-94 e 1997-98, que são anos de El Niño. Grimm e Pscheidt

(2001) explicam que no Sul do Brasil durante anos de El Niño (La Niña) se observa um aumento (diminuição) do número de eventos extremos de chuva no mês de novembro em relação a anos normais. No período analisado por eles (1963-92), 9 eventos El Niño e 6 eventos La Niña aconteceram, e 15 anos foram normais. Foram detectados 36 eventos extremos de chuva durante Novembro de anos El Niño, 3 durante La Niña e 23 em anos normais.

A influência do El Niño na frequência de eventos extremos também se estende as outras regiões e épocas do ano. Eles sugerem que a variabilidade de baixa frequência pode modificar a frequência e severidade de eventos extremos de chuva no Sul do Brasil. O El Niño modula a frequência de extremos de chuva nesta região, particularmente no mês de Novembro.

Eventos intensos de chuva em outono podem ser responsáveis por grandes valores de vazões no Rio Paraná nas Pampas da Argentina. Liebmann et al. (2004) mostrou que em São Paulo na escala interanual o número de eventos extremos de chuva mostra correlação com anomalias de TSM no Pacífico tropical e do Atlântico do sudeste próximo ao litoral de São Paulo. Os controles de ZCAS e SALLJ têm escalas intra-sazonais e interanuais e podem ser observados na frequência de eventos intensos de chuva associados à presença da ZCAS, e a presença de SALLJ. Estes estudos sugerem, em média, maior frequência de eventos intensos de chuvas no sul e sudeste do Brasil, quando o SALLJ é intenso e a ZCAS é mais fraca e deslocada para o sul da região Nordeste. Os diferentes autores definiram eventos extremos de chuva seguindo metodologias diferentes, usando valores similares ou valores acima de um percentil (95th), o que torna difícil a comparação entre resultados.

Haylock et al. (2006) investigou tendências de extremos de chuva no Sudeste da América do Sul no período de 1960-2000. Eles acharam tendências para condições mais úmidas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e o norte e centro da Argentina, com tendências positivas nos índices de precipitação R10, R20, R95P e R99P, sugerindo que a região de Sudeste da América do Sul experimentou um aumento na intensidade e frequência de dias com chuva intensa, o que concorda com os trabalhos de Groissman et al. (2005) para a mesma região.

Alexander et al. (2006) analisaram tendências em extremos anuais de chuva, e chegaram à conclusão de que estas tendências aparentam ser similares às tendências da chuva total acumulada: tendências positivas no sul

do Brasil, Paraguai, Uruguai e Norte-centro da Argentina. Eles identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa (R10mm) e chuva muito intensa (R20mm) concentrada em curto tempo, e na quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos que são indicadores de chuvas que produzem enchentes (R95P) e muito chuvosos (R99P) durante o período 1961-2000. Estas tendências sugerem aumento e intensidade na frequência e intensidade de eventos de chuva no Sudeste da América do Sul, enquanto que a ausência de dados na região tropical não permite uma análise mais compreensiva dos extremos nesta parte do continente. O estudo de Alexander et al. (2006) mostra tendências positivas na chuva máxima acumulada em 5 dias (RX5day) nas latitudes maiores de 20 S na América do Sul durante a primavera, verão e outono, enquanto que algumas áreas do norte da Argentina apresentam tendências negativas durante inverno JJA.

No Brasil, as tendências positivas de extremos de chuva aparecem mais intensamente nos estados de SP, PR, RS, enquanto que, a falta de dados de chuva não permitem estender a análise para MG e BA (Figura 6). Vários estudos já identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa e chuva muito intensa concentrada em certo tempo, e na quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos que são indicadores de chuvas que produzem enchentes durante 1961-2000. Estas tendências sugerem aumento e intensidade na frequência e intensidade de eventos de chuva no Sudeste da América do Sul, enquanto que a ausência de dados na região tropical não permite uma análise mais abrangente dos extremos nesta parte do continente. Tendências positivas na chuva máxima acumulada em 5 dias têm sido observadas nas latitudes mais austrais do que de 20 S na América do Sul durante a primavera, verão e outono, enquanto que algumas áreas do norte da Argentina apresentam tendências negativas durante o inverno.

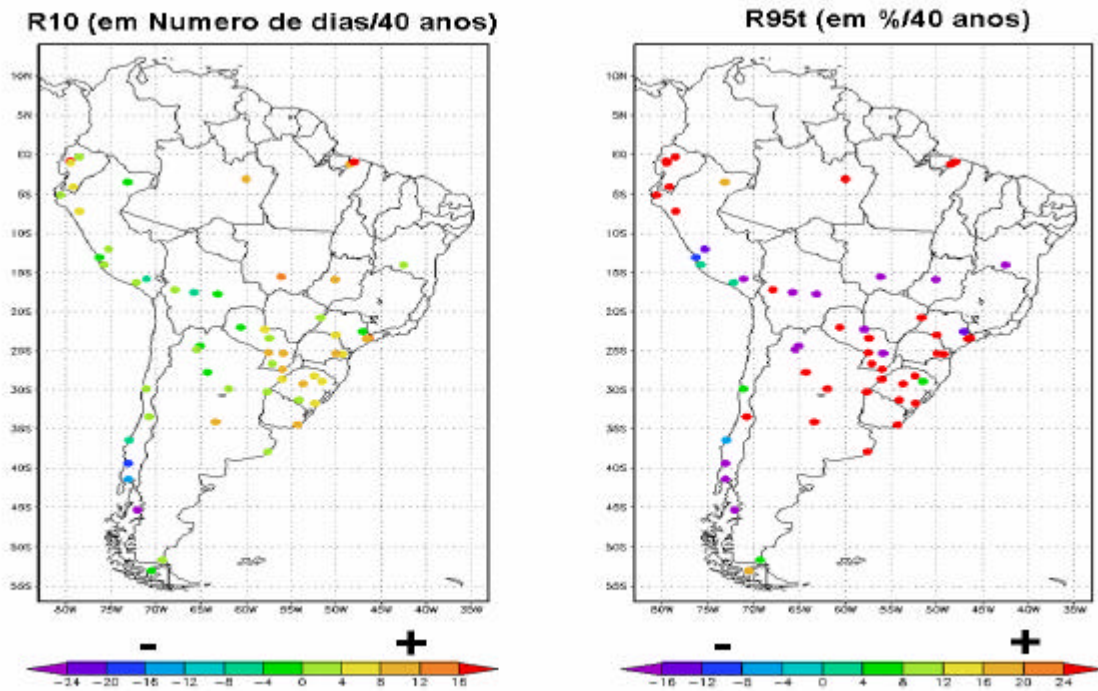


Figura 7. Tendência de episódios de chuva intensa na América do Sul definidos pelo índice R10 (número de dias com mais de 10 mm) e pelo índice de extremos de chuva intensa definido pelo índice R95t (fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95th), para o período de 1961-2000. Escala de cores aparece na parte inferior do mapa.

As análises observacionais mostram que mesmo que não houver aumento da precipitação, ou até diminuição do total anual, as chuvas serão mais intensas nos estados do Sul e Sudeste do Brasil, assim como na costa Norte do Peru, Paraguai, Uruguai e Nordeste da Argentina. Ou seja, maior intensidade de chuvas isoladas e temporais mais freqüentes. Para o Sudeste da América do Sul tem-se observado um aumento na intensidade de episódios e freqüência de dias com chuva intensa no período 1961-2000, ou seja, as chuvas estão se tornando cada vez mais violentas, apesar de o total anual precipitado não ter sofrido modificação perceptível, como estudado no Relatório 1 (Marengo 2007).

2.2 Extremos de temperatura

Impactos de ondas de frio vêm sendo identificados desde o fim do século XIX, pelas estatísticas de produção de café nas plantações no Sul do Brasil. Em estudo e variabilidade climática de longo prazo na região, observouse que: (a) a quantidade de ondas de frio diminuiu com o tempo, mas isso não

garante que a qualquer momento uma onda forte de frio não possa afetar a região, independentemente de haver poucas frentes frias, e (b) as temperaturas do inverno na região mostram tendência de elevação. Em 106 anos, de 1890 a 1996, foram registrados 18 eventos graves de congelamento que danificaram a produção do café. Destas, cinco foram consideradas catastróficas. Das 27 geadas que atingiram as regiões cafeeiras nos últimos 100 anos, 7 ocorreram em junho e 12 em julho. Agosto teve cinco geadas no último século, portanto, não se podem desprezar os riscos para a agricultura durante esse mês.

A Tabela 2 mostra, apenas para o Estado de São Paulo, as ocorrências de eventos de frio que afetaram a cultura de café em diferentes graus. De todos esses eventos, os mais devastadores para a produção de café foram os de: 18 de Junho 1899, 19 de Agosto 1902, 25 de Junho 1918, 25 de Junho 1928, 18 de Julho 1975, 18 de Julho 1981, 26 de Junho 1994, e 10 de Julho 1994. No período 1995-98 não foi detectado nenhum evento prejudicial à cafeeira na região.

Tabela 2. Lista de eventos de tempo frio no Estado de São Paulo - Brasil, e sua intensidade (Marshall, 1983, Marengo & Rogers, 2000), atualizada por J. Zullo (CEPAGRI-UNICAMP/São Paulo). Não foi registrado nenhum evento que tenha afetado o café, após os ocorridos no inverno de 1994. A intensidade foi definida como Fr=Fraca, M=Moderada, FO=Forte, MI=Muito intensa.

Ano	Dia	Mês	Temp. mín. (°C)	Inten s.	Ano	Dia	Mês	Temp. mín. (°C)	Inte ns.
1892	14	Julho	0,2	FO	1953	5	Julho	1,2	FO
1894	14	Julho	1,0	FO	1955	2	Ago.	2,0	FO
1895	25	Julho	1,0	FO	1957	21	Julho	1,2	M
1899	18	Junho	1,6	M	1962	7	Julho	2,4	FO
1902	19	Ago.	0,2	MI	1965	21	Ago.	0,6	M
1904	12	Ago.	1,5	FO	1969	11	Julho	2,4	FO
1912	3	Set.	1,8	FO	1972	9	Julho	1,6	M
1918	25	Junho	-1,5	MI	1975	18	Julho	0,6	MI
1923		Julho	2,0	FR	1979	31	Maio	0,2	FO
1925		Julho	2,0	FR	1981	21	Julho	0,2	MI
1931	29	Junho	2,0	M	1985	8	Junho	1,4	M
1933	14	Julho	1,4	M	1988	5	Junho	1,8	M
1942	12	Julho	-0,2	FO	1994	27	Junho	0,3	MI
1943	15	Set.	2,0	M		10	Julho	0,8	MI

Vincent et al. (2005) identificaram para o Sudeste da América do Sul tendências positivas na frequência de noites quentes (TN90P, % de dias com $T_{Min} > 90^{th}$), noites medianamente quentes (dias com TR onde $T_{Min} > 20^{\circ}C$), e tendências negativas na frequência de noites frias (TN10P, % dias com $T_{Min} < 10^{th}$) e na amplitude térmica diária no período 1960-2000. Eles também identificaram tendências positivas na frequência de noites quentes durante o verão DJF e inverno JJA, assim como uma fraca tendência negativa de aumento na frequência de dias frios. Para o Sul do Brasil, o índice de dias frios apresenta uma tendência negativa sugerindo que o aquecimento é mais devido ao aumento das temperaturas máximas e a uma redução na frequência de dias frios, confirmando os resultados de Marengo e Camargo (2007) e Rusticucci e Barrucand (2004) para o sul do Brasil e Norte da Argentina.

A Figura 8 mostra as tendências de noites e dias quentes e frios para Campinas e Água Funda, em São Paulo, e as duas estações mostram desde 1950, sinais típicos de mudanças nas temperaturas extremas: tendências positivas na frequência de noites e dias quentes, e tendências negativas de noites e dias frios. Tudo isto é consistente com as tendências positivas na temperatura mínima e máxima em Campinas, explicando a tendência positiva da mínima temperatura pela redução do número de dias frios e do aumento na frequência de noites quentes. A tendência positiva na máxima temperatura (menos pronunciada que a de temperatura mínima) pode se dever a uma tendência de aumento na frequência de dias quentes e de redução na frequência de dias frios. Esta tendência de aquecimento detectada nas temperaturas mínimas e na frequência de noites quentes pode se dever ao efeito urbano.

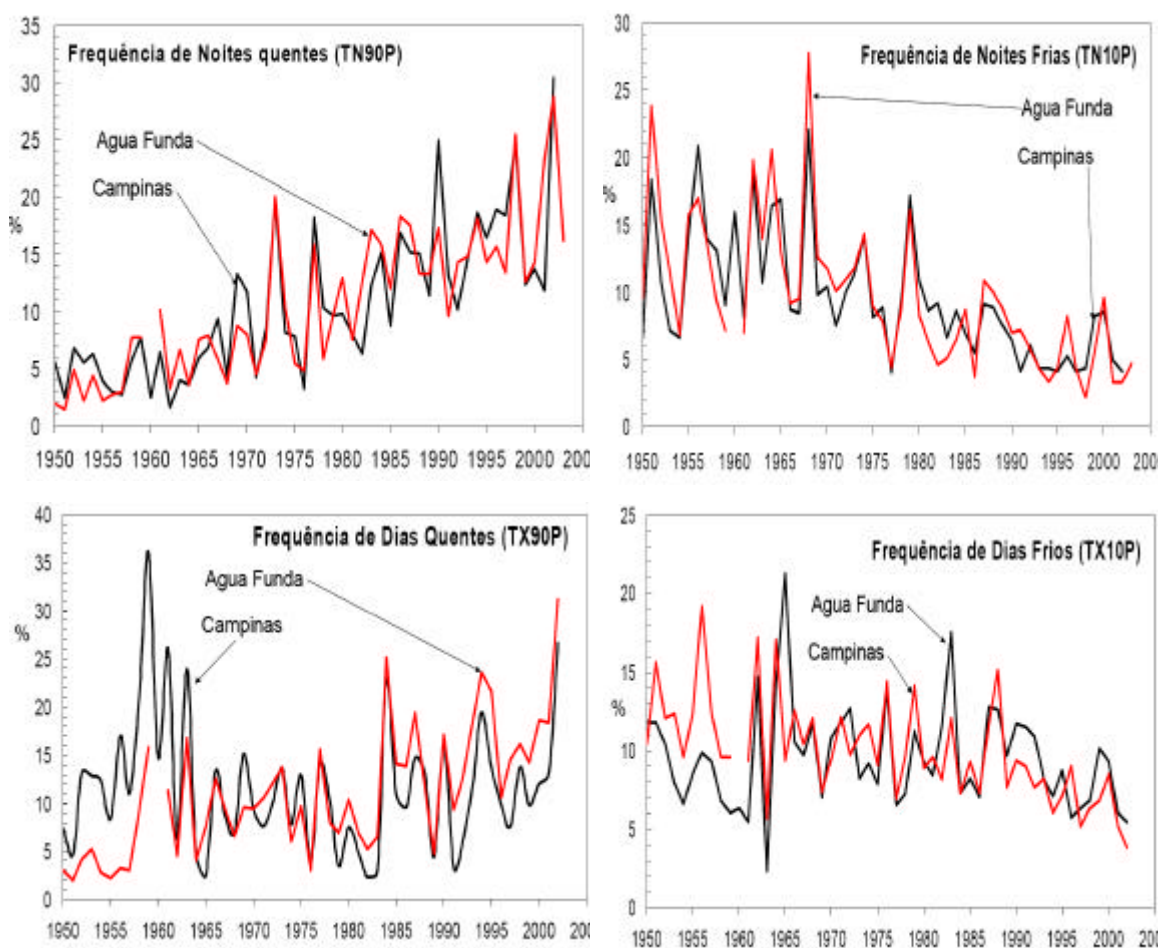


Figura 8. Tendências nas frequências (em %) de noites quentes (TN90P) e frias (TN10P), e de dias quentes (TX90P) e frios (TX10P) em Campinas e Água Funda, São Paulo. Índices são definidos em Vincent et al. (2005). (Fonte: T. Ambrizzi, IAG/USP).

Poucos estudos analisam extremos climáticos de curta duração de temperatura do ar na região tropical da América do sul devido principalmente a falta de informação meteorológica confiável e de longa duração nos países tropicais. Ainda assim, o estudo de Alexander et al (2006) permite a identificação uma tendência positiva na frequência de noites quentes (representada pelo Índice TN90), e com tendência negativa na região andina (Figura 9).

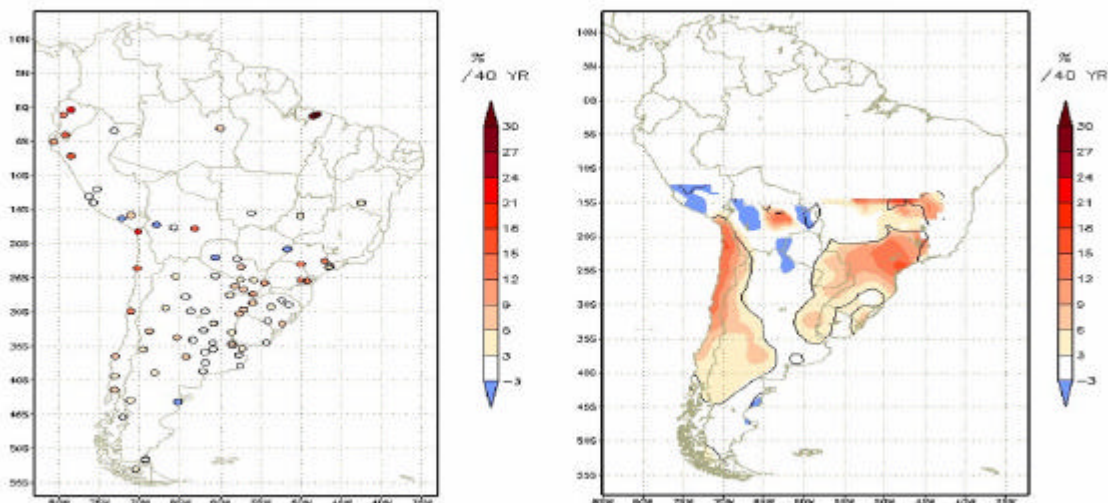


Figura 9: Tendência de noites quentes na América do Sul definidos pelo índice TN90 para o período de 1961-2000. O painel da esquerda apresenta os valores para cada estação e da direita mostra os valores interpolados. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.

