

Relatório Final da Modelagem Regional de Cenários
Futuros de Mudança Global do Clima realizados no
âmbito da Segunda Comunicação Nacional do Brasil à
Convenção-Quadro das Nações Unidas – Projeto
BRA/05/G31

O presente relatório visa a fazer a compilação final do projeto à luz da Carta de Acordo n. 4700003805/2007, no âmbito do Projeto BRA/05/G31.

Serão analisadas se foram alcançados o objetivos geral, os objetivos específicos e os resultados que se esperava desenvolver com o projeto.

1. Objetivo Geral

O objetivo de desenvolvimento do projeto era de avaliar os diferentes cenários de mudanças climáticas propostos pelos modelos acoplados globais do IPCC AR4, e de regionalizar dinamicamente utilizando o modelo numérico regional Eta do CPTEC/INPE de alta resolução sobre América do Sul. O trabalho tinha por objetivo gerar produtos climáticos com projeções futuras de clima com maior detalhamento e passíveis de uso em estudos dos impactos da mudança de clima em diversos setores sócio-econômicos (agrícola, energético, saúde, recursos hídricos e etc), indicando a vulnerabilidade aos riscos na forma de probabilidade. Para a regionalização foram contemplados cenários climáticos de 2 modelos acoplados oceano-atmosfera do IPCC AR4 (ECHAM5-Alemanha e HadCM3-Reino Unido) e foi prevista a utilização de uma versão aprimorada do modelo regional Eta-CPTEC. Uma versão anterior do Eta (Eta CCS) havia sido usada para gerar cenários climáticos do futuro na América do Sul usando o modelo atmosférico HadAM3 do IPCC TAR, para os cenários A2 e B2. Inicialmente, estava previsto que estes mesmos cenários de emissão A2 e B2 estariam disponíveis dos modelos globais acoplados HadCM3 e ECHAM5 para rodar os experimentos HadCM3-Eta já para maio 2006 e seriam usados em estudos e avaliações do governo para vulnerabilidade e impactos. Preveu-se que futuros cenários baseados nos modelos ECHAM5-Eta e HadCM3-Eta com o modelo Eta aprimorado iriam permitir cenários futuros de clima no Brasil e na América do Sul, que seriam incluídos na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

2. Objetivos específicos (fases)

Foram previstas no projeto as seguintes fases, as quais são analisadas de acordo com os resultados alcançados:

- Avaliação de tendências climáticas no Brasil, baseado em registros meteorológicos do passado - essa avaliação tem sido desenvolvida pelas iniciativas dos projetos PROBIO-MMA e GOF-UK, e com apoio da ação de mudanças climáticas do MCT alocada no CPTEC; a partir da implementação do projeto, será feita a atualização dos estudos de tendências e acrescentado análises para outras variáveis climáticas e eventos extremos de chuva e de temperatura no Brasil.

Foi realizada uma avaliação das tendências climáticas no Brasil, baseada em registros meteorológicos do passado. Os resultados deste trabalho, indispensáveis para ter presente às características das séries temporais utilizadas nos estudos de mudanças climáticas sobre o Brasil, permitem que as análises das tendências, muito sensíveis ao período estudado, apresentam

pouca variação em quanto à magnitude de quase a totalidade das variáveis estudadas. Além disso, apresentam padrões espaciais, coerentes com estudos anteriores (realizados com 40 e 50 anos de temperatura e precipitação, respectivamente).

Os resultados obtidos no presente trabalho, com séries de 55 anos para a precipitação e 45 anos para a temperatura, mostram ligeiras mudanças em relação à literatura revisada. As principais alterações são analisadas no Anexo I.

- Geração de cenários modelados para o clima do presente (1961-1990) e comparação com valores observados disponíveis - essa avaliação inicial é feita para validar as projeções dos modelos para os modelos do presente e mostrará a magnitude dos erros do modelo na caracterização do clima do presente, bem como ajudará a avaliar a incerteza das previsões. A avaliação do clima atual será baseada em cálculos da raiz quadrada do erro quadrático médio, do erro médio, da correlação temporal e espacial entre as simulações e as observações. Serão obtidas as taxas de acerto e as taxas de alarme falso através da construção de tabelas de contingência. As análises serão feitas para os modelos globais acoplados HadCM3 e ECHAM5 e para os cenários regionalizados do modelo Eta 40 km. Porém, somente o modelo HadCM3 foi usado,

O Modelo regional Eta-CPTEC foi utilizado para investigar a previsibilidade da precipitação em diferentes escalas de tempo- sazonais, mensais e semanais - sobre América do Sul. Comparações entre as previsões climáticas sazonais do modelo global do CPTEC e as previsões do modelo Eta-CPTEC, tendo como referências as observações do passado, mostraram que este modelo regional proporciona melhora considerável sobre as condições de contorno que forçaram as previsões.

Os estudos anteriores geralmente utilizaram um único modelo. Neste estudo, geramos um conjunto do modelo regional a partir de quatro membros do modelo do HadCM3 a fim de resolver algumas das incertezas inerentes aos modelos numéricos. As condições de contorno são tomadas a partir de quatro membros do HadCM3 "Ensemble com Física Perturbada" (Perturbed Physics Ensemble-PPE), no qual a estrutura do modelo padrão é usado e as perturbações são introduzidas aos esquemas de parametrização física para produzir variantes do mesmo modelo. O objetivo do trabalho era de avaliar esse sistema climático regional modelo no modo de "ensemble" ou conjunto, os membros da Eta-HadCM3, e sugerir um certo grau de incerteza dos resultados fornecidos por este conjunto para a América do Sul.

O Anexo II analisa as simulações de clima do presente (1961-90) na América do Sul para o cenário A1B derivado do Modelo Eta-CPTEC aninhado as condições do HadCM3, referido doravante como Eta-CPTEC/HadCM3.

- Elaboração dos cenários climáticos para o futuro, ou seja, para o período completo de 2010-2100 ou para "time slices" de 2010-2040, de 2041-2070 e de 2071-2100, o que vai depender da disponibilidade dos dados gerados pelo Hadley Centre e pelo Max Planck Institute. Os cenários futuros SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) a serem usados são os cenários A2, A1B e B2. A diferença entre os

valores do período futuro e do presente ajudará a entender a mudança do clima (médio e extremos), assim como as estatísticas destes eventos. Cada produto será acompanhado de um mapa com a taxa de acerto baseada no período de 1961-1990.

As projeções do clima sobre a América do Sul utilizando o modelo regional Eta-CPTEC forçado por quatro membros de um conjunto do modelo global HadCM3 do Hadley Centre UK Met Office foram realizadas com sucesso. O modelo global rodou na modalidade de conjuntos ou ensembles para todo o século 21 (2010-2100) de acordo com o cenário de emissões SRES A1B (intermediário). Os quatro membros escolhidos para conduzir o modelo regional Eta-CPTEC ajudam a entender a dispersão entre membros e para avaliar o desempenho do modelo. O modelo Eta-CPTEC aninhados nestas condições de contorno lateral foi configurado com um tamanho de grade de 40 km e foi rodado 1961-1990 para representar o clima do presente e o futuro, período de 2011-2100, para simular possíveis mudanças futuras do clima. Os resultados apresentados foram analisados com mais ênfase no verão e inverno austral, nos períodos de 2011-40, 2041-70 e 2071-2100, para a América do Sul e para três das principais bacias hidrográficas no Brasil: Amazônia, Paraná-Prata e São Francisco.

Projeções de mudanças na circulação do ar superior e nos níveis baixos da atmosfera, assim como da pressão no nível do mar apresentam um padrão de enfraquecimento da circulação tropical e intensificação da circulação subtropical, com uma intensificação na superfície da Baixa do Chaco e as altas subtropicais do Pacífico e Atlântico. Forte aquecimento (4-6 C) foi observado no continente sul-americano, assim como um aumento do gradiente de temperatura entre o continente sul-americano e do Atlântico Sul. Isto conduz a gradientes fortes de pressão entre o continente e oceanos, e mudanças no transporte de umidade, o que leva a reduções da precipitação na Amazônia e Nordeste do Brasil (que atinge até 40%) e aumento das chuvas em todo o litoral norte do Peru e do Equador e no sudeste da América do Sul, atingindo até 30% no norte da Argentina. Todas as alterações são mais intensas após 2040. A diferença precipitação-evaporação (P-E) no cenário A1B sugerem déficits de água e uma redução do escoamento fluvial na Amazônia Oriental e da Bacia do São Francisco, fazendo com que essas regiões seriam suscetíveis a condições mais secas e secas no futuro, com uma possível desertificação no semiárido.

Maiores detalhes sobre os resultados relacionados a este objetivo específico estão disponíveis nos vários relatórios submetidos relacionados ao mesmo. Dados foram compilados no Anexo III deste relatório.

Apesar da baixa previsibilidade (baixo acerto) do clima presente gerado pelo ECHAM, foram feitas projeções de cenários de clima futuro utilizando os dados gerados pelo mesmo. No entanto, essas projeções não foram distribuídas para os usuários por não ter sido consideradas confiáveis pelos coordenadores técnicos do projeto e ainda esperam futura avaliação.

Cabe igualmente esclarecer que, apesar de inicialmente previsto que os cenários A2 e B2 seriam analisados isso não ocorreu no decorrer do projeto. Na verdade, o Hadley Center achou mais adequado disponibilizar apenas o cenário A1B com diferentes modificações na física (perturbações), resultando em várias versões com mudanças nos parâmetros (*low, medium, high*,

standard) em certa forma similares as rodadas de varios cenários de emissão de gases de efeito estufa alta e baixa. O Eta CPTEC foi rodado nas 4 versões do cenário A1B disponibilizadas. Assim, apesar de não ter rodado com as condições laterais de contorno dos cenários A2 e B2, não houve prejuízo para os resultados buscados, considerando que a versão “low” tem a sensibilidade similar ao cenário B2 e a versão “high” tem a sensibilidade similar ao cenário A2.

O Anexo III analisa projeções de mudanças climáticas futuras na América do Sul para o cenário A1B derivado do Modelo Eta-CPTEC aninhado as condições do HadCM3, para o período 2010-2100 referido doravante como Eta-CPTEC/HadCM3.

- Disponibilização de cenários climáticos regionais baseados nos modelos HadCM3-Eta e ECHAM5-Eta para serem usados em estudos e avaliações de vulnerabilidade e impactos pelos diferentes grupos de pesquisa no Brasil.

Os resultados das projeções do Eta-HadCM3-A1B-lo foram disponibilizados por meio do sítio internet em *html*, desenvolvido por meio do uso do *software* “ADOBE DREAMWEAVER CS3” (Vide Anexo IV). Tal sítio foi projetado para fornecer as principais informações do projeto, links para notícias recentes relacionadas ao tema de mudanças climáticas e referências bibliográficas sobre o tema. A página pode ser acessada pelo endereço de Internet <http://pnud.cptec.inpe.br>.

Conforme já relatado acima, apesar da baixa qualidade (baixo acerto) do clima presente gerado pelo ECHAM, os resultados do mesmo foram também disponibilizados no sítio internet. Porém, não foram usadas nas análises de cenários futuros de clima.

Foram disponibilizados conjuntos de dados (incluindo variáveis selecionadas) para vários grupos de pesquisas (da COPPE/UFRJ, Fiocruz/MS, UFMG, UNICAMP, USP, UFRJ, Embrapa, UFBA, Petrobras, etc. assim como em teses e dissertações no Brasil e no exterior), de forma a subsidiar estudos sobre vulnerabilidade nos setores de energético, recursos hídricos, enchentes e desertificação, saúde, agrícola e zonas costeiras, conforme indicados nos relatórios enviados anteriormente à Coordenação Geral do Projeto.

Ademais, os principais resultados do projeto foram compilados em dois artigos, submetidos e aceitos para serem publicados na revista científica *Climate Dynamics*. A publicação dos mesmos ainda está pendente, mas o código DOI já foi gerado.

3. Resultados

- Análise dos cenários de mudança do clima para a América do Sul com base em modelos globais de mudança do clima usados do IPCC AR4, usados na implementação do Quarto Relatório do IPCC (publicado em

2007), para os cenários SRES A2, B2, A1B (fornecidos pelo IPCC – DDC). Desenvolvimento e aperfeiçoamento do modelo regional Eta/CPTEC, identificação dos erros dos modelos que fornecem condição de contorno lateral;

Resultado alcançado. Análise dos cenários de mudança do clima para a América do Sul com base nos modelos HADCM3 e ECHAM5, com aperfeiçoamento do modelo regional Eta-CPTEC adaptado para estudos de mudanças climáticas. Foram identificados erros dos modelos globais utilizados como condição de contorno lateral do modelo regional. Cabe novamente esclarecer que, apesar de inicialmente previsto que os cenários A2 e B2 seria analisados isso não ocorreu no decorrer do projeto. Na verdade, o Hadley Center achou mais adequado disponibilizar apenas o cenário A1B com diferentes modificações na física (perturbações), resultando em várias versões com mudanças nos parâmetros (*low, medium, high, standard*). O Eta CPTEC foi rodado nas 4 versões do cenário A1B disponibilizadas. Assim, apesar de não ter rodado com as condições laterais de contorno dos cenários A2 e B2, não houve prejuízo para os resultados buscados, considerando que a versão “low” tem a sensibilidade similar ao cenário B2 e a versão “high” tem a sensibilidade similar ao cenário A2.

- Desenvolvimento e análise de cenários regionalizados de mudança do clima na América do Sul, com ênfase no Brasil e regiões estratégicas do país e do continente, usando supercomputador NEC SX-6 do CPTEC;

Resultado alcançado. O modelo Eta-CPTEC aninhado na condição de contorno lateral foi configurado com um tamanho de grade de 40 km e foi rodado 1961-1990 para representar o clima do presente e o futuro, período de 2011-2100 (cortes temporais dos períodos de 2011-40, 2041-70 e 2071-2100), para simular possíveis mudanças futuras do clima. Foram desenvolvidos e analisados cenários regionalizados de mudança do clima na América do Sul, com ênfase no Brasil e regiões estratégicas do país (regiões geográficas, Pantanal, etc.) e do continente (Amazônia, Bacia do Prata), usando supercomputador NEC SX-6 do CPTEC existente naquela época, bem como o Cluster SUN de 1.100 CPUs.

- Fornecimento de cenários regionalizados de clima futuro e incertezas (clima médio e extremos climáticos);

Resultado alcançado. Os cenários regionalizados foram disponibilizados e distribuídos para vários usuários de diferentes setores. As incertezas foram estimadas utilizando todos os membros. As tendências dos extremos climáticos foram analisados, portanto, apenas com a versão *standard* do SRES A1B.

- Habilitar os especialistas do CPTEC/INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) a desenvolver a capacidade para a modelagem climática em escalas temporais mais longas (desde paleoclimas até 2100, e a desenvolver a capacitação e interação com especialistas de outras instituições para trabalhos com juntos em relação a impactos da

mudança climática e Vulnerabilidade nos principais setores sociais e econômicos no Brasil, e na Adaptação.

Resultado alcançado. Pelo menos 20 especialistas habilitados do INPE foram capacitados a desenvolver a capacidade para a modelagem climática em escalas temporais mais longas. Destes, pelo menos 10 tiveram que desenvolver a capacitação e interação com especialistas de outras instituições para trabalhos conjuntos em relação a impactos da mudança climática e vulnerabilidade e adaptação nos principais setores sociais e econômicos no Brasil. Entre as aplicações estão os estudos de mudanças climáticas e extremos e vulnerabilidade das grandes cidades (São Paulo e Rio de Janeiro).

- Coordenação entre os resultados preliminares relacionados à elaboração da Modelagem Regional de Clima e de Cenários de Mudança do Clima e as pesquisas e estudos de vulnerabilidade e adaptação relativos a setores estratégicos que são vulneráveis aos impactos associados à mudança do clima no Brasil.

Resultado alcançado. Foi realizado, inclusive, um seminário em São José dos Campos, no dia 15 de janeiro de 2009 sobre Cenários Futuros e Vulnerabilidades à Mudança Global do Clima para que houvesse maior interação entre os especialistas em modelos e os usuários das rodadas dos mesmos em estudos de vulnerabilidades e adaptação à mudança global do clima. Estudos em certos setores (e.g. saúde e imigração, energia, corais, etc.) foram feitos utilizando os resultados da modelagem de cenários futuros de mudança do clima, os quais foram relatados na Segunda Comunicação Nacional do Brasil sobre Mudança do Clima. Em junho 2010, foi liberado o estudo sobre vulnerabilidade das grandes cidades às mudanças climáticas - Região Metropolitana de São Paulo e, em novembro de 2010, foi realizado um evento do IPCC sobre Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação à Mudança Global do Clima, aonde foram apresentados resultados de estudos na região baseados nas projeções de clima geradas pelo projeto PNUD.

ANEXO I

**Relatório das análises dos conjuntos de dados para
estudos de tendências climáticas de chuva e
temperatura para o Brasil
(Obregon e Marengo 2007)**

Recopilou-se informação pluviométrica mensal desde 2000 a 2005 e de temperaturas média, máxima e mínima de 2000 a 2005, adicionando-se as dados obtidos nos projetos **PROBIO-MMA e GOF-UK**, o que resulta em séries de 55 anos no caso da precipitação (1951-2005) e de 45 anos de temperaturas (1961-2005). As instituições nacionais que forneceram esta informação são: Agência Nacional das Águas (ANA), Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As instituições que provem informação têm seus próprios sistemas de controle de qualidade, mas é necessário homogeneizar as séries e efetuar o preenchimento de falhas.

A heterogeneidade das séries temporais mensais de precipitação foi identificada através de métodos gráficos e estatísticos (Buishand, 1982; Alexandersson, 1986; Peterson e Easterling, 1994; Easterling e Peterson, 1995), seguindo os seguintes passos:

- Análise da evolução temporal da variável mediante um gráfico;
- Análises de médias parciais e desvios acumulativos da média;
- Cálculo de matrizes de correlações;
- Aplicação do método de dupla massa.

A remoção da heterogeneidade, quando observada, consiste na correção da parte onde a heterogeneidade da série foi detectada pela curva de dupla massa.

No preenchimento de falhas utilizou-se o método de interpolação de kriging e o método estatístico autoregressivo. O método kriging foi utilizado quando existiam dados suficientes (mas de 4 postos) dentro do raio de ± 5 graus no máximo ao do dado faltante. Neste caso se determina um valor estimado, pontual, do dado faltante a partir dos outros dados existentes. Nos casos quando não existiam dados dentro do raio de ± 5 graus foi utilizado o método autoregressivo para preencher até quatro (4) dados faltantes. Neste método se utilizam as anomalias dos dados existentes, com a finalidade de remover os sinais determinísticos, além da tendência.

Logo do controle de qualidade e preenchimento de falhas, tratou de obter-se uma distribuição espacial homogênea e representativa das estações para a todo o Brasil, pelo qual foram escolhidos 47 postos pluviométricos, detalhados na Tabela I, e os postos com dados de temperatura variam de 14 a 17 estações, como detalhado na Tabela II.

Metodologia

Estimativa da Tendência linear.

A estimativa da magnitude das tendências, a verdadeira inclinação (taxa da variável por unidade de tempo) pode ser estimada através do cálculo dos mínimos quadrados da inclinação estimada " β ", utilizando o método de Regressão Linear. No entanto, " β ", calculado desta maneira pode desviar-se muito do verdadeiro valor da inclinação se existem valores discrepantes

(“outliers”) nos dados (Gilbert, 1987). Pelo qual se utiliza um procedimento muito simples, desenvolvido por Sen (1968) e estendido por Hirsch et al. (1982).

Neste método, a inclinação das tendências é obtido a partir do cálculo das, $N' = n(n-1)/2$, inclinações estimadas, de

$$S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i},$$

Onde: x_j e x_i os valores dos dados no tempo j e i , respectivamente, e $j > i$; N' é o número de pares de dados nas quais $j > i$. A mediana destes N' valores de S_e é o valor estimado da inclinação de Sen.

Para se ter uma visão mais adequada da distribuição espacial das tendências de precipitação tanto anual como sazonal devido fundamentalmente a sua alta variabilidade espacial e ter uma idéia das tendências, em relação a sua intensidade local, neste relatório também se apresenta a magnitude percentual das tendências lineares em relação à média climática seja anual ou sazonal.

Este parâmetro foi calculado do seguinte modo:

$$TL = \frac{ts * na}{med} * 100$$

onde: ts é a inclinação estimada pelo método de Sen, med é a média climática da precipitação para o período e na é o número de anos considerados, de 55 anos para a precipitação. Para as temperaturas se calculou simplesmente as inclinações, seguindo o método de Sen.

TABELA 1. Estações Pluviométricas base: 1951-2005.

C. ANA	C. INMET	NOME DO POSTO	LONG	LAT	INICIO	FIM
62000	82113	BARCELOS	-62.93	-0.97	01/1951	06/2005
67000	82106	SAO GABRIEL DA CACHOIRA	-41.67	-1.75	01/1951	06/2005
148002	82191	BELEM	-67.09	-0.13	01/1951	06/2005
152001	82184	PORTO DE MOZ	-48.44	-1.43	01/1951	06/2005
256000	82240	PARINTINS	-56.73	-2.62	01/1951	12/2003
360000	82331	MANAUS	-60.03	-3.14	01/1951	06/2005
463001	82425	COARI	-63.13	-4.08	01/1951	06/2005
470001	82410	BENJAMIN CONSTANT	-70.03	-4.38	01/1951	06/2005
539000	-----	QUIXERAMOBIN	-39.30	-5.22	01/1951	06/2005
547000	82564	IMPERATRIZ	-47.48	-5.53	01/1951	06/2005
741010	-----	SIMPLICIO MENDES	-41.92	-7.85	01/1951	12/2005
747003	82765	CAROLINA	-47.47	-7.33	01/1951	06/2005
849000	82861	CONCEICAO ARAGUAIA	-49.26	-8.26	01/1951	06/2005
940018	-----	CAMPO DOS CAVALOS	-40.65	-9.56	01/1951	12/2005
1048003	83064	PORTO NACIONAL	-48.42	-10.70	01/1951	06/2005
1241017	-----	PORTO	-41.30	-12.50	01/1951	12/2005
1444000	-----	SAO GONCALO	-44.46	-14.31	01/1951	12/2005
1539010	-----	MASCOTE	-39.05	-15.30	01/1951	12/2005
1544012	-----	SAO FRANCISCO	-44.87	-15.95	01/1951	12/2005

1550003	83374	GOIAS	-50.14	-15.94	01/1951	06/2005
1556002	83361	CUIABA	-56.11	-15.62	01/1951	06/2005
1642002	-----	CORONEL MURTA	-42.19	-16.61	01/1951	12/2005
1739006	-----	HELVECIA (EFBM)	-39.66	-17.81	01/1951	12/2005
1744009	-----	VARZEA DA PALMA	-44.72	-17.59	01/1951	12/2005
1841001	-----	VILA MATIAS-MONTANTE	-41.92	-18.57	01/1951	12/2005
1848000	-----	MONTE ALEGRE DE MINAS	-48.87	-18.87	01/1951	12/2005
1943000	-----	MINERACAO MORRO VELHO	-43.85	-19.98	01/1951	12/2005
1947001	-----	SANTA JULIANA	-47.53	-19.32	01/1951	12/2005
2046007	-----	FAZENDA AJUDAS	-46.06	-20.10	01/1951	12/2005
2048021	-----	COLINA	-48.55	-20.73	01/1951	09/2004
2242003	-----	PILLER	-42.34	-22.40	01/1951	12/2005
2246022	-----	MONTE ALEGRE DO SUL	-46.67	-22.70	01/1951	09/2004
2251010	-----	USINA LARANJA DOCE	-51.17	-22.25	01/1951	09/2004
2350002	-----	ANDIRA	-50.29	-23.09	01/1951	06/2005
2450010	83813	CASTRO	-50.00	-24.78	01/1951	06/2005
2548000	-----	MORRETES	-48.83	-25.47	01/1951	12/2005
2552000	-----	QUEDAS DO IGUACU	-52.90	-25.45	01/1951	12/2005
2651000	-----	UNIAO DA VITORIA	-51.08	-26.23	01/1951	12/2005
2749000	-----	APIUNA	-49.40	-27.04	01/1951	12/2005
2753003	83881	IRAI	-53.25	-27.19	01/1951	06/2005
2852020	83914	PASSO FUNDO	-52.40	-28.23	01/1951	06/2005
2951022	-----	NOVA PALMIRA	-51.19	-29.33	01/1951	12/2005
2953008	-----	DONA FRANCISCA	-53.35	-29.63	01/1951	12/2005
2957001	83927	URUGUAIANA	-57.08	-29.75	01/1951	06/2005
3152003	-----	CANGUCU	-52.70	-31.39	01/1951	12/2005
8069000	82067	IAUARETE	-69.19	0.60	01/1951	06/2006
8260000	82024	BOA VISTA	-60.66	2.83	01/1951	06/2006

TABELA II. Estações base com dados de temperatura: Tx., (Tem. Máxima); Tm., (Tem. Média) e; Ti, (Tem. Mínima)

<i>Código</i>	<i>ESTAÇÃO</i>	<i>LONG</i>	<i>LAT</i>	<i>INI.</i>	<i>FIM</i>	<i>Tx</i>	<i>Tm</i>	<i>Ti</i>
82067	IAUARETE	-69.20	0.62	1961	2005			X
82106	SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA	-67.08	-0.13	1961	2005	X	X	X
82191	BELEM	-48.47	-1.45	1961	2005	X	X	X
82240	PARINTINS	-56.73	-2.63	1961	2005			
82331	MANAUS	-60.02	-3.13	1961	2005	X	x	X
82353	ALTAMIRA	-52.20	-3.20	1961	2005	X		
82571	BARRA DO CORDA	-45.27	-5.50	1961	2005	X		
82825	PORTOVELHO	-63.92	-8.7	1961	2005		X	
82861	CONCEICAO DO ARAGUAIA	-49.28	-8.25	1961	2005	X		X
82892	PESQUEIRA	-36.77	-8.40	1961	2005		X	
83064	PORTONACIONAL	-48.42	-10.72	1961	2005	X	X	X
83235	TAGUATINGA	-46.43	-12.40	1961	2005	X	X	X
83374	GOIÁS	-50.13	-15.92	1961	2005			X
83423	GOIÂNIA	-49.25	-16.67	1961	2005	X	X	X
83481	JOAOPINHEIRO	-46.17	-17.70	1961	2005			X
83526	CATALÃO	-47.95	-18.18	1961	2005	X	X	X
83669	SÃO SIMÃO	-47.55	-21.48	1961	2005		X	
83676	CATANDUVA	-48.97	-21.13	1961	2005	X	X	X
83692	JUIZ DE FORA	-43.35	-21.77	1961	2005		X	
83716	PRESIDENTE PRUDENTE	-51.38	-22.12	1961	2005	X	X	X
83738	RESENDE	-44.47	-22.48	1961	2005	X		X
83745	NOVAFRIBURGO	-42.53	-22.2	1961	2005			X

83842	CURITIBA	-49.27	-25.42	1961	2005	X		X
83844	PARANAGUÁ	-48.52	-25.52	1961	2005			X
83914	PASSOFUNDO	-52.40	-28.25	1961	2005		X	

***X indica existência de informação**

Determinação da significância da tendência linear.