2.3 Modelagem na mudança de extremos climáticos

Estudos sobre projeções de eventos extremos em climas do futuro usando modelos globais e regionais têm sido desenvolvidos usando modelos globais e regionais. Usando modelos globais, Zwiers and Karim (1998) e Kiktev et al. (2003) estudam a distribuição de eventos extremos a nível global usando modelos globais com experimentos de 2XCO₂ e do IPCC TAR para cenários futuros de altas (A2) e baixas (B2), respectivamente. Os padrões de extremos para América do Sul não são muito claros nestas projeções futuras, enquanto que as mudanças são mais intensas nas altas latitudes. Hegerl et al. (2004) analisa a detectabilidade da influência humana em extremos de temperatura e chuva para climas do futuro. As projeções mostram que as mudanças nos extremos de temperatura e chuva são mais intensas na Amazônia, sendo as mudanças mais acentuadas no modelo HadCM3 comparado com o modelo CGCM2 do Canadá, sugerindo uma dependência das projeções a escolha do modelo.

Um dos estudos mais compreensivos e atualizados sobre modelagem de projeções de eventos extremos de clima para o futuro usando modelos globais foi preparado por Tebaldi et al (2006), usando os índices de extremos

climáticos definidos por Frich et al (2002). Eles calcularam estes índices a partir das saídas dos modelos globais acoplados oceano-atmosfera, usados para o IPCC AR4. No que concerne ao Brasil, o estudo de Tebaldi et al (2006) mostra que como consequência do aquecimento global o país pode sofrer secas prolongadas, chuvas intensas e ondas de calor mais longas e intensas durante as próximas décadas. O estudo também prevê fenômenos contrastantes, como quedas drásticas de temperatura e uma maior temporada de crescimento vegetal. Os resultados mais assustadores são os relacionados a ondas de calor. Tudo a respeito delas - intensidade, duração e ocorrência - piora. Outra mudança importante será na intensidade das chuvas.

Porém, as incertezas associadas às projeções dos modelos globais ainda são grandes. Considerando estas incertezas, existe a necessidade de validação das simulações de extremos usando observações para o clima do presente, assim como de calcular os mesmos índices usando projeções regionalizadas de cenários climáticos futuros, para obter detalhes do comportamento dos índices de extremos em climas mais quentes do futuro.

Usando modelos regionais, poucos estudos têm sido desenvolvidos a nível mundial. Recentemente, Zhang et al. (2006) avaliaram tendências de eventos extremos de chuva e temperatura na China usando o modelo HadRM3P para 2071-2100. Gao e Georgi (2006) analisam mudanças na média e extremos de chuva no Mediterrâneo, usando o RegCM3 para cenários de mudança de clima. Estudos em desenvolvimento analisam cenários de extremos de chuva e temperatura na América do Sul usando o modelo HadRM3P para os cenários A2 e B2.

CAPÍTULO 3

Índices de extremos climáticos

Devido ao aumento dos eventos extremos nos últimos anos, foram definidos pela comunidade científica índices anuais representativos destes eventos <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/index.shtml>. Eles são baseados nos valores diários de temperatura e precipitação (Frisch et al. 2002). Para que estes índices possam ser utilizados também com as saídas de modelos, não poderão representar eventos como furacões ou secas de caráter estacional ou interanual, desde que os índices de Frich são mais de curta duração. Primeiramente, foram analisados 6 índices que foram comuns quando comparados aos dados de modelos globais (disponível no portal Internet do IPCC em: <https://esg.llnl.gov:8443/index.jsp>).

3.1 Índices baseados na Precipitação

CDD: Dias secos consecutivos (*Consecutive Dry Days*);

R10: Número de dias com precipitação maior que 10mm (*precip>10mm*);

R95t: parte da precipitação total devida aos eventos maiores que o 95º percentil em relação à climatologia normal;

SDII: precipitação anual dividida pelo número de dias com chuva (*precip intensity*).

3.2 Índices baseados na Temperatura

FD: Total de dias com temperatura abaixo de 0°C (*T°C<0º Frost days*);

TN90: porcentagem temporal anual em que a temperatura mínima é maior que o 90º percentil em relação à climatologia normal (*Noites Quentes*).

Os 27 índices de extremos derivados pelo Expert Team (ET) on Climate Change Detection Monitoring and Indices ([ETCCDMI](#)) aparecem listados no Apêndice I. Estes índices não representam extremos considerados como *raros*, os que poderiam afetar o tratamento estatístico e a significância das tendências devido ao possível pequeno número de eventos como estes registrados nos registros históricos. Estes índices foram calculados a nível mensal ou anual. Alguns são baseados num valor limiar fixo e os seus impactos são mais fáceis de entender. Outros são baseados em percentis o que permite comparações entre estações.

CAPÍTULO 4

Análises de extremos usando os índices climáticos para o clima do presente derivado dos modelos globais do IPCC AR4

Na continuação, é feita uma avaliação das simulações de extremos climáticos derivados de 7 modelos globais de IPCC AR4 para estações da América do Sul, no período de 1960-2000. Com esta avaliação espera-se pesquisar se os modelos globais podem ou não simular valores e tendências observadas dos extremos de temperatura e chuva para o clima atual, assim como também observar como as PDFs podem ser diferentes entre observações e os diferentes modelos. Serão discutidos as continuações, os dados observacionais e os modelos a serem usados, e depois serão feitas comparações entre modelos e observações para o clima do presente.

4.1 Eventos extremos observados

Para a América do Sul, dados de estações que podem ser utilizadas em estudos de índices extremos foram disponibilizados pelo “Workshop on Enhancing South America – Climate change monitoring and indices”. Este Workshop permitiu mostrar o aumento das fortes chuvas e das mínimas de temperatura sobre a América do Sul (*Haylock et al., 2006; Vincent et al., 2005*). Nesta comparação foram utilizadas 105 estações concentradas no hemisfério sul da América do Sul. Um rigoroso método foi utilizado para interpolar estes dados em ponto de grade e calcular a tendência sobre o período 1960-2000. Assim, foi possível comparar estes resultados com saídas de modelos.

4.2 Eventos extremos simulados pelos modelos globais do IPCC AR4

A Figura 9 descreve os modelos globais do IPCC AR4 utilizados neste estudo com suas respectivas características de parametrização e resolução. Tais modelos foram escolhidos devido ao fato de possuírem saídas de índices mencionados anteriormente disponíveis no website do IPCC-DDC. A melhor resolução encontrada é 1.2 graus, do modelo Japonês MIROC. O modelo que apresentou a menor resolução é o russo com de 4 x 5 graus lat/lon. Para maior

informação dos modelos de IPCC AR4 usados para as análises de extremos o leitor pode ler o estudo de Tebaldi et al (2006).

Modeling Groups	IPCC ID (Label in Figures)	Grid type/ Resolution/ Model top	Deep convection scheme / Modification	Closure/ Trigger
NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	GFDL-CM2.0 (GFDL0)	Gridpoint 144*90*L24 3mb	Moorthi and Suarez (1992) / Tokioka et al. (1988)	CAPE/ Threshold
NOAA/ Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	GFDL-CM2.1 (GFDL1)	Gridpoint 144*90*L24 3mb	Moorthi and Suarez (1992) / Tokioka et al. (1988)	CAPE/ Threshold
National Center for Atmospheric Research	CCSM3 (CCSM)	Spectral T85*L26 2.2mb	Zhang and McFarlane (1995)	CAPE
National Center for Atmospheric Research	PCM (PCM)	Spectral T42*L26 2.2mb	Zhang and McFarlane (1995)	CAPE
System Research, National Institute for Environmental Studies, & Frontier Research Center for Global Change	MIROC3.2 -hires (MIROC)	Spectral T106*L56	Pan and Randall (1998) / Emori et al. (2001)	CAPE/ Relative humidity
Same as above	MIROC3.2 -medres (MIRMED)	Spectral T42*L20 30 km	Pan and Randall (1998) / Emori et al. (2001)	CAPE/ Relative humidity
Institute for Numerical Mathematic	INM-CM3.0 (INM)	Gridpoint 72*45*L21	Betts (1986)	
Centre National de Recherches Météorologiques	CNRM-CM3 (CNRM)	Spectral T63*L45 0.05mb	Bougeault (1985)	Kuo

Figura 10: Caracterização dos oito modelos globais do IPCC AR4 utilizados nestas análises.

4.3 Metodologia e processamento de dados observados e dos modelos

Primeiramente, as 105 estações utilizadas neste estudo foram interpoladas na América do Sul por meio do interpolador Kriging em uma grade regular de 1° x 1°, para cada índice num período de 40 anos. Devido à distância entre as estações na Amazônia e a pouca quantidade de dados, o estudo foi focado para a região abaixo de 10°S de latitude. O algoritmo Vebyk (Value Estimation by Kriging) desenvolvido por Rolf Sidler foi utilizado sem anizotropia e com 20 estações para cada interpolação. A função exponencial de autocovariância foi escolhida por melhor aproximar-se da função experimental de covariância e o valor da correlação está acima de 100 graus. Este algoritmo forneceu uma estimativa do erro para cada ponto de grade.

Estes parâmetros foram escolhidos baseados nos resultados das simulações e no erro da variância. Maiores informações sobre o algoritmo podem ser obtidas em: <http://www.aug.geophys.ethz.ch/people/rolf/rolf.html>

Como as estações não estão distribuídas uniformemente, valores errôneos podem ser gerados pelo interpolador. Sendo assim, valores de erro de variância maiores que o valor fixado (1.5×10^{-3}) é considerado como valores indefinidos e não são usados para os cálculos seguintes.

Uma vez obtida a grade, as tendências são calculadas para 40 anos para cada ponto de grade, como mostraram Alexander et al (2006) utilizando dados observados e simulados. A tendência tem sido estimada por uma linha reta. A significância estatística tal como a tendência é determinada por uma curva T-student. A inclinação do estimador é baseada no Tau de Kendall (Sen, 1968) usado para calcular a tendência, visto que este método não assume uma distribuição residual e um forte efeito “outliers” na série. A correlação residual da série foi considerada quando testada a significância estatística da tendência, como uma autocorrelação positiva (a qual é usualmente apresentada em séries temporais de dados climáticos) nas séries temporais testadas sem confiabilidade (Zhang e Zwiers, 2004). Um procedimento iterativo, originalmente produzido por Zhang et al. (2000) e mais tarde aprimorado foi usado para calcular a magnitude da tendência e testar sua significância estatística.

4.4 Extremos climáticos de temperatura e chuva para clima do presente segundo os modelos globais de IPCC AR4

Para fins deste relatório somente serão analisados unicamente os extremos derivados dos índices de TN90 (noites quentes) e R10 (número de dias com precipitação acima de 10 mm/dia) dos modelos globais do IPCC. Análises dos outros índices aparecerão em estudos em preparação para representação dos valores observados em média, e para as tendências observadas e simuladas no clima do presente. Os capítulos 5 e 6 vão a analisar os índices de extremos derivados dos modelos regionais Eta/CPTEC, HadRM3P (do PRECIS) e do RegCM3, rodados com o HadAm3P do IPCC TAR. Nesses capítulos mais índices extremos serão considerados.

4.4.1 *Temperatura do ar*

- Tendências de TN90

A maioria dos modelos globais mostrou um aumento na frequência do índice TN90 no período 1961-2000, especialmente ao norte da bacia do Prata (Figura 10). Isto sugere um aumento na frequência de noites quentes (e consequentemente das temperaturas mínimas) durante os últimos 40 anos. Estes resultados confirmam as tendências observadas a nível padrão da estação, reportadas em vários estudos prévios (Marengo e Camargo 2007, Vincent et al., 2005). Porém, os modelos não conseguem simular a variabilidade espacial. As observações mostram tendências positivas de até 24%/ 40 anos no Sudeste da América do Sul, com mais intensidade no Sudeste do Brasil, assim como tendências positivas de até 15%/40 anos no norte e centro do Chile e na região central-oeste da Argentina. Os modelos simulam valores próximos ou ainda maiores. As incertezas ainda permanecem nas regiões Norte e Nordeste do Brasil onde a falta de informação meteorológica confiável não permite a quantificação destas tendências. Isto não permite verificar se as tendências modeladas são realísticas ou não.

No centro da Argentina não existem tendências estatisticamente significativas, no entanto, no sul do Peru e áreas da Bolívia, apresentam tendências negativas de TN90 durante o período de 1960 a 2000. Esta tendência negativa é consistente com as tendências negativas de temperatura do ar para o período de 1979-2003 derivadas pelo IPCC AR4 (a ser publicado em 2007) que mostra reduções da temperatura média de até 0.5 °C durante este período na costa oeste da Argentina e do Peru, o norte da Bolívia e o centro da Argentina, assim como aumentos na temperatura do ar neste mesmo período de até 1 °C no Sudeste da América do Sul. Porém, os modelos não apresentam estas tendências negativas.

A Figura 25 do Relatório 1 (Marengo 2007) mostra tendências positivas de TN90 para duas estações no estado de São Paulo (Campinas e Água Funda), que vão de 5% na década de 1950 até quase 35% nos inícios do Século XXI. Todos os modelos globais apresentam sinais de tendências positivas durante o período de 1960-2000, mas as tendências (que podem chegar até quase 30/40 anos ou mais) aparecem mais na região tropical, entre

5 a 15 S, e não no Sudeste da América do Sul como mostrado no mapa de observações.

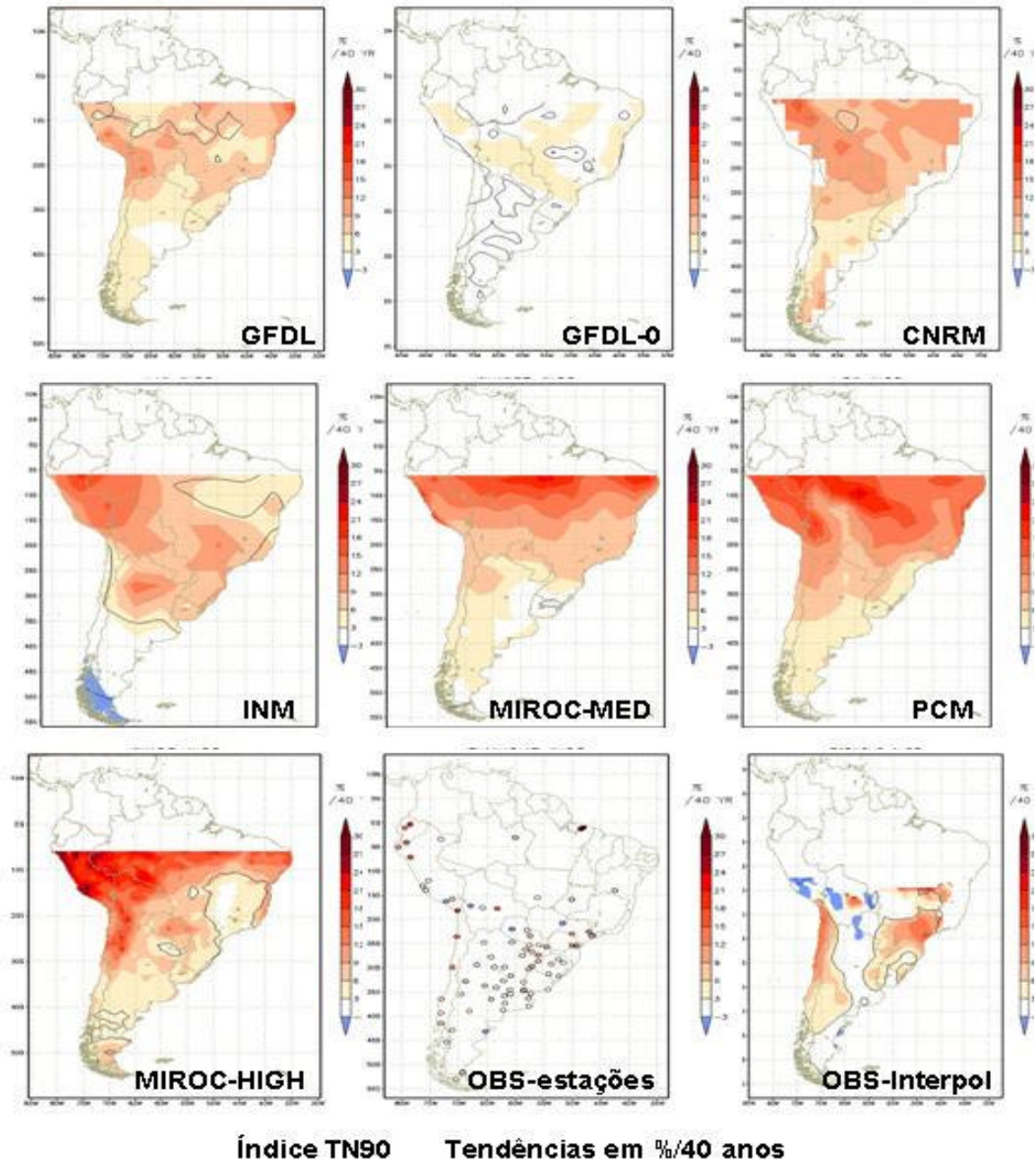


Figura 11. Tendência de TN90 de 6 modelos globais de IPCC AR4 e de observações durante o período de 1960-2000.

- *Tendências de R10*

Os dados das estações mostram um aumento de chuva forte (mais de 10 mm) em grande parte do Sudeste da América do Sul, Centro de Argentina e até o centro oeste e Sudeste do Brasil, assim como uma redução no sul do Chile

(Figura 11). Isto indicaria que em regiões como sudeste do Brasil as chuvas estariam se tornando mais intensas durante os últimos 50 anos. Em relação às simulações, observa-se a baixa capacidade dos modelos globais em simular as tendências de chuvas intensas representadas pelo índice R10. Isto acontece, pois este índice é baseado na precipitação e em geral os modelos têm algum problema em simular extremos de chuva, ainda que no nível de acumulado anual os modelos não apresentem uma tendência de aumento ou diminuição.