Na determinação da significância estatística das tendências lineares utiliza-se o teste não-paramétrico de Mann-Kendall. A vantagem é de utilizar a magnitude relativa dos valores da série, filtrando valores extremos, ao invés dos valores reais. Mas, alerta-se que neste teste os dados precisam ser variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas (iid). Isto é a autocorrelação da série precisa que ser nula.

Alguns estudos foram realizados usando o teste de Mann Kendall para chuvas e vazões para Amazônia, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil. Marengo (2004) identificou tendências negativas/positivas em chuvas na parte norte/sul da Amazônia, entretanto Obregón (2001) determinou que a configuração tendências sobre a Amazônia, mais que norte/sul é noroeste/sudeste. Em estudos de tendências na bacia do Rio Paraíba do Sul, os testes mostraram tendências negativas significativas, porém estas tendências não pareceram reais, pois devido à operação de reservatórios na bacia e à alta autocorrelação das séries temporais, o que gerou tendências climáticas artificiais (Marengo e Alves 2005), que também foram detectadas no Rio São Francisco em Juazeiro (Marengo et al. 1998).

Isto induz à necessidade de levar em consideração as características deste teste quando aplicado às séries climatológicas, como na precipitação, para séries totais anuais, totais ou médias de uma estação ou determinado mês, considerados como independentes. Maiores detalhes sobre a metodologia são encontrados em Kendall (1975), Hirsch e Slack (1984) e Gilbert (1983).

A hipótese nula (H_0) considera que os dados: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (iid). O teste estatístico de Mann-Kendall (S) é dado por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j)$$

onde a função sgn é:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_i - x_j) &= 1, & \text{se } x_i - x_j &> 0, \\ &= 0, & \text{se } x_i - x_j &= 0 \\ &= -1, & \text{se } x_i - x_j &< 0 \end{aligned}$$

Para séries com comprimento maiores que 10, a estatística (S) aproxima-se à distribuição normal, quando se faz a seguinte correção, $S^* = S - \text{sgn}(S)$. Considerando a hipótese nula e a ausência de repetição de valores dentro da série, a variância de (S), $[\text{Var}(S)]$, definida por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} e,$$

com a correção devido a repetições, a variância fica:

$$Var(S) = \frac{\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]}{18},$$

onde g é número de grupos com dados repetidos e t_p é número de dados no p -ésimo grupo. Logo S e a $Var(S)$ são utilizados para o cálculo da estatística Z , com distribuição normal padrão:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[Var(S)]^{1/2}}, & \text{se } S > 0, \\ Z &= 0, & \text{se } S = 0, \\ Z &= \frac{S+1}{[Var(S)]^{1/2}}, & \text{se } S < 0 \end{aligned}$$

Os valores positivos (negativos) indicam tendência ascendente (descendente).

Com o intuito de ajudar na interpretação, se calcularam as tendências das duas variáveis, para valores anuais e sazonais: primaveras (SON), verões (DJF), outonos (MAM) e invernos (JJA).

Se a hipótese nula (H_0) é verdadeira, a estatística Z tem distribuição normal padrão. Para testar, tanto as tendências ascendentes quanto as descendentes, ao nível significativo α a H_0 é rejeitada se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-\alpha/2}$ (teste de duas caudas). O valor, $Z_{1-\alpha/2}$ é escolhido *a priori* uma vez que não temos conhecimento da direção da tendência.

O Valor de α em todos os testes realizados para o presente relatório e de 0.05.

Resultados

Neste capítulo se mostrará e analisará os resultados da distribuição espacial das tendências lineares (magnitude de incremento ou diminuição) da precipitação total anual e sazonal e, das tendências dos valores médios das temperaturas anuais e sazonais da temperatura máxima, média e mínima. Também, calcularam-se as significâncias estatísticas ao nível de 5% para cada um das distribuições temporais das duas variáveis, precipitação e temperatura.

Tendência linear da precipitação.

Os resultados obtidos da magnitude das tendências lineares da precipitação para os totais anuais e sazonais, calculadas em mm/década e em %, respeito da média serão analisados e discutidos. Na Tabela III são apresentados os valores da magnitude das tendências da precipitação total anual e total sazonal, tanto valores reais (mm/década) quanto em %, relativo à média multi-anual.

Tendência linear da precipitação total anual.

A distribuição das tendências lineares dos totais anuais das precipitações em mm/década e em percentagem, em relação à média climática, e ao mesmo tempo as tendências estatisticamente significativas ao nível de 0.05, calculadas a partir do teste Mann-Kendal, exibem-se na figura 2a-b. Valores extremos (Fig. 2 a) alcançam de -178.3 mm/década no extremo noroeste da Amazônia (Iauarete) a +167.1 mm/década em Rio grande do Sul (Canguçu) e, em percentagem o range é de -53.9 % em Minas Gerais (Várzea da Palma) a +66.5% em Rio grande do Sul (Canguçu) (Fig. 2 b). Estas características indicam que as intensidades, tanto de incremento quanto de diminuição, da precipitação são aproximadamente da mesma magnitude em mm/década ou em percentagem

Ressalta-se que existem diferenças nestas distribuições espaciais, particularmente, nas magnitudes com valores negativos sobre Minas Gerais e Noroeste da Amazônia e nos valores positivos sobre o norte da Bahia. Este comportamento está relacionado com a intensidade das médias climatológicas respectivas, o qual indica que as precipitações sobre Minas Gerais apresentam as maiores diminuições relativas de precipitação nos últimos 55 anos, no entanto em termos absolutos a maior diminuição registra-se sobre o extremo noroeste da Amazônia. Já os maiores incrementos se registraram no Rio grande do Sul, tanto em valores relativos (%) quanto absolutos (mm/década).

Outras características notáveis na distribuição anual da magnitude das tendências são: 1) Tendências negativas significativas localizam-se sobre o Noroeste da Amazônia e centro-oeste de Minas Gerais, e tendências positivas restringem-se à região Sul do Brasil, onde há um predomínio de valores positivos.; 2) Na maior parte do domínio há predominância de valores entre ± 60 mm/década ou em percentagem $\pm 20\%$; 3) Sobre a Amazônia há predominância de valores negativos e predominância de valores positivos sobre o Sul do Brasil; que parecem representar padrões regionais claros de variabilidade climática, associados à forçantes climáticas de baixa frequência e; 4) Nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil há uma aparente divisão sub regional de tendências, já que os valores das magnitudes negativas da região sul do Nordeste, parecem estender-se e intensificar-se sobre a região central-oeste de Minas Gerais, onde se observam as diminuições mais intensas.

Tendência linear da precipitação total sazonal.

Na Figura 3 a-d, mostra-se a distribuição espacial das amplitudes da inclinação da tendência linear da precipitação sazonal em mm/década (lado esquerdo) e em %, relativo à média (lado direito). As análises se realizarão considerando o ciclo hidrológico predominante (setembro a outubro) sobre o Brasil.

No início da estação chuvosa, setembro/novembro (Fig. 3 a-a₁), sobre a maior parte do Brasil observa-se um padrão espacial ligeiramente diferente ao dos totais anuais tanto em mm/década, quanto em percentagem, com a

ressalva de que os valores extremos em termos reais (de -35.2 em Várzea da Palma a +34.0 em Canguçu) são, aproximadamente, um quarto do observados nos totais anuais (Fig. 2 a). Mas nos valores em percentagem (-54% em Várzea da Palma a +54% em Campo dos Cavalos), os valores são aproximadamente iguais (Fig. 2 b).

TABELA III. Tendências da precipitação: em mm/década (1) e em %, relativo à média multi-anual (2)

Código	Anual		Primavera		Verão		Outono		Inverno	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
62000	-54.	-12.4	-30.1	-41.0	-27.3	-28.9	13.2	8.2	-4.6	-4.2
67000	-26.5	-5.1	-7.8	-7.9	-14.1	-9.8	-10.7	-7.0	18.4	14.3
148002	74.3	14.2	12.6	20.0	21.1	11.5	27.3	13.6	12.6	16.0
152001	-36.6	-8.6	5.4	17.1	2.6	2.3	-20.9	-10.9	-10.3	-11.3
256000	-13.9	-3.5	-16.8	-42.7	-16.0	-11.9	-2.7	-1.7	-6.0	-8.9
360000	-11.7	2.9	-5.6	-8.9	0.5	0.3	15.9	10.0	8.7	20.5
463001	49.4	12.6	9.0	11.9	14.5	10.9	48.9	36.4	8.4	16.4
470001	-151.5	-30.3	-28.9	-25.6	-62.6	-38.1	-47.9	-30.8	-5.9	-8.3
539000	6.0	4.3	0.0	0.0	7.9	22.4	-13.5	-15.7	5.1	28.8
547000	10.2	3.9	6.8	17.1	12.1	10.0	-2.9	-2.9	0.5	9.8
741010	26.8	21.6	-1.3	-9.0	12.7	19.7	-1.5	-3.4	0.0	0.0
747003	30.7	10.1	10.8	-17.3	22.7	16.2	18.6	18.7	1.0	19.4
849000	20.5	6.5	16.9	22.9	19.7	13.8	-10.9	-11.1	0.5	10.8
940018	34.2	41.7	5.9	54.2	17.3	42.6	0.3	0.8	0.3	25.5
1048003	-10.2	-3.6	-1.3	-1.9	0.7	0.5	0.6	0.8	0.5	23.5
1241017	-19.0	-10.8	-10.4	-27.9	-18.5	-26.9	-6.0	-13.3	1.0	4.9
1444000	19.2	11.6	0.7	1.5	2.9	3.2	2.8	8.4	0.0	0.0
1539010	-37.8	-13.9	-7.8	-12.4	-7.8	-10.8	-9.4	-12.5	-19.5	-30.8
1544012	-8.6	-4.6	5.3	10.6	-17.8	-17.3	0.5	1.3	0.0	1.1
1550003	9.2	-2.9	7.2	9.5	11.4	6.5	-10.3	-14.9	0.7	23.6
1556002	17.6	7.1	3.9	6.2	3.6	3.1	2.1	3.1	4.8	75.3
1642002	-31.3	-21.4	-11.0	-23.9	-5.3	-7.1	1.2	4.9	0.4	19.0
1739006	22.2	9.0	17.3	24.8	-0.1	-0.1	9.2	14.6	-9.6	-22.7
1744009	-126.5	-53.9	-35.2	-54.9	-66.9	-52.1	-27.4	-65.2	0.0	0.0
1841001	0.4	0.2	11.1	20.7	2.9	2.9	-4.5	-11.6	-2.0	-27.1
1848000	10.9	4.1	7.9	11.9	13.5	9.8	3.1	5.6	1.1	15.3
1943000	26.6	9.6	4.0	5.5	20.2	13.6	4.6	9.5	0.1	1.9
1947001	-134.1	-43.9	-27.2	-35.7	-75.0	-46.8	-37.9	-59.4	2.7	35.7
2046007	34.8	13.7	17.1	28.8	30.9	21.9	-0.8	-1.5	3.6	51.1
2048021	15.5	6.4	-4.8	-8.6	19.6	15.9	6.6	12.5	-3.6	-33.2
2242003	-68.9	-15.9	4.1	3.8	-15.9	-9.2	-32.9	-30.5	-11.3	-26.6
2246022	35.4	12.9	7.8	11.7	10.9	8.2	8.1	14.3	-2.8	-12.7
2251010	26.7	12.4	2.9	5.5	8.5	8.8	7.0	15.4	-0.7	-2.9
2350002	54.2	23.0	20.1	33.9	28.2	30.8	11.9	21.7	3.8	13.1
2450010	-58.5	-20.8	-15.5	-21.5	-7.6	-8.0	-10.9	-17.0	-19.8	-38.9
2548000	118.4	32.0	32.7	38.3	66.7	44.9	6.6	7.7	28.8	55.2
2552000	46.3	13.6	16.3	15.9	18.6	18.6	20.6	26.7	-1.9	-3.1
2651000	48.0	16.0	23.5	27.7	17.8	21.0	8.1	12.1	15.5	24.1
2749000	44.7	16.6	11.0	15.5	10.0	11.1	6.1	10.9	9.8	18.4
2753003	54.0	16.1	8.2	9.0	21.7	23.8	6.5	8.5	8.3	10.7
2852020	30.6	9.4	0.7	0.8	7.8	8.9	16.2	23.0	-3.8	-4.9
2951022	83.7	29.0	24.9	32.7	18.9	24.8	20.1	33.4	22.5	29.2
2953008	131.5	43.5	28.2	34.1	34.8	46.8	53.7	76.5	14.0	18.2
2957001	13.6	5.1	-11.0	-16.8	-6.2	-8.2	26.4	31.8	-10.2	-22.7
3152003	167.1	56.5	34.0	44.6	44.5	61.9	40.7	59.1	26.0	32.5
8069000	-178.3	-28.1	-36.3	-28.6	-30.6	-21.6	-44.7	-23.1	-62.4	-35.6
8260000	-58.3	-19.9	-6.8	-17.6	1.1	6.2	7.9	9.4	-58.3	-38.1

*Valores estatisticamente significante ao nível de 0.05, segundo teste de Mann-Kendall (vermelho)

**TABELA IV. - Tendências da média anual e sazonal da Temperatura
Máxima (Tx.), Temperatura Média (Tm.) e Temperatura Mínima (Ti.) em
°C/década**

Código	T_x					T_m					T_i				
	ANO	SON	DJF	MAM	JJA	ANO	SON	DJF	MAM	JJA	ANO	SON	DJF	MAM	JJA
82067											0.02	0.08	0.63	0.03	-0.00
82106	0.46	0.44	0.50	0.57	0.48	0.25	0.24	0.25	0.28	0.23	-0.02	0.00	-0.00	-0.04	-0.04
82191	0.16	0.12	0.12	0.24	0.06	0.23	0.25	0.23	0.24	0.17	0.23	0.21	0.23	0.15	0.19
82240															
82331	0.06	-0.02	0.14	0.14	-0.07	0.09	0.03	0.11	0.17	0.03	0.07	0.06	0.06	0.08	0.08
82353	0.63	0.73	0.46	0.56	0.74										
82571	0.12	0.17	0.19	0.12	0.08										
82825						0.42	0.33	0.36	0.46	0.55					
82861	0.36	0.23	0.27	0.35	0.47						1.29	1.22	1.05	1.13	1.63
82892						0.66	0.53	0.48	0.59	1.02					
83064	0.31	0.30	0.24	0.31	0.34	0.23	0.09	0.17	0.16	0.31	0.48	0.44	0.37	0.45	0.66
83235	0.37	0.44	0.32	0.38	0.29	0.40	0.19	0.45	0.49	0.30	0.50	0.44	0.40	0.49	0.57
83374											0.33	0.28	0.32	0.30	0.36
83423	0.43	0.47	0.42	0.37	0.39	0.13	0.21	0.11	0.10	0.22	0.34	0.14	0.22	0.39	0.46
83481											0.38	0.22	0.19	0.40	0.44
83526	0.39	0.44	0.50	0.26	0.32	0.38	0.37	0.40	0.31	0.35	0.31	0.29	0.31	0.33	0.27
83669						0.16	0.18	0.27	0.15	0.00					
83676	-0.22	-0.25	-0.14	-0.28	-0.33	0.13	0.11	0.02	0.17	0.22	0.36	0.30	0.17	0.44	0.50
83692						-0.19	-0.35	-0.29	-0.14	0.02					
83716	0.00	0.15	0.10	-0.20	-0.17	0.30	0.38	0.30	0.21	0.26	0.67	0.51	0.57	0.71	0.64
83738	-0.13	-0.14	0.04	-0.08	-0.33						0.13	0.06	0.21	0.17	0.05
83745															
83842	0.12	0.09	0.17	0.12	0.06						0.30	0.22	0.33	0.40	0.24
83844											0.34	0.32	0.29	0.24	-0.01
83914						0.04	-0.02	0.07	0.13	0.05					

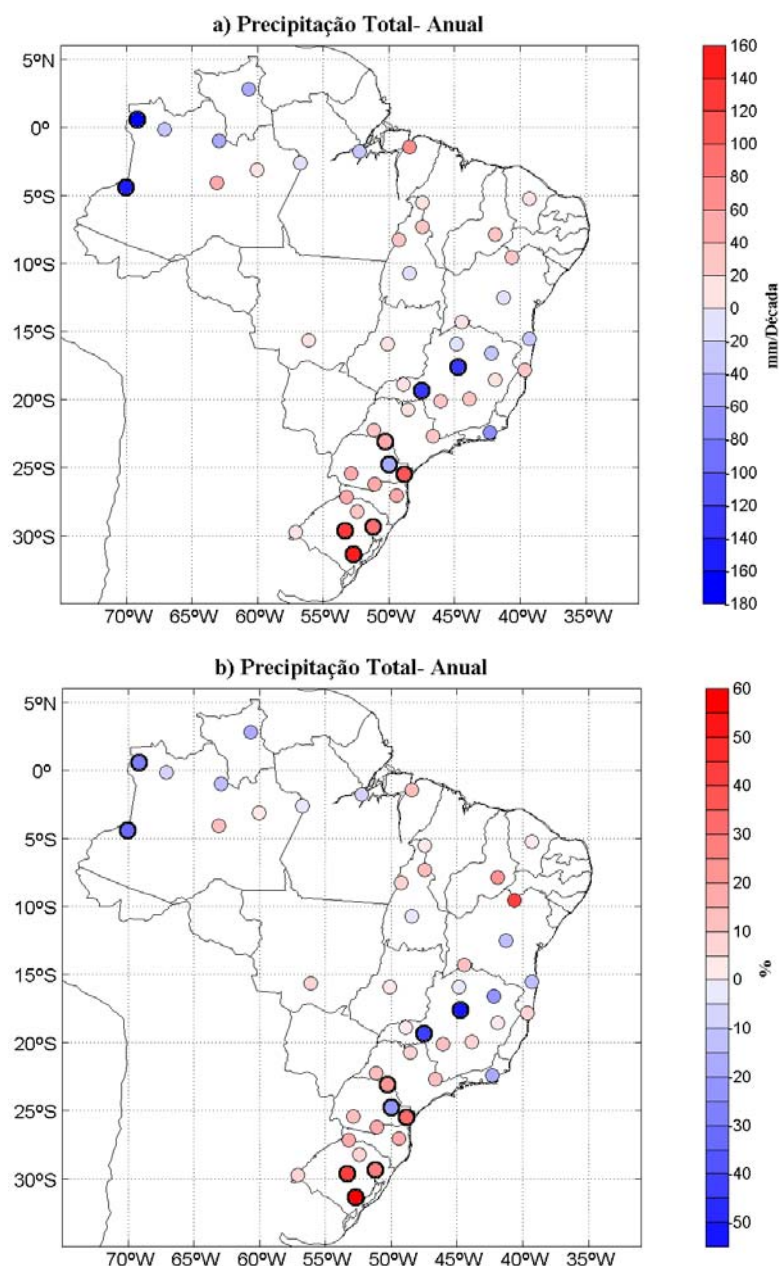


Figura 2. - Distribuição espacial da magnitude da inclinação da tendência linear da precipitação total anual sobre o Brasil, obtidas através do método de Sen, em mm/década a), em percentagem, relativa à media climatológica b). Tendências estatisticamente significativas ao nível de 0.05, no teste Mann-Kendal são indicadas pelos círculos negros.

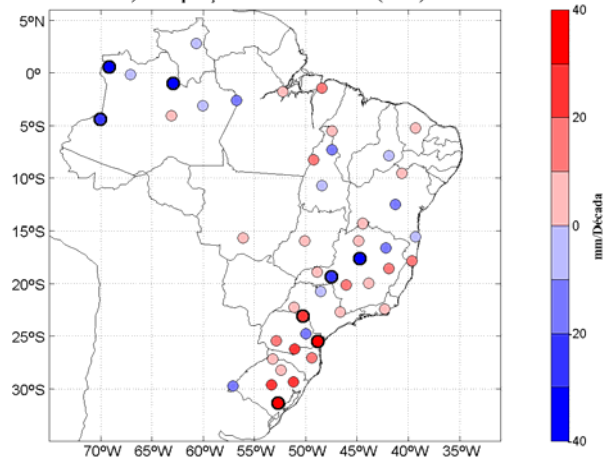
A maior diferença nas distribuições espaciais entre a primavera e os totais anuais encontra-se no Nordeste, donde há maior proporção de estações com valores negativos, porém observa-se que o maior incremento em % durante esta estação ocorre em Campo dos Cavalos com +54% da precipitação média multi-anual. Os valores negativos estatisticamente significativos restringem-se ao Noroeste da Amazônia, Minas Gerais e os positivos à região Sul, comportamento similar ao dos totais anuais, ainda que algumas estações sejam diferentes.

Durante a estação chuvosa, DJF, a distribuição espacial das tendências sazonais (Fig. 3 b-b₁) são muito mais similares às dos totais anuais. Os valores extremos observam-se em Santa Juliana com -75.0 mm/década (Várzea da Palma com -52.1%) e em Morretes com +66.7 mm/década (Canguçu com 61.9%). Nesta estação aparecem ao longo da região costeira desde Rio de Janeiro até a Bahia tendências negativas, ainda que não estatisticamente significativas, que parecem estas associadas às tendências negativas persistentes sobre o sul da Bahia e centro-oeste de Minas Gerais. Também, em Campo dos Cavalos ainda é visível o intenso incremento percentual de precipitação, ao igual que na estação de primavera (SON).

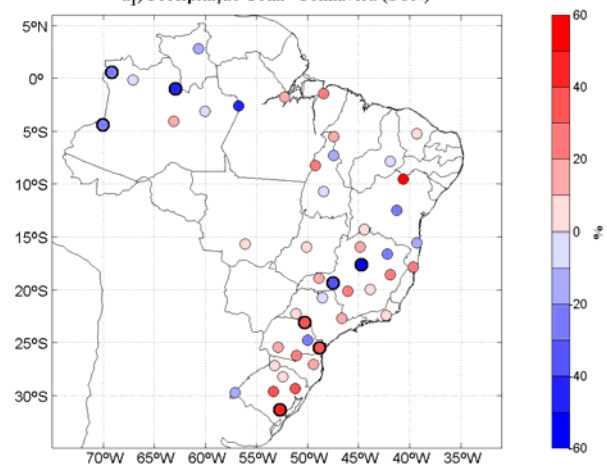
Nos meses de MAM, estação de outono, a distribuição espacial das tendências sazonais (Fig. 3 c-c₁) é similar ao das outras estações analisadas acima, e se observa também um range similar das tendências. Isto é os valores extremos alcançam valores similares e são desde -47.9 mm/década em Benjamin Constant (Várzea da Palma com -65.2 %) até 53.7 mm/década em Dona Francisca (76.5% em dona Francisca). Observam-se pequenas diferenças, respeito às outras estações analisadas acima, principalmente sobre a região Sul, donde persistem as tendências positivas, e no sul da Bahia e centro-oeste de Minas Gerais, com anomalias negativas persistentes. Porém, cabe destacar que sobre o extremo oeste e noroeste da Amazônia observa-se, aparentemente, um dipolo este/leste com valores negativos/positivos, com valores significativos. A importância destas tendências deve-se a que estes meses nesta região registram-se precipitações relativamente altas e, aparentemente, respondem de forma inversa às forçantes que geram a precipitação durante esta estação.

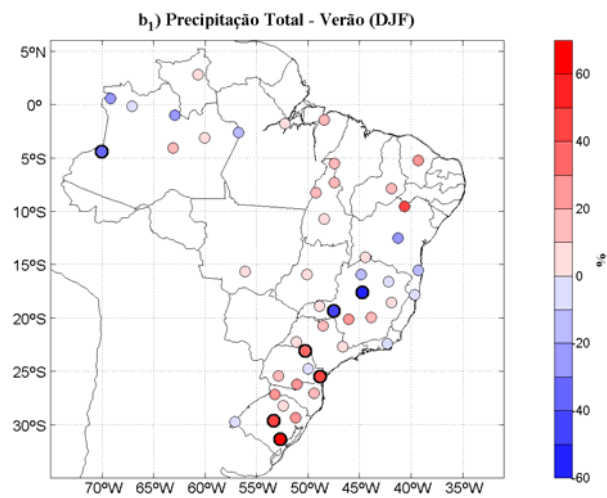
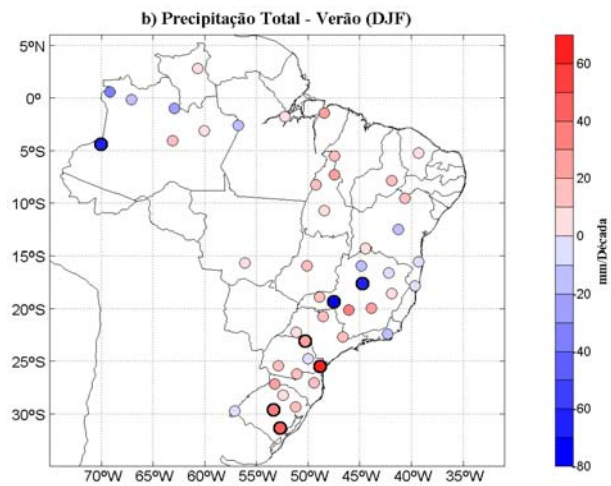
Na distribuição das tendências estação de inverno (JJA) (Fig. 3 d-d₁), época na qual as maiores precipitações estão restritas ao extremo norte do Brasil, pode-se observar sobre estas áreas tendências negativas intensas, estatisticamente significativas, particularmente a estação de Benjamin Constant, com 62.4 mm/década. Em contraste com estas tendências observa-se uma sequência de estações com tendências positivas, estatisticamente significativas desde o norte da Bahia até sudoeste de Mato Grosso e outra estação (Morretes), também com valor positivo e estatisticamente significativo, que ao mesmo tempo é o de valor máximo registrado nesta estação (JJA) com 28.8 mm/década. Em quanto a valores em percentagem o mais saltitante são os valores das tendências positivas significativas da Bahia até Mato Grosso, que alcança o valor de até +75% da média da precipitação multi-anual em Cuiabá.

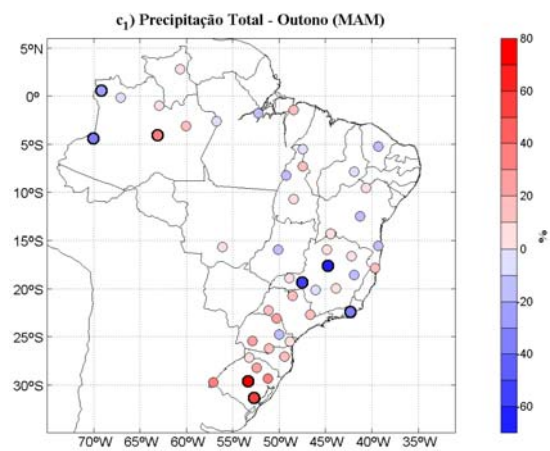
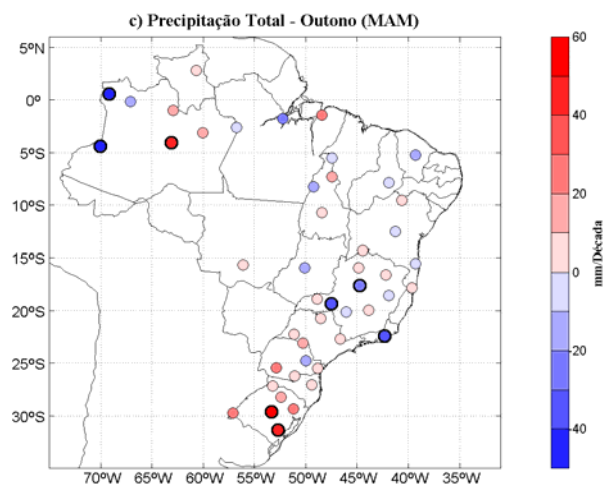
a) Precipitação Total - Primavera (SON)



a₁) Precipitação Total - Primavera (SON)







Continua ...

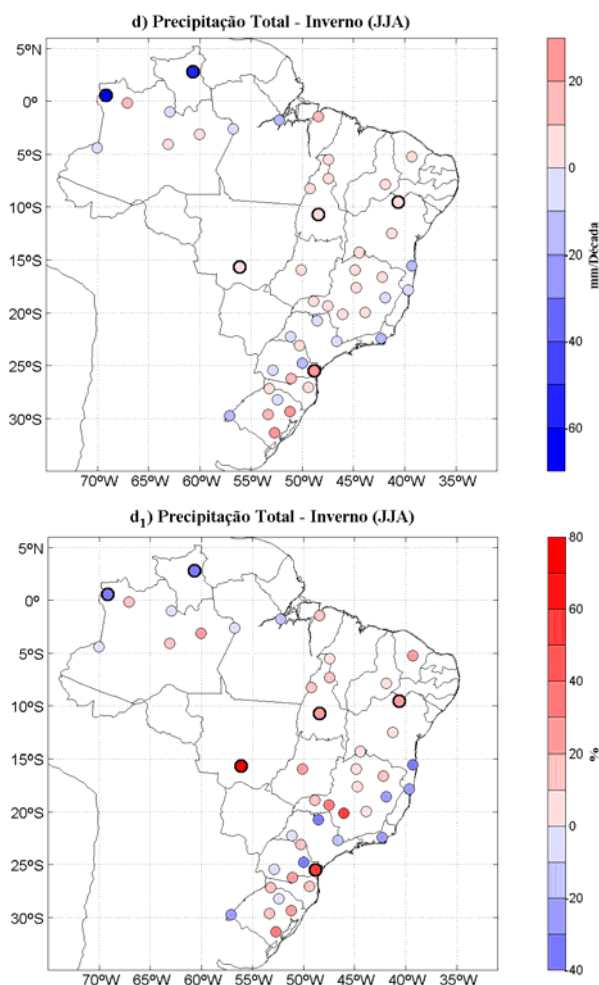


Figura 3. - Distribuição espacial da magnitude da inclinação da tendência linear da precipitação total sazonal sobre o Brasil, obtidas através do método de Sen. Em mm/década, para as estações de primavera (SON) a), Verão (DJF) b), Outono (MAM) c) e, Inverno (JJA) d), e para as mesmas estações do ano, mas em percentagem, relativa à média climatológica, para SON a₁), DJF b₁), MAM c₁) e, JJA d₁). Tendências estatisticamente significativas ao nível de 0.05, no teste Mann-Kendal são indicadas pelos círculos negros

4.2 - Tendência linear da temperatura.

Nesta parte do trabalho se analisa a distribuição espacial da magnitude das tendências lineares dos dados de temperatura total anual e sazonal, baseados em dados médios mensais das temperaturas máximas, médias e mínimas, determinadas em °C/década, bem como os valores estatisticamente significativos ao nível de 0.05. Os cálculos estão baseados em dados de 14 estações com temperaturas máximas e médias e, 16 estações com temperaturas mínimas (Tabela II). Na tabela IV encontram-se as tendências das temperaturas totais e sazonais, em °C/década, das temperaturas máximas, médias e mínimas.

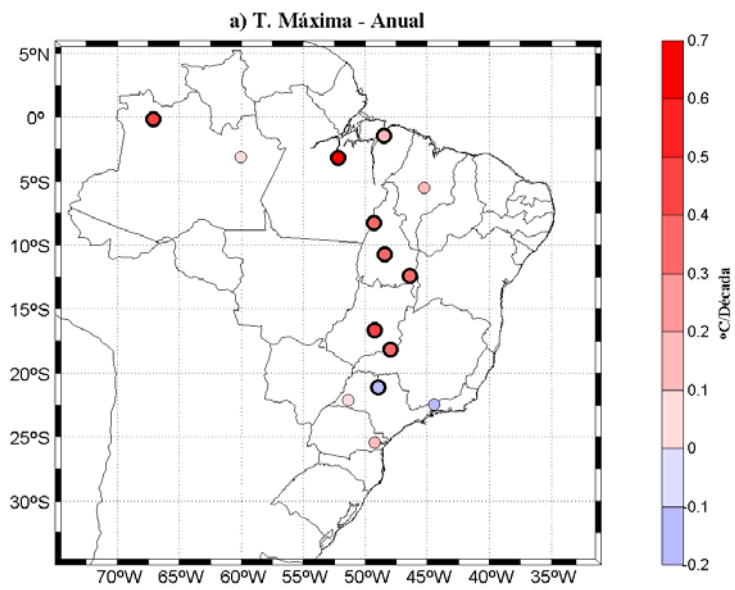
4.2.1 - Tendência linear das temperaturas Médias Anuais.

Na figura 4 a-c se faz evidente a falta de informação de temperaturas sobre a maioria das regiões do Brasil, o qual leva à necessidade de realizar análises com muito cuidado, já que a magnitude das tendências é muito sensível devido tanto ao tamanho das séries utilizadas quanto à distribuição regional. Informação com regular cobertura obteve-se ao longo dos estados de São Paulo até Tocantins e, algumas estações sobre a parte norte da região Amazônica, para as três temperaturas. Há uma relativa melhor distribuição das observações sobre o Nordeste, Sul da Amazônia e Sul do Brasil (pelo menos uma em cada uma de estas regiões) nas observações das temperaturas médias.

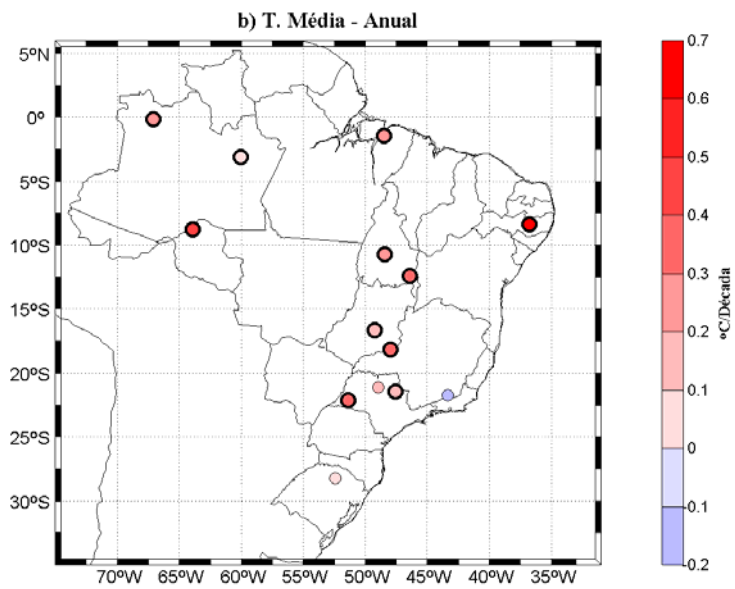
As magnitudes das tendências das temperaturas máxima médias anuais (Fig. 4 a) apresentam valores desde -0.22 °C/década (Catanduva), estatisticamente significativa, até 0.63 °C/década (Altamira). Sobre São Paulo e Rio de Janeiro as tendências são ligeiramente negativas e, ao sul desta região os valores positivos são próximos de zero. Valores muito intensos e estatisticamente, significativos ao nível de 0.05, registram-se desde Minas Gerais, passando por Pará, alcançando o extremo noroeste da Amazônia.

Na Figura 4 b, observa-se que com exceção de Juiz de Fora (-0.19 °C/década), a distribuição da tendência das temperaturas médias anuais são positivas, com valor máximo de $+0.66$ °C/década (Pescaria). Valores significativos distribuem-se sobre todas as regiões donde existe informação. Isto é Amazônia, Nordeste e, desde São Paulo até Pará.

Valores positivos muito mais intensos de tendências médias anuais, em relação às outras temperaturas, observadas na distribuição espacial das temperaturas mínimas médias anuais (Fig. 4 c). Uma única tendência negativa é observado, com valor próximo de zero (-0.02 °C/década em São Gabriel de Cachoeira), adjacente a valores positivos muito pequenos distribuídos sobre a Amazônia. Os valores positivos, estatisticamente significativos ao nível de 0.05, observados desde o leste de Santa Catarina até Pará apresentam o valor máximo em Conceição de Araguaia com $+1.29$ °C/década. Valor mais alto entre todas as tendências das diferentes temperaturas médias anuais analisadas nesta parte do trabalho.



Continua ...



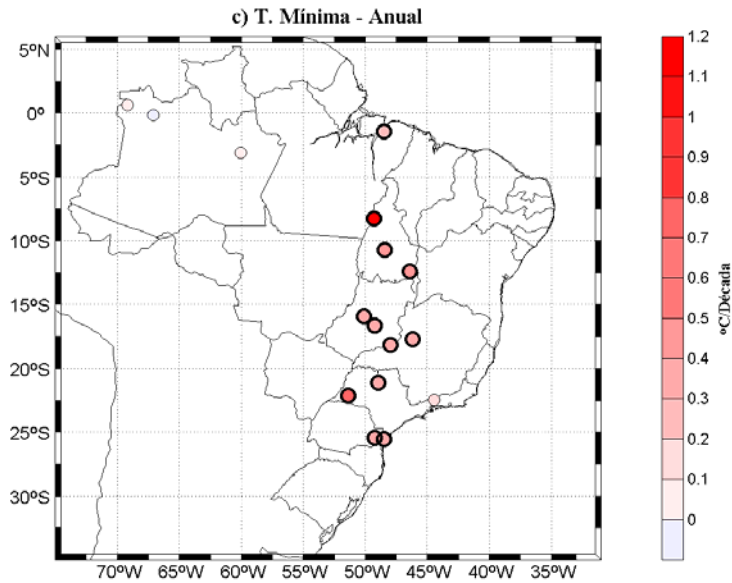


Figura 4. - Distribuição espacial da magnitude da tendência linear das Temperaturas média anual, sobre o Brasil. Temperatura Máxima a), Temperatura Média b) e, Temperatura Mínima c). Magnitude das tendências obtidas através do método de Sen, em $^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Tendências estatisticamente significativas ao nível de 0.05, no teste Mann-Kendal são indicadas pelos círculos negros

4.2.2 - Tendência linear das temperaturas Médias Sazonais.

A figura 5 a-c mostra a distribuição das tendências da temperatura máxima anual média para as quatro estações do ano. Observa-se que as distribuições sazonais são similares à distribuição da média anual (Fig. 4 a), donde persistem valores positivos, significativos, ao longo dos estados desde o sudoeste de Minas Gerais até o extremo noroeste da Amazônia. Magnitudes com valores negativos restringem-se aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, onde atingem valores negativos estatisticamente significativos durante os meses de outono (valor mínimo em Catanduva com $-0.28^{\circ}\text{C}/\text{década}$) e inverno (valor mínimo em Resende com $-0.33^{\circ}\text{C}/\text{década}$) (Fig. 5 c-d). Valores máximos das tendências são registradas em Altamira na primavera e inverno, com valores de $+0.73$ e $+0.74^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente, e no verão e outono estes registram-se em São Gabriel da Cachoeira com valores de $+0.50$ e $+0.57^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente. Também, observa-se valor máximo em Catalão de $+0.50^{\circ}\text{C}/\text{década}$, idêntico ao observado em verão, em São Gabriel da Cachoeira.

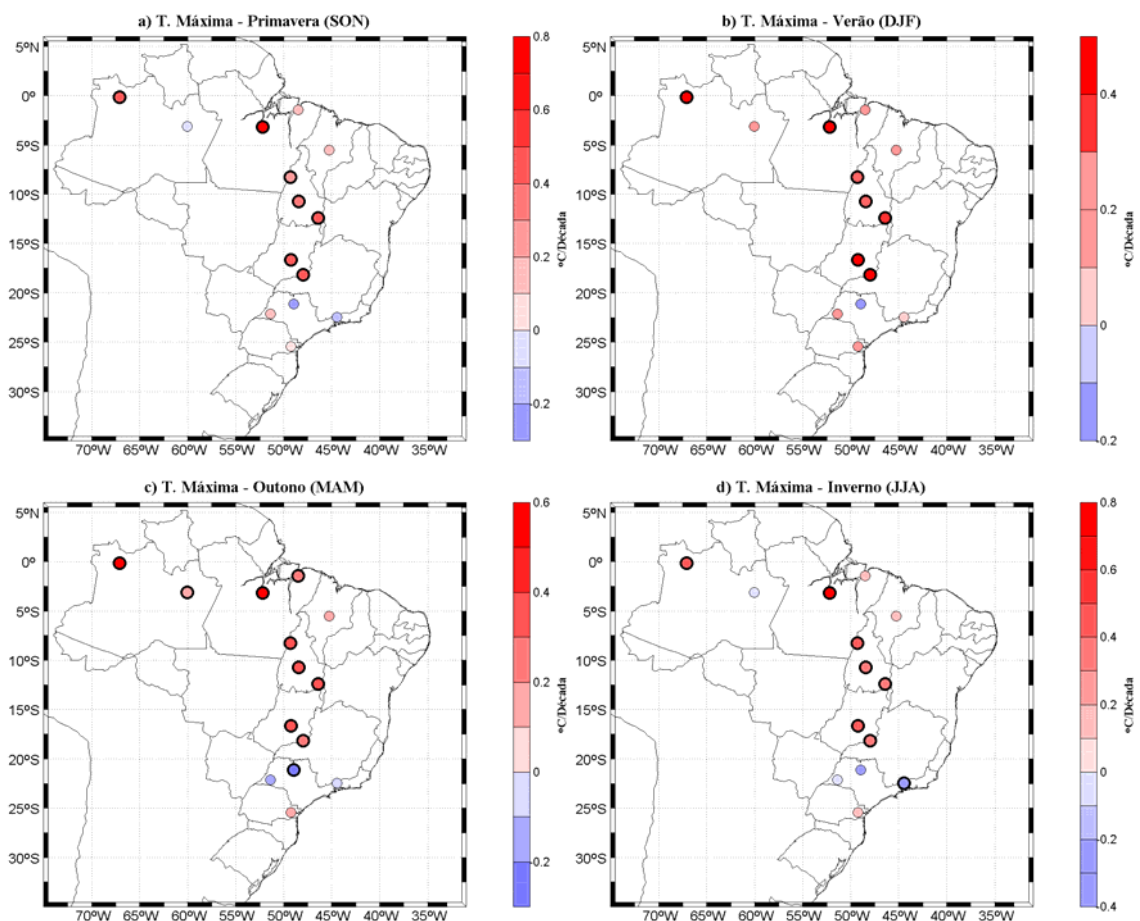


Figura 5. - Distribuição espacial da magnitude da inclinação da tendência linear da Temperatura Máxima média sazonal sobre o Brasil, obtidas através do método de Sen. Em $^{\circ}\text{C}/\text{década}$, para as estações de primavera (SON) a), Verão (DJF) b), Outono (MAM) c) e, Inverno (JJA) d). Tendências estatisticamente significativas ao nível de 0.05, no teste Mann-Kendal são indicadas pelos círculos negros

A distribuição das tendências da temperatura média das temperaturas médias sazonais (Fig. 6 a-c) apresenta padrão similar ao das temperaturas médias da média anual, principalmente desde a primavera (Fig. 6 a) até o outono (fig. 6 c). As tendências são predominantemente positivas e mostram valores estatisticamente significativos sobre todas as regiões, sendo maior a densidade durante os verões e outono. A exceção é a localidade de São Simão donde as tendências são negativas nestas três estações e, estatisticamente significativas em primavera ($-0.35^{\circ}\text{C}/\text{década}$) e verão ($-0.29^{\circ}\text{C}/\text{década}$). Os valores máximos nestas três estações, primavera, verão e Outono registra-se em Pescaria com valores de $+0.53$, $+0.48$ e $+0.59^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente. Nos meses de JJA, inverno, todas as tendências são positivas, porém há uma menor densidade de localidades com estatisticamente significativas, em relação às outras estações do ano. O valor máximo das tendências é observado em Pescaria com $+1.2^{\circ}\text{C}/\text{década}$.

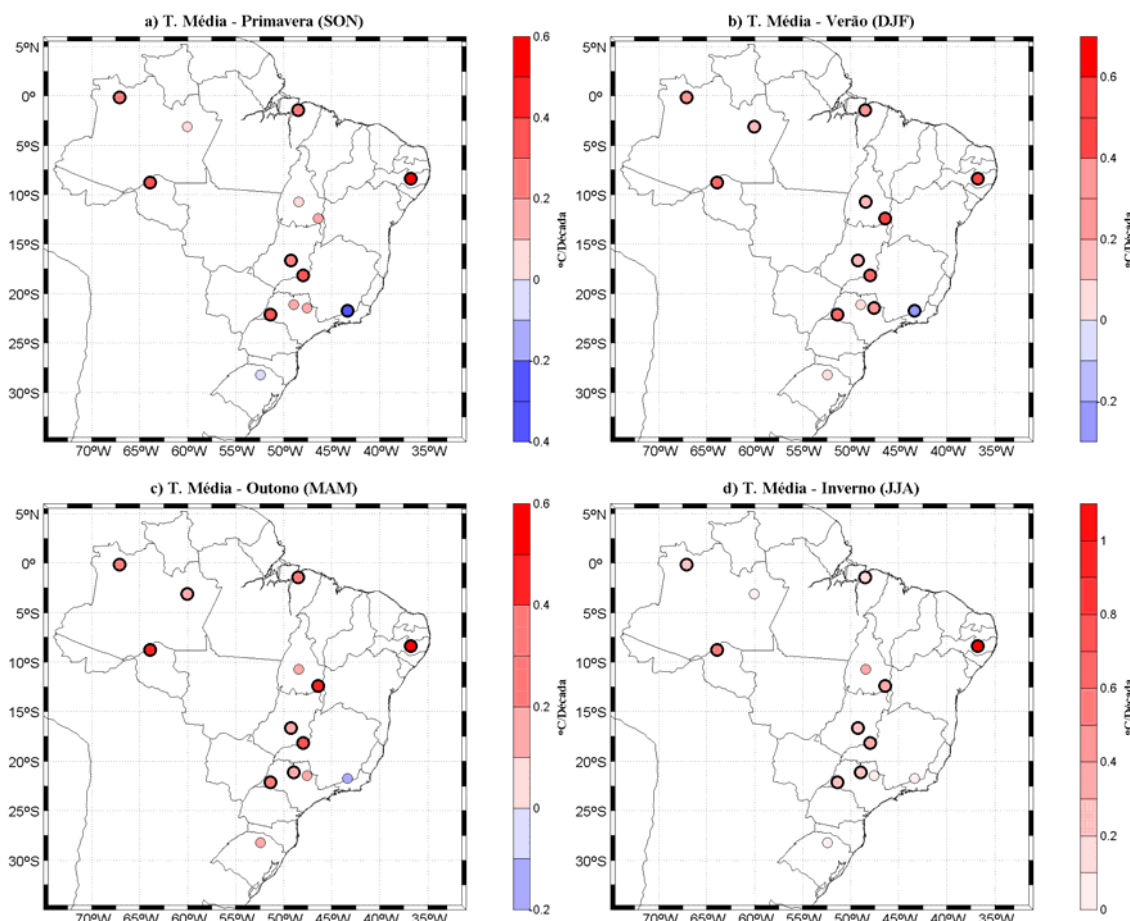


Figura 6. - Distribuição espacial da magnitude da inclinação da tendência linear da Temperatura Média, média sazonal sobre o Brasil, obtidas através do método de Sen. Em °C/década, para as estações de primavera (SON) a), Verão (DJF) b), Outono (MAM) c) e, Inverno (JJA) d). Tendências estatisticamente significativas ao nível de 0.05, no teste Mann-Kendal são indicadas pelos círculos negros

Durante todo o ano o padrão de distribuição das tendências das temperaturas mínimas médias sazonais (Fig. 7 a-c) é similar ao da média anual (Fig. 4 c), com valores positivos estatisticamente significativos e, ligeira diferença sobre a Amazônia, estado de Amazonas, donde as tendências não são estatisticamente significativas e se alteram entre valores positivos e negativos de magnitude próxima a zero ao longo do ano. Em todas as estações os valores máximos das tendências são registrados em Conceição de Araguaia com valores de +1.22, +1.05, +1.13 e + 1.63 oC/década, para as estações de primavera a inverno, respectivamente. Estes padrões observados ao longo do ano nos indicam que as tendências positivas de todas as temperaturas analisadas, no presente trabalho, são as mais intensas, particularmente, durante os meses de inverno (JJA). Mas, ao mesmo tempo observam-se tendências muito pequenas sobre a Amazônia, praticamente sem alterações durante o período de 1961 a 2005, característica não observada na distribuição dos outros tipos de temperatura.