Somente os modelos GFDL-O e CNRM simularam as tendências positivas observadas na região tropical do Brasil, mas apresentam tendências negativas no sudeste e centro oeste do Brasil da ordem de -12 dias/40 anos, enquanto que as observações apresentam valores de até +12 dias/40 anos. Os demais modelos não simulam bem a distribuição espacial nem as magnitudes e sinais das tendências de R10, mostrando em alguns casos até tendências opostas, como no caso dos modelos INM e MIROC.

4.4.2 Tendências regionais da variabilidade interanual de TN90 e R10

As Figuras 5 a 7 mostram a variabilidade interanual e tendências dos índices de TN90 e R10 para os 6 modelos de IPPC AR4 e de observações, para 3 regiões com boa densidade de dados: Sudeste da América do Sul, Norte da Argentina e Sul do Chile. Para o Sudeste da América do Sul, a Figura 5 mostra que todos os modelos apresentam a tendência positiva observada de TN90, e os modelos MIROC, CCSM e INM apresentam valores mais altos que os observados desde 1998, chegando até 22% em tanto que os valores observados mostram menos de 18%. Os modelos simulam os valores menores de TN90 durante a década de 1960, e o modelo CNRM representa bastante bem os extremos da variabilidade interanual observada especialmente no período anterior a 1995, após de isso o modelo tende a superestimar a frequência observada.

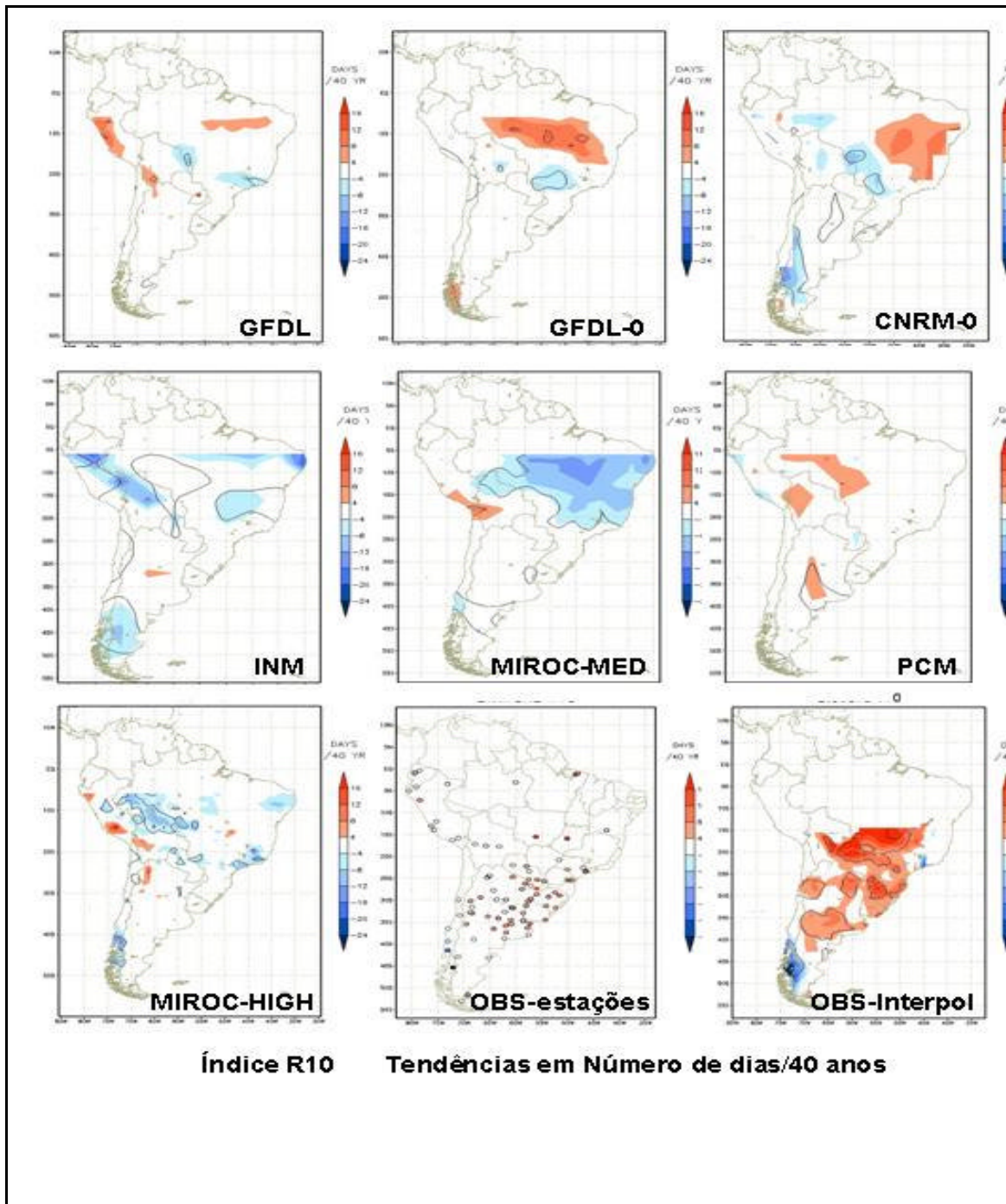


Figura 12. Tendência de R10 de 6 modelos globais de IPCC AR4 e de observações durante o período de 1960-2000.

Para o norte da Argentina, a Figura 12 mostra para o índice TN90 uma tendência positiva observada variando entre 10-12% na década de 1960 até 16% no ano 2000. Os modelos simulam a tendência positiva de TN90 ainda que seja aparente uma superestimação das tendências a partir de 1998. Em relação a R10, as observações mostram uma leve tendência positiva chegando até 25-30 dias na década de 1990, enquanto que dois modelos (PCM e CCSM) superestimam os valores observados. Os outros modelos apresentam valores

próximos aos valores observados, com a diferença que os índices observados e simulados são de mesma ordem de magnitude nas décadas de 1960 a 1970, enquanto que as simulações tendem a ser menores nas décadas de 1980 a 2000.

Em relação Sul do Chile (Figura 15) mostra um aumento na frequência do índice TN90 para esta região, com os maiores valores (14-16%) entre 1995-2000. Todos os modelos com a exceção do modelo INM simulam esta tendência positiva, e como no caso das regiões de Sudeste da América do Sul e Norte da Argentina os modelos MIROC, CCSM e CNRM simulam uma superestimação dos valores observados a partir de 1990.

Em relação a R10, as observações mostram uma leve tendência positiva que não é bem simulada pelos modelos. A magnitude do índice R10 é comparável com os valores simulados pelo modelo CCSM entre 40-50 dias, e os modelos tendem a subestimar os valores observados especialmente o modelo INM. Os valores observados apontam para uma redução do número de dias cm chuva acima de 10 mm variando entre 40-50 dias em 1960-80 e entre 30-40 dias entre 1980-2000. Os modelos MIROC, CNRM e GFDL apontam para uma superestimação com valores simulados variando entre 50-70 dias, o modelo INM aponta para uma subestimação com valores entre 15-30 dias e os outros modelos apresentam valores da mesma ordem de magnitude que os observados. Com exceção dos 3 modelos que apontam para uma superestimativa, os outros modelos simulam com certo sucesso a tendência negativa observada de R10.

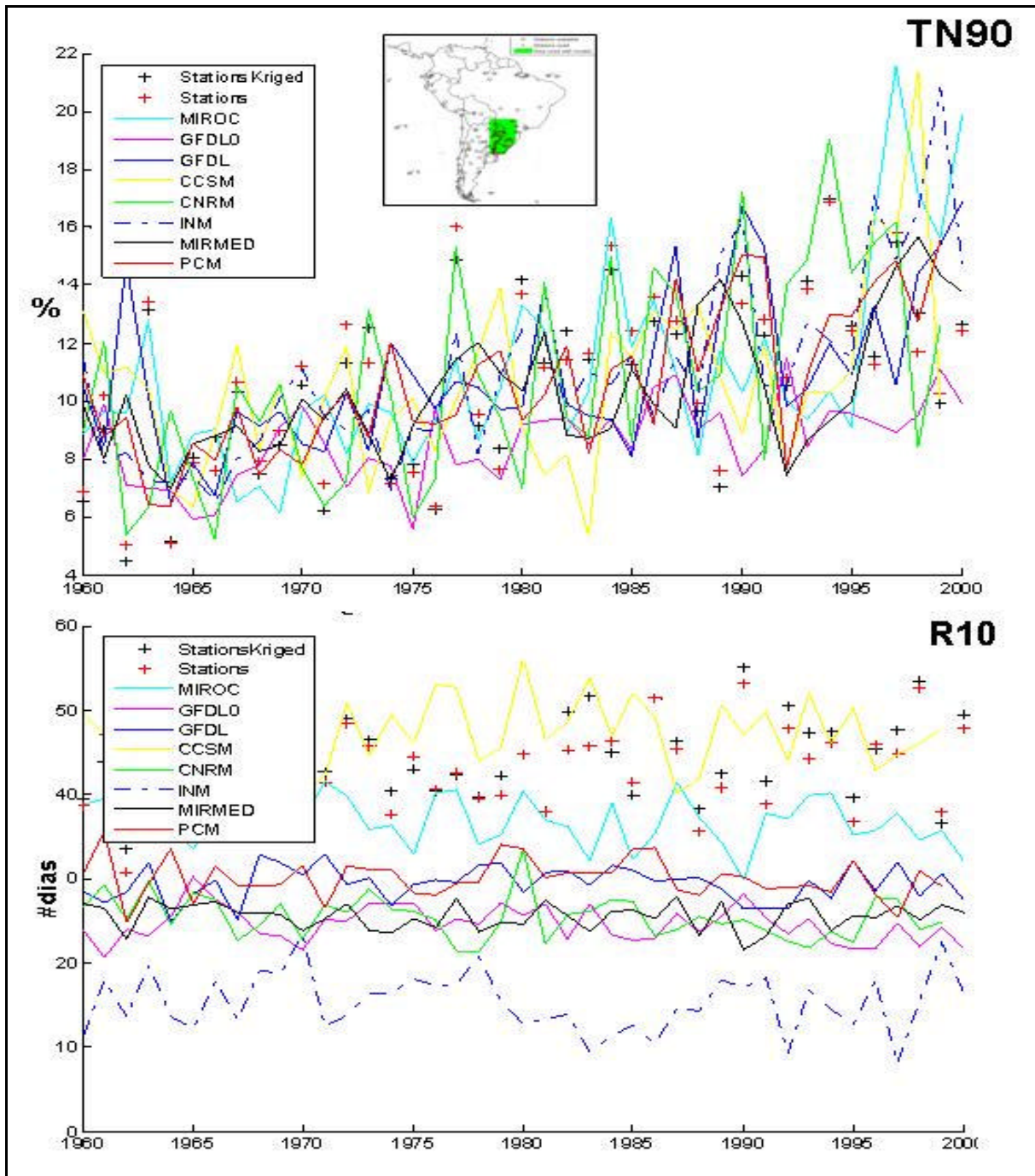


Figura 13. Variabilidade interanual dos índices TN90 (painel superior, em %) e R10 (painel inferior, em número de dias) para os 6 modelos de IPCC AR4 e observações numa área de Sudeste da América do Sul.

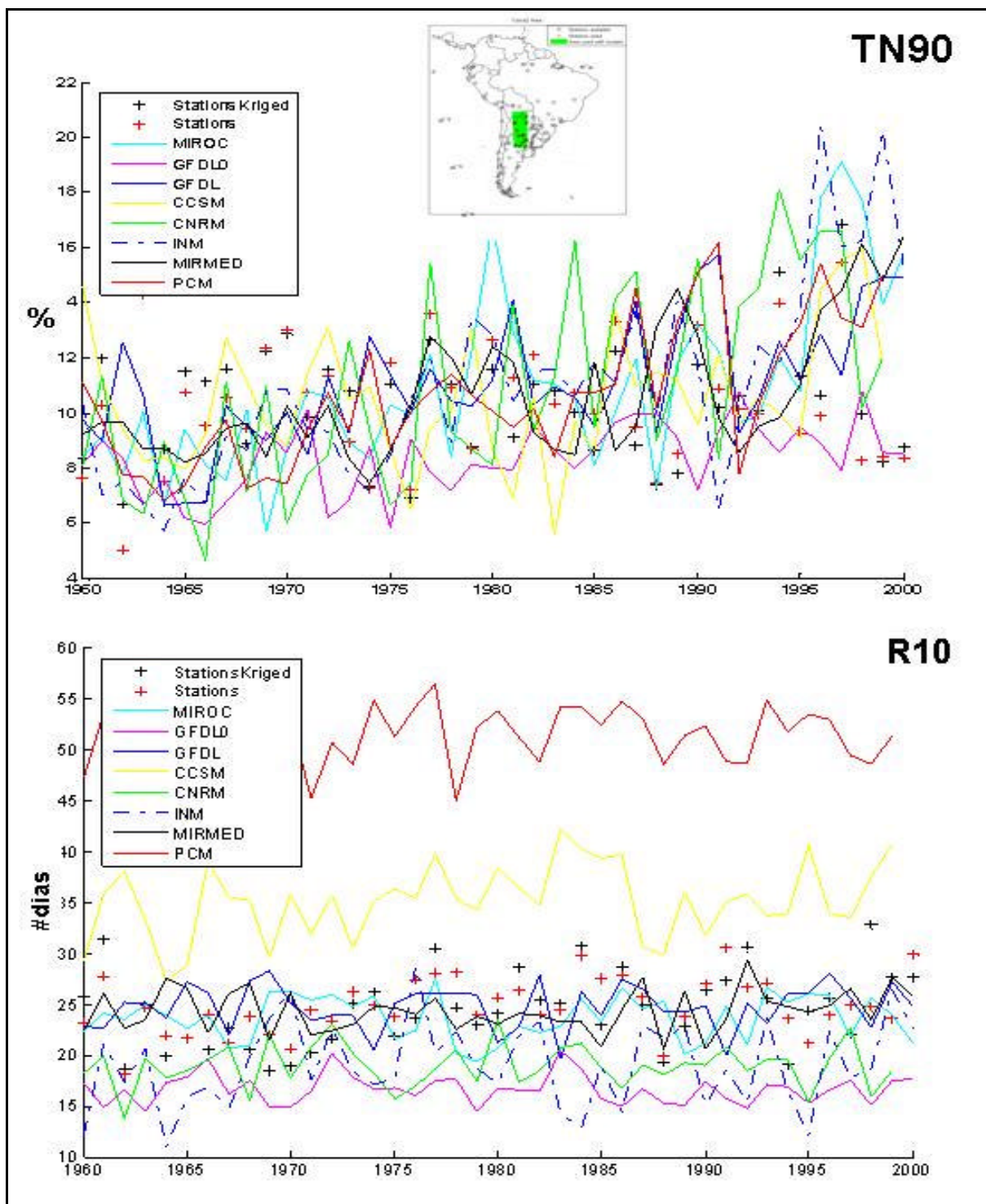


Figura 14: Variabilidade interanual dos índices TN90 (painel superior, em %) e R10 (painel inferior, em número de dias) para os 6 modelos de IPCC AR4 e observações numa área do Norte da Argentina.

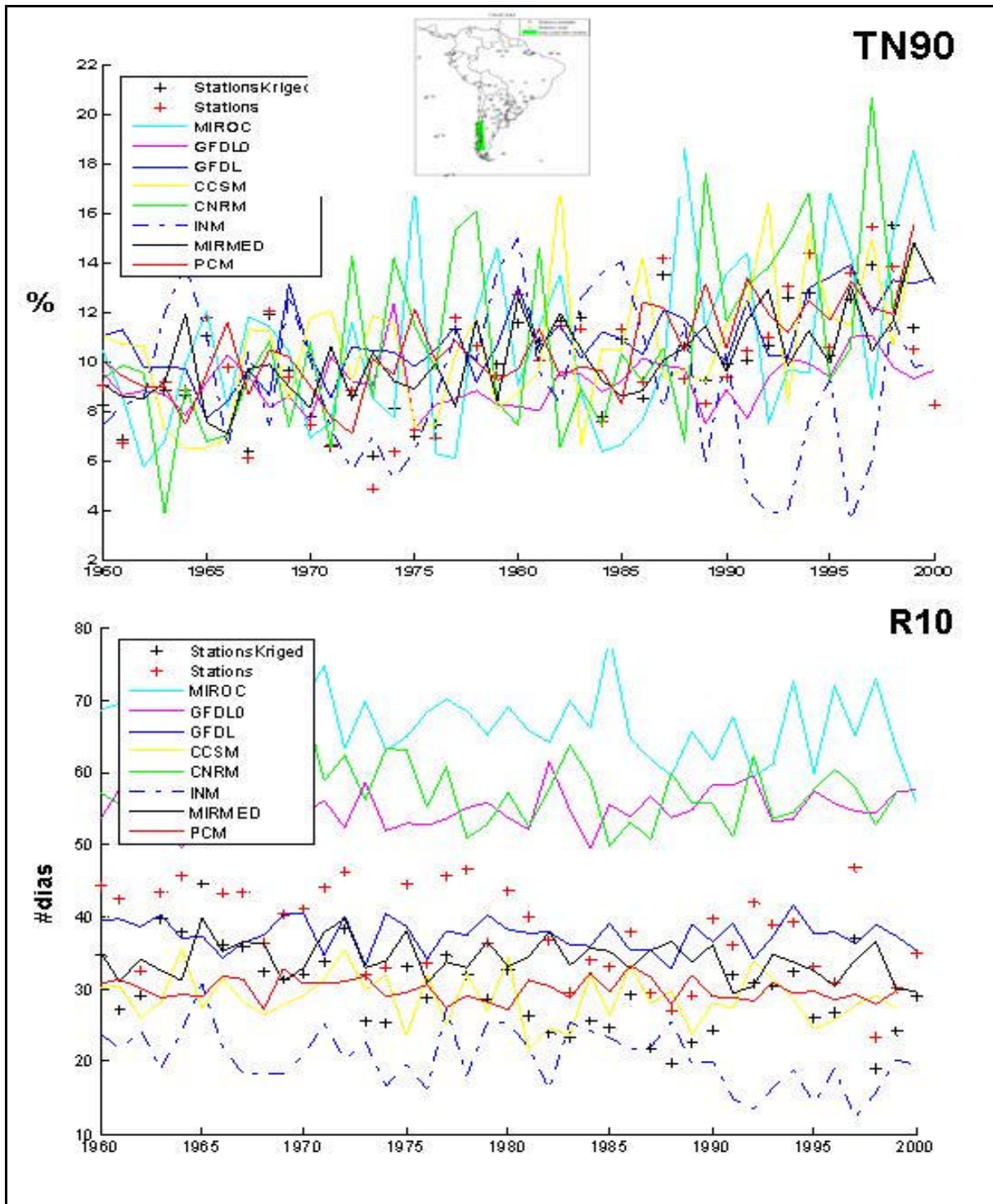


Figura 15. Variabilidade interanual dos índices TN90 (painel superior, em %) e R10 (painel inferior, em número de dias) para os 6 modelos de IPCC AR4 e observações numa área do sul do Chile.