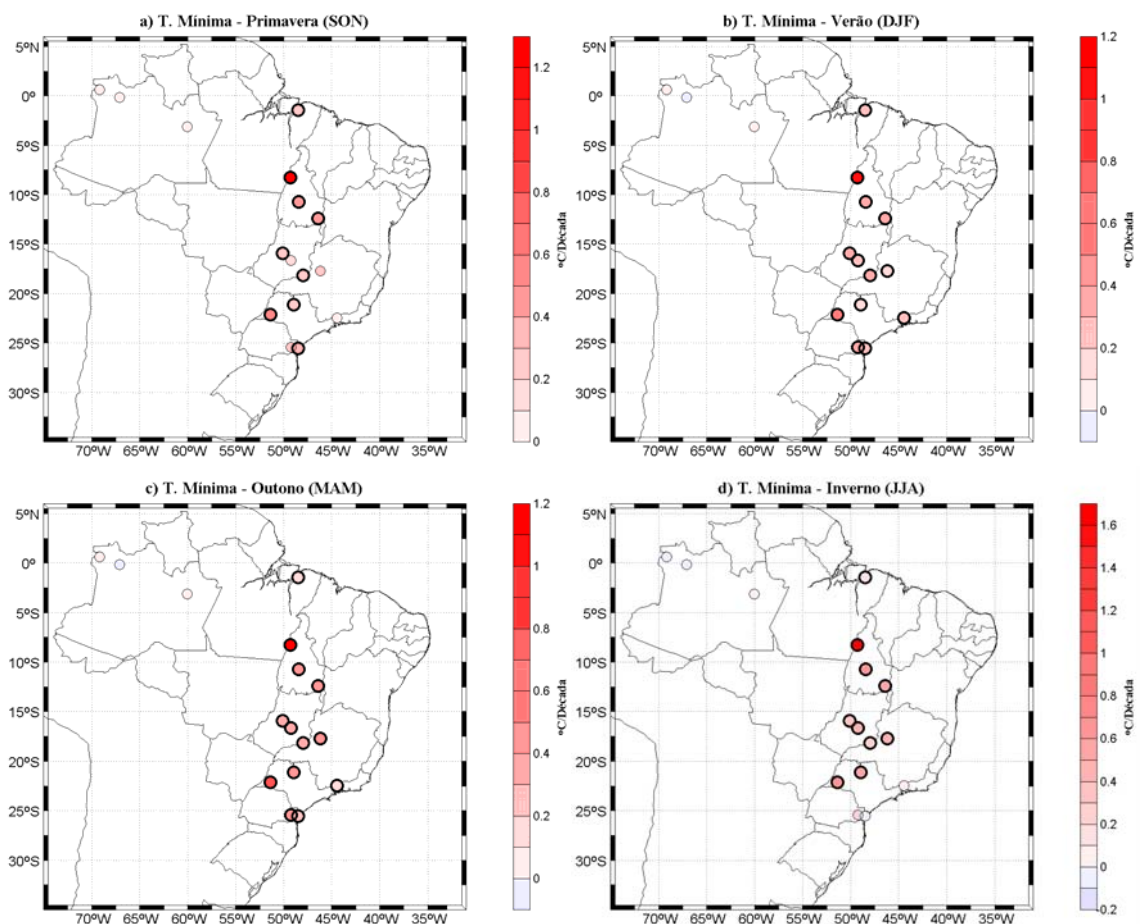


Figura 7. - Distribuição espacial da magnitude da inclinação da tendência linear da Temperatura Mínima média sazonal sobre o Brasil, obtidas através do método de Sen. Em °C/década, para as estações de primavera (SON) a), Verão (DJF) b), Outono (MAM) c) e, Inverno (JJA) d). Tendências estatisticamente significativas ao nível de 0.05, no teste Mann-Kendal são indicadas pelos círculos negros

Discussão e conclusões

Os dados observacionais são a base para qualquer tipo de análises sobre mudanças climáticas. A qualidade, distribuição espacial e o período de observação são os alicerces para se obter resultados confiáveis, com parâmetros característicos representativos e robustos, das análises de tendências climáticas e variabilidade de longo prazo, que servem como meio de referencia nas análises de cenários futuros de mudanças climáticas.

Existem dificuldades intrínsecas para se obter dados observacionais de precipitação e temperatura, com registros longos, não somente pelas dificuldades geográficas, como o caso da Amazônia, mas também por outras devidas a problemas diversos que resultam em séries descontínuas ou de qualidade duvidosa. A pesar destes problemas, logrou-se obter 47 estações de precipitação, distribuídas ao longo do Brasil, com registros de 1951 a 2005 (55 anos), 14 estações com registros de temperaturas medias de Temperatura

Máxima e Temperatura Média e 16 estações com temperaturas Mínimas, que são a base do presente estudo.

A partir dos dados de precipitação e temperaturas médias mensais homogêneas realizaram-se as análises estatísticas das tendências lineares. Os parâmetros obtidos e apresentados são confiáveis e representativos para o período de análises, desde que o cálculo das tendências são sensíveis os períodos de tempo, seja anual ou sazonal, e geralmente encontram-se modulados por oscilações de períodos longos, porque as observações são relativamente curtas, para poder discernir entre a variabilidade natural do sistema climático e efeitos antropogênicos.

As distribuições espaciais das tendências de precipitação apresentam fatos ressaltantes, com características regionais próprias, que indicam a complexidade das precipitações sobre o Brasil. Tendências contrastantes são observadas principalmente entre a região Sul, donde estas são positivas, e as regiões do extremo noroeste da Amazônia e a região que abarca o sul da Bahia até o centro-oeste de Minas Gerais, donde as tendências são negativas. Adicionalmente, existem características regionais, restritos a alguma estação do ano, como é o caso de verão e inverno que apresentam tendências negativas, ainda que estatisticamente não significativas, ao longo da costa da região Sudeste e parte sul do nordeste.

Respeito à distribuição espacial de tendências das temperaturas, igual que no da precipitação, apresentam características regionais intrínsecas, porém as regiões são muito mais reduzidas, tal como o extremo Oeste da Amazônia e a faixa entre São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, donde se registram valores negativos, persistentes ao longo do ano, praticamente nos três tipos de temperaturas.

De todas as distribuições de temperatura é necessário ressaltar a distribuição das tendências das temperaturas mínimas médias anuais porque, praticamente, sobre todo o Brasil, onde existem registros, apresentam-se valores positivos estatisticamente significativos que atingem os maiores valores máximos (acima de 1 °C/década) na média anual e ao longo de todo o ano.

Os resultados deste trabalho, indispensáveis para ter presente às características das séries temporais utilizadas nos estudos de mudanças climáticas sobre o Brasil, permitem que as análises das tendências, muito sensíveis ao período estudado, apresentam pouca variação em quanto à magnitude de quase a totalidade das variáveis estudadas. Além de isso, apresentam padrões espaciais, coerentes com estudos anteriores (realizados com 40 e 50 anos de temperatura e precipitação, respectivamente). Esta característica indica que as tendências climáticas observadas neste trabalho tem significado físico, por tratar-se de uma variabilidade de longo prazo e ser relativamente estáveis diante pequenas variações, tal como adicionar 5 anos de observação, pelo qual serão muito úteis nas análises dos cenários de mudanças climáticas do futuro. Ressalta-se que 5 anos é ~11% da série de 45 anos.

Finalmente, conclui-se que os resultados obtidos no presente trabalho, com séries de 55 anos para a precipitação e 45 anos para a temperatura, mostram ligeiras mudanças respeito às obtidas em Obregón e Marengo, (2007), com 50 anos de precipitação e 40 anos de temperaturas. As principais alterações na precipitação podem ser resumidas no seguinte:

1) Os padrões espaciais das tendências são preservados, porém existe diminuição das intensidades das tendências dos totais anuais da precipitação sobre as regiões onde se registram magnitudes estatisticamente significativas. Isto é, na região Sul do Brasil há uma diminuição dos valores positivos e, no extremo noroeste da Amazônia e Centro-Oeste de Minas gerais os valores apresentam-se menos negativas, que as calculadas com menos anos;

2) As tendências sazonais da precipitação apresentam os mesmos padrões espaciais que os totais anuais e as magnitude seguem o mesmo comportamento;

3) Os padrões espaciais das magnitudes das tendências de temperaturas máximas médias anuais e sazonais não sofrem nenhuma alteração nos cálculos de 40 anos e 45 anos;

4) Referente às temperaturas médias pode-se dizer que as médias anuais e as das estações de inverno e primavera, são similares às observadas nos cálculos com 40 anos, porém nos verões e outonos observa-se uma ligeira acentuação das tendências negativas sobre sudeste de Minas gerais.

5) Sobre a noroeste da Amazônia se registram as maiores diferenças em magnitude das tendências das médias anuais e sazonais da temperatura mínima. Observam-se magnitudes ligeiramente negativas, ainda que não estatisticamente significativos, nos cálculos efetuados com 45 anos. Este comportamento é indicativo que as temperaturas mínimas sobre o noroeste da Amazônia não apresentam nenhum tipo de tendências lineares e os valores determinados neste trabalho, quanto com 40 anos, indicam a provável estabilidade climática, referente às temperaturas mínimas.

Referências Bibliográficas

- Alexandersson, H. A., 1986: homogeneity test applied to precipitation data. *J. of Climatology*, 6, 661-675.
- Botta A, Ramankuttym N, Foley J. A. 2003: Long-term variations of climate and carbon fluxes over the Amazon Basin. *Geoph. Res. Lett.*, 29.
- Buishand, T. A., 1982: Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Of Hidrology*, 58, p. 11-27.
- Chen T. C., Takle E. S., S. T. Yoon, K. J. Croix, P. Hsieh, 2003: Impacts on tropical South America Rainfall due to changes in global circulation. In *Proceedings of the 7th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*. Wellington, New Zealand. Ed. By American Meteorological Society, Boston, Massachusetts. pp 92-93.
- Chu, P. S., -P. Yu, S. Hastenrath, 1995: Detecting climate change concurrent with deforestation in the Amazon basin: which way has it gone?. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 75, 579-583.
- Costa M., J. A. Foley, 1999: Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. *J Geophys Res*, 104: 14189-14198.
- Easterling, D. R., T. C. Peterson, 1994: A new method for detecting undocumented discontinuities in Climatological time series. *Int. J. of Climatology*, 15, 369-377.
- Dias de Paiva, E. M. V., R. Clarke, 1995: Time trends in rainfall records in Amazonia. *Bull Amer Met Soc.*, 75: 579-583.
- Folland, C. K.; Karl, T. R.; Nicholls, N.; Nyenzi, B. S.; Parker, D. E.; Vinnikov, K. Y. Observed climate variations and change. In: Houghton, J. T.; Callander, B. A.; Varney, S. K. ed. *Climate Change 1992, The Supplementary report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992, p. 135-170.
- Karl, T. R.; Quayle, R. G.; Groisman, P. Y., 1993: Detecting climate variations and changes: New challenges for observing and data management system. *J. of Climate*, 6, 1481-1494.
- Gilbert, R. O, *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983. 320 p.
- Hastenrath, S., L. Greischar, 1993: Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies, *J. of Climate.*, 6, 743-758.
- Hirsch, R. M.; Slack, J. R. 1984: A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Res. Res.*, 20, 727-732.
- Hirsch, R. M., J. R. Slack, R. A. Smith, 1982: Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Res. Res.*, 18, pp. 107-121.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Climate Change 2007a: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers, Working Group 1* IPCC, Geneva, 2007.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Climate Change 2007b: Impacts and Vulnerability, Summary for Policy Makers, Working Group 2* IPCC, Geneva, 2007.
- Kendall, M. G. *Rank correlation methods*. London: Charles Griffin, 1975. 120 p.
- Matsuyama, H., J. Marengo, G. Obregón, C. A. Nobre, 2002: Spatial and temporal variability of rainfall in tropical South America as derived from the

- Climate Prediction Center Merged analysis of precipitation. *Int. J. Climatol.* 22, 175-195.
- Marengo, J. 2004: Interdecadal and long term rainfall variability in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*. 78, 79-96.
- Marengo, J., Tomasella, J., Uvo, C. 1998: Long-term stream flow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazônia, Eastern Brazil and Northwest Peru. *J. Geophys. Res.* 103, 1775-1783.
- Marengo, J., Alves, L. M. 2005: Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20, pp. 215-226.
- Nobre P., J. Shukla, 1996: Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *J. of Climate*, 9: 2464-2479
- Obregón, G. O., 2001: Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul. *Teses de Doutorado em Meteorologia*. p. 172, INPE.
- Obregón, G. O., C. A. Nobre, 2003: Rainfall trend in Brazil. *Bulletin Of the American Meteorological Society*, 84, 1008-1009.
- Peterson T. C; Easterling, D. R. 1994: Creation of homogeneous composite climatological reference series. *Int. J. of Climatology*, 14, 671-679.
- Sen, P. K., 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendalls's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, p. 1379-1389.
- Wagner R., 1996: Decadal-scale trends in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic. *J Geophys Res* 101: 16683-16694.
- Zhou J., K.-M. Lau, 2001: Principal modes of interannual and Decadal variability of summer rainfall over South America, *Int J Climatol*, 21, pp. 1623-1644.

ANEXO II

**Avaliação da regionalização dinâmica do clima
presente da America do Sul a partir de 4 membros do
modelo HadCM3 utilizando o Modelo Eta-CPTEC
(Chou *et al* 2011)**

1. Introdução

Modelos climáticos globais (GCMs) são as principais ferramentas utilizadas para o estudo da variabilidade climática de longo prazo e das mudanças climáticas. No entanto, esses modelos têm resolução grosseira, o que coloca limitações à simulação explícita dos processos de mesoescala atmosféricos, na representação da topografia, uso da terra e a distribuição terra-mar. O aumento na resolução espacial pode ser produzido através de técnicas de downscaling: a partir do aninhamento do modelo regional nas condições do modelo global. A melhoria nas características da superfície da terra, como por exemplo, a descrição da orografia, ajuda a detalhar a estrutura dos sistemas meteorológicos. No entanto, deve-se notar que o clima gerado a partir de um modelo regional é fortemente dependente das condições de contorno laterais impostas pelo modelo global.

O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE tem utilizado o modelo regional Eta (doravante designada Eta-CPTEC) operacionalmente, desde 1996, para produzir previsão de tempo na América do Sul. Devido à sua coordenada vertical (Mesinger, 1984), o modelo Eta é capaz de produzir resultados satisfatórios nas regiões que contenham orografia acentuada, como na Cordilheira dos Andes. Em questões de previsão e previsibilidade, Chou et al. (2000) foi um dos primeiros experimentos com um modelo regional para a América do Sul, com um mês de integração contínua. O Modelo Eta-CPTEC foi utilizado para investigar a previsibilidade da precipitação em diferentes escalas de tempo- sazonais, mensais e semanais - sobre América do Sul (Chou et al 2005). Comparações entre as previsões climáticas sazonais do modelo global do CPTEC e as previsões do modelo Eta-CPTEC, tendo como referências as observações mostraram que este modelo regional proporciona melhora considerável sobre as condições de contorno que forçaram as previsões.

Os estudos anteriores geralmente utilizaram um único modelo. Neste estudo, geramos um conjunto do modelo regional a partir de quatro membros do modelo do HadCM3 a fim de resolver algumas das incertezas inerentes aos modelos numéricos. As condições de contorno são tomadas a partir de quatro membros do HadCM3 "Perturbada Física Ensemble" (PPE), no qual a estrutura do modelo padrão é usado e as perturbações são introduzidas aos esquemas de parametrização física para produzir variantes do mesmo modelo (Murphy et al 2004.; Stainforth et al. 2005, Collins et al 2006, Collins et al. 2010). O objetivo deste trabalho é avaliar esse sistema climático regional modelo ensemble, os membros da Eta-HadCM3, e sugerir um certo grau de incerteza dos resultados fornecidos por este conjunto para a América do Sul.

O Anexo 2 analisa projeções de mudanças climáticas futuras na América do Sul para o cenário A1B derivado do Modelo Eta-CPTEC aninhado as condições do HadCM3, referido doravante como Eta-CPTEC/HadCM3.

2. Os Modelos

2.1 O modelo global HadCM3

As condições de contorno lateral usada para executar o Modelo Eta-CPTEC são do modelo global HadCM3 do Hadley Centre do Serviço britânico de meteorologia (UK Met Office) (Gordon et al 2000; Collins et al 2001). A atmosfera do HadCM3 tem uma resolução de $2,5^\circ \times 3,75^\circ$ graus de latitude-longitude, com 19 níveis na vertical (Pope et al. 2000). O modelo HadCM3 tem mostrado um bom desempenho entre os atuais modelos na simulação do clima na Amazônia.

As incertezas presentes em qualquer simulação numérica pode ser explorada através simulações por conjunto. Uma maneira pela qual isso pode ser alcançado é através do método de ensemble multi-modelos, em que há um esforço coordenado em que reúne simulações de diferentes centros de modelagem climática. Uma vantagem deste método é que uma grande variedade de modelos e configurações de modelo de formulário do conjunto, muitas vezes descrita como um "conjunto de oportunidades". O outro método segue a abordagem do ensemble de perturbação da física (Perturbed Physics Ensemble) (Murphy et al 2004; Stainforth et al 2005; Collins et al 2006, 2010.). Nesta abordagem procura-se quantificar a incerteza das simulações de projecções do clima que depende da forma como os processos são representados no modelo, ou seja, seus parâmetros físicos.

O conjunto do HadCM3 foi desenvolvido para quantificar as incertezas nas projecções de mudanças climáticas decorrentes da incerteza na física como modelo por segundo método descrito acima. Parâmetros dos esquemas dos processos físicos foram modificados dentro de limites plausíveis para formar um conjunto (300 membros) de grande porte. Deste conjunto, um subconjunto de 16 versões diferentes do modelo HadCM3, cada um com uma combinação diferente de parâmetros, foi selecionado de acordo com seu desempenho na simulação do clima atual, de forma a conter ainda um espaço amostral amplo (Murphy et al. 2007). Juntamente com a versão não-perturbada do modelo HadCM3, as 16 variantes do modelo foram executadas forçado com emissões do cenário A1B (Nakicenovic et al. 2000) para o final do século 21. Mesmo que cada membro do ensemble seja forçado com as mesmas concentrações de CO₂, o efeito das diferentes combinações de parâmetros da física do modelo pode alterar o grau e os padrões de mudança climática. O intervalo de aumento da temperatura média global até o final do século 21 fornecido por variantes deste modelo é de uma magnitude similar ao intervalo dado pelo conjunto AR4 multi-modelo (Collins et al. 2006).

2.2 O modelo regional Eta-CPTEC

O modelo regional Eta-CPTEC (Mesinger et al 1988; Black 1994; Janjic 1994) é um modelo de ponto de grade baseado na eta coordenar, η (Mesinger 1984), que é definido como:

$$\eta = \left[\frac{(p - p_t)}{(p_{sfc} - p_t)} \right] * \left[\frac{(p_{ref}(Z_{sfc}) - p_t)}{(p_{ref}(0) - p_t)} \right]$$

onde p é a pressão do ar e Z é a altura. os índices t e sfc indicam topo do modelo e superfície do modelo, respectivamente. O índice ref refere-se a

valores de uma atmosfera de referência, portanto, $p_{ref}(0)$ é a pressão do ar na altura 0, e $p_{ref}(Z_{sfc})$ é a pressão do ar na superfície, ambos são tomadas a partir de uma atmosfera de referência. As superfícies da coordenada η são aproximadamente horizontais em toda parte, o que é particularmente adequado para regiões com orografia acentuada, como a Cordilheira dos Andes na América do Sul.

As variáveis prognósticas são temperatura, umidade específica, vento horizontal, pressão à superfície, a energia cinética turbulenta e água líquida da nuvem / gelo. Essas variáveis são distribuídas sobre o tipo grade E Arakawa. O esquema de tratamento das condições de contorno lateral foi formulado por Mesinger (1977). Este esquema não adota as zonas de relaxação do esquema comumente utilizado de Davies (1976).

Precipitação do modelo é produzida por esquema de cúmulus Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994) e pelo esquema de microfísica de nuvens de Zhao (Zhao et al, 1997). O esquema de superfície terrestre (Chen et al, 1997; Ek et al 2003) tem 4 camadas de solo para a temperatura e umidade, nas profundidades, de cima para baixo, 10, 30, 60 e 100 cm. O esquema distingue 12 tipos de vegetação e 7 tipos de textura do solo. O mapa de vegetação inclui o arco do desmatamento da Amazônia revisado por Sestini et al (2002). O pacote de esquema de radiação foi desenvolvido pelo Laboratório de Dinâmica de Fluidos Geofísico. O esquema inclui ondas curtas (Lacis e Hansen 1974) e radiação de ondas longas (Fels e Schwarzkopf, 1975). As tendências de radiação são recalculadas a cada 1 hora e são aplicadas a cada passo de tempo. O esquema de turbulência atmosférica tem a energia cinética turbulenta como variável prognóstica. A teoria da similaridade Monin-Obukhov combinada com funções de estabilidade de Paulson (Paulson, 1970) são aplicados na camada superficial.

2.2.1 Configuração do Modelo

O modelo Eta tem sido utilizado como o modelo operacional de previsão de tempo e clima sazonal do Inpe (Chou et al. 2005) por alguns anos. A versão climática sazonal do modelo Eta foi adaptado para executar as integrações no prazo de tempo decadal, com foco no estudo de cenários de mudanças climáticas relacionadas a diferentes níveis de concentração de CO₂ atmosférico.

Para estudos do clima presente, a concentração de CO₂ foi definida em um valor constante de 330 ppm. O modelo Eta foi configurado para ter um calendário de 360 dias em um ano a fim de seguir o calendário do modelo HadCM3. As condições de contorno para a execução do modelo Eta foram retiradas do conjunto do modelo HadCM3, escolhido de forma a incluir o intervalo de incerteza descrita pelas variantes do modelo. As condições HadCM3 foram inseridas a cada 6 horas. Assim, três membros foram selecionados, que mostraram alta sensibilidade, médio e baixo em resposta a temperatura média global. Juntamente com a versão não perturbada do modelo, estes dados fornecem as condições de contorno para as múltiplas execuções do Modelo Eta-CPTEC, daqui por diante designados como

membros de alta, média, baixa e não-perturbada. A temperatura da superfície do mar foi retirada do modelo acoplado oceano-atmosfera médias mensais, os valores são atualizados diariamente e de forma linear com os valores mensais no dia 15 de cada mês. Interpolação linear semelhante é aplicada para o estado verde da vegetação que é fixo em valores médios mensais. Os resultados para o clima atual, 1961-1990, são descritos aqui, e para 2010-2100 estão em outro anexo.

A integração do modelo foi iniciada em 01 de janeiro de 1960 e um ano de tempo de spin-up foi incluída. Portanto, os resultados baseiam-se no período compreendido entre 01 de janeiro de 1961 até 30 de dezembro de 1990. As integrações foram contínuas durante 31 anos. A umidade do solo inicial partiu de uma climatologia mensal e albedo a partir de uma climatologia sazonal. O modelo foi configurado com 40 km de resolução horizontal, 38 camadas verticais e passo de tempo de 90 seg.

3. Resultados

Os resultados mostram as características climáticas das estações dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) e junho-julho-agosto (JJA), que são o verão e inverno, respectivamente. Para efeito de verificação, são utilizados os campos de circulação a partir das reanálises ERA40 (Uppala et al 2005) e precipitação e temperatura do CRU-University of East Anglia (New et al. 2000).

3.1 Circulação de Grande Escala

O escoamento de grande escala detalhado pelo Modelo Eta é comparado com o do modelo global que deu as condições de contorno lateral e dados de reanálise do ECMWF. Esta comparação mostrará se o modelo aninhado pode manter a grande escala da forçante lateral, e se o escoamento detalhado é acurado o suficiente para posterior utilização em estudos de impacto.

As figuras 1 a-d mostram a média da circulação de altos níveis simulada pelo Eta-CPTEC para o verão austral (DJF). A comparação com circulação de HadCM3 nível superior (Figura 1e), mostra que o modelo regional acompanha as variações das condições fornecidas pelas fronteiras laterais ao centralizar o anticiclone de nível superior sobre o Planalto da Bolívia e atravessando-a na maior parte da região tropical do continente. O vórtice ciclônico a jusante tem seu eixo ao longo da costa do Nordeste do Brasil. Essas características são oriundas do modelo global. A descrição correta da convecção em grande escala observada ao longo do continente sul-americano durante o verão é fortemente dependente da posição e intensidade da circulação do anticiclone associado. Durante JJA (Figuras 1 f-i), o anticiclone de nível superior é fraco e tem seu centro posicionado sobre a parte norte da América do Sul. Isto está de acordo com a ausência de convecção profunda na parte central do continente durante o período de JJA. O jato subtropical de altos níveis é uma característica clara, com sua magnitude média acima de 30 m /s.

A Figura 2 mostra a circulação média de baixos níveis, média de 30 anos do verão austral. Características importantes da circulação em baixos níveis são os ventos alises de nordeste, e o giro dos ventos causado pelo bloqueio dos Andes. Estes ventos a leste dos Andes são importantes no transporte da umidade tropical para latitudes subtropicais e em algumas ocasiões, estes ventos atingem forte intensidade e são denominados de Jato de Baixos Níveis da América do Sul a leste dos Andes (SALLJ). Os intensos ventos aliseos de nordeste contribuem para manter o transporte de umidade para a parte central e sudeste do continente, onde o máximo total de precipitação ocorre e constitui a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Além disso, aliseos de nordeste também contribuem para a atividade convectiva e precipitação na parte norte da Bacia do Prata. Durante o inverno, JJA, os aliseos de nordeste são mais fracos do que no verão, mas o SALLJ ainda está presente, apresentando uma forte componente do norte, e contribuindo para a frontogênese sobre a Argentina (Satyamurty et al 1998). Diferente do verão, o escoamento de norte traz massas de ar do Atlântico Sul subtropical. O modelo Eta-CPTEC mostra uma melhor representação do jato máximo sobre os Andes, que é demasiado ampla no modelo global, devido a maior resolução espacial e conseqüentemente uma melhor representação da orografia complexa dos Andes

A figura 3 mostra a circulação de grande escala, precipitação e temperatura, média sazonal de 30 anos usando as reanálises do ERA-40 e do CRU. Em altos níveis, o anticiclone em DJF e em JJA está bem simulado pelo Eta quanto a posição e intensidade. As características da circulação em baixos níveis simuladas pelo Modelo Eta são comparáveis as reanálises, com uma ligeira superestimativa dos aliseos. As integrações do Eta-CPTEC possuem detalhes adicionais de pequena escala ausentes no modelo global usada na condição de contorno lateral ou nas reanálises do ECMWF (Figs 2 e 3), como por exemplo o escoamento de baixos níveis bloqueado pelas montanhas localizadas na Serra do Mar, sudeste do Brasil. Além destes detalhes de alta resolução, não há diferenças significativas do padrão de circulação de grande escala comparada ao HadCM3 e as reanálises do ECMWF. Este resultado mostra a vantagem de se empregar a regionalização dinâmica (dynamical downscaling) do HadCM3 sobre América do Sul.