4.4.3 *Variações na PDF (Função de densidade de probabilidades) de TN90 e R10*

O estudo de Alexander et al. (2006) mostra variações nas PDFs de vários índices de extremos climáticos tem mudado significativamente no Século XX, paralelamente as tendências observadas de alguns índices de extremos (Seções 4.1.2 e 4.1.3). A Figura 16 mostra as PDFs para os índices TN90 (Noites Quentes) e R10 (chuva forte) para cada modelo (curvas em cores) e dados observados em ponto de grade (curva em “cruz”) para a região Sudeste da América do Sul. Em eventos extremos, as curvas de PDF podem mostrar mudanças na média, no desvio padrão e na média e desvio padrão juntos.

Os gráficos das Figuras 13-15 mostram a pouca eficiência dos modelos em simular a ordem de grandeza destes índices e a variabilidade espacial das tendências. Entretanto, os modelos conseguem fazer uma boa simulação da tendência durante os últimos 50 anos. Na figura para TN90 (parte superior-Figura 16), todos os modelos (com a exceção do GFDL-0) confirmam o aquecimento das temperaturas mínimas pelo índice TN90 mostrando um deslocamento das curvas para a direita sendo maior o deslocamento no modelo CNRM. As probabilidades observadas de frequência de PDF para o período de 1960-2000 alcançam valores de 0.1, em tanto que os modelos superestimam a probabilidade chegando até quase 0.20. As tendências observadas e simuladas sobre os 40 anos de estudo ficam sempre positivas, e o comportamento da PDF simulada sugere mudanças na média e o desvio padrão. As análises de Alexander et al. (2006) também mostram um aumento na frequência na distribuição de TN90 durante 1950-2000 a nível global e também têm apresentado um deslocamento para a direita (positivo) nos PDF de TN90 ao nível global consistente com as tendências positivas das temperaturas média e extremas e do índice TN90.

A PDF do índice R10 (parte inferior-Figura 16) é menos consistente que do TN90. A PDF observada nesta mesma região durante 1960-2000 mostra probabilidades entre 0.05 e 0.1, enquanto que todas as simulações mostram um corrimento das PDFs para a esquerda, chegando a picos na distribuição simulados de até 0.25 no modelo GFDL-0 e com valores próximos a 0 ou ligeiramente negativos. Assim, ainda que o índice R10 apresenta uma tendência positiva a nível global e na região Sudeste da América do Sul, as

simulações das PDFs dos modelos de IPCC AR4 são menos coerentes e não apontam para este aumento.

Em resumo, para o período 1960-2000, os 7 modelos de IPCC AR4 considerados neste análise sugerem uma tendência positiva do índice de extremos de temperatura TN90 durante este período, consistente com as observações, e com uma maior certeza na região subtropical da América do Sul, onde a cobertura observacional é maior. As tendências de aumento do índice TN90 observadas apontam para um aumento na frequência de noites mais quentes, explicadas por um aumento nas temperaturas noturnas (temperatura mínima) e nem tanto pelas temperaturas máximas. As tendências positivas nas temperaturas médias em grande parte da América do Sul (Marengo 2007-Relatório 1) poderiam ser melhor explicadas pelos aumentos das temperaturas mínimas. Os modelos também sugerem um clima mais quente neste período de 1960-2000 com algumas diferenças na taxa de aquecimento no nível espacial e temporal, o que reflete diferenças entre modelos. Em relação ao índice R10, ainda que as tendências regionais de chuva média não mostram aumento de precipitação, ou até diminuição do total anual, as chuvas são mais intensas nas décadas recentes mais quentes.

No Sudeste e Sul do Brasil, as chuvas estão se tornando cada vez mais violentas desde 1950. Isso apesar de o total precipitado não ter sofrido modificação perceptível. Assim, não é novidade que os grandes centros nestas regiões, periodicamente atingidos por fortes chuvas, sofrem com inundações, engarrafamentos e deslizamentos. No Brasil tropical ainda há poucos dados para detectar ou prever com precisão de detalhes de uma alteração desse tipo, tanto no clima do presente como para o futuro.

Simulações de um mundo mais úmido e quente nos últimos 40 anos mostram um clima caracterizado por mais frequentes e intensos eventos extremos de chuva, e na frequência de noites quentes, o que pode se observar melhor no Sudeste da América do Sul devido a melhor cobertura observacional. Porém, não existe um padrão de mudança o suficientemente grande para alcançar significância estatística, especialmente em relação a chuvas intensas.

Este aumento de extremos pode ser explicado por uma aparente aceleração do ciclo hidrológico e da intensificação dos gradientes térmicos entre continente e oceano. Um clima mais quente apresentaria uma aceleração dos ventos, e a umidade atmosférica levada pelos sistemas frontais, as brisas

ou o jato de baixos níveis ao leste dos Andes até o Sudeste do Brasil poderiam ser acelerados e intensos, mas de um modo não contínuo, como se fossem pulsos, contribuindo assim para uma maior convergência de umidade e chuva em tempos mais curtos da escala de dias. Isto tende a aumentar a intensidade de extremos de chuva.

Ainda não sabemos se o derretimento das calotas polares na Antártica poderia alterar os padrões de circulação atmosférica e a passagem das frentes frias. As passagens dos sistemas de tempo mais rápidas poderiam gerar tempestades severas mais intensas e frequentes em poucos dias, seguida de dias sem chuva ou períodos de estiagem mais longos, ou seja, a distribuição mensal de chuva pode mudar, concentrando-se a chuva em períodos mais curtos na forma de eventos extremos de chuva.

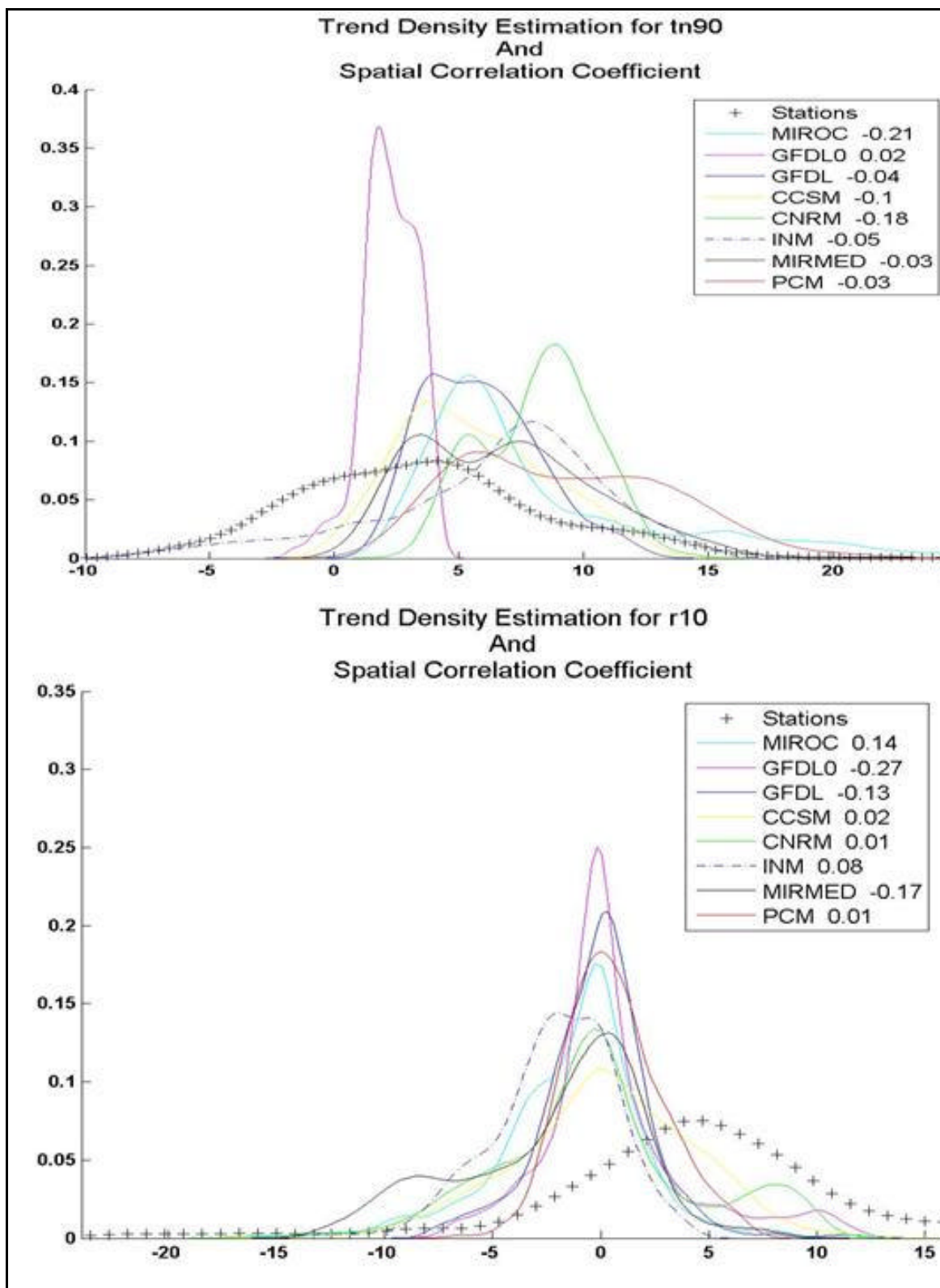


Figura 16: Probability Density Function (PDF) dos 7 modelos de IPCC AR4 e de observações.

As análises feitas neste estudo, usando observações e saídas dos modelos globais de IPCC AR4 de extremos climáticos não têm apresentado uma consistência para o clima do presente 1961-90. Os índices de extremos de temperatura observados e gerados pelos modelos globais para o presente apresentam a mesma tendência nas mesmas regiões, especialmente na região subtropical da América do Sul, ainda que as grandezas dos índices mostrem vieses entre modelos. Para os extremos de chuva, ainda que os índices observados sugiram de um aumento na frequência e intensidade de extremos de chuva nos últimos 50 anos no Sudeste da América do Sul, os modelos globais usados não simulam esta tendência observada. Não há muita coisa a ser dita sobre eventos extremos na região tropical, principalmente pela falta de informação meteorológica confiável e homogênea em estações nesta região, o que impossibilitou a gerar índices de extremos para o clima do presente 1960-2000 já discutidos. Estas diferenças entre modelos e observações no clima do presente podem complicar um pouco a interpretação de índices climáticos derivados dos modelos de IPCC AR4 para cenários futuros até 2100, que serão discutidos nos capítulos seguintes.

CAPÍTULO 5

Análises de extremos usando os índices climáticos para o clima do futuro derivado dos modelos globais do IPCC AR4

A Seção 5.3 do Relatório 1 (Marengo 2007) apresenta os resultados dos estudos de (Tebaldi *et al.* 2006), que analisa projeções de extremos climáticos usando oito modelos globais do IPCC AR4 para o período 2080-2099, usando os mesmos índices climáticos já definidos nas seções anteriores. Os mapas da Figura 17 apresentam resultados das tendências de alguns índices de extremos gerados por 9 modelos globais do IPCC AR4. O cenário analisado por Tebaldi *et al.* (2006) é o cenário A1B e os índices discutidos neste relatório são dias com geadas (Fd), número de dias com chuva acima de 10mm (R10), diferença entre a maior e menor temperatura anual do ano (ETR), número de dias secos consecutivos (CDD), máximo precipitação máxima acumulada em cinco dias (R5d), ondas de calor (HWDI), precipitação anual dividido pelo número de dias chuvosos (SDII), porcentagem de noites quentes (TN90), e fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95th (R95P). As regiões com pontos apresentam áreas onde pelo menos cinco dos nove modelos mostram a mesma tendência estatisticamente significativa de mudança dos índices climáticos de extremos.

Para o índice de Fd, pode ser observar uma tendência negativa na área Andina e no sudeste da América do Sul, sugerindo invernos futuros mais quentes com menos dias com geadas e até talvez o derretimento das geleiras dos Andes. Os índices de intensificação de chuva extrema que podem produzir enchentes, identificados como R5d e R95P, mostram tendências positivas em ao menos cinco dos nove modelos na região Amazônia e em partes da região sudeste. É mais difícil tirar alguma conclusão do mapa de R10, pois as tendências não parecem ser consistentes como as de R5d e R95t. Áreas com anomalias negativas de R10 aparecem no Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, Sul da Amazônia, Venezuela e Sul do Chile, sendo estatisticamente significativas no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e Sul da Amazônia. Sugerindo reduções na frequência de eventos de chuva acima de 10mm dia⁻¹, enquanto que na Amazônia do oeste e na Colômbia, quatro dos oito modelos apresentam uma tendência positiva de R10, que parecem ser consistentes com as tendências dos índices R5d, SDII e R95t. O índice de CDD de dias secos

consecutivos mostra que os modelos tendem a apresentar um sinal positivo consistente no Sudeste do Brasil, sul do Nordeste e no extremo leste da Amazônia, sugerindo que no futuro poderiam se apresentar períodos secos mais intensos e de maior duração especialmente no semiárido do Nordeste e no sul de Chile-Argentina. Na Amazônia do oeste e Norte do Peru-Ecuador o sinal negativo estatisticamente significativo sugere que no futuro poderiam se apresentar períodos secos mais curtos, consistentes com as tendências positivas na intensidade de chuva.

O índice ETR apresenta valores maiores no norte da Argentina e valores negativos na costa Oeste da América do sul até a Amazônia do Norte. A explicação é que na Argentina as temperaturas máximas parecem ter tendências positivas mais intensas que as mínimas, enquanto que na região tropical são as mínimas que apresentam tendências positivas mais intensas. Os valores do índice de noites quentes TN90 são positivos e estatisticamente significativos em todo o continente, sendo mais intensos na região subtropical e no Norte da América do Sul, e com um gradiente negativo entre o Equador e a região subtropical. O índice de calor HWDI apresenta tendências positivas comuns em todos os modelos praticamente em toda a América do Sul, sendo mais intensas na região tropical da América do Sul.

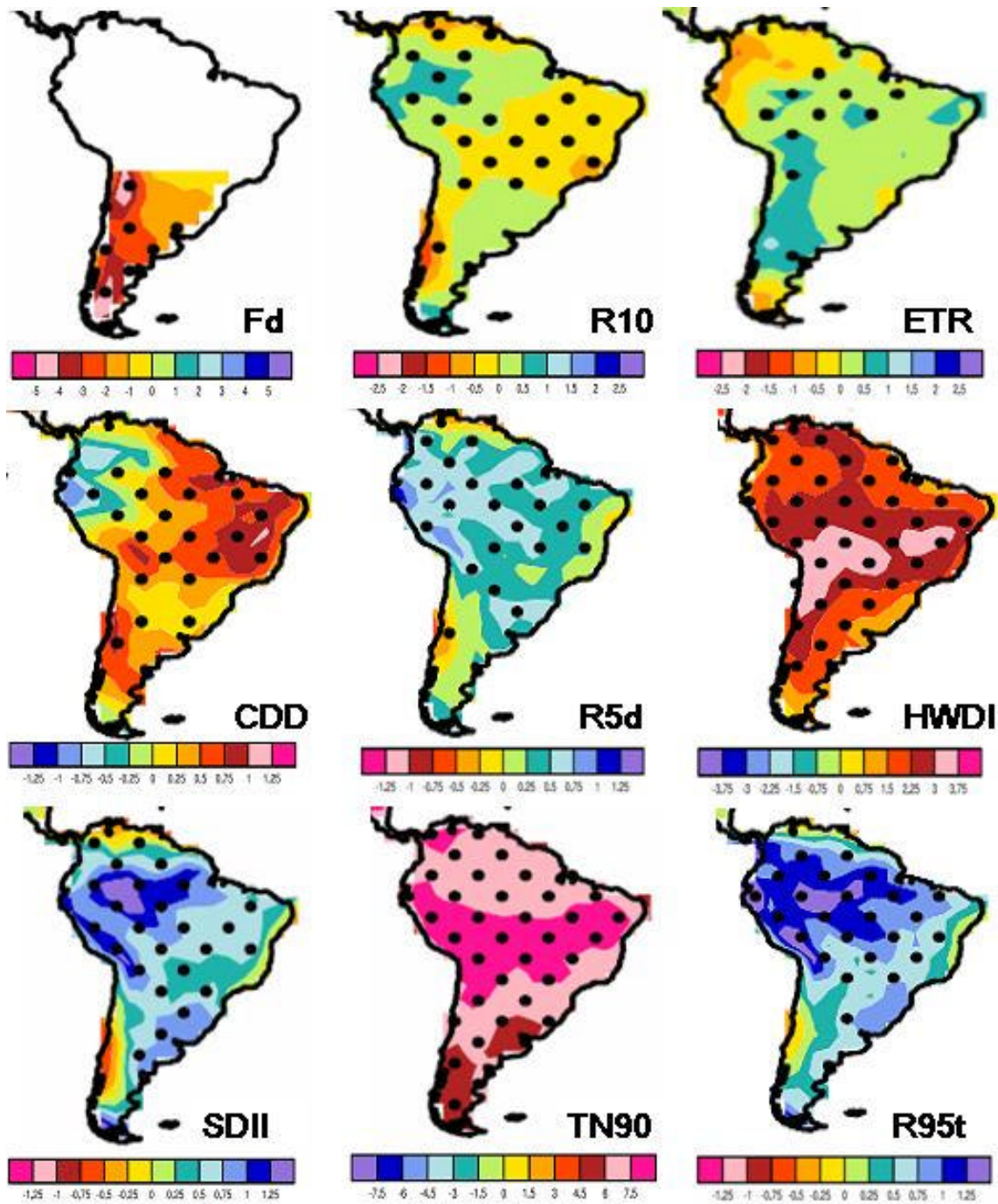


Figura 17: Médias dos nove modelos de IPCC AR4 usados por Tebaldi et al (2006) para definir tendências de extremos climáticos na América do Sul. O cenário usado é A1B para o período 2080-2099 em relação ao clima do presente 1980-1999. Os valores apresentados em cada ponto de grade têm sido standardizados e depois a média dos modelos foi calculada. Regiões com pontos pretos correspondem a áreas onde ao menos cinco dos nove modelos apresentam o mesmo sinal da tendência estatisticamente significativa. As escalas de cor aparecem na parte inferior de cada mapa. Os índices aparecem listados no Apêndice 1 (Fonte: Tebaldi et al. 2006).