3.2 Precipitação

Embora o modelo Eta do CPTEC reproduza bem a circulação de grande escala do modelo global, os padrões de precipitação do Eta e HadCM3 apresentam maiores diferenças que podem ter várias fontes, como por exemplo as resoluções diferentes, os esquemas de parameterização cumulus, microfísica de nuvens, o esquema de superfície terrestre diferentes, e etc. Portanto, essas diferenças podem produzir erros médios de precipitação diferentes entre o modelo regional e global.

As diferenças entre as quatro simulações Eta do CPTEC estão relacionadas à diferentes condições de contorno fornecidas pelo conjunto PPE do HadCM3. Aqui, cada membro de precipitação sazonal do modelo regional Eta-CPTEC é apresentado e comparado com o conjunto precipitação média

sazonal (Fig. 4), e deve ser analisada em conjunto com as observações médias sazonais do CRU da fig. 3. À primeira vista, os padrões de precipitação são muito semelhantes entre os quatro membros do Eta e o modelo HadCM3 (Fig. 4). Os máximos de precipitação observada sobre a parte central do continente, a ZCAS e a ZCIT sobre o Atlântico Equatorial, são características presentes nos resultados de regionalização pelo modelo Eta. Subestimativa comum de precipitação pode ser observada ao longo da costa norte do continente, onde a banda de precipitação da ZCAS se conecta com a banda de nebulosidade da ZCIT como visto nos dados do CRU (Fig. 3c). No entanto, um olhar mais atento revela as diferenças na quantidade de precipitação entre os membros. Por exemplo, sobre o norte da Argentina e da região do Uruguai, bem como sobre a Amazônia central, ao longo da ZCAS Brasil e Nordeste, alguns membros subestimam a precipitação mais que os outros. A ZCIT também mostra diferenças de montantes de precipitação entre os membros. No entanto, a verificação da precipitação sobre os oceanos é difícil porque as estimativas de satélite também são questionáveis por um período tão longo. O viés seco no norte da Amazônia pode ter várias fontes, os alíseos mais intensos do nordeste simulados pelo Eta-CPTEC/HadCM3 podem contribuir para gerar os erros ao empurrar a umidade mais para o sul e interior do continente, o que poderia deslocar a região de saturação de umidade.

Em JJA, a ZCIT se desloca para o norte, como mostra o máximo de precipitação. Dentro os quatro membros, os máximos de precipitação variam de posição de mais próximo da costa para o interior do continente, enquanto a forma das áreas de máximos de precipitação pode ser estreita ou larga, dependendo do membro considerado. Todos os membros mostram uma área de ausência de precipitação na parte central do continente, que se comparam razoavelmente bem com os dados CRU. Forte superestima de precipitação foi encontrada ao longo dos Andes, entre o sul do Chile e a Argentina. Regiões como a Cordilheira dos Andes e a Amazônia frequentemente apresentam escassez de observações, portanto avaliação nessas áreas é difícil dada as incertezas introduzidas pelas técnicas de interpolação usada pelo CRU no processamento dos seus dados de precipitação. Os padrões de larga escala simulados pelo HadCM3 no verão e no inverno são também simulados pelo Eta-CPTEC, sendo a diferença maior na precipitação sobre a região dos Andes, onde no modelo global, é organizado em uma larga faixa que se estende a leste da Cordilheira dos Andes, enquanto que os modelos regionais apresentam a chuva mais concentrada sobre os Andes.

3.3 Temperatura a 2 metros

A temperatura de 2 m é fortemente dependente dos esquemas de superfície e do esquema de camada superficial. Estes esquemas são diferentes entre o modelo global e o modelo aninhado que produzem diferenças no padrão de temperatura de 2 m e, portanto, diferenças nos erros da temperatura. A Figura 5 mostra a simulação da temperatura do ar média sazonal do HadCM3 (ensemble médio) e de cada membro da Eta-CPTEC/HadCM3 (observações são mostrados na Figura 3). As simulações Eta mostram os detalhes das baixas temperaturas nas zonas montanhosas, especialmente sobre a Cordilheira dos Andes e o Planalto Brasileira, onde

tanto as observações e as simulações Eta mostram detalhes que os modelos globais não capturam. Em DJF, todos os membros mostram subestimativas de temperatura na região da Amazonia de cerca de 2° C. Por outro lado, sobre a parte norte da Argentina, onde a precipitação é subestimada, as temperaturas são superestimadas por todos os membros em cerca de 2° C.

Em JJA, embora os principais padrões de temperatura se assemelhem às observações CRU, na região amazônica os membros mostram maior dispersão, com alguns membros subestimando e outros superestimando as temperaturas, especialmente sobre Amazônia ocidental. Perto do Planalto Central do Brasil, as temperaturas são subestimadas pelos membros do modelo, com a magnitude dos erros variando entre o 2o e 3o C. No norte da Argentina, onde as temperaturas são superestimadas pelos membros durante o verão austral, no inverno, as temperaturas são subestimadas em quase 4° C. Esta é uma região de passagem frontal e pode sugerir que o modelo gera as massas de ar muito frio na retaguarda das frentes frias. Temperaturas sobre as regiões montanhosas são também muito mais frio do que as observações durante o inverno.

3.4 Ciclo Anual

O ciclo anual das variáveis produzidas pelo modelo é verificado em quatro regiões (Figura 6): Amazônia, Nordeste do Brasil, a Bacia do rio da Prata e uma região centrada no Brasil que inclui porções de Uruguai, Paraguai e Bolívia, e partes de Colômbia, Venezuela, Peru, Argentina e Chile. No entanto por simplicidade vamos nos referir a esta região como "Brasil". Estas regiões foram escolhidas principalmente devido às diferenças nos regimes de precipitação.

Valores médios mensais de precipitação são tomados para o período 1961-1990 para as quatro regiões (Figura 7). O ciclo anual da região amazônica apresenta uma grande subestimativa da precipitação por parte dos membros durante o período chuvoso de dezembro a maio, mas boa concordância no período seco, entre junho e novembro. Há pequena dispersão inter-membro. Na parte norte do Nordeste do Brasil, onde a estação chuvosa ocorre entre fevereiro e maio, a precipitação de alguns membros modelo superestimam durante essa estação, mas subestimam no período de transição, de outubro a dezembro. Membros do conjunto mostram maior espalhamento na região Nordeste do Brasil do que sobre a região amazônica, mas esse resultado também pode ter sido afetado em parte pela diferença no tamanho das duas regiões. Os benefícios de executar um conjunto, apesar de um pequeno, em vez de depender de uma realização única são claros, já que alguns dos membros se encontram mais próximos das observações do que o membro padrão, reduzindo assim o erro médio do conjunto. Na Bacia do rio da Prata, o ciclo de precipitação anual tem menor amplitude e varia de cerca de 5mm/d no período chuvoso a 2 mm / d na estação seca. Exceto nos meses chuvosos de janeiro, fevereiro e março, os membros do modelo em geral acompanham o ciclo anual da precipitação observada na região. A região do Brasil resume a avaliação das outras três regiões. Os valores máximos e mínimos do ciclo anual concordam com o ciclo observado pelos dados CRU. A

subestimativa no período chuvoso é em grande parte devido a erros negativos produzidos na Amazônia e em parte na Bacia do rio da Prata.

O ciclo anual de temperatura para as quatro regiões é mostrado na Figura 8. Na região Amazônica, a temperatura do modelo tende a seguir as observações, com exceção de setembro e outubro, quando as temperaturas médias são superestimadas. No Nordeste do Brasil, embora o modelo reproduza satisfatoriamente as estações quentes e frias, as temperaturas são subestimadas durante todo o ano. Na Bacia do Prata, os membros do modelo reproduzem o modelo a maior amplitude do ciclo anual, embora a maioria dos membros superestime a temperaturas entre setembro e novembro. Em geral, os membros do modelo são bem sucedidos em reproduzir os ciclos anuais de temperatura, com um espalhamento entre os membros menor que 2°C . Para chuva, os ciclos observados e simulados anuais são comparáveis, talvez com a ressalva de que há uma subestimativa da precipitação observada na Amazônia, de pelo menos, $2,5\text{ mm / dia}$, com um espalhamento entre os membros de menos de 1 mm / dia na região.

3.5 Erros e espalhamento

Figuras 9 a e d mostram a média sazonal do RMSE de precipitação do Eta-CPTec. O erro de cada membro do ensemble é calculado subtraindo-se a climatologia do CRU observado 1961-1990 a partir da precipitação do ensemble médio de 30 anos. As observações estão disponíveis apenas em áreas sobre o continente. Em DJF, os maiores erros de precipitação são encontrados na região sudeste do Brasil, os Andes tropicais, no sul do Chile, e ao longo da costa norte do Brasil e Guiana. Com exceção da última região, os erros estão relacionados a uma superestimativa de precipitação na proximidade de zonas de montanha. Mais observações sobre estas áreas de montanha poderiam ajudar essa verificação. Erros ao longo da costa norte são devido a subestimativa sistemática de chuva. Alguns erros ocorrem na Amazônia, Paraguai e as regiões norte da Argentina, e estão relacionados à subestimação da precipitação. Em JJA, os maiores erros são encontrados no norte da Amazônia entre 20° a 30°N perto de onde a ZCIT está posicionada nesta época do ano. Nesta temporada os erros no Chile aumentam e se espalham para a parte central do país.

Figuras 9 e b e mostram o ensemble médio da precipitação e do espalhamento entre os membros em DJF e JJA do Eta. O espalhamento é calculado como o desvio padrão da média dos 30 anos dos quatro membros. Este espalhamento dos quatro membros pode ser considerado como medição da variabilidade do modelo Eta. Embora o intervalo máximo de RMSE com cerca de 2 e 6 mm / d , em ambas as estações DJF e JJA, o maior intervalo de espalhamento é de 0,5 a 1,0 mm / d sobre o continente, e atinge 2,0 mm / d sobre o oceano. Grande espalhamento da precipitação também é encontrado no sul do Chile. Em JJA, no sul do Brasil, que faz parte da Bacia do Prata, apesar de não haver aumento significativo na precipitação média ou RMSE, há um pequeno aumento no espalhamento. Na construção dos membros do conjunto, é desejável que o RMSE seja de magnitude comparável ao espalhamento. No entanto, encontramos aqui que o espalhamento do conjunto

de precipitação é menor que do RMSE do modelo, especialmente sobre o continente onde as observações são mais disponíveis. Figs 9c e f mostram o ensemble médio da precipitação e do espalhamento entre os membros em DJF e JJA do modelo HadCM3. A magnitude do espalhamento, conforme mostrado pelo desvio padrão é maior ao longo dos Andes no global do que no modelo regional. No GCM é também maior sobre os Andes, ao longo da ZCAS, o Chile, a ZCIT. Em geral, a magnitude do espalhamento na precipitação dos dois modelos regional e global é menor do que os erros RMSE de chuvas sobre o continente do respectivo modelo.

Figuras 10 a e d mostram o RMSE médio da temperatura de 2 m de DJF e JJA. Os maiores erros de temperatura ocorrem ao longo da Cordilheira dos Andes, e são geralmente subestimativas. Como as observações são escassas em áreas montanhosas, as observações CRU contêm grande incerteza nestas regiões. Em DJF uma área de erro importante é encontrada ao norte da Argentina e do Paraguai, onde o modelo superestima a temperatura. Esses erros chegam a 4 ° C. Em JJA, os erros nessa área são os menores, por outro lado grandes erros são encontrados na região Nordeste do Brasil. Figuras 10 c e e mostram a temperatura média do ensemble e os espalhamento entre os quatro membros da Eta- CPTEC, em DJF e JJA, respectivamente. O espalhamento varia em cerca de 0,5° C na maior parte do continente, o menor espalhamento é encontrado sobre o oceano, contrário ao padrão de espalhamento da precipitação, e que provavelmente é uma consequência da pequena variabilidade das temperaturas da superfície do mar. No Verão, as áreas sobre a Bolívia, Paraguai e norte da Argentina, norte da Amazônia e na Guiana, e zonas costeiras do Peru apresentam maior espalhamento da temperatura, enquanto que no inverno, o espalhamento maior da temperatura ocorre na parte central do continente e sobre a Cordilheira dos Andes.

O espalhamento entre os membros do HadCM3 (Fig. 10 c, f) é comparável em magnitude e distribuição com a do Eta-CPTEC no verão e no inverno. Em geral, a magnitude do espalhamento do ensemble de temperatura é menor do que os erros de temperatura do modelo sobre o continente. A avaliação realizada aqui mostram um caráter sub-dispersivo do conjunto já que o espalhamento é menor do que o RMSE. No cálculo dos erros, devemos também considerar as incertezas nos dados CRU sobre regiões como a Amazônia e os Andes, devido à cobertura de dados pobres nessas regiões, em comparação com a região Nordeste do Brasil das regiões Sudeste da América do Sul, com boa cobertura de dados observacionais.

3.6 Os Eventos La Niña e El Niño

Uma questão crucial frequentemente colocadas pelos utilizadores de saída do modelo para estudos de impacto é o quão confiáveis são as simulações de El Niño e La Niña do modelo HadCM3 e as regionalizadas do Eta CPTEC/HadCM3, que são os principais sinais climáticos e cujos impactos sobre os diferentes sectores sócio-económicos tem sido estudada em todo o mundo (por exemplo, ver Trenberth et al 2007 e referências citadas).

Para responder à questão, os eventos de El Niño e La Niña foram identificados de acordo com o critério adotado pelo Climate Prediction Centre dos EUA. Este critério identifica El Niño (La Niña), quando a média de 3 meses de anomalias da temperatura da superfície do mar ao longo do Pacífico equatorial na região identificada como Niño 3.4 (120W, 170W e 5N-5S) é maior (menor) do que 0,5 °C (- 0,5 °C) em cinco períodos consecutivos sobrepostos (Trenberth, 1997). Com base neste critério, entre 1961 e 1990, cerca de 9 El Niño e cerca de 7 eventos de La Niña foram identificados a partir de TSM observadas (Reynolds et al, 2002).

As anomalias de temperatura da superfície do mar do HadCM3 tendem a subestimar a frequência de ocorrência destes eventos. A Tabela 1 mostra o número de eventos para cada membro na simulação do clima presente. Esta tabela é baseada na Figura 11, que mostra a série temporal de anomalias de temperatura da superfície do mar na região do Niño 3.4. A magnitude das anomalias de TSM varia consideravelmente entre os membros. O membro não-perturbado tem alguns eventos de El Niño com anomalias chegando a quase 4° C e, embora os eventos de La Niña são mais frequentes que de El Niño, as anomalias negativas são mais fracas para esse membro. O membro de baixa sensibilidade produz um número semelhante de El Niño e La Niña, e a magnitude das anomalias positivas e negativas são comparáveis, atingindo cerca de + / - 2o C. Os membros de sensibilidade média e alta têm semelhanças, ambos apresentam anomalias fracas, chegando a cerca de 1o C, e ambos têm um número semelhante de El Niño e La Niña. A intensidade dessas anomalias, e também o número de eventos afetará as anomalias de temperatura e precipitação dos 'downscalings'. Deve-se notar, no entanto, que os eventos El Niño simulado pelo modelo acoplado pode variar em magnitude e frequência através da variabilidade natural do clima interno, e as características particulares dos eventos no período 1961-1990 pode ser representativo dessas variações, ao invés das modificações de parâmetro. Isso reforça os benefícios de executar um conjunto ao invés de uma realização única, de tal forma que as anomalias relacionadas com uma gama de tipos ENOS possa ser avaliado

Os períodos DJF durante os eventos de El Niño ou La Niña foram selecionados com base na Figura 11 para mostrar os impactos desses eventos sobre temperatura e precipitação. Figura 12 (a-d) mostra as anomalias de precipitação média para cada membro do Eta-CPTec conjunto de eventos El Niño. Anomalias negativas são encontradas na região da ZCIT do Atlântico, enquanto que anomalias positivas são encontradas na região da ZCAS. Estas anomalias costumam causar secas no Nordeste do Brasil e da Amazônia brasileira, e as inundações no Sul do Brasil (Ropelewski e Halpert 1987, Villar et al 2008, Grimm et al 2009), que são características típicas em anos de El Niño. No entanto, nem todas as secas nas regiões estão relacionadas ao fenômeno El Niño, especialmente na América do Sul a leste dos Andes (Marengo et al 2008). As anomalias de precipitação dos eventos El Niño a partir do membro não perturbado são mais consistentes uma vez que as anomalias negativas alcançam a Amazônia e o Nordeste do Brasil e as anomalias positivas estão presentes na região sudeste do Brasil. As anomalias positivas de precipitação na parte leste do continente nos membros perturbados está posicionado muito ao norte para uma reprodução precisa dos

impactos do El Niño. Durante os anos de La Niña (Figuras 12 e-h), a precipitação padrão de anomalia é mais ou menos em frente nos anos de El Niño, ou seja, mais chuvoso ao longo da região da ZCIT e seco na região da ZCAS.

As anomalias de temperatura durante o El Niño DJF (Figuras 13 ad) são quentes sobre a parte norte e central do continente e anomalias frias em torno do norte da Argentina e o sul do Brasil. Isto é consistente com as anomalias observadas nos eventos de El Niño no sul da América. O membro não perturbado mostra também a maior amplitude das anomalias. Em anos de La Niña (figuras 13 e h) as anomalias de temperatura são opostas, com condições mais frias no norte e central do Brasil. Os membros mostram grande discordância nas anomalias de temperatura sobre a Argentina.

4. Conclusões

O modelo regional Eta foi configurado na América do Sul e utilizado para detalhar dinamicamente os membros do modelo HadCM3 do experimento PPE para o clima presente, aqui considerado o período entre 1961 e 1990. Como uma etapa pré-requisito para o emprego de tais condições detalhadas para estudos de impacto, o desempenho do modelo regional para reproduzir o clima atual, a estimativa dos erros do conjunto e o espalhamento dos membros, foi avaliado aqui. A avaliação incidiu sobre as estações de DJF e JJA, que são o verão austral e estação das chuvas e o inverno e estação seca, respectivamente. Os resultados mostram que as circulações de altos e baixos níveis em grande escala reproduzem corretamente a circulação proveniente do modelo global sem a necessidade de relaxação interna da grande escala e usando uma única linha nas fronteiras laterais, o que demonstra a eficiência do esquema de fronteira lateral. As integrações contínuas e de longo prazo mostram a robustez e adequação do modelo para estudos climáticos.

O escoamento de baixo nível mostra que o Eta-CPTEC pode reproduzir os padrões provenientes do modelo de grande escala (modelo global) e foi capaz de adicionar detalhes de pequena escala, que estavam ausentes nos campos HadCM3, devido à sua baixa resolução. A climatologia de precipitação e temperatura regionalizada pelo Modelo Eta se aproxima das observações do CRU. Os principais erros de precipitação e temperatura sobre o continente foram identificados em áreas da Amazônia e norte da Argentina e Paraguai. A verificação em área de montanhas exigiria mais dados in situ, já que as observações CRU não mostram valores de precipitação mais elevados sobre a orografia.

No verão austral, na região amazônica há uma subestimativa da precipitação, que é uma característica comum a várias experiências de simulação (Marengo et al 1994, 2002, Stern e Miyakoda 1995; Brankovic Molteni e 1997; Hurrell et al 1998, Cox et al 2000, entre outros), e que tem sido associada à convecção, esquemas de superfície e o esquema de camada limite planetária. Nas latitudes subtropicais do norte da Argentina, a subestimativa da precipitação é acompanhada por superestimativa da

temperatura do modelo. Os membros do conjunto das simulações Eta-CPTEC/HadCM3 apresentam um espalhamento pequeno quando comparado com RMSE do modelo. No entanto, o ciclo anual da precipitação e temperatura em algumas áreas, como o Nordeste do Brasil, mostra alguma dispersão entre os membros. Verificação da capacidade do modelo para reproduzir os sinais regionais do El Niño e da La Niña mostra anomalias de precipitação e temperatura típica desses eventos para o verão, apesar de alguns padrões de anomalias parecerem deslocados, por exemplo, durante eventos de El Niño no verão, no Nordeste do Brasil. O SST HadCM3 geralmente subestima o número de eventos de El Niño e La Niña, que pode ter causado algum sinal mais fraco nas simulações do Eta CPTEC/HadCM3.

Os pontos fortes e fracos identificados no Eta-CPTEC não devem ser considerados como defeitos permanentes, uma vez que o modelo está passando por melhorias contínuas. Além de alguns vieses sistemáticos regionais, especialmente nas regiões equatoriais de atividade convectiva, é evidente que algumas regiões apresentam erros sistemáticos, como a subestimativa da precipitação na Amazônia setentrional. A física do modelo requer pesquisa mais aprofundada, a fim de identificar e reduzir os erros do modelo.

Os resultados mostraram um caráter pouco dispersivo destas integrações regionalizadas quando comparados com os erros do modelo. A climatologia do modelo regional resulta da combinação da longa série de condições atmosféricas provenientes das bordas laterais e da dinâmica e da física interna do modelo regional. O pequeno espalhamento da climatologia do modelo regional sugere que, para este período de tempo, o clima final tem forte dependência das características internas do modelo regional dadas por condições similares de grande escala fornecidos pelo modelo de grande escala. Os testes com saídas de outro modelo global estão em andamento. Além disso, as perturbações de parâmetros físicos do modelo regional também estão sendo testadas. Estes testes podem ajudar a dar uma medida da magnitude da incerteza do modelo regional.

A avaliação realizada aqui mostra que esses resultados do clima regional podem ser empregados para estudos de mudanças climáticas, e os erros devem ser considerados quando estes resultados de modelo são usados para conduzir novos estudos de impacto. Os experimentos Eta-CPTEC/HadCM3 em projeções de mudanças climáticas são discutidas no anexo III.

Referencias bibliográficas

- Alves L, Marengo JA (2009) Assessment of Regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, doi:10.1007/s00704-009-0165-2.
- Berbery EH, Luo Y, Mitchell K, Betts A (2003) Eta model estimated land surface processes and the hydrological cycle of the Mississippi Basin. *J Geophys Res* 108:8852, doi:10.1029/2002JD003192.
- Black TL, (1994) NMC notes. The new NMC mesoscale Eta Model: description and forecast examples. *Weather Analysis and Forecasting* 9:256–278.
- Cabré MF, Solman S, Nuñez M (2010) Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations. *Climatic Change* 98: 449-469, doi: 10.1007/s10584-009-9737-5
- Chen F, Janjic ZI, Mitchell K (1997) Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta Model. *Bound-Layer Meteor* 85:391–421.
- Chou SC, Nunes AMB, Cavalcanti IFA (2000) Extended range forecasts over South America using the regional Eta model. *J Geophys Res* 105:10147-10160.
- Chou SC, Bustamante JF, Gomes JL (2005) Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Process Geophys* 12(4):537–555.
- Chou SC, Lyra A, Pesquero F, Alves LM, Sueiro G, Chagas DJ, Marengo JA, Djurdjevic V (2009) Improvement of Long-term integrations by increasing RCM domain size. In: *Challenges In Regional-Scale Climate Modelling, 21st Century, Lund.Proceedings...* ISBN 16816471.
- Collini EA, Berbery EH, Barros V and Pyle M (2008) How Does Soil Moisture Influence the Early Stages of the South American Monsoon? *J Climate* 21:195-213.
- Collins M, Tett SFB and Cooper C (2001), The internal climate variability of a HadCM3, a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Clim Dyn* 17:61–81, doi:10.1007/s003820000094.
- Collins, M., B. B. B. Booth, G. R. Harris, J. M. Murphy, D. M. H. Sexton, and M. J. Webb (2006), Towards quantifying uncertainty in transient climate change, *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-006-0121-0.
- Collins, M, Booth, B. B. B, Bhaskaran, B., Harris, G. R., Murphy, J. M., Sexton, D. M. H. and Webb, M. J. (2010) Climate model errors, feedbacks and forcings: a comparison of perturbed physics and multi-model ensembles *Clim. Dyn.* DOI: 10.1007/s00382-010-0808-0
- Collins WV et al (2006) Radiative forcing by well-mixed greenhouse gases: Estimates from climate models in the IPCC AR4. *J Geophys Res* 111:D14317. doi:10.1029/2005JD006713
- Covey C, AchutaRao KM, Cubasch U, Jones P, Lambert SJ, Mann ME, Phillips TJ and Taylor KE (2003) An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project. *Global Planet. Change* 37:103-133.
- Davies HC (1976) A lateral boundary formulation for multi-level prediction models. *Q J R Meteor. Soc.*, 102, 405–418.
- Ek MB, Mitchell KE, Lin Y, Rogers E, Grummen P, Koren V, Gayno G, Tarpley JD (2003) Implementation of NOAA land surface advances in the National

- Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta Model. *J. Geophys Res* 108:8851, doi:10.1029/2002JD003246.
- Fels SB, Schwarzkopf MD (1975) The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations, *J Atmos Sci* 32:1475–1488.
- Folland CK., Colman AW, David P. Rowell DP, Davey MK, 2001: Predictability of Northeast Brazil Rainfall and Real-Time Forecast Skill, 1987–98. *J. Climate*, 14, 1937–1958
- Garreaud R, Falvey M (2008) The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. *Int J Climatol* 29:543–554. doi: 10.1002/joc.1716
- Gedney N, Cox P, Douville H, Polcher J, Valdes P (2000) Characterizing land surface schemes to understand their responses to climate change. *J Clim*, 13:3066–3079. doi:10.1175/1520-0442(2000)013<3066:CGLSST>2.0.CO;2.
- Good P, Lowe J, Collins M, Moufouma-Okia W (2008) An objective tropical Atlantic sea surface temperature gradient index for studies of South Amazon dry-season climate variability and change, *Philos. Trans R Soc, Ser. B*, 363:1761–1766.
- Gordon CC et al (2000) The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Clim Dyn* 16:147–168.
- Grimm AM, Tedeschi RG (2009) ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. *J Clim* 22:1589–1609.
- Harris P, Huntingford C, Cox PM (2008) Amazon Basin climate under global warming: The role of the sea surface temperature, *Philos Trans R Soc, Ser. B*, 363:1753–1759.
- Janjic ZI (1979) Forward-backward scheme modified to prevent twogrid-interval noise and its application in sigma coordinate models, *Contrib Atmos Phys* 52:69–84.
- Janjic ZI (1994) The Step-mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer and Turbulence Closure Schemes, *Mon Wea Rev* 122:927–945.
- Lacis AA, Hansen JE (1974) A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere, *J Atmos Sci* 31:118–133.
- Li W, Fu R, Dickinson RE (2006) Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. *J Geophys Res* 111:D02111. doi:10.1029/2005JD006355.
- Marengo JA, Jones R, Alves LM, Valverde MC (2009a) Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int J Climatol* **15**:2241–2255.
- Marengo JA, Ambrizzi T, Rocha RP, Alves LM, Cuadra SV, Valverde MC, Ferraz SET, Torres RR, Santos DC (2009b) Future change of climate in South America in the late XXI Century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models, *Clim Dyn*. doi 10.1007/s00382-009-0721-6.
- Marengo JA, Nobre C, Tomasella J, Oyama M, Sampaio G, Camargo H, Alves L, Oliveira R (2008) The drought of Amazonia in 2005. *J Clim* 21:495–516.
- Marengo JA, Soares W, Saulo C, Nicolini M (2004b) Climatology of the LLJ east of the Andes as derived from the NCEP reanalyses. *J Clim* 17:2261–2280.
- Meehl GA, Covey C, Taylor KE, Delworth T, Stouffer RJ, Latif M, McAvaney B, Mitchell JFB (2007) THE WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A New Era in Climate Change Research. *Bull Amer Meteor Soc* 88:1383–1394.