Considerando a análise das projeções de extremos climáticos derivados dos modelos globais do IPCC AR4 apresentados na Figura 17, e no contexto dos estudos observacionais de Alexander et al (2006), Haylock et al (2006) e Vincent al (2005) para o clima do presente assim como das simulações de extremos para o clima do presente discutidos no Capítulo 4, pode se concluir que os modelos são consistentes em simular para o futuro extremos de temperatura e intensidade de chuva que já tem sido observado nos últimos 40 ou 50 anos no clima do presente. No Século XXI as projeções de extremos derivadas dos modelos de IPCC AR4 apresentam para algumas regiões de América do Sul e do Brasil uma continuidade das tendências observadas no presente, ainda que as tendências sejam mais intensas. Isto pode ser afirmado com um alto grau de certeza para América do Sul ao sul de 20 S ao leste dos Andes, mais para a região tropical as incertezas ainda são altas.

As projeções futuras de extremos de temperatura e chuva no continente gerados pelos modelos globais do IPCC AR4 são consistentes como poderia ser esperado num clima mais quente, devido ao aumento na concentração de gases de efeito estufa até 2100.

CAPÍTULO 6

Análise de extremos climáticos no presente e do futuro derivados do modelo regional HadRM3 (PRECIS) e downscaling do HadAM3P

As análises a serem apresentadas neste capítulo são feitas usando as simulações de clima do presente do modelo regional HadRM3P unicamente, como parte do projeto CREAS (Marengo e Ambrizzi 2006). O período de estudo definido como clima atual é de 1961 até 1990 e é o período de referência que define o clima do presente nos relatórios do IPCC. Os índices de extremos considerados são aqueles já explicados no Capítulo 3. Os outros modelos regionais não foram consideradas nesta análise porque as saídas do modelo Eta/CPTEC não têm as variáveis de temperaturas máxima e mínima e alguns índices de extremos de temperatura não foram calculadas para este modelo, e os índices de extremos derivados do modelo RegCM3 não foram derivadas a tempo para poder entrar na análise. A apêndice 2 apresenta os mapas para os cenários A2 e B2 dos índices de extremos considerados na análise geradas pelos modelos Eta/CPTEC e RegCM3 para 2071-2100. Para maiores detalhes dos índices sugere-se revisar Capítulo 3 e sobre os modelos regionais usados o leitor pode revisar o Relatório 4 (Ambrizzi et al. 2007). Comparações são feitas com os valores observados dos índices de extremos baseados nos dados de 105 postos meteorológicos principalmente localizados ao sul de 10 S, interpolados na grade de 0.5 graus lat-lon. Para detalhes sobre os mapas de extremos observados o leitor pode revisar os mapas do Capítulo 4, assim como os artigos de Alexander et al.(2006), Haylock et al. (2006) e Vincent et al. (2005)

6.1 Índices de extremos simulados pelo modelo regional HadRM3P para o clima do presente

A análise dos eventos extremos com um modelo regional foi feita com as saídas do modelo HadRM3. As tendências para os períodos foram calculadas com a mesma metodologia utilizada nos dados de estações e modelos globais. A escada de cor utilizada é a mesma utilizada anteriormente, facilitando a interpretação dos resultados. Serão analisados os índices de dias quentes TX90P, dias frios TX10P, noites quentes TN90P e dias frios TX10P para temperatura e os índices de dias com chuvas maiores a 10 mm R10, dias

secos consecutivos CDD, dias com chuvas intensas em 5 dias consecutivos Rx5P e dias com chuva acima do 95th percentil R95P.

A Figura 18 apresenta as tendências dos índices observados no período de 1961-1990 para quatro índices de extremos de temperatura e de chuva, a Figura 17 mostra as tendências dos índices simulados para o clima do presente 1961-90 Y pelo HadRM3P, e as Figuras 19 e 20 apresentam as tendências projetadas dos mesmos índices de extremos de temperatura e chuva para o futuro 2071-2100 considerando os cenários A2 e B2.

- Índices de temperaturas extremas:

As tendências observadas (Sul de 12 S somente) mostram tendências positivas no índice TN90P de noites quentes para quase toda a região tropical e subtropical da América do Sul, enquanto que as tendências do índice de noites frias TN10P são muito mais negativas, especialmente no Sudeste da América do Sul, consistente com as tendências positivas das noites quentes. As tendências observadas nos dias frios TX90P e noites são mais fortes no Sudeste do Brasil, onde a tendência negativa de dias frios é consistente com um aumento na frequência de dias quentes TX90P. Em outras áreas não tem um aumento ou redução grande na tendência de dias frios, mais a frequência de dias quentes tende a diminuir em área do sul e centro oeste. Porém, o padrão fundamental é o aumento na tendência de noites quentes e redução de dias frios, consistente com um aumento na temperatura mínima maior que o aumento da temperatura máxima.

No clima atual simulado pelo modelo HadRM3P, o modelo simula um aumento na frequência de noites quentes em toda a América do Sul, ainda que seja subestimada, pois os valores maiores de tendência no índice TN90P chegam até 15 % na costa do Sudeste do Brasil enquanto que as observações apresentam até 30% na mesma região. O índice TN90P mostra valores similares aos observados, chegando até -6 % no Sudeste do Brasil consistente com as observações. O Índice TX10P mostra que os valores simulados apresentam reduções entre 3 a 6% em tanto que as observações mostram reduções maiores a 6%. Os valores simulados de TX90P não apresentam os extremos observados em áreas como Sudeste e Sul do Brasil.

Para o Cenário B2, a maior parte de Sudeste, centro oeste, Amazônia e Nordeste apresentam tendências positivas de até 15% para o índice TN90P, em tanto que no cenário A2 as tendências são bem maiores, chegando até 24% no sudeste, centro este e Amazônia e de mais de 30 % no Norte de Nordeste. O índice de TN10P apresenta reduções maiores a 6% no sudeste do Brasil e a maior parte do Brasil tropical no cenário B2, e no cenário A2 toda a América do Sul apresenta reduções nas noites frias. Para dias frios (TX10P) o cenário B2 mostra reduções de mais de 6% no Brasil tropical, tendência que se estende até o sudeste e sul do Brasil no cenário A2. Consistente com a frequência e dias quentes aumenta entre 6 a 12% no Brasil tropical e subtropical no cenário B2, chegando até 24% no cenário A2.

-Índices de chuvas extremas

As tendências observadas (Sul de 12 S somente) mostram valores positivos nos três índices de chuva R10, R95P, RX5P na maior parte do Sudeste do Brasil, enquanto que o índice de dias secos consecutivos apresenta tendências negativas no Sul e Sudeste do Brasil. Isto poderia ser interpretado como um aumento nas tendências observadas de chuvas extremas no clima do presente no Sudeste e Sul do Brasil, acompanhados pela redução na tendência de dias secos consecutivos nestas regiões.

As simulações para o clima do presente mostram aumentos de até 12 dias em áreas do centro oeste e do sul do Brasil e na Amazônia, mais o padrão é bastante espalhado. Para áreas do Sudeste o modelo simula sobre MG o modelo simula tendências negativas para os índices R10, R95P, RX5 e CDD, que não está de acordo com as observações. Aparentemente os melhores resultados foram obtidos para CDD. Os padrões são muito semelhantes com diminuição dos dias secos consecutivos no sudeste do Brasil, tendência fraca no Uruguai e Argentina e aumento leve no Sul do Peru, Bolívia e norte do Chile.

No cenário B2, o modelo HadRm3p aponta para um aumento na frequência de extremos de chuva na Amazônia central e oeste, no Sudeste e Sul do Brasil, assim como reduções no Nordeste. No caso do Nordeste e na Amazônia do leste as projeções para o futuro apontam para um aumento na frequência de dias secos consecutivos, que são áreas onde o aumento na frequência de eventos extremos de chuva para o futuro é pouca. No cenário A2

as tendências são similares ao cenário B2, porém, as intensidades são maiores, especialmente em áreas da Amazônia do oeste, centro oeste e sudeste e sul do Brasil. O Nordeste e Amazônia do leste são afetados por reduções de extremos de chuva mais, mas o padrão mais importante é o aumento na frequência de dias secos consecutivos (e tendências de aumentos de veranicos) o que implica danos sérios para a agricultura.

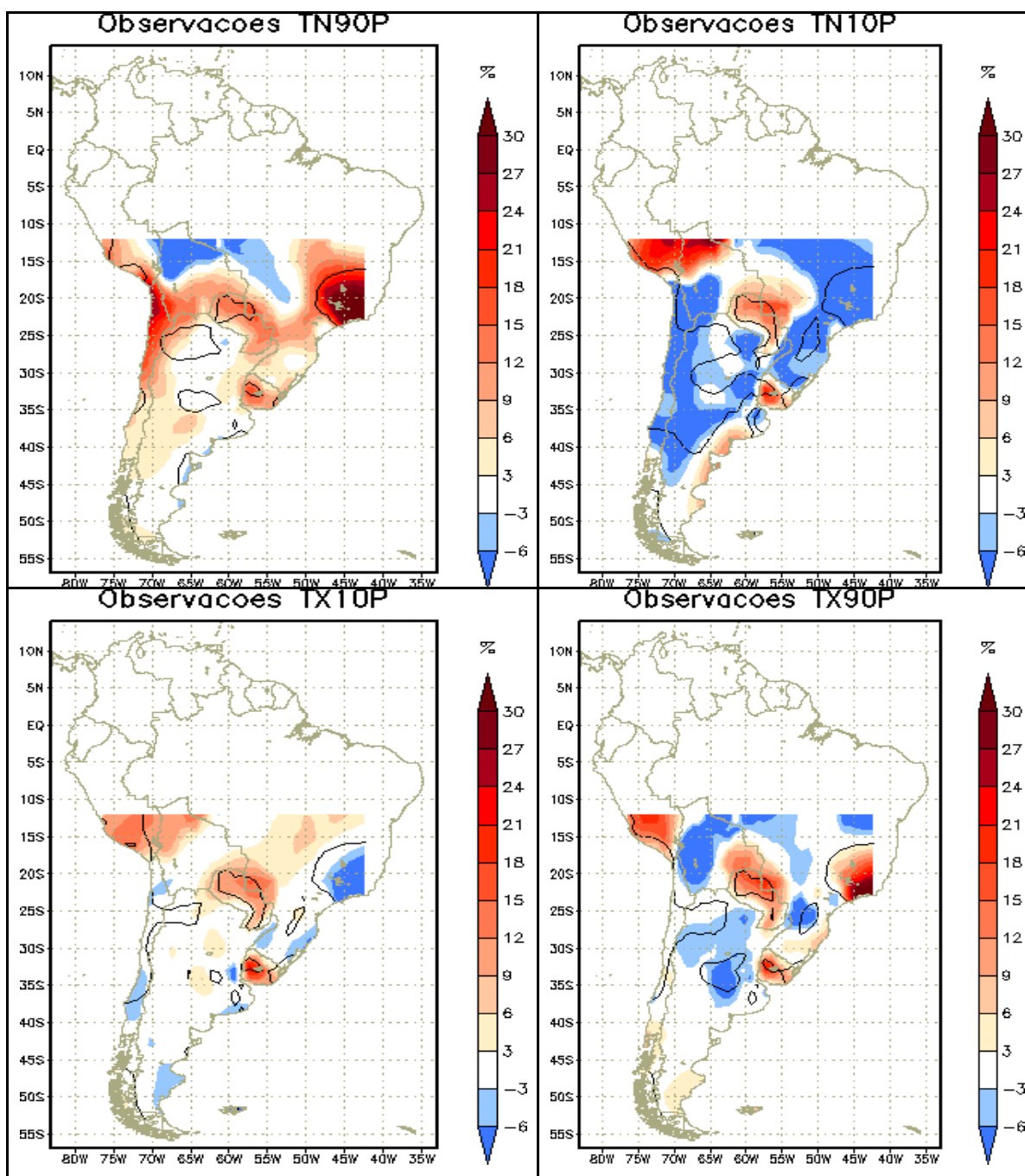


Figura 18: Tendências observadas de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa. Período é de 1961-90.

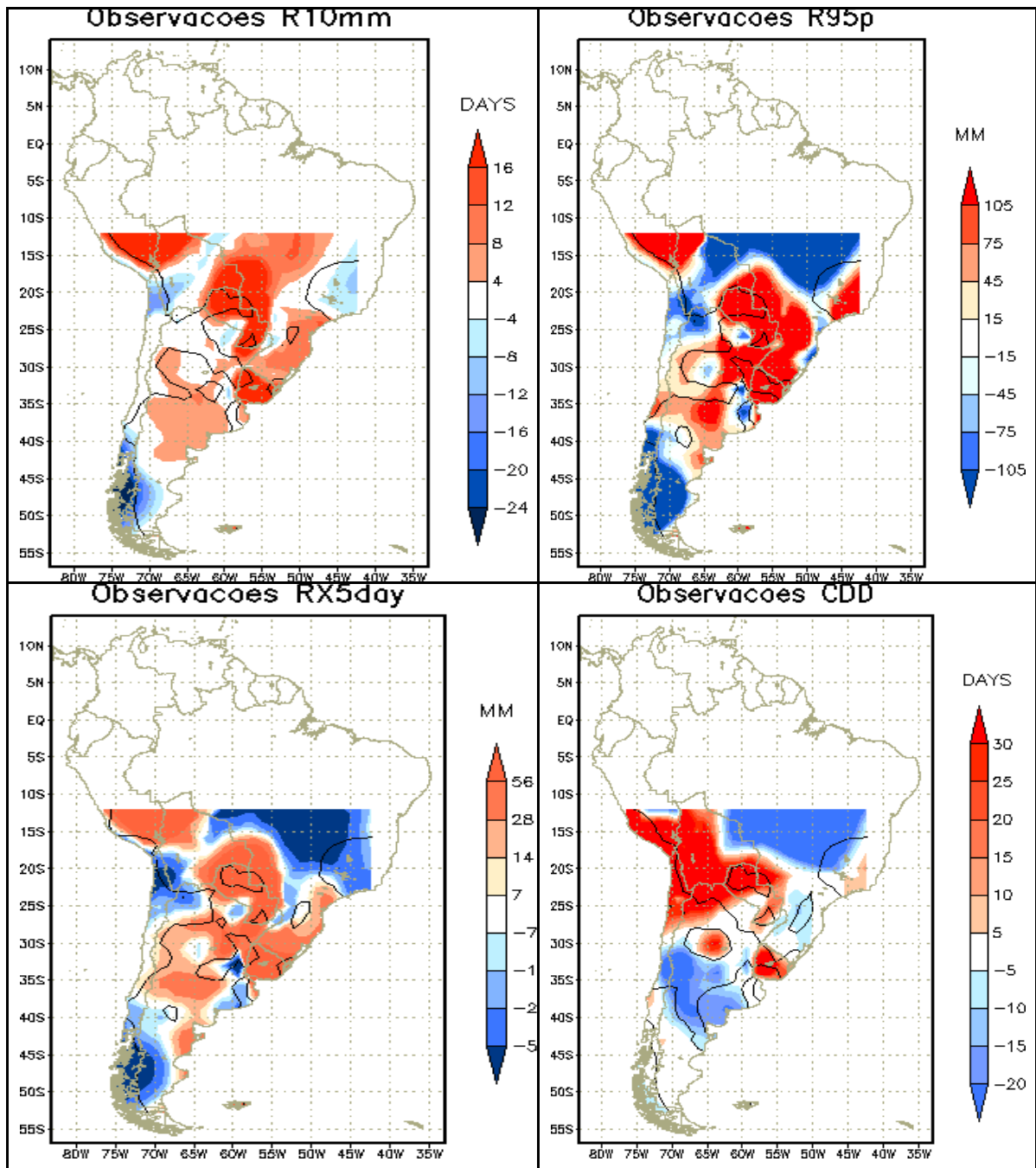


Figura 18 (Cont.): Tendências observadas de dias com chuva maiores a 10 mm R10, Dias com chuva acima do 95th percentil R95P, eventos de chuva intensa durante 5 dias consecutivos RX95P e dias secos consecutivos CDD na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa. Período é de 1961-90.

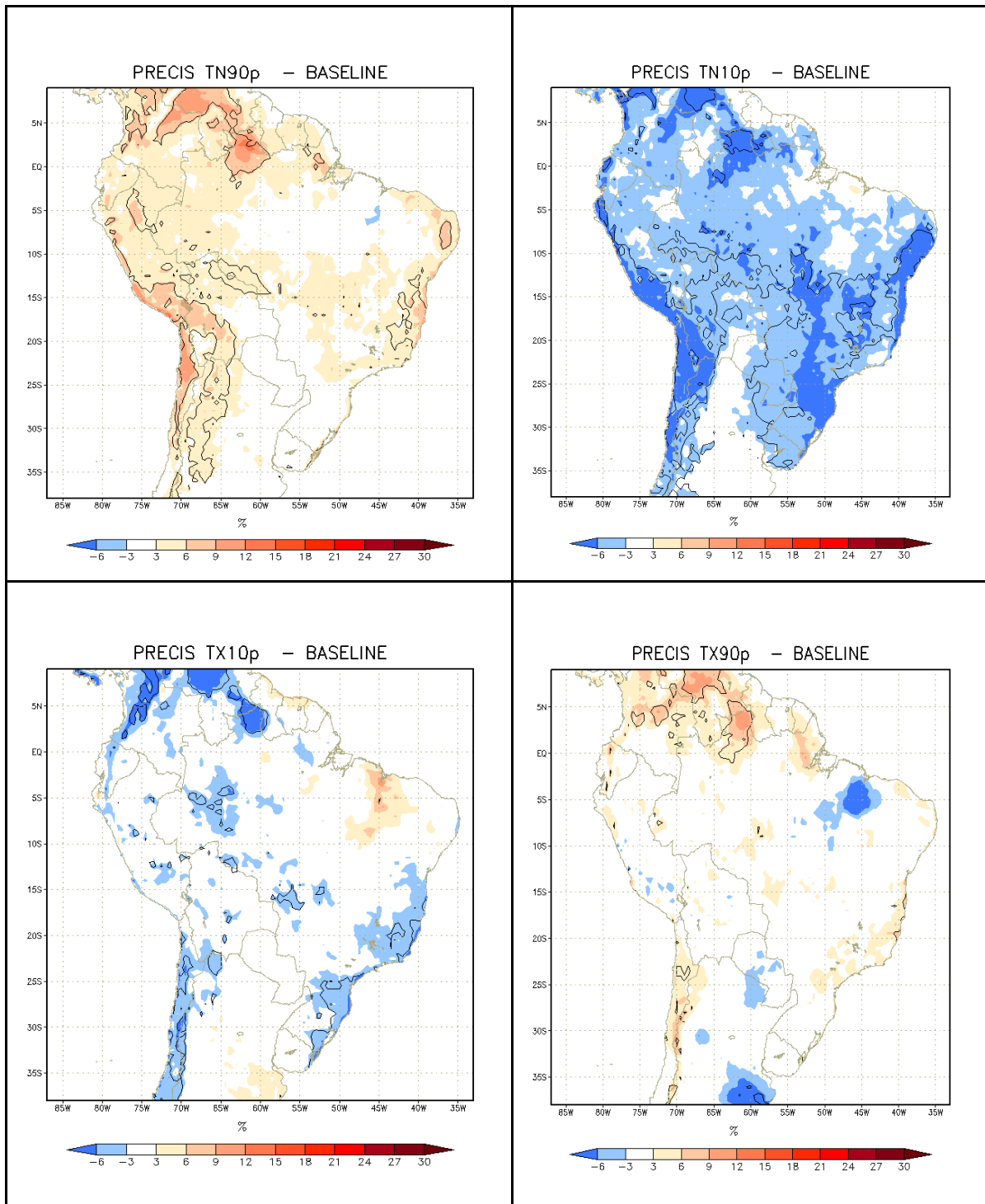


Figura 19: Tendências simuladas pelo modelo regional HadRM3 de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa. Período é de 1961-90.

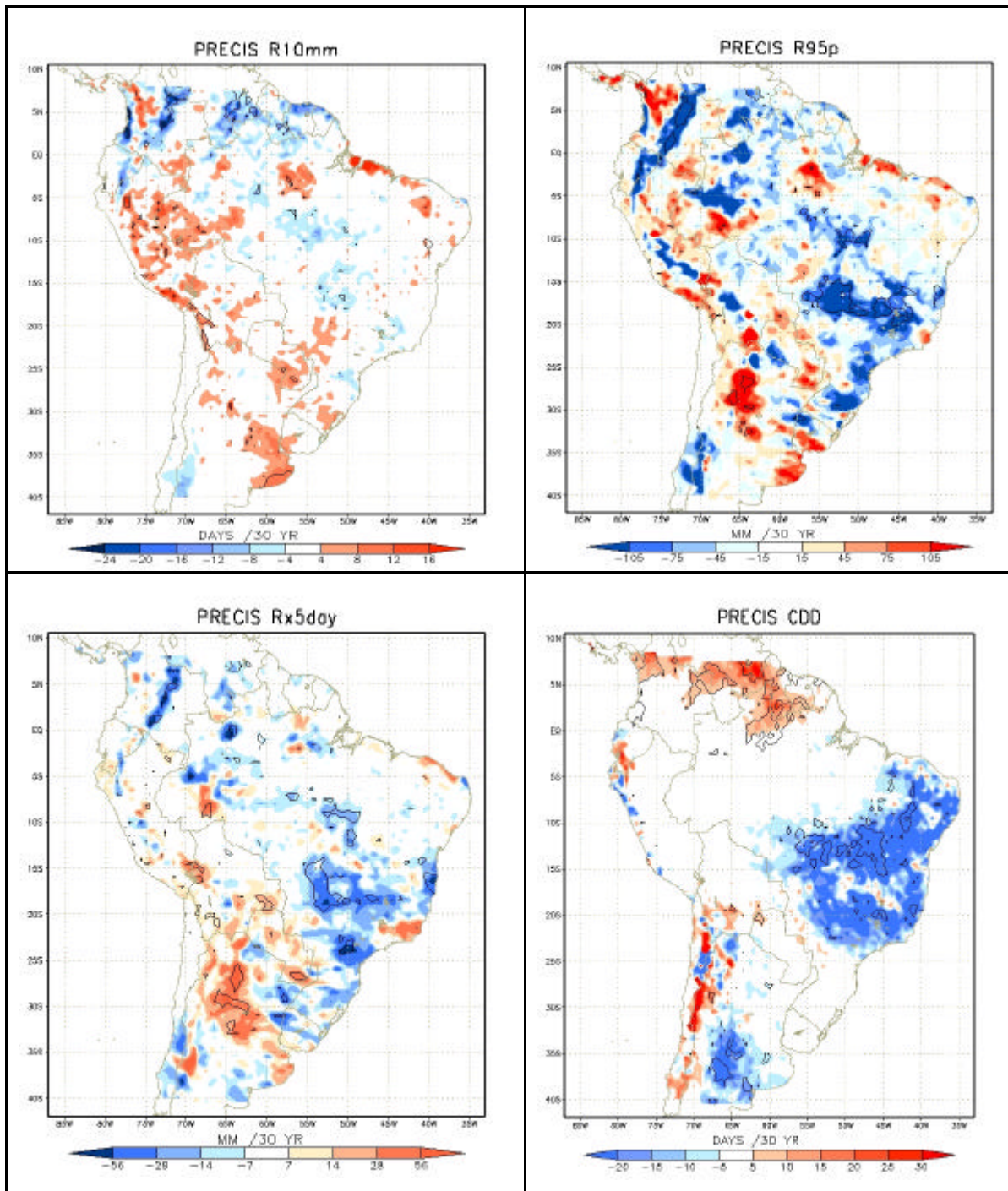


Figura 19 (Cont.): Tendências simuladas pelo modelo regional HadRM3 de dias com chuvas maiores a 10 mm R10, dias com chuvas acima do 95th percentil R95P, eventos de chuva intensa durante 5 dias consecutivos RX95P e dias secos consecutivos CDD na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa. Período é de 1961-90.

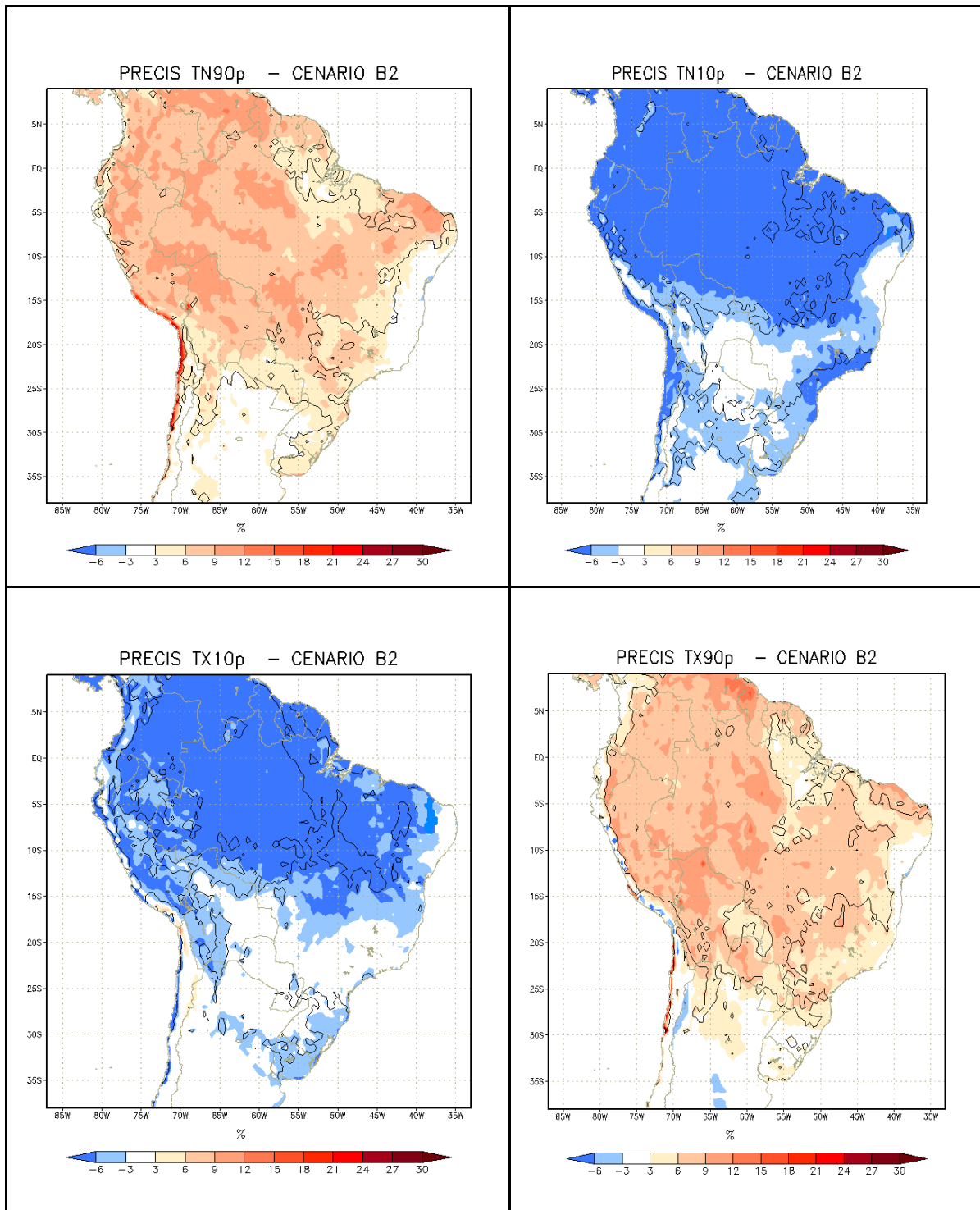


Figura 20: Tendências projetadas pelo modelo regional HadRM3, cenário B2, período 2071-2100 de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.

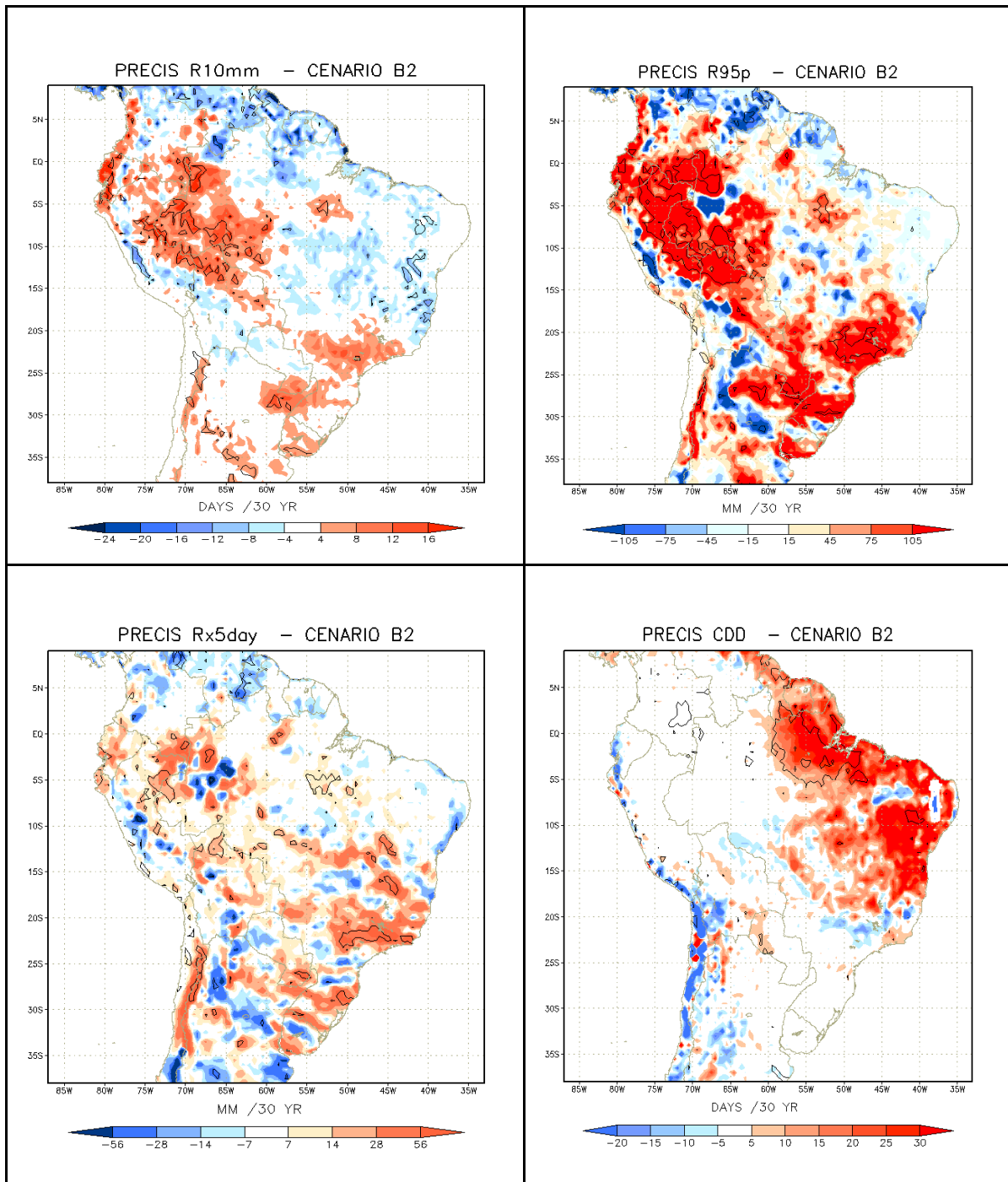


Figura 20 (Cont.): Tendências projetadas pelo modelo regional HadRM3, cenário B2, período 2071-2100 de dias com chuva maiores a 10 mm R10, dias com chuvas acima do 95th percentil R95P, eventos de chuva intensa durante 5 dias consecutivos RX95P e dias secos consecutivos CDD na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.

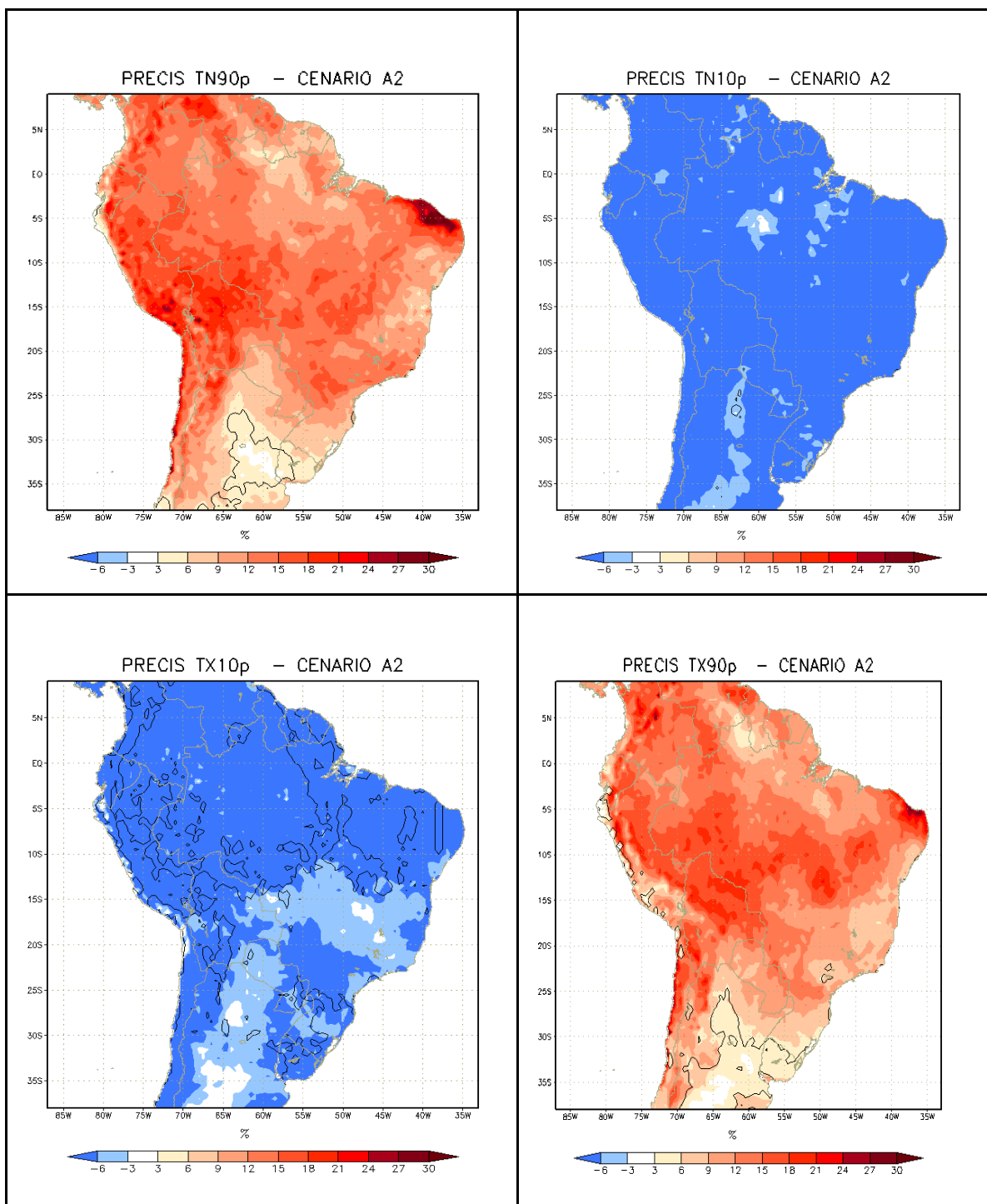


Figura 21: Tendências projetadas pelo modelo regional HadRM3, cenário A2, período 2071-2100 de noites quentes TN90P, noites frias TN10P, dias frios TX10P e dias quentes TX90P na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.