- Menéndez C, M de Castro, J-P Boulanger, A D'Onofrio, E Sanchez, A A Sörensson, J Blazquez, A Elizalde, D Jacob, H Le Treut, Z X Li, M N Núñez, N Pessacq, S Pfeiffer, M Rojas, A Rolla, P Samuelsson, S A Solman, C Teichmann (2010) Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America, *Climatic Change* 98:379–403, doi 10.1007/s10584-009-9739-3.
- Mesinger F (1977) Forward-backward scheme, and its use in a limited area model. *Contrib. Atmos. Phys.*, 50, 200–210.
- Mesinger F (1984) A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models, *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 44, 1–4, 195–202.
- Mesinger F, Janjic ZI, Nickovic S, Gavrilov D, Deaven D G (1988) The step-mountain coordinate: Model description description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Mon Wea Rev* 116:1493–1518.
- Murphy JM, Sexton DMH, Barnett DN, Jones GS, Webb MJ, Collins M, Stainforth DA (2004) Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. *Nature* 430:768–772.
- Murphy JMB, BBB Booth, M Collins, GR Harris, DMH Sexton, MJ Webb (2007), A methodology for probabilistic predictions of regional climate change from perturbed physics ensembles, *Philos Trans Soc, R, Ser. A*, 365:1993–2028.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grubler A, Jung TY, Kram T, La Rovere EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner H-H, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (2000) Special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, United Kingdom, p 599.
- New M, Hulme M, Jones P (2000) Representing twentieth-century space time climate variability. Part II: development of 1901–1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J Clim* 13:2217–2238
- Núñez M, Solman S, Cabré M (2006) Mean climate and annual cycle in a regional climate change experiment over Southern South America. II: climate change scenarios (2081–2090). In: *Proceedings of 8 ICSHMO*, 24–28 April 2006. Foz do Iguacu, Brazil, pp 325–331
- Paulson CA (1970) The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. *Journal of Applied Meteorology*. 9:857–861.
- Pesquero JF, Chou SC, Nobre CA, Marengo JA (2009) Climate downscaling over South America for 1961–1970 using the Eta Model. *Theor Appl Climatol*. doi: 10.1007/s00704-009-0123-z.
- Pope V, Gallani M, Rowtree P, Stratton R (2000) The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model. *Clim Dyn* 16:123–146.
- Rauscher SA, Seth A, Qian J-H, Camargo SJ (2006) Domain choice in an experimental nested modeling prediction system for South America. *Theor Appl Climatol* 86:229–246. doi:10.1007/s00704-006-0206-z
- Rauscher SA, Seth A, Liebmann B, Qian J-H, Camargo SJ (2007) Regional climate model simulated timing and character of seasonal rains in South America. *Mon Wea Rev* 135:2642–2657.

- Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. J. Climate, 15, 1609-1625.
- Ropelewski CF and MS Halpert (1987) Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation, *Mon Wea Rev* 115:1606-1626.
- Satyamurty P, Nobre CA, Dias PLS (1998) South America. In: Karoly DJ, Vincent DG (eds) *Meteorology of the Southern hemisphere*. American Meteorology Society, Boston, pp 243–282
- Saulo C, Nicolini M, Chou SC (2000) Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-1998 spring-summer seasons. *Clim Dyn* 16:867-881.
- Sestini MF, Alvalá RCS, Mello EMK, Valeriano DM Chou SC, Nobre CA, Paiva JAC, Reimer ÉS (2002) Vegetation map elaboration for use in numerical models (“Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos”). Internal Report. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. Brazil.
- Seth A, Rojas M (2003) Simulation and sensitivity in a nested modeling system for South America. Part I: reanalysis boundary forcing. *J Clim* 16:2437-2453.
- Seth A, Rauscher SA, Camargo SJ, Qian J-H, Pal JS (2007) RegCM3 regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM global model driving fields. *Clim Dyn* 28:461–480. doi:10.1007/s00382-006-0191-z
- Silva VBS, Berbery EH (2006) Intense rainfall events affecting the La Plata basin. *J Hydrometeor* 7:769-787.
- Stainforth DA et al (2005) Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature* 433:403– 406.
- Trenberth KE (1997) The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771–2777.
- Uppala SM et al (2005) The ERA-40 re-analysis. *Q J R Meteorol Soc* 131:2961–3012
- Urrutia R, Vuille M (2009) Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century, *J Geophys Res* 114: D2. D02108.
- Veljovic K, Rajkovic B, Fennessy MJ, Altshuler EL, Mesinger F (2010) Regional climate modeling: Should one attempt improving on the large scales? Lateral boundary condition scheme: Any impact? *Meteor Zeitschrift*, in press, doi 10.1127/0941-2948/2010/0460.
- Vera CS, Silvestri G, Liebmann B, González P (2006) Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophys Res Lett*, 33, L13707, doi:10.1029/2006GL025759.
- Villar JCE, Ronchail J, Guyot JL Cochonneau, G, Filizola N, Waldo, L De Oliveira, E, Pombosa, R, Vauchel, P (2008) Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador), *Int J Climatol* Published online in Wiley InterScience
- Zhao Q, Black TL, Baldwin ME (1997) Implementation of the cloud prediction scheme in the Eta Model at NCEP. *Weather and Forecasting*, 12, 697-712.

Figuras

Figura 1. A primeira fila se refere a linhas de corrente em 200 hPa média de DJF 1961-1990 do Modelo Eta para os membros do conjunto de sensibilidade (a) baixa, (b) média, (c) alta, e (d) não perturbado; e (e) HadCM3. A fila inferior se refere a linhas de corrente em 200 hPa média de JJA 1961-1990 do Modelo Eta para os membros do conjunto de sensibilidade (f) baixa, (g) média, (h) Alta, e (i) Não perturbada; e (j) HadCM3. Velocidades superiores a 25 e 30 m/s são sombreados.

Figura 2. Igual a Figura 1, mas para linhas de corrente em 850 hPa.

Figura 3 – Vento. Reanálise do ERA40 em 200 hPa para (a) DJF and (e) JJA; em 850 hPa para (b) DJF e (f) JJA. Velocidades maiores que 25 e 30 m/s são sombreados. Precipitação CRU para (c) DJF e (g) JJA; temperature do ar do CRU para (d) DJF e (e) JJA. Escala de cores é mostrada na parte inferior de cada painel.

Figura 4. A primeira fila se refere a precipitação (mm/dia) média de DJF 1961-1990 do Modelo Eta para os membros do conjunto de sensibilidade (a) baixa, (b) média, (c) alta, e (d) não perturbado; e (e) HadCM3. A fila inferior se refere a precipitação média de JJA 1961-1990 do Modelo Eta para os membros do conjunto de sensibilidade (f) baixa, (g) média, (h) alta, e (i) Não perturbada; e (j) HadCM3. Os intervalos são 1, 3, 6, 9, e 12 mm/dia.

Figura 5 – Igual a figura 4, mas para temperatura a 2 metros. O intervalos do sombreado é de 2° C, a partir de 2° C.

Figura 6 – Regiões definidas na América do Sul para avaliação do ciclo anual do modelo.

Figura 7. Ciclo anual da precipitação (mm / d) média para o período de 1961-1990 (a) Amazônia, (b) Nordeste do Brasil, (c) Bacia do Prata, (d) e todo o Brasil. As curvas referem-se aos membros do Modelo Eta: aeyjo (vermelho), aeyjj (azul), aeyjb (verde) e aenwl (laranja) e observações CRU (preto).

Figura 8. Igual a Figura 7, mas para temperatura a 2m (°C).

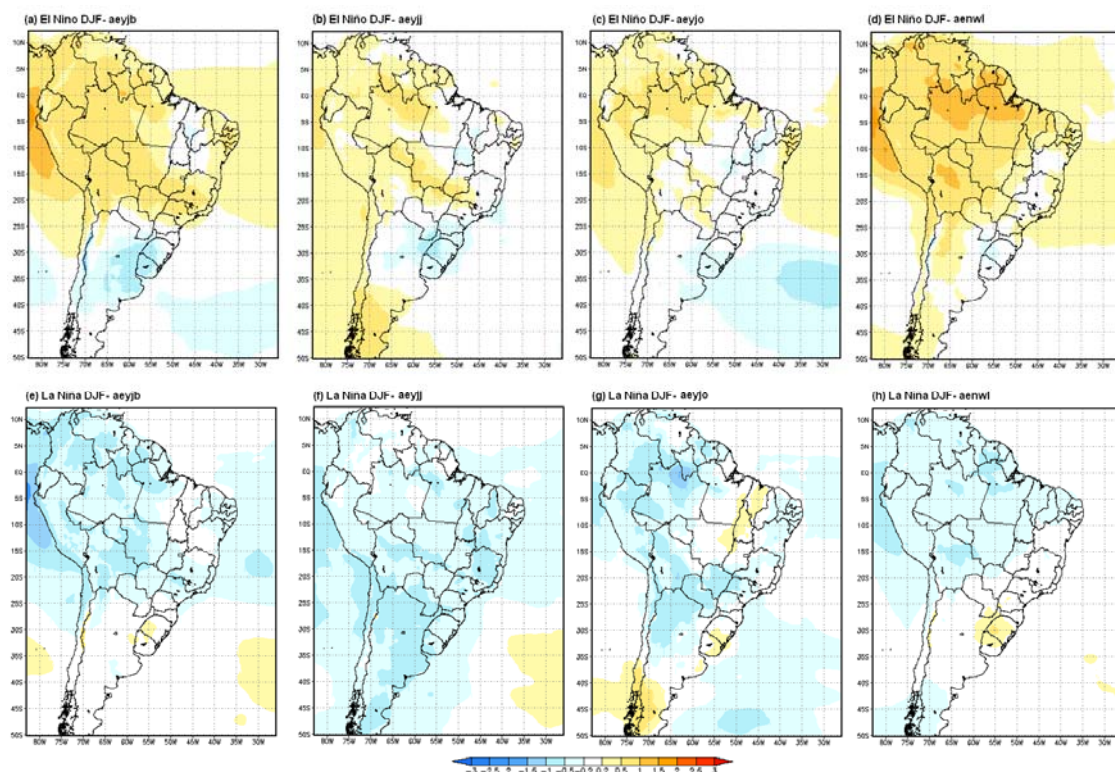
Figura 9. Erro médio quadrático de precipitação do Modelo Eta média de 1961-1990 para (a) DJF e (d) JJA. Ensemble médio (sombreado) e espalhamento (contornos) de precipitação do modelo Eta para (b) DJF e (e) JJA; Ensemble médio (sombreado) e espalhamento (contornos) da precipitação do modelo HadCM3 para (c) DJF e (f) JJA ; intervalos de precipitação média sombreadas são 1, 3, 6, 9 e 12 mm / d. Intervalo de contorno do espalhamento é de 0,5 mm / dia.

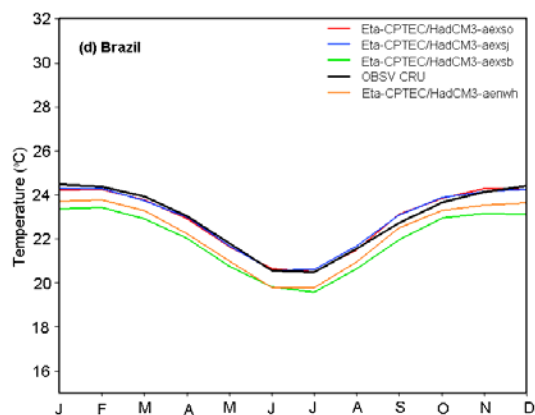
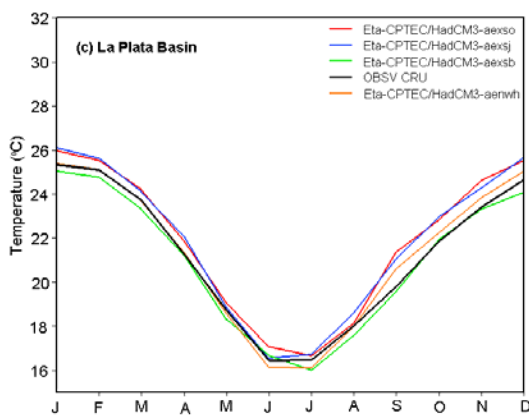
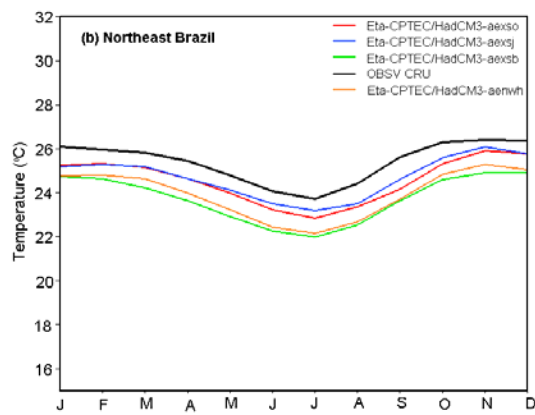
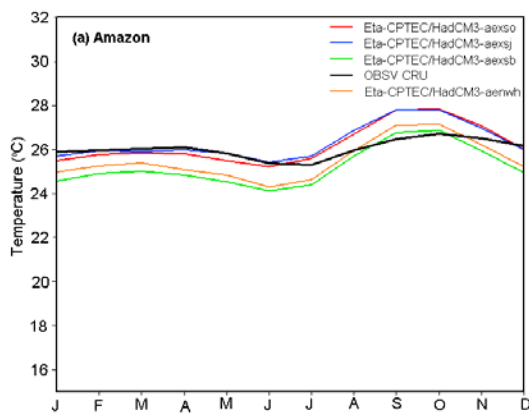
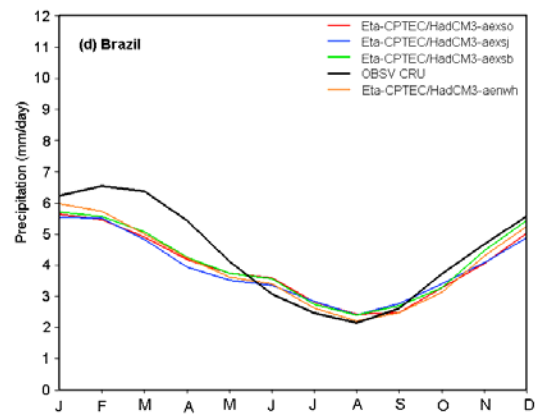
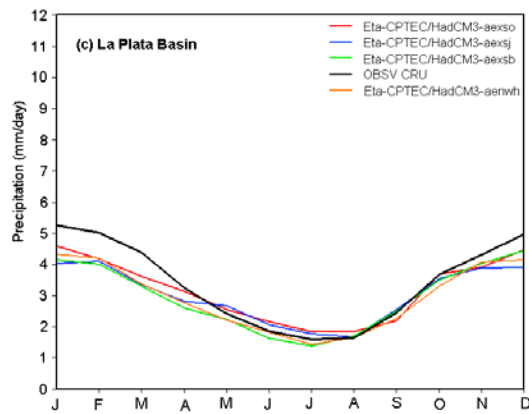
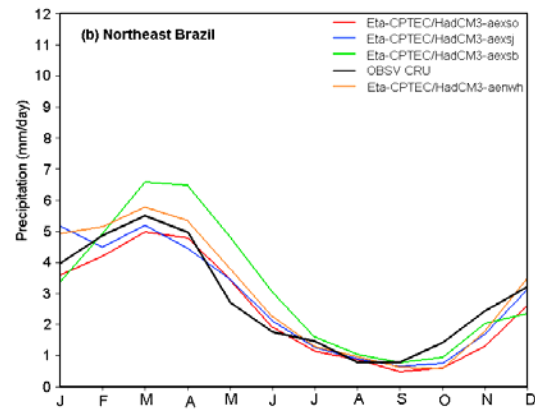
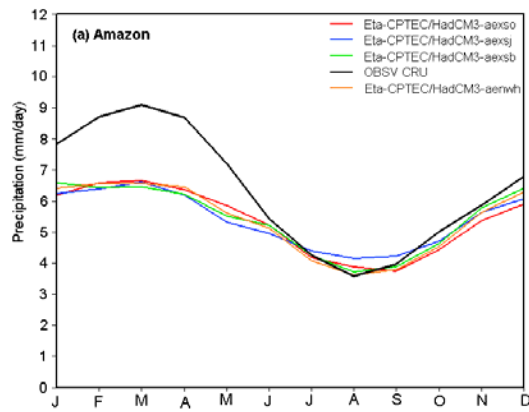
Figura 10. Igual a Figura 9, mas para temperature a 2m (°C). Intervalo do sombreado é de 2°C, iniciando em 2°C. Intervalos dos contornos é de 0.2°C.

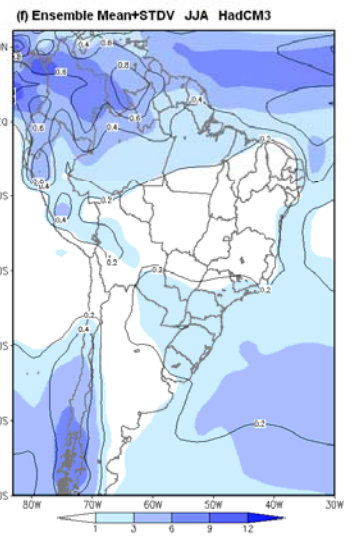
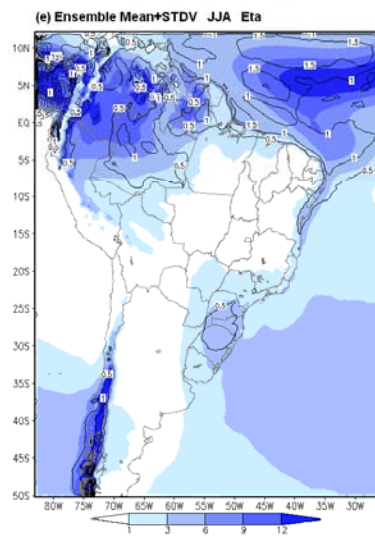
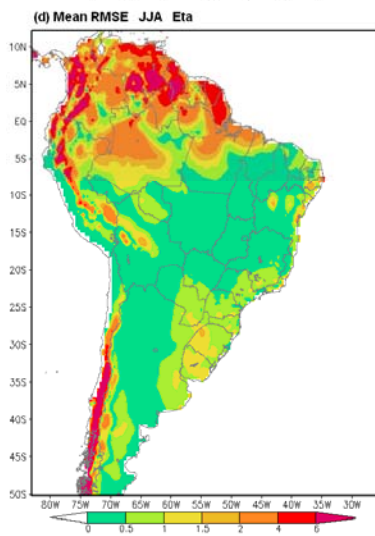
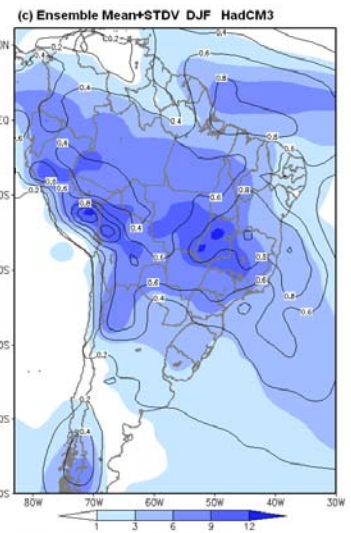
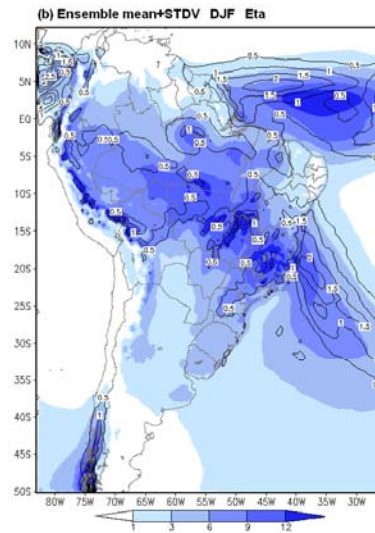
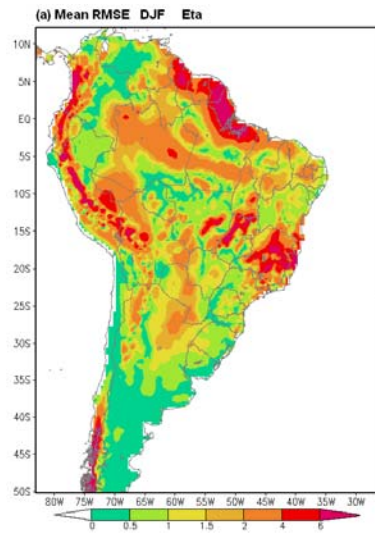
Figura 11. Série temporal de média móvel de três meses do HadCM3 de anomalias de temperatura da superfície do mar ($^{\circ}$ C) 1961-1990 para a região Niño 3,4, para os membros (a) aenwl, aeyjb (b), (c) aeyjj e (d) aeyjo. Sombreamento em vermelho refere-se aos eventos de El Niño, azul refere-se a eventos de La Niña e preto são períodos neutros.

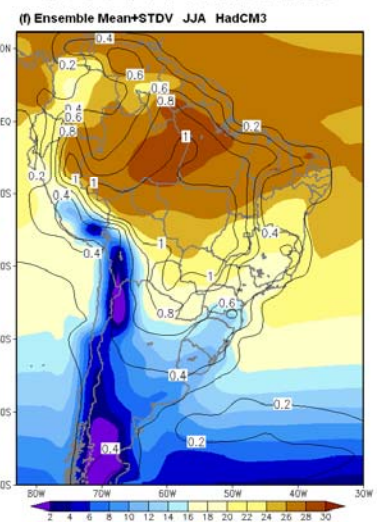
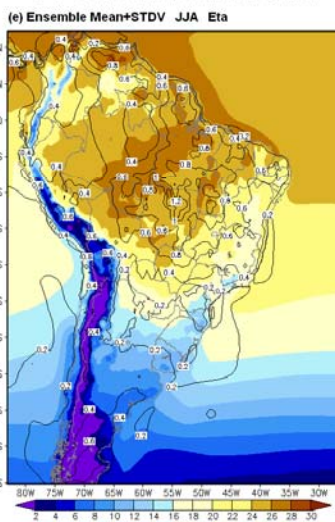
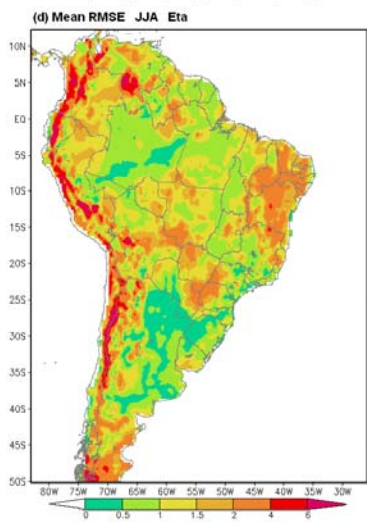
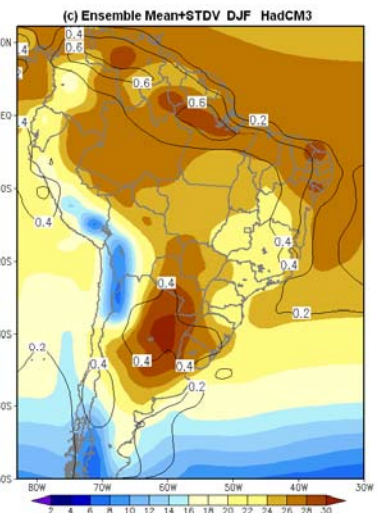
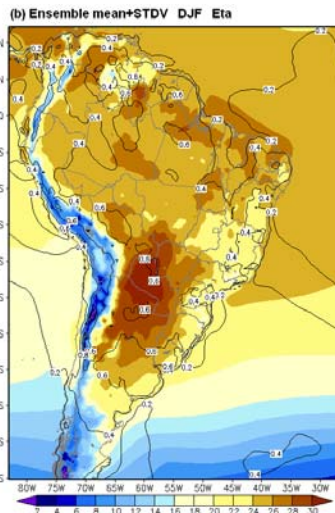
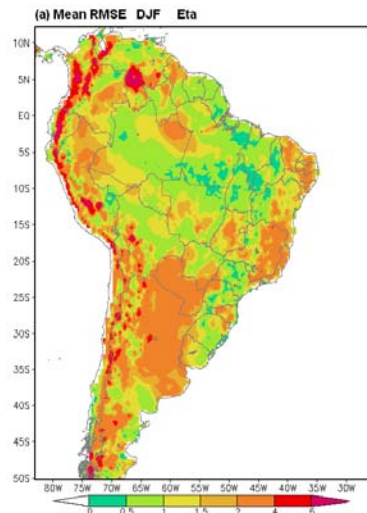
Figura 12. Anomalias de precipitação (mm / dia) para o verão austral (DJF) de anos de El Niño e La Niña. As anomalias são calculadas subtraindo a climatologia 1961-1990 do respectivo membro. Os mapas são para o aeyjo (a, e), aeyjj (b, f), aeyjo (c, g) e aenwl (d, h) membros. Sombreamento azul refere-se a anomalias positivas e vermelho com anomalias negativas.