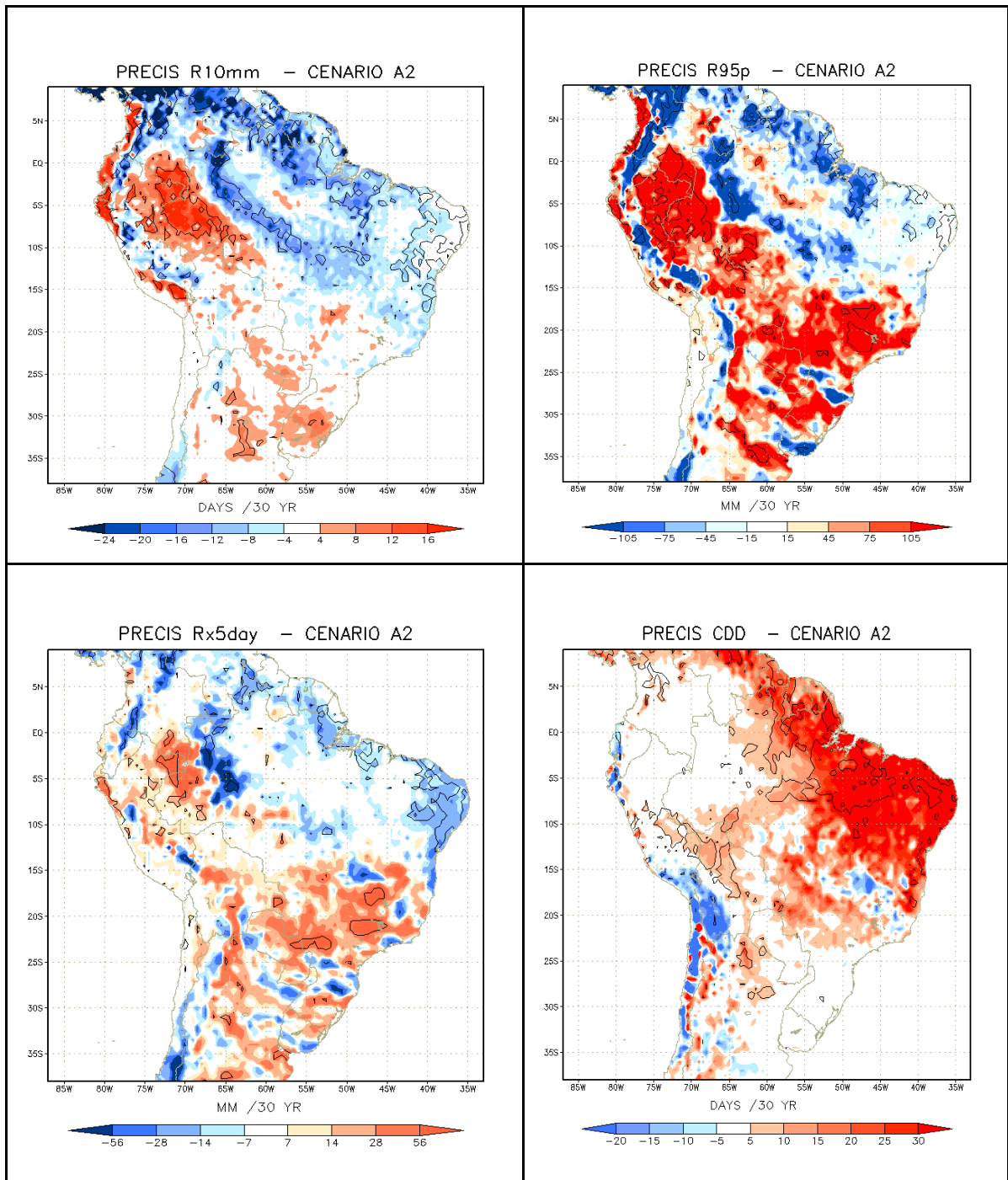


Figura 21 (Cont.): Tendências projetadas pelo modelo regional HadRM3, cenário A2, período 2071-2100 de dias com chuva maiores a 10 mm R10, dias com chuva acima do 95th percentil R95P, eventos de chuva intensa durante 5 dias consecutivos RX95P e dias secos consecutivos CDD na América do Sul. Escala de cores aparece na parte direita de cada mapa.

CAPÍTULO 7

Considerações finais e conclusões

As tendências simuladas pelos modelos globais e o modelo regional HadRM3P sugerem um cenário de clima futuro mais quente, com grandes áreas da Amazônia, Centro oeste e Nordeste pelo aquecimento, e as temperaturas máximas e mínimas têm sido as que mais variações podem ter experimentado como consequência do aquecimento global. Nestas três áreas foram afetadas no cenário B2, e as mudanças se intensificam e estendem ate sudeste e sul do Brasil no cenário A2. No cenário A2 as tendências são maiores que no cenário B2. As mudanças são mais extremas nos índices de noites quentes e dias frios, onde as tendências projetadas para o futuro sugerem uma continuidade e intensidade das tendências observadas no presente.

Considerando o clima atual, não existe um padrão claro para definir regiões de fortes mudanças nos extremos de chuvas considerando uma comparação entre o clima atual observado e simulado pelo modelo HadRM3. Em relação aos extremos e chuva no clima do futuro, os modelos projetam para o futuro ao aumento na freqüência de eventos extremos de chuva na Amazônia do oeste, sudeste, centro oeste do Brasil, e aumento na freqüência de dias secos consecutivos no nordeste (acompanhados de uma redução de eventos extremos de chuva). Isso implica aumento na freqüência de veranicos nesta região, o que fica mais intenso no cenário pessimista A2.

Pode se concluir que para os extremos de chuva, de maneira geral, os modelos usados tiveram pouca habilidade em simular estes índices. Porém, todos os modelos concordam que não há regiões com grandes mudanças nestes índices.

Durante este trabalho, o maior problema que encontramos foi a falta de dados de estações meteorológicas na Amazônia e no Nordeste, sede da maior biodiversidade e grande pobreza do Brasil. O estudo de índices com CDD (número de dias secos) no Nordeste, por exemplo, podia melhorar o conhecimento das tendências das secas nesta região. Por causa disso, não conseguimos avaliar os modelos naquelas regiões. A validação dos modelos sobre o século 20 é primordial antes de analisar as previsões pelo século 21. De fato, 109 estações é muito pouco para estudar os eventos extremos na

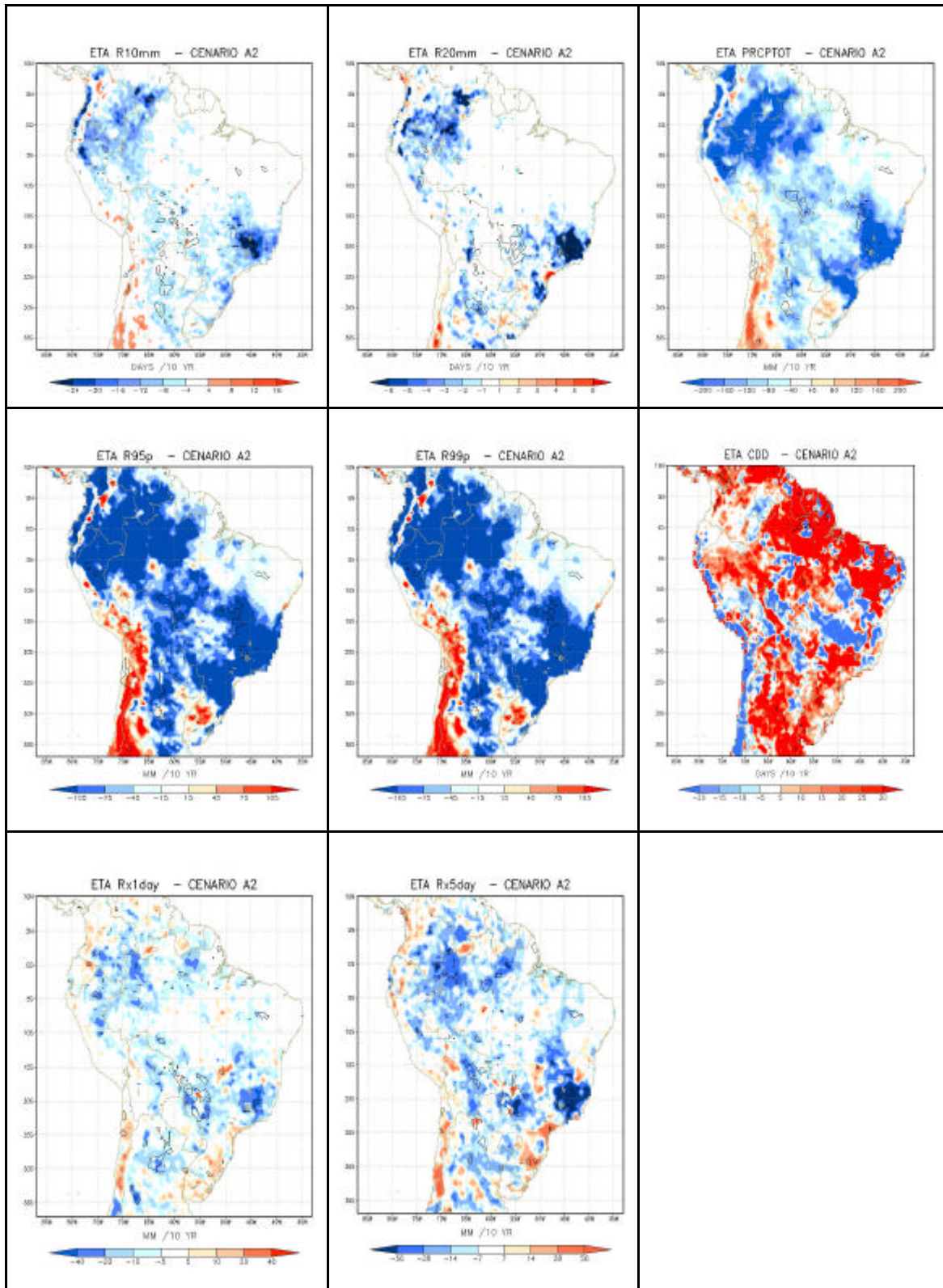
América do Sul. Por isso, um próximo trabalho podia ser conseguir uma maior quantidade de dados de estações meteorológicas (especialmente na Amazônia e no Nordeste) para estudar os índices extremos e comparar com os resultados dos modelos regionais.

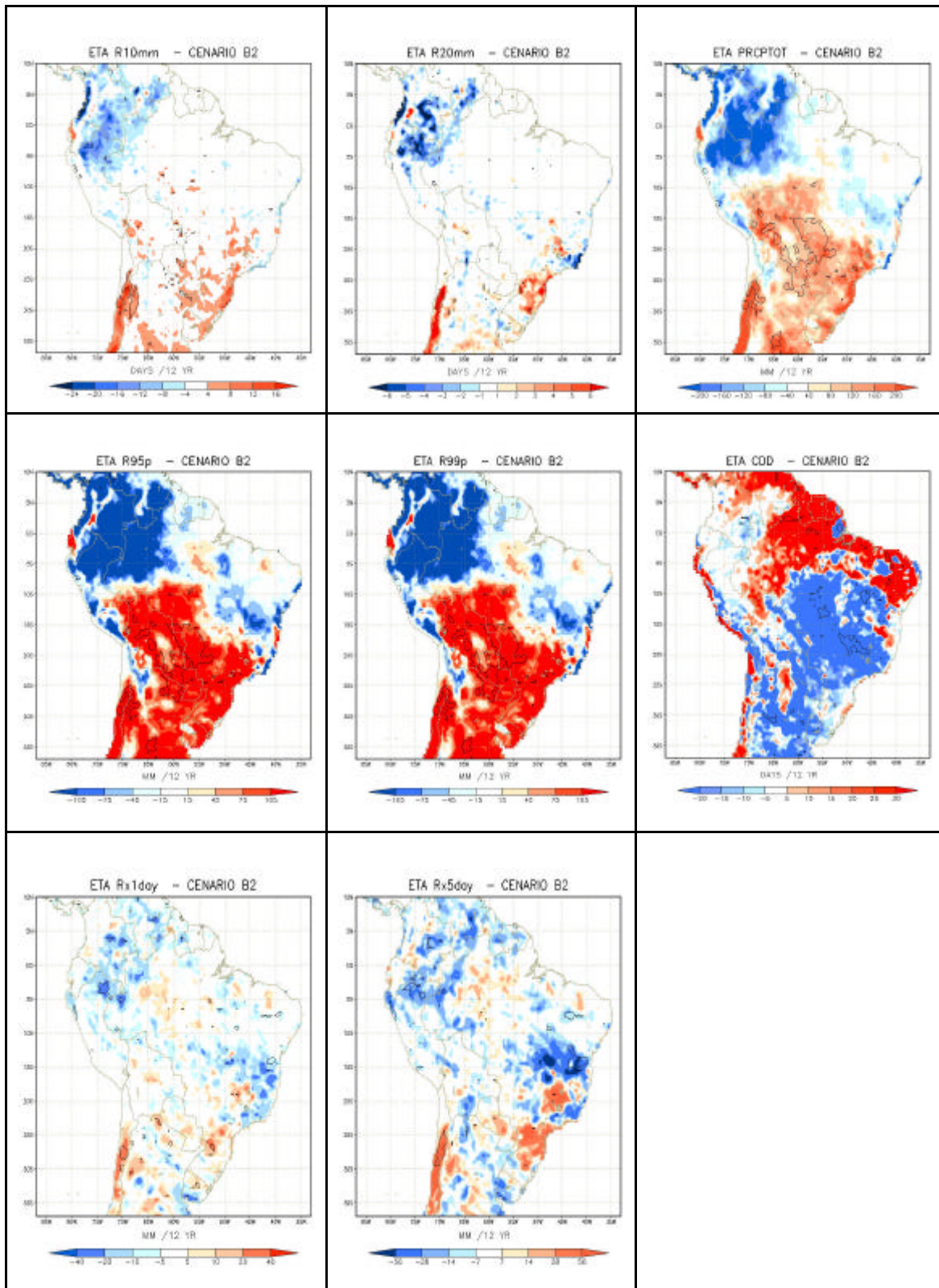
APÊNDICE 1: Lista de índices de extremos de clima (Frisch et al. 2002)

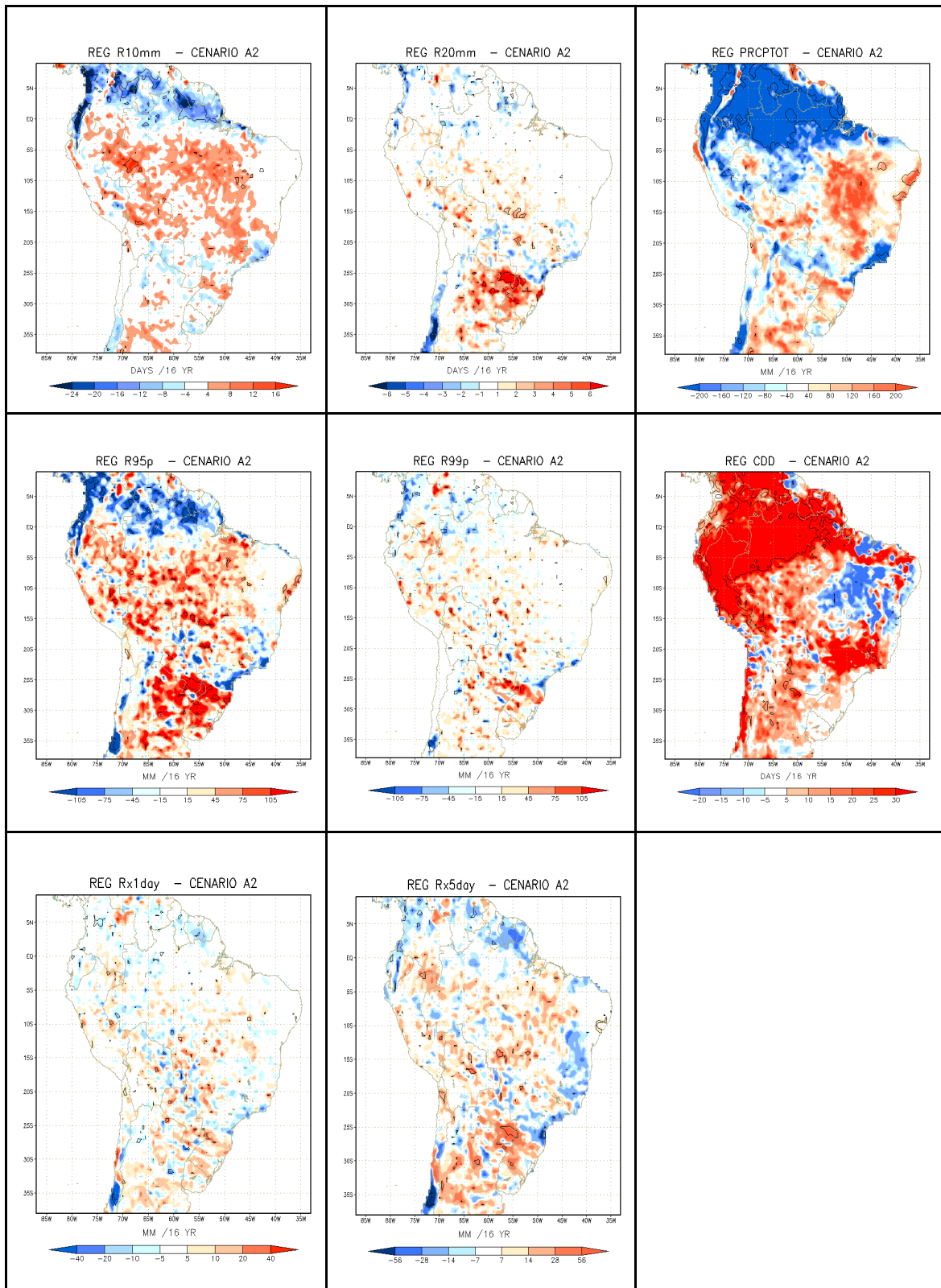
ID	Definitions	
	UNITS	
FD	Annual count when TN (daily minimum) $<0^{\circ}\text{C}$	Days
SU	Annual count when TX (daily maximum) $>25^{\circ}\text{C}$	Days
ID	Annual count when TX (daily maximum) $<0^{\circ}\text{C}$	Days
TR	Annual count when TN (daily minimum) $>20^{\circ}\text{C}$	Days
GSL	Annual (1st Jan to 31st Dec in NH, 1st July to 30th June in SH) count between first span of at least 6 days with TG $>5^{\circ}\text{C}$ and first span after July 1 (January 1 in SH) of 6 days with TG $<5^{\circ}\text{C}$	Days
TXx	Monthly maximum value of daily maximum temp	$^{\circ}\text{C}$
TNx	Monthly maximum value of daily minimum temp	$^{\circ}\text{C}$
TXn	Monthly minimum value of daily maximum temp	$^{\circ}\text{C}$
TNn	Monthly minimum value of daily minimum temp	$^{\circ}\text{C}$
TN10p	Percentage of days when TN <10 th percentile	Days
TX10p	Percentage of days when TX <10 th percentile	Days
TN90p	Percentage of days when TN >90 th percentile	Days
TX90p	Percentage of days when TX >90 th percentile	Days
WSDI	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TX >90 th percentile	Days
CSDI	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TN <10 th percentile	Days
DTR	Monthly mean difference between TX and TN	$^{\circ}\text{C}$
RX1day	Monthly maximum 1-day precipitation	Mm
Rx5day	Monthly maximum consecutive 5-day precipitation	Mm
SDII	Annual mean prcp when PRCP ≥ 1.0 mm	Mm
R10mm	Annual count of days when PRCP ≥ 10 mm	Days
R20mm	Annual count of days when PRCP ≥ 20 mm	Days
Rnmm	Annual count of days when PRCP $\geq n$ mm, n is user defined threshold	Days
CDD	Maximum number of consecutive days with RR <1 mm	Days
CWD	Maximum number of consecutive days with RR ≥ 1 mm	Days
R95p	Annual total PRCP when RR >95 p	Mm
R99p	Annual total PRCP when RR >99 p	mm
PRCPTOT	Annual total PRCP in wet days (RR ≥ 1 mm)	mm