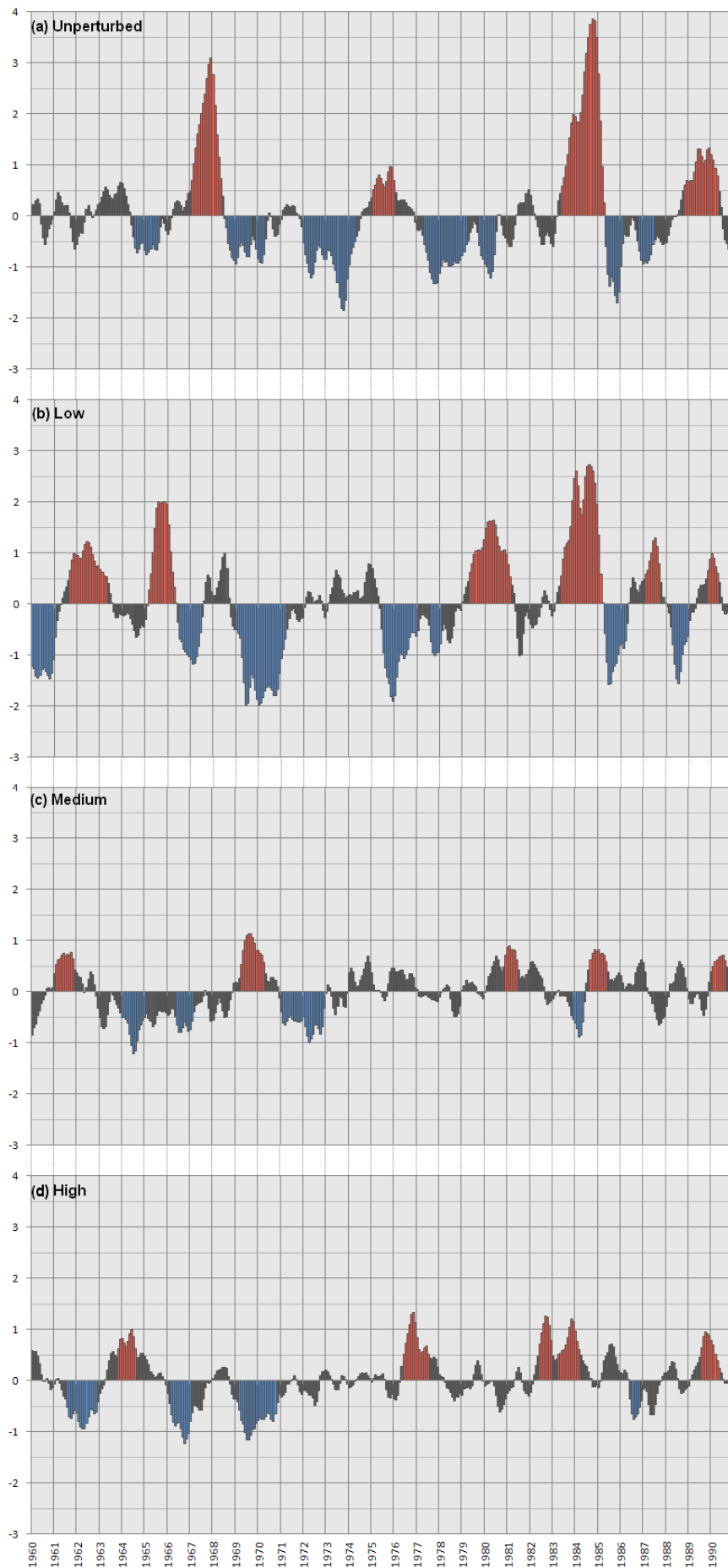
Figura 13. Igual a Figura 12, mas para anomalias de temperatura a 2m











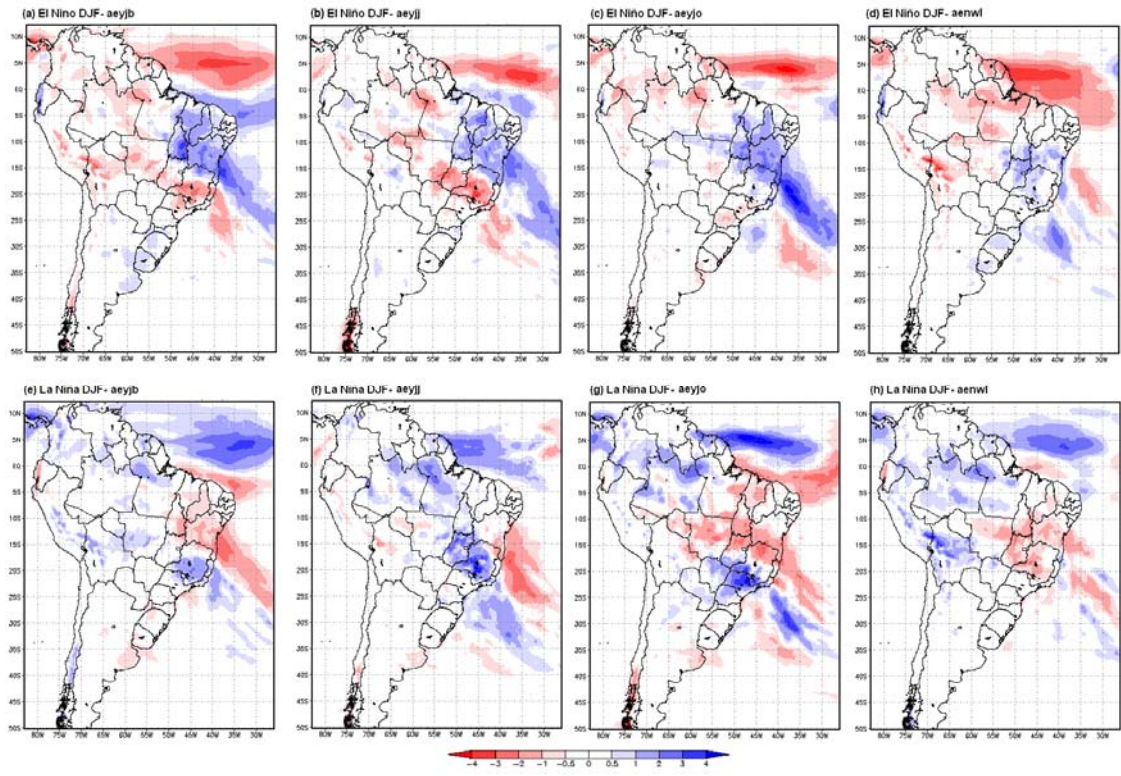


Tabela 1 – Número de eventos El Niño and La Niña observado and simulado pelos 4 membros de Eta-CPTEC/HadCM3.

	La Niña	El Niño
Observvado	7	9
Não perturbado	8	4
Alta	4	5
Média	4	5
Baixa	7	6

Anexo III

**Desenvolvimento de projeções regionais de clima
future no Brasil usando os modelos Eta CPTEC/
Climatologia e análises regionais para as bacias
Amazonia, São Francisco e Paraná
(Marengo *et al.* 2011)**

1. Introdução

O desenvolvimento de cenários de mudanças climáticas em escala regional é, talvez, um primeiro passo para entender os impactos do clima em condições de aquecimento global, considerando a prestação de informações que possam ser utilizadas para avaliações de vulnerabilidade, e para a geração de medidas e estratégias de adaptação frente as alterações climáticas. Além disso, a mudança climática pode mostrar acentuada variabilidade regional, o que poderia sugerir uma distribuição geográfica diferente dos impactos do clima no interior do país. Modelos globais do clima (GCMs) e o downscaling dinâmico usando modelos climáticos regionais são as principais ferramentas da análise para poder projetar cenários de clima futuro próximo. As projeções das alterações climáticas derivadas dos modelos regionais de clima pode ser considerado - com algumas reservas - como úteis para estudos de impactos climáticos devido, ao maior detalhamento fornecido pelos modelos regionais em comparação com os modelos globais permitindo a simulação explícita dos processos de mesoescala e melhorias para a representação de topografia, uso da terra e a distribuição continente-oceano.

Na comunidade que trabalha com impactos e adaptação (por exemplo a agricultura, gestão de recursos hídricos, saúde, entre outros) há uma tendência crescente para um tipo de avaliação integrada, em que projeções de mudanças climáticas regionais formam um dos principais componentes de sistema de apoio à decisão visando reduzir a vulnerabilidade. Essas informações são necessárias pelos cientistas nas disciplinas que necessitam de informações climáticas (hidrólogos, por exemplo), para decisões políticas de adaptação aos impactos das mudanças climáticas.

Cenários futuros de clima com alta resolução espacial baseados em modelos regionais tem sido usados em varias partes do mundo. Vários esforços nacionais e internacionais têm utilizado modelor regionais de clima para ajudar a quantificar melhor as alterações climáticas regionais e fornecer cenários climáticos regionais para avaliar os impactos das alterações climáticas e a vulnerabilidade da população a estas mudanças. A experiência da comunidade que trabalha de modelagem climática tem demonstrado o imenso valor da colaboração e coordenação internacional na geração de cenários futuros de clima, chegando a produção de projeções e avaliações de incertezas Veja Marengo et al (2009a) para uma revisão sobre estas iniciativas regionais.

Experimentos de “downscaling dinâmico” na geração de cenários futuros e clima na America do Sul ten sido desenvolvidos usando uma variedade de modelos regionais e cenarios de emissão ate finis do Seculo XXI, usando diferentes modelos globvais como condução de contorno .(2009a Marengo et al, b, c;.. Nuñez et al 2006, 2008, Solman e Nuñez 1999, Solman et al 2008, Garreaud Falvey e 2008, Soares e Marengo 2009, Marengo e Alves 2009, Urrutia e Pesquero Vuille 2009, et al. 2009, Rocha et al 2009, 2010, Cabré et al. 2010, Menendez et al 2010, Sorensson et al 2010a, b, Sorensson Menéndez e 2010, e referências citadas).

No Brasil, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) tem utilizado o Modelo Eta operacional desde 1996, para atividades de previsão do tempo e clima na América do Sul. O modelo usa a coordenada vertical eta (Mesinger, 1984), que considera níveis de pressão (por tanto, sensivelmente horizontal, mesmo perto de zonas de montanha). Os cálculos horizontais derivados, principalmente associados a força do gradiente de pressão são feitos numa superfície aproximadamente horizontal. Devido às características da coordenada vertical, a Eta-CPTEC modelo regional é adequada para regiões com orografia acentuada, como a Cordilheira dos Andes. Chou et al. (2002) desenvolveu os primeiros experimentos com o modelo regional Eta em previsão sazonal regional para a América do Sul, com um mês de integração contínua.

O Modelo regional Eta-CPTEC foi utilizado para investigar a previsibilidade da precipitação em diferentes escalas de tempo - sazonal, mensal e semanal na América do Sul (Chou et al 2005). As previsões do modelo global CPTEC GCM comparadas com o modelo regional Eta-CPTEC mostraram que downscaling dinâmico através do modelo climático regional fornece uma melhoria considerável em relação às previsões do modelo global usado como condições de contorno.

Neste estudo, usamos quatro membros do modelo global HadCM3 gerados pela técnica de “Ensemble Perturbação Física” (PPE) (Murphy et al 2004; Stainforth et al 2005, Collins et al 2006), em que uma versão de modelo global é submetida às perturbações são introduzidos nos esquemas físicos de parametrização do modelo. Mais detalhes sobre este modelo de execução global são apresentados na seção 2.1. Aninhados no HadCM3 tem-se uma versão modificada do modelo Eta-CPTEC regional (ponto 2.2) com resolução maior do que em anteriores simulações Sul-americanas (40 km) e com as mudanças na concentração de CO₂ até 2100. Este modelo Eta-CPTEC regional foi rodado como parte das análises de impacto e avaliações de vulnerabilidade necessários para a preparação da Segunda Comunicação Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil nas Nações Unidas, Framework Climate Change Convention UNFCCC. As projeções foram geradas para o clima do presente (1961-1990) e para o futuro (2010-2100) para o IPCC cenário SRES A1B (Nakicenovic et al. 2000).

Neste trabalho, análises detalhadas das projeções sazonais de precipitação, temperatura e circulação até 2100 são realizadas para a temporada de verão de dezembro e janeiro-fevereiro (DJF) e junho-julho-agosto (JJA) inverno (Seção 4). Depois disso, uma análise detalhada no nível regional do ciclo hidrológico é realizada em três importantes bacias hidrográficas no Brasil: A Amazônia, São Francisco e o rio Paraná. Estudos prévios sobre impacto, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas foram desenvolvidas entre 2008 e 2010 (Assad e Pinto, 2008, Schaeffer et al. 2008, CEDEPLAR e da FIOCRUZ de 2008, Nobre et al 2010). Estes estudos sugerem potenciais impactos das alterações climáticas na agricultura, saúde e migração, a economia e urbanização no Brasil. As projeções de clima futuro dessas bacias, será de fundamental importância para o planejamento e desenvolvimento de atividades nacionais e locais e ações para enfrentar a mudança climática, e

também para sensibilizar os decisores da política do governo e na avaliação do impacto das alterações climáticas, vulnerabilidade e medidas de adaptação no projeto medidas. Um estudo paralelo (Chou et al 2010-Anexo I) analisa o clima do presente (1961-1990) simulada pelo Eta-CPTEC/HadCM3. Isto permite uma identificação mais abrangente e interpretação possível de vieses sistemáticos dos modelos.

2. Metodologia

2.1 Modelos utilizados

Neste trabalho nós mostramos as projeções de clima usando o modelo Eta-CPTEC 40 km regional aninhado no UK Met Office Hadley Centre acoplado oceano-atmosfera HadCM3 GCM.

a. Ensembles do modelo global HadCM3

As condições de contorno lateral são fornecidos por variantes do HadCM3 (Gordon et al, 2000;. Collins et al, 2001)..A componente atmosférica do HadCM3 tem uma resolução horizontal de $2,5^{\circ} \times 3,75$ graus de latitude-longitude, com 19 níveis na vertical (Pope et al, 2000). HadCM3 tem se mostrado o melhor e com melhor desempenho do conjunto de modelos climáticos apresentados no IPCC AR4 na simulação do clima do Brasil, simulando corretamente padrões como o gradiente leste-oeste na extensão da estação chuvosa na Amazonia (Li et al. , 2006). Estudos utilizando o modelo acoplado oceano-atmosfera HadCM3, HadCM3 acoplado com um modelo de ciclo de carbono HadCM3LC, e a componente atmosférica do HadCM3 (HadAM3) demonstram que este modelo também é capaz de simular padrões de teleconexões na precipitação continental com os modos de grande escala da variabilidade na região tropical Pacífico e Atlântico (por exemplo, Cox et al 2004;. Li et al, 2006;. Good et al, 2008;. Cox et al, 2008).

Experimentos Ensemble (ou por conjuntos) fornecer os meios pelos quais as incertezas nas projeções das mudanças climáticas podem ser exploradas. Dependendo do projeto conjunto, a incerteza das emissões de cenário ou formulação do modelo pode ser avaliado. O modelo do clima Intercomparação Project (CMIP, Covey et al, 2003;. Meehl et al, 2007) exemplifica o conjunto última set-up e, embora não explicitamente concebido para as incertezas do modelo de calibração, que permite o acesso a uma ampla gama de formulações do modelo.

O conjunto de rodadas do modelo HadCM3 usa outra abordagem, na qual uma estrutura de modelo único é usado, e as perturbações são introduzidas ao regime de parametrização física no modelo. Este "Perturbado Física Ensemble" (PPE, em inglês) é uma abordagem computacionalmente caro, mas é projetado para explorar sistematicamente as incertezas em diferentes componentes do modelo. Isso é feito pelo primeiro parâmetros de identificação do modelo que são incertas e importantes para a resposta do modelo e, em seguida, usando um conjunto de modelos para explorar as implicações destas incertezas de

parâmetros. Foram identificados parâmetros principalmente na atmosfera, mas também na superfície terrestre, e definidos os seus limites possíveis. Estes parâmetros foram modificados dentro de seus limites possíveis para formar um conjunto (300 membros) de grande porte, executados com uma representação do oceano computacionalmente eficiente. Deste conjunto, um subconjunto de 16 modelos diferentes, cada um com uma combinação diferente de parâmetros, foi selecionado de acordo com o desempenho na simulação realista do clima atual, enquanto a amostragem do espaço de parâmetros amplamente (Murphy et al., 2007). Juntamente com o modelo HadCM3, as 16 variantes do modelo foram executados em modo totalmente acoplado transitória, forçado com emissões SRES A1B cenário gerado concentrações de CO₂ até o final do século 21. Mesmo que cada membro do ensemble é forçado com as mesmas concentrações de CO₂, o efeito das diferentes combinações de parâmetros pode alterar o grau e em certa medida os padrões de mudança climática. A gama de aumento da temperatura média global até o final do século 21 fornecido por variantes deste modelo é de uma magnitude similar ao intervalo dado pelo conjunto AR4 multi-modelo (Collins et al., 2006).

b. Modelo Regional Eta-CPTEC

O clima da região será simulada usando o modelo regional ETA do CPTEC, que é derivado do Modelo Eta (Mesinger et al. 1988) desenvolvido na Universidade de Belgrado e operacionalmente implementado pelo Centro Nacional de Previsão Ambiental (Black 1994). O Modelo Eta foi escolhido porque existem poucas investigações a partir do Modelo Eta para integrações longas sobre a América do Sul e porque o sistema de coordenada vertical usado neste modelo é recomendado para uso na América do Sul devido à presença da cordilheira dos Andes.

Este modelo tem sido utilizado em estudos de previsões sazonais sobre a América do Sul (Bustamante et al 2006;. Chou et al 2005), onde as previsões foram melhoradas em relação ao modelo global motorista, que tinha uma resolução de T62. O modelo é criado com 38 níveis na vertical com o topo do modelo em 25 hPa e utiliza a coordenada vertical eta (Mesinger 1984). O tratamento da turbulência é baseado no nível de Mellor-Yamada 2,5 procedimento (Mellor e Yamada, 1974), o pacote de radiação foi desenvolvido pelo Laboratório Geofísico de Dinâmica de Fluidos, com ondas longas e de radiação solar com parâmetros de acordo com a Fels e Schwarzkopf (1975) e Lacis e Hansen (1974), respectivamente.

O Modelo Eta usa o Betts-Miller (Betts e Miller 1986) regime modificado por Janjic (Janjic 1994) para parametrizar convecção cumulus profundas e rasas e microfísica de nuvens são parametrizados usando o esquema de Zhao (Zhao et al., 1997). Os processos de transferência de superfície terrestre são parametrizados pelo regime NOAH (Ek et al, 2003). Uma descrição mais detalhada da dinâmica do modelo pode ser encontrado em Janjic (1979) e Mesinger et al (1988).

Algumas modificações foram feitas para que o modelo regional Eta-CPTEC fosse adaptado para a mudança climática é executado usando TSM derivados

médios mensais do HadCM3. As atualizações modelo SST diariamente por meio de interpolação linear. A principal modificação é o ano civil de 360 dias, o que é necessário para utilizar as condições de contorno laterais do HadCM3. A inclusão de CO₂ no Eta-CPTEC foi possível graças ao trabalho de Schwarzkopf (2005), que desenvolveu novos perfis verticais de temperatura compatível com CO₂ e 2 × 4 × CO₂ foram desenvolvidos. Alterações no Eta-CPTEC código original foram feitas para a concentração de CO₂ podem variar de acordo com o HadCM3. Em escalas de tempo decadal uma interpolação linear foi realizada para que os valores anuais de CO₂ foram gerados evitar saltos repentinos.

2.2. Integração do Modelo

Conforme descrito na Seção 2.1a, o PPE do conjunto de rodadas do modelo global HadCM3 com os cenários SRES A1B gases de efeito estufa na atmosfera é composta de forçar o modelo padrão, além de 16 variantes deste, cada um com uma sensibilidade climática diferente. A ampla gama de resposta da temperatura global até o final do século 21 deve ser esperado para trazer uma ampla gama de resposta do clima regional através de downscaling dinâmico. Quatro modelos foram selecionados para conduzir o modelo regional Eta-CPTEC para representar o intervalo de incerteza no modelo global, simular o clima da América do Sul razoavelmente bem. Desta forma, a maior gama possível de simulações do modelo regional de climas futuros plausíveis poderiam ser gerados.

Os conjuntos de condições de contorno do modelo global HadCM3 para rodar o modelo regional Eta-CPTEC são as seguintes: aenwh / aenwl; aexso / aeyjo; aexsj / aexsb aeyjj e / aeyjb. Os pares de nomes referem-se a experimentar as peças históricas e futuras da corrida. O primeiro par é o membro imperturbável, o segundo é um membro de alta sensibilidade, o membro de uma terços médio e sensibilidade do membro quarto sensibilidade baixa. O imperturbável modelo encontra-se entre os membros de baixa e média sensibilidade. Embora apenas um cenário de emissões intermedio (A1B) estava disponível, as diferenças de sensibilidade do modelo podem ser considerada como indicadores de futuros plausíveis climas representativas das diferentes vias de emissões. O modelo de alta sensibilidade (aexso / aeyjo) podem dar as possíveis mudanças no âmbito de um SRES A2 ou cenário A1FI de altas emissões. Da mesma forma, as mudanças observadas no modelo de baixa sensibilidade (aexsb / aeyjb) poderia ser considerada como qualitativamente ilustrativos de um cenário de baixas emissões, tais como B1.

O modelo regional Eta-CPTEC aninhado nestas condições de contorno foi executado para o clima do dia-presente ", 1961-1990, e no futuro, 2011-2100, por força das temperaturas da superfície do mar e do gelo do mar fornecidas pela HadCM3. As análises das simulações base no clima do presente são apresentados em num artigo complementar (Chou et al 2010). Aqui, a análise de futuras alterações na temperatura, a circulação atmosférica e os aspectos do ciclo hidrológico é realizado ao longo dos intervalos de tempo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 em relação à climatologia de base de 1961-1990. As mudanças são avaliadas durante o verão austral (DJF) e inverno (JJA)

estações do ano. As condições de contorno lateral do HadCM3 realmente acabar em 2099, mas pela simplicidade e coerência com as outras fatias, esse último período é chamado de "2071-2100".

2.2 Grandes Bacias Hidrográficas

Certas regiões de interesse foram selecionados para análises detalhadas no cenários de clima futuro. Isso foi feito inicialmente por três grandes bacias hidrográficas no Brasil: a Amazônia, o Paraná eo São bacias do Rio São Francisco (Fig. 1). Eles são extremamente importantes na geração de energia hidrelétrica, produção agrícola, e como prestadores de serviços do ecossistema, tornando-as principais regiões econômicas do território brasileiro.

O rio Amazonas drena uma área de $6,2 \times 10^6 \text{ km}^2$ e descargas uma média de cerca de 6300 km^3 de água para o Oceano Atlântico ao ano. Precipitação média na bacia é de cerca de 2236 milímetros ano^{-1} , oscilando entre 1500 e 3300 mm ano^{-1} em toda a bacia. Chuvas variabilidade na bacia do Amazonas está ligada ao Pacífico e Atlântico tropical fontes, e eventos de seca têm sido relacionados ao ENSO (Marengo et al, 2008a, b, Zeng et al 2008, Cox et al 2008, Tomasella et al 2010a, b, e referências nele). A hidrologia dos rios da região depende do regime de chuvas, os rios são os meios de transporte mais importante. Vida e de subsistência em muitas pequenas cidades às margens dos rios dependem do fluxo de água. Extreme baixo nível do rio relacionados com a seca nos últimos anos afetou muitos aspectos da vida na região, incluindo a pesca de frete, transporte e saúde. Além disso, a seca tem resultado no aumento dos incêndios florestais, como em 1926, 2005 e, recentemente, em 2010.

Localizado no semi-árido do Nordeste do Brasil, uma das regiões mais vulneráveis a variações e mudanças do clima no semiárido, a bacia do rio São Francisco possui 10% da população brasileira (cerca de 12 milhões de euros). É uma das regiões com os impactos mais extremos do clima variável habilidade $\neg$ sobre a população (social, econômico). Sua importância é que o rio gera energia hidrelétrica, que serve Nordeste do Brasil, e que podem atingir as regiões povoadas e industrializadas do Sudeste do Brasil. O rio São Francisco produz aproximadamente cerca de 10 400 MW por ano, que é a metade da energia hidrelétrica gerada pela bacia Paraná-La Plata. A bacia superior do rio São Francisco possui mais importantes regiões do vale, e também a maior demanda de água devido às intensas atividades agrícolas.