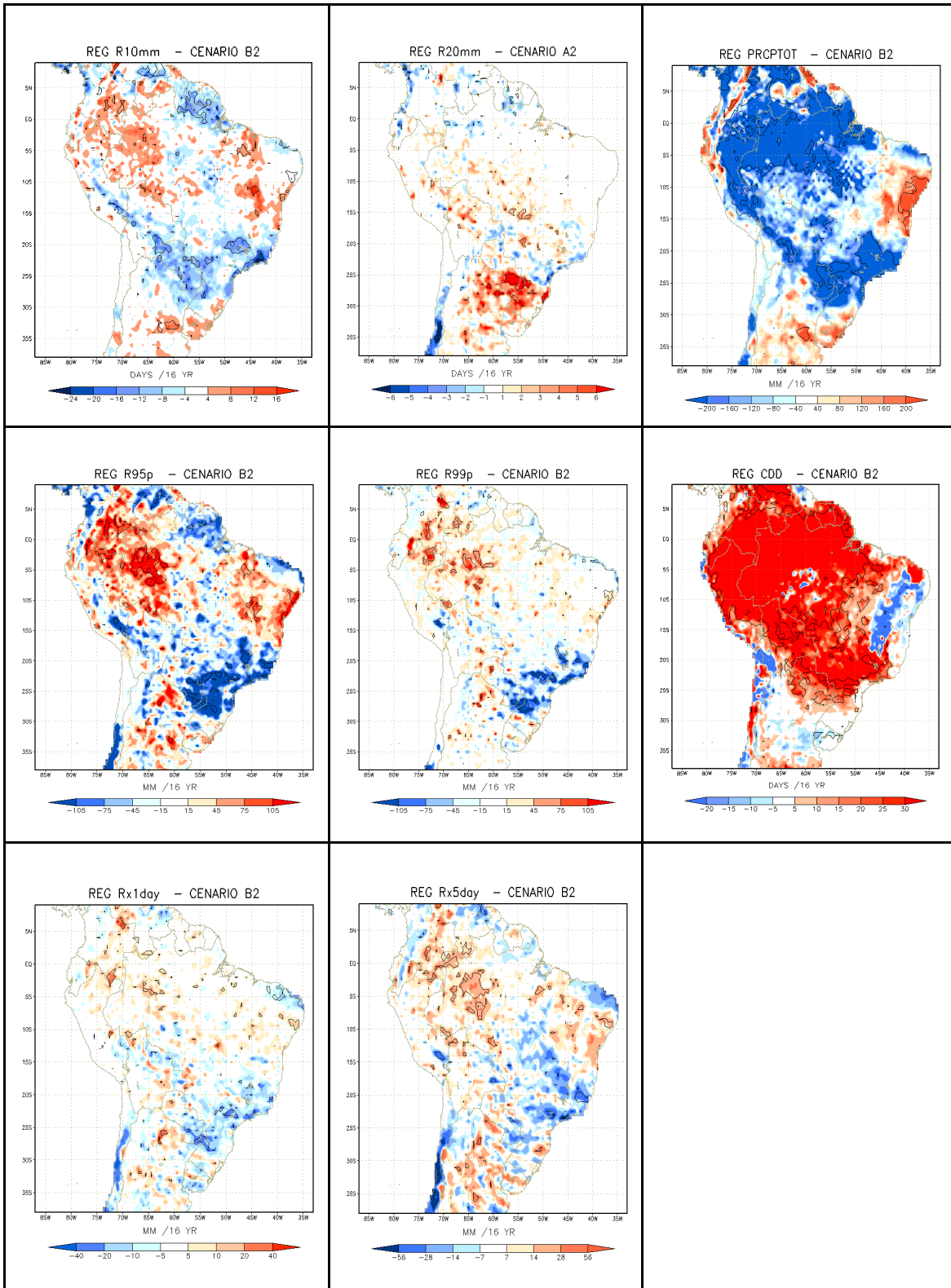
Indicator	Rationale	Expected changes under enhanced greenhouse conditions (based on IPCC 1995, 2001)
Fd 125 days Source: Frich et al. (1996) Limitations: Not valid in the tropics	Total number of frost days (days with absolute minimum temperature $< 0^{\circ}\text{C}$) Effects on agriculture, gardening and recreation especially in extra-tropical region. Easily understood by general public	Fd is assumed to decrease as a result of a general increase in local and global mean temperature
ETR 141 0.1 K Source: Frich (1999) Limitations: None	Intra-annual extreme temperature range: difference between the highest temperature observation of any given calendar year (T_h) and the lowest temperature reading of the same calendar year (T_l) A simple measure of temperature range for each year. Generally good quality control applied as the warmest and the coldest day of the year will normally attract some interest	ETR is expected to decrease as a direct result of increased nocturnal warming under clear sky conditions. Additional decrease in ETR may be expected from reduced daytime solar insolation through a thickening cover of cirrus clouds
GSL 143 days Source: Frich (1999) Limitations: Not valid outside mid-latitudes	Growing season length: period when $T_{\text{day}} > 5^{\circ}\text{C}$ for > 5 d and $T_{\text{day}} < 5^{\circ}\text{C}$ for > 5 d Important for agriculture	GSL is expected to increase as a direct result of increasing temperatures and indirectly as a result of reductions in snow cover
HWDI 144 days Source: This study Limitations: Not really valid outside mid-latitude climates	Heat wave duration index: maximum period > 5 consecutive days with $T_{\text{max}} > 5^{\circ}\text{C}$ above the 1961–1990 daily T_{max} normal Linked with mortality statistics	Heat waves are expected to get longer and more severe due to a direct greenhouse effect under clear sky conditions and to an indirect effect of reduced soil moisture in some regions
Tn90 194 % Source: This study Limitations: None	Percent of time $T_{\text{min}} > 90$ th percentile of daily T_{min} A direct measure of the number of warm nights. This indicator could reflect potential harmful effects of the absence of nocturnal cooling, a main contributor to heat related stress	Night-time warming is expected in a greenhouse gas forced climate. This will partly come about as a clear sky radiative effect, partly be a result of increased cloud cover from additional humidity being available for nocturnal condensation
R10 606 days Source: Frich et al. (1996) Limitations: very regionally dependent but still valid in all climates analysed	No. of days with precipitation ≥ 10 mm d^{-1} A direct measure of the number of very wet days. This indicator is highly correlated with total annual and seasonal precipitation in most climates	Greenhouse gas forcing would lead to a perturbed climate with an enhanced hydrological cycle. More water vapour available for condensation should give rise to a clear increase in the number of days with heavy precipitation
CDD 641 days Source: Frich (1999) Limitations: None	Maximum no. of consecutive dry days ($R_{\text{dry}} < 1$ mm) Effects on vegetation and ecosystems. Potential drought indicator. A decrease would reflect a wetter climate if change were due to more frequent wet days	Under sustained greenhouse gas forcing, the interior of continents may experience a general drying due to increased evaporation. This statement assumes that there will be a land-surface (soil moisture) feedback on precipitation. Although models in general show this, it has been quite difficult to actually detect an unambiguous signal in the observational record of soil moisture feedback on precipitation
R5d 644 0.1 mm Source: This study Limitations: None	Maximum 5 d precipitation total A measure of short-term precipitation intensity. Potential flood indicator	Greenhouse gas forcing would lead to a perturbed climate with an enhanced hydrological cycle. More water vapour available for condensation should give rise to a clear increase in the total maximum amount of precipitation for any given time period
SDII 646 0.1 mm d^{-1} Source: This study Limitations: None	Simple daily intensity index: annual total/number of precipitation intensity A simple measure of precipitation intensity	total/number of $R_{\text{dry}} \geq 1$ mm d^{-1} Greenhouse gas forcing in most climate models leads to higher rainfall intensities
R95T 695 % Source: This study Limitations: May be highly correlated with number of extreme events	Fraction of annual total precipitation due to events exceeding the 1961–1990 95th percentile A measure of very extreme precipitation events	Greenhouse gas forcing in most climate models leads to higher rainfall intensities, particularly giving rise to a shift in the distribution

Apêndice 2: Projeções climáticas de extremos para o futuro: Modelos ETA – REGCM3









Referências

- Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez-Aguirre, 2005: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, Submitted to J. Geophys Res.
- Ambrizzi, T., Rocha, R., Marengo J, A. I. Pisnitchenko, L. Alves, 2007: Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade Sub-projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília Fevereiro 2007.
- Cavalcanti, I, F. A., e Kouksy, V., 2001: DROUGHT IN BRAZIL DURING SUMMER AND FALL 2001 AND ASSOCIATED ATMOSPHERIC CIRCULATION FEATURES. *Climanalise*, Nov 2001 (disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/artcien2.shtml>).
- Carvalho, Leila M.V., Charles Jones, and Brant Liebmann, 2004: The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*, 17, 88-108.
- Carvalho, Leila M.V., Charles Jones, and Brant Liebmann, 2002: Extreme Precipitation Events in Southeast South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 15, 2377-2394.
- Frich, P., et al., 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Res.*, **19**, 193–212.
- Grimm, A. G. e I. Pscheidt, 2001: Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante El Niño, La Niña e anos neutros. Anais do IX Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia e VIII Congresso Argentino de Meteorologia (em CD, nº 269), Buenos Aires, maio de 2001, Centro Argentino de Meteorologistas e Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia.
- Groisman, P., Knight, R., Easterling, D., Karl, T., Hegerl, G., Razuvaev V., 2005: Trends in tense precipitation in the climate record. In Press, *Journal Climate*.
- Haylock M. R., Peterson T., Abreu de Sousa J. R., Alves L. M., Ambrizzi T., Baez J, Barbosa de Brito J. I., Barros V. R., Berlato M. A., Bidegain M., Coronel G., Corradi V., Garcia V. J., Grimm A. M., Jaildo dos Anjos R.,

- Karoly D., Marengo J. A., Marino M. B., Meira P. R., Miranda G. C., Molion L., Muncunil D. F., Nechet D., Ontaneda G., Quintana J., Ramirez E., Rebello E., Rusticucci M., Santos J. L., Varillas I. T., Vincent L., and Yumiko M. 2005: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19, 1490-1512.
- Hegerl, G. C., et al. (2004), Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes, *J. Clim.*, 17, 3683– 3700.
- Gao, X., Pal, J., Giorgi, F., 2006: Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophys. Res. Letters*, 33, L03706, doi:10.1029/2005GL024954, 2006.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC:2001a: Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press. 2001.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2001b: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability- Contribution of Working Group 2 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press. 2001.
- Kiktev, D., Sexton, D.M.H., Alexander, L., and Folland, C.K., 2003, Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes, *Journal of Climate.*,16, 3560-3571.
- Liebmann, B, Vera, C, L. Carvalho, Camilloni, I, Hoerling, M.P., Allured, D. Barros, V., Baez, J., Bidegain, M, 2004b: An Observed Trend in Central South American Precipitation. *J. of Climate*. Vol. 17. 4357-4367.
- Marengo, J., and Camargo, CGC 2007: Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, Accepted, *Int. J. Climatology*.
- Marengo, J, Nobre, C., Tomasella, J, Sampaio, G, Camargo H, 2006: The drought of Amazonia in 2005. Accepted, *J. Of Climate*.
- Marengo, J, Nobre, Carlos A. Lições do Catarina e do Katrina: As mudanças do clima e fenômenos extremos. *Ciencia Hoje*, Rio de Janeiro, v. 37, p. 22-27, 30 nov. 2005.
- Marengo, J 2004: Interdecadal and long-term rainfall variability in the Amazon basin. In press, *Theoretical and Applied Climatology*. 78, 79-96.
- Marengo, J., Menendez, A, Guetter, A., Hogue, T., Mechoso, C., 2004: Caracterización y Evaluación de Métodos de Predicción de Eventos Extremos de Clima y de la Hidrología en la Cuenca del Plata. PREDICCIÓN HIDROCLIMÁTICA. Componente 2a: DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN HIDROCLIMÁTICA Subcomponente 2a4, Tema 3 EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA, EN RELACION CON LOS EFECTOS HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMATICO PROGRAMA MARCO PARA LA GESTÃO

SUSTENTAVEL DOS RECURSOS HIDRICOS DA BACIA DO PRATA, CONSIDERANDO OS EFEITOS HIDROLOGICOS DECURRENTES DA VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. FMAM PNUMA OEA FONPLATA OMM. INFORME FINAL Noviembre de 2004.

Marengo J, A. 2007: Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a BiodiversidadeSub projeto:Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília Fevereiro 2007.

Marengo, J., T. Ambrizzi, 2006: USE OF REGIONAL CLIMATE MODELS IN IMPACTS ASSESSMENTS AND ADAPTATIONS STUDIES FROM CONTINENTAL TO REGIONAL AND LOCAL SCALES The CREAS (Regional Climate Change Scenarios for South America) initiative in South America. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil, April 24-28, 2006, INPE, p. 291-296.

*
Pisnitchenko, I.A. , T.A. Tarasova, J.P.R. Fernandez, and J. Marengo, 2006: VALIDATION OF THE ETA WS REGIONAL CLIMATE MODEL DRIVEN BY BOUNDARY CONDITIONS FROM THE HADAM3H OVER SOUTH AMERICA. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil, April 24-28, 2006, p. 595-597.

RONCHAIL, J., COCHONNEAU, G., MOLINIER M., GUYOT J. L., GORRETI, A., GUIMARÃES, V., DE OLIVEIRA E, 2002: Interannual rainfall variability in the Amazon Basin and sea surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. *Int. J. Climatol.* 22: 1663–1686.

Rusticucci, M and Barrucand M, 2004: Observed trends and changes in temperature extremes in Argentina. *J Climate*, 17, 4099-4107.

TEBALDI, C., HAYHOE, K., ARBLASTER, J., MEEHL, G., 2006: Going to the extremes An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. No prelo, *Climatic Change*.

Teixeira, M. S. 2004: Atividade de ondas sinópticas relacionada a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado Meteorologia. INPE, São José dos Campos. 94 pp.

Trenberth, K. 2005: Uncertainty in hurricanes and global warming, *Science*, 308, 1753-1754.

Vincent, L.A., T.C. Peterson, V.R. Barros, M.B. Marino, M. Rusticucci, G. Carrasco, E. Ramirez, L.M. Alves, T. Ambrizzi, M.A. Berlato, A.M. Grimm, J.A. Marengo, L. Molion, D.F. Moncunill, E. Rebello, Y.M.T. Anunciação, J. Quintana, J.L. Santos, J. Baez, G. Coronel, J. Garcia, I. Trebejo, M. Bidegain, M.R. Haylock, D. Karoly, 2005: Observed trends in

indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18, 5011-5023.

Webster P e coautores, 2005: Changes in Tropical cyclone, number and duration and intensity in a warming environment. *Science*, 309, 1844-1846.

Xavier, T.M.B.S, A.F.S.Xavier e M.A.F.Silva Dias, 1994: Evolução da Precipitação Diária num Ambiente urbano: O Caso da Cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 9, 44- 53.

Xavier, T. M.B.S., M.A.F. Silva Dias e A.F.S. Xavier, 1992: Tendências da Pluviometria na Grande São Paulo e a Influência dos Processos de Urbanização e Industrialização. *Anais, VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, V1, 220-224.

Zhang, X., L. A. Vincent, W. D. Hogg, and A. Niitsoo, (2000), Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century, *Atmosphere Ocean*, 38, 395–429.

Zhang, X., and F.W. Zwiers, (2004), Comment on “Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test” by Sheng Yue and Chun YuanWang. *Water Resources Research*, 40, doi:10.1029/2003WR002073.

Zhang, Y., Xu, Y., Dong, W., Cao, L., Sparrow, M, 2006: A future climate scenario of regional changes in extreme climate events over China using the PRECIS climate model, *Geophys Res. Letters*, 33, L24702, doi:10.1029/2006GL027229, 2006.

Zwiers, F. W., and V. K. Kharin, 1998: Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO2 doubling. *J. Climate*, 11, 2200–2222.



Ministério da
Ciência e Tecnologia