A bacia do rio Parana-La Plata se estende por $3,6 \times 10^6 \text{ km}^2$ em cinco países sul-americanos. É um dos maiores rios do mundo, drenando aproximadamente um quinto do continente sul-americano e transporte das águas da porção central do continente para o Oceano Atlântico Sul.

O sistema dos rios Paraná-La Plata rivaliza com o do sistema do mais conhecido rio Amazonas, em termos de diversidade biológica e de habitats, e excede em muito o sistema na sua importância econômica para a América do sul e centro-sul em termos de geração de energia hidrelétrica. Sua vazão média anual é apenas a segunda bacia amazônica na América do Sul eo quinto

do mundo, que por sua vez tem implicações para a geração de energia hidrelétrica. A hidrologia do Rio da Prata é fortemente afetada pelas condições do oceano, tanto no Pacífico tropical e Atlântico Sul, e chuva e do rio de séries temporais de vazões mostrar vários quase-periodicidade (variações na escala decadal ou escala interanual associada ao El Niño), com uma grande mudança na precipitação e vazões de muitos rios no final de 1970. O potencial de inundação ocorre em qualquer época do ano. A maior contribuição durante os episódios de inundação vem do rio Paraná. Ambos os rios Paraná e Uruguai podem, pelo menos, o triplo da média de vazão do rio durante os eventos de inundação, como durante o El Niño em 1983 e 1998.

3. Climatologia do Eta CPTEC para o futuro

3.1 Pressão ao nível do mar (SLP) e de circulação de nível altos e baixos na atmosfera

Antes de olhar para o clima futuro 2010-2100 projetados para o cenário de emissões A1B, nos referimos a Chou et al (2010) para uma descrição da simulação Eta-CPTEC do clima 1961-1990 ou clima do presente na América do Sul. Os modelos simulam bem a baixa térmica sobre a região do Chaco no Paraguai, os centros de alta pressão subtropical sobre o Atlântico e Oceano Pacífico, bem como o nível superior da calha alta do verão e nordeste da Bolívia, o jato subtropical de oeste, e sua variabilidade sazonal. Durante JJA, este Baixa do Chaco já não está presente e é substituído por uma crista. O centro de alta pressão sobre o Oceano Atlântico Sul tem se expandido, que pode ser notado pelo aumento dos valores das isóbaras sobre o oceano eo continente adjacente. Nas latitudes mais elevadas, o isóbaras são aproximadamente zonal, que é resultado da média durante as freqüentes viagens ondas transientes na região.

Para o futuro, as alterações previstas na pressão ao nível do mar (SLP) e ventos de superfície são analisados em conjunto. Fig. 2 af mostra o conjunto dos 4 membros para SLP e 850 hPa os ventos, respectivamente. Os cenários futuros não mostram nenhuma alteração significativa na posição dos sistemas de alta pressão na região. As mudanças na SLP indicam a intensificação da baixa pressão na região continental da América do Sul (Amazônia e do baixo Chaco térmico durante o verão austral e no inverno (cerca de 1,4 hPa), bem como uma intensificação da alta subtropical do Atlântico que se desloca para noroeste em torno de 20/10 S, atingindo mais de 60 W do sudeste da América do Sul Brasil, e as mudanças são maiores depois de meados do século 21. O aumento das altas pressões ao longo da costa oriental do continente e Atlântico Sul pode causar o bloqueio ou a desaceleração do frio frentes que viajam equatorial ao longo da costa oriental do continente. O bloqueio das frentes frias pode explicar a redução da precipitação em latitudes mais baixas e aumento da subtrópicos e latitudes médias (ver próxima seção).

A alta subtropical do Pacífico mostra uma redução na intensidade e tende a ficar ser localizada anormalmente mais ao sul durante o verão austral, enquanto que no Inverno a alta pressão é intensificada. Depois de 2040 os aumentos do SLP sobre as altas pressões do Atlântico Sul e Pacífico Sul, alta

alcança até 2 hPa em 2100. Ao longo do leste do Oceano Pacífico, perto da costa do Chile e do Peru, as pressões tendem a diminuir na margem leste do centro de alta pressão, isto permite que as frentes frias que se movem ao longo da costa do Chile para alcançar latitudes norte e pode explicar o aumento de precipitação na faixa junto ao litoral e na metade norte do Chile, e redução na metade sul.

Em JJA, esta diminuição de pressão na borda oriental da pressão alta não é tão forte e ao aumento da precipitação sobre o Oceano Pacífico não é clara, apesar de ainda aumentar alguns de precipitação é indicado na parte norte do Chile. Em JJA, a parte sul do Chile apresenta aumento de precipitação. Pressão diminui fortemente na parte sul da região amazônica, entre o Peru, Bolívia e oeste do Brasil, e está associada com aumento da precipitação. JJA é a estação quando a precipitação ocorre na costa leste do Nordeste do Brasil, e o aumento simulado de alta pressão sugere uma redução nas ondas do leste, atingindo a costa, o que é consistente com a redução da precipitação, destaca.

As séries temporais de SLP da Amazônia, na Baixa do Chaco, e nos anticiclones subtropicais do Pacífico e Atlântico para o período 2010-2100 são mostrados na fig. 3-A-d. Eles sugerem uma tendência (não estatisticamente significativa) para pressões mais baixas na Amazônia e aumenta SLP são notados particularmente no Atlântico Sul de alta em 2100. A Baixa do Chaco mostra as tendências crescentes e decrescentes ao longo do tempo. Estudos anteriores, usando modelos regionais por Garreaud e Falvey (2008), Nuñez et al. (2008) e Marengo et al. (2009a) mostram que as projeções SLP no cenário SRES A2 para 2071-2100 também apresentar aumento da pressão centrada no sul do Oceano Atlântico, principalmente durante o verão, e uma área de baixa pressão mais intensa sobre a região amazônica e da Baixa do Chaco especialmente durante o verão. As mudanças na SLP sugerem uma intensificação do gradiente de pressão entre o oceano eo continente. Projeções do modelo regional Eta-CPTec para o futuro sugere maiores gradientes de SLP entre a Amazônia eo Atlântico Sul, e em menor grau entre áreas continentais da América do Sul e do Atlântico Norte tropical, sendo mais intensa depois de 2040.

Nos baixos níveis (850 hPa), mudanças de vento (Fig. 2g I) refletem as mudanças na SLP nos centros de maior pressão e nos gradientes de pressão entre os continentes e oceanos. As projeções apontam para uma tendência de enfraquecimento dos ventos aliseos provenientes do Atlântico tropical do Norte tropical para o Nordeste durante o verão, juntamente com a intensificação do fluxo de norte leste dos Andes, na América do Sul tropical. O aumento do SLP na alta subtropical do Atlântico produz a aceleração dos ventos ao longo da fronteira do centro de alta pressão perto da Baixa do Chaco. Esta intensificação depois não determina um aumento do fluxo de umidade proveniente da região amazônica, mas sim uma intensificação do fluxo de umidade do Oceano Atlântico por meio de uma intensificação e deslocamento em direção ao continente da alta subtropical do Atlântico, acompanhada por uma intensificação da baixa do Chaco.

Nos níveis altos da atmosfera, as projeções da Fig. 3m-r mostram um enfraquecimento na alta pressão troposférica sobre Bolívia e do Cavo do Nordeste durante o verão 2011-40. Depois de 2040 a Alta da Bolívia não mostra o padrão fechado típico de verão, sugerindo uma dissipação. Isto é consistente com as mudanças na circulação em baixos níveis. O enfraquecimento do fluxo de oeste, fora do Chile sobre 40S e intensificação entre 20 e 35S é consistente com as mudanças na pressão e ventos nos níveis inferiores da atmosfera sobre essas regiões. Há uma tendência para a intensificação do jato subtropical oeste 2040-2100, atingindo até 4 m s^{-1} maior que no presente em torno de 35 S em 2100.

4.2 Precipitação

A distribuição geográfica das mudanças de precipitação é mostrada na figura. 4a-f. Coerente com as alterações na pressão SLP, aumento da SLP sobre o Atlântico Norte e Atlântico Sul, principalmente no verão, provoca uma redução da precipitação sobre as regiões de convergência tropical, e um aumento da precipitação sobre uma região estreita perto da ZCIT.

Sobre a Amazônia e Nordeste, a pressão tende a diminuir, e temos também reduções de precipitação da ordem de 30%. Mudanças na pressão e precipitações sugerem um enfraquecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) a atividade convectiva da ZCAS durante o verão austral. Isto é importante porque as chuvas ao longo da ZCAS são abundantes durante o verão. O aumento de chuvas no sudeste da América do Sul (cerca de 30-50%) é consistente com os ventos mais intensos a leste dos Andes carregando umidade do Atlântico Sul, especialmente no verão.

As mudanças projetadas de chuva a partir dos modelos de IPCC AR4 (Christensen et al. 2007) para o mesmo cenário A1B no final do Século 21 mostra aumentos das chuvas no Equador e no norte do Peru, assim como no sudeste da América do Sul, enquanto que as reduções de chuva são projetados para o Brasil de Leste e na costa sul do Chile e no extremo norte do continente. A partir das projeções de precipitação derivadas do modelo regional Eta CPTec, existe uma coerência qualitativa entre as simulações com os meios IPCC AR4 regional, particularmente o aumento das chuvas no sudeste da América do Sul e na costa noroeste do Peru e do Equador. Padrão similar foi encontrada com as mudanças de precipitação em várias partes da América do Sul, 2070-2100, documentadas em Garreaud Falvey (2008), Nunes et al (2008) e Marengo et al (2009) usando diferentes modelos regionais para os cenários A2 e B2.

4.3 Temperatura do Ar

Os painéis da figura. 4g-l sugerem que toda a América do Sul poderá aquecer durante este século. O aquecimento projetado é geralmente maior no território continental tropical da América do Sul e na região ao largo da costa do Pacífico da América do Sul entre 5 e 35 S. Este padrão de aquecimento é um pouco diferente ao mostrado em projeções anteriores para a América do Sul derivados de outros modelos globais e regionais (Christensen et al. 2007a,

Marengo et al 2009) Este aquecimento é mais intenso que aquele derivado da outra versão do modelo Eta relatado por Marengo et al (2009a). O aquecimento atinge até 7 ° C na Amazônia Oriental e Meridional em 2100, no verão e no inverno. Para 2010-2040 este aquecimento atinge 2 ° C sobre a Amazônia nos próximos 20 anos, e 4 ° C para o 2041-70 médio prazo. Toda a parte tropical do continente sul-americano tropicais de ambos os lados da Cordilheira dos Andes exibe aquecimento durante o ano todo, mas principalmente a leste dos Andes sobre a Amazônia a região sul da monção Sul-americana. O aquecimento superior a 4 ° C se estende ao sul até 40 ° S, durante o Verão eo Inverno.

Há uma intensificação do gradiente meridional da temperatura do ar entre as latitudes mais baixas e mais altas, que é mais forte até o final do século 21. A intensificação do jato subtropical oeste é observada tanto no verão e inverno, mas é no verão que as mudanças são mais visíveis em torno de 20-35 ° S, como mostrado na figura. 3. Esse deslocamento intensificação e equatorial do jato subtropical de oeste durante o verão é a consequência da intensificação do gradiente meridional da temperatura do ar. Isso ocorre, principalmente, os pólos do aquecimento máximo e torna-se muito intensa 2071-2100. Padrão semelhante tem sido observado durante os períodos de verão de fortes eventos de El Niño, como em 1983 e 1998, e este tem sido responsável pelo aumento de precipitação na bacia do Prata durante esses eventos.

As projeções do modelo regional Eta CPTEC mostram coerência com Christensen et al. (2007a) para a América do Sul tropical do IPCC AR4 GCMs, que mostram que o aquecimento médio anual no cenário A1B para o final do século varia na região tropical entre 1,8 ° C a 5,1 ° C, com metade dos modelos dentro 2,6 ° C a 3,7 ° C, e na região subtropical da América do Sul varia de 1,7 ° C a 3,9 ° C, com metade dos modelos entre 2,3 ° C a 3,1 ° C. O aquecimento de cerca de 5 ° C detectado ao redor da região dos Andes no inverno chegando a 35 ° S também é notado em projeções anteriores, Nunes et al (2008), onde se detecta o aquecimento até 4,5 C chegando a 30 ° S, especialmente no inverno em 2100. No verão, o aquecimento projetado pelo modelo regional Eta CPTEC chega a 4 ° C entre 35-45 ° S, enquanto que Nunes et al (2008) mostra o aquecimento de 4 ° C, atingindo latitudes semelhantes.

4.4 P-E (Precipitação menos Evaporação)

O campo de P-E representa uma aproximação para o balanço hídrico (Figura 4m-r). O grande negativos P-E ($P < E$) diferenças sobre os trópicos da América do Sul é detectado, principalmente sobre a Amazônia Oriental e Nordeste Brazil, sobre as bacias Amazônia e o rio São Francisco, enquanto mais sudeste da América do Sul, a diferença é positiva ($P > E$). As maiores diferenças estão em 2071-2100 no verão e no inverno austral. É a combinação de temperaturas mais elevadas (Fig. 4g-l) e redução da precipitação (Fig. 4a-f) sobre América do Sul, que resulta em $P < E$ e determina condições mais secas, secas e possível adidização em partes do Nordeste do Brasil (semi-árido terras

do Nordeste do Brasil). Isso resulta em menor umidade do solo, escoamento inferior do rio e leva à degradação do solo e uma possível desertificação.

O estudo de Milly et al. (2005) avalia as vazões em vários rios em todo o mundo, utilizando doze modelos globais do IPCC AR4. A análise mostra reduções da ordem de 15-20% em relação a 1900-1970 o escoamento do rio São Francisco para o cenário A1B 2080 - 2099, enquanto que para o rio Amazonas se encontraram reduções de 20-50% no leste da Amazônia e aumentos de 20-50% na Amazônia ocidental. Os aumentos no rio Paraná, de acordo com Milly pode atingir até 40%, em 2080-2099. Estas alterações são comparáveis às diferença P-E projetada pelo modelo regional Eta-CPTEC (Fig 4m-r).

4.5 Dispersão entre membros

Em termos de dispersão e variabilidade entre os 4 membros (Figuras não mostradas), a dispersão entre os membros em DJF, JJA e anual para pressão, precipitação e temperatura, respectivamente, é calculado como o desvio-padrão dos 30 anos da média das quatro membros do 3 períodos de tempo. As faixas de maior conjunto spread de 0,3-0,9 hPa sobre o Atlântico Sul, extremo sul do Pacífico, o Paraná-La Plata e da bacia sul do Chile, com a dispersão maiores em 2071-2100. Para a precipitação, a dispersão sobre o continente chega a 1 mm / d sobre a Amazônia do sul, o monçapo da america do Sul e as regiões da ZCAS, bem como ao longo da ZCIT sobre o Atlântico Norte tropical atingem 2,0 mm / d sobre o oceano, durante o verão austral. No inverno do sul, JJA, maiores espalhamentos entre 1-2 mm / d) são encontrados ao longo do Norte da América do Sul, do Equador, a Guiana, e sobre o Atlântico Norte.

Para temperatura do ar, a dispersão varia de cerca de 0.5o C na maior parte do continente, e sobre o Pacífico Oriental, a dispersão de temperatura é menor que a dispersão da precipitação, e que provavelmente é uma consequência da pequena variabilidade das temperaturas da superfície do mar. Em DJF, maiores áreas de dispersão son achadas na Bolívia, Paraguai e norte da Argentina, norte da Amazônia e na Guiana, e zonas costeiras do Peru. Considerando que no inverno, JJA, as maiores dispersões na temperatura ocorre na parte central do continente e sobre a Cordilheira dos Andes. Para o clima atual (Chou et al 2010), enquanto a máximo Erro Meio Quadrático (Root Mean Square Error RMSE) variam entre 2 e 6 mm / d entre DJF e JJA, e os menre svalores se apresentam sobre a terra variando entre 0,5 a 1,0 mm / d e atingem 2,0 mm / d sobre o oceano. Para a temperatura no clima atual, temos encontrado espalhamento menor do que Erro Meio Quadrático, especialmente sobre o continente do norte da Argentina e do Paraguai, onde o modelo superestimou as temperaturas. Este RMSE geralmente atinge cerca de 4 ° C. Em JJA, o RMSE no norte da Argentina mostra os valores mínimos e os maiores valores são encontrados na região Nordeste do Brasil, a dispersão entre os quatro membros, em DJF e JJA, respectivamente varia sobre 0.5o C mais do continente, e sobre o oceano, o diferencial de temperatura são menores. Para o futuro, a magnitude media dos quarto experimentos para temperatura é menor do que os erros actual clima de temperatura sobre o

continente. Em geral, a dispersão é maior no conjunto de temperatura é detectada em áreas com maiores aumentos de temperatura até 2100, e se espalhou entre membros é inferior à magnitude das mudanças projetadas na temperatura do ar sobre os três períodos de tempo.

5. Análises Regionais

Tanto na Amazônia como na bacia do Rio São Francisco as bacias apresentam projeções de redução da precipitação anual, enquanto o Paraná-La Plata bacia é projetada um aumento na chuva (Fig. 4). Figs. 5 e 6 mostram o ciclo anual de temperatura e precipitação projetadas para o futuro (médias dos 4 membros), em comparação com a climatologia atual simulada pelo modelo para 1961-90. As mudanças são mais intensas na Amazônia e na bacias do rio Paraná, com o aquecimento mais intenso ocorrendo na primavera. Para o ciclo anual da precipitação, as mesmas regiões e intervalos de tempo, para a Amazônia e São Francisco as bacias do projeto diversos membros para a redução de chuvas futuro durante a primavera eo verão (pico da estação chuvosa) em relação ao clima atual.

Para cada bacia, a série temporal da figura. 7a-d mostram que cada membro do futuro aquecimento projetos projeções durante todo o século. O aquecimento projetado anual nas três bacias hidrográficas e no Brasil mostra uma média de 4,5 oC, no Brasil, variando entre 3 e 5,5 ° C até 2100, enquanto na Amazônia o aquecimento médio em 2100 chegou a 5 ° C, variando entre 4 e 6 oC. Para a bacia do São Francisco, o aquecimento médio em 2100 é de 4.8° C, variando entre 3 e 4 ° C, e para a bacia do Paraná o aquecimento projetado foi de 4,5° C, variando entre 3,5 e 6 ° C.

Para a precipitação (Fig. 7e-h), as chuvas tendem a diminuir até 2100 em todo o Brasil, incluindo as três bacias, com redução intensa na região amazônica (-1 mm / d, variando entre -0,7 e -1,2 milímetros / d) e para a bacia do rio São Francisco (-1 mm / d, variando entre -0,5 e -1,5 mm / d). Para a Bacia do Paraná, as reduções de chuva são menores do que na Amazônia e nas bacias do São Francisco (-0,2 mm / d, variando entre 0,5 e -0,5 mm / d). As reduções de chuva chegar a 2 mm / d no verão na Amazônia e 3,5 mm / dia na mesma estação na Bacia do São Francisco em 2100. Na bacia do Paraná, as reduções de chuva são menores, e alguns membros mostram que a precipitação aumenta.

A Figura 8 apresenta alterações de precipitação e temperatura para o Brasil e as três bacias, para a média das quatro integrações e nos 3 periodos de tempo. Todas as projeções do modelo mostram uma mudança marcada para um clima mais quente e seco em especial na Amazônia e nas bacias do São Francisco, enquanto que para a bacia do Paraná, as mudanças são claramente marcadas por mudanças de temperatura, e pouco na chuva. Ao mesmo tempo há um aumento na variabilidade, ilustrada pela maior dispersão de 2071-2100, em comparação com 2010-2040.

O aquecimento atinge uma média de 1-2 C em 2010-40, 2,5-3,5 C em 2041-2070 e 2071-2100 C por 3,5-5,0, com o aumento da temperatura e os desvios-

padrão, sendo maior no verão que no inverno. Quanto à precipitação, as maiores reduções de precipitação são detectadas no final do século, 2071-2100, atingindo cerca de 20% ou mais nas três bacias, principalmente durante o verão para a Amazônia e Paraná.

Na média anual e do verão de para cada período de 30 anos, a média do ensemble de temperatura e precipitação para o Brasil e as três bacias é mostrada na fig. 9. Enquanto a temperatura média global de CO₂ e as mudanças são do modelo HadCM3 padrão global, as alterações de escala da bacia são do CPTEC Eta executar impulsão pelo modelo padrão. Este valor compara a intensidade do aquecimento regional, com o aquecimento global e da concentração de CO₂ até 2100. À medida que avançamos no século 21, as concentrações atmosféricas de CO₂ aumentam de acordo com o cenário de emissões SRES A1B, e as mudanças climáticas regionais se tornam mais graves. No curto prazo, na década de 2020 (2011-2040), a concentração atmosférica de CO₂ é de 418 ppm e associados aquecimento global (simulada através do HadCM3) chega a 1,3 °C, o que corresponde a um aumento de 1,7 °C na temperatura sobre o Brasil (simuladas por Eta-CPTEC). Ao nível da bacia, o aquecimento é maior na bacia do Amazonas, a cerca de 1 °C. A médio prazo, por 2050 (2041-70) e com a concentração de CO₂ de 523 ppm, o aquecimento global previsto é de cerca de 2,5 °C e 3,2 °C no Brasil. Ao final de 30 anos do século, as concentrações de CO₂ origem a 638 ppm, o aquecimento global anual é projetado para ser de 3,3 °C, o que corresponde a um aumento projetado de 4,5 °C no Brasil e mais aquecimento intenso nas bacias do Paraná e Amazonas.

Reduções de precipitação anual são projetados para atingir 19% na Amazônia e 35% na bacia do São Francisco em 2100. Em termos de variação média anual da precipitação, as alterações previstas na Bacia do Paraná são proporcionalmente pequenas e variam entre os diferentes membros. Em todos eles, há um ligeiro decréscimo de 2%, como mostra o ensemble médio na Fig. 9. O projectado aumento das chuvas anuais no Paraná são proporcionalmente pequenos (cerca de 2%), e são dominadas por aumentos na temporada de março-maio (não mostrado), compensado por uma diminuição no pico de temporada de dezembro a fevereiro. Essas projeções contrastam com os aumentos projetados por Milly et al (2005) derivadas dos modelos globais do IPCC AR4. A principal razão dessa discrepância é que o domínio usado aqui para o Rio Paraná não é para o completo da bacia Paraná-La Plata usado por Milly. Da fig. 4a-f chuvas e das projeções mostradas pelo IPCC (2007), na bacia do Paraná-La Plata está projetada para aumentar em cerca de 20% até o final do século 2100, com o maior aumento no inverno. O domínio da bacia do Rio Paraná utilizada neste estudo considera principalmente as partes da bacia que mostram reduções de chuvas pequenas (até 10%) em 2100, e não tanto da bacia do Prata, onde aumentar a precipitação pode chegar a até 20%.

Da informação fornecida nas Figs. 4, 7, 8 e 9, pode se concluir na bacia amazônica uma diminuição substancial das chuvas previsto atingir cerca de 9% em escalas de tempo anual e de verão em 2010-40, e as reduções são maiores em 2041-2170 (de cerca de 15-16%) e 2071-2100 (cerca de 19-22%). Para a Bacia do São Francisco, as reduções de precipitação são maiores do

que na Amazônia, variando de 15 a 18% em 2010-40 e de 21% para 35% em 2071-2100, em estações do ano e verão, respectivamente. No Nordeste do Brasil, para colocar essas mudanças projetadas na precipitação das terras semi-áridas do Nordeste do Brasil, onde a bacia está localizada dentro de um contexto histórico, é instrutivo considerar alguns episódios de seca na região. Uma das piores secas - que teve lugar nos últimos tempos e foi bem documentada - ocorreu em 1998 (ano de El Niño), onde as chuvas na região foram de apenas 40-50% do normal.

Colocar as mudanças previstas no contexto da observada em climas extremos sazonais em apreço, a seca catastrófica na Amazônia em 2005 foi marcado por reduções nas chuvas no sul da Amazônia no mês de dezembro 2004-fevereiro verão austral de 2005 até 60% (Marengo et al. 2008a, b Cox, et al 2008). Durante o verão seco de 2001 (Cavalcanti e Kousky, 2004), déficits de precipitação chegou a até 40% na maior parte do Brasil central, nordeste e sudeste. Isto resultou em uma redução significativa na vazão do rio durante todo Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, reduzindo a capacidade de produzir energia hidrelétrica nestas áreas. Em 2001, um déficit de chuvas em grande escala afetou boa parte do Brasil, o que resultou uma crise energética que obrigou o governo a impor medidas de conservação de energia, a fim de evitar a perda total de energia (apagões). Regional mudança climática tem o potencial de afetar os recursos hídricos futuro, geração de energia, ocorrência de incêndios, e seus impactos em todo o Brasil e toda a região sul-americana. As mudanças projetadas pelo Eta-CPTEC/HadCM3 aqui apresentados poderiam ter profundas implicações para as populações, os processos e atividades diretamente relacionadas com o clima ou através de alterações dos ecossistemas e dos serviços que fornecer (por exemplo, Trivedi et al 2009).

6. Mudanças na distribuição da precipitação diária e as temperaturas do ar

Descrevendo o clima em termos de medias sazonais e anomalias é uma forma padrão de expressar a variabilidade e mudança. No entanto, para estudos de impactos e de adaptação, há uma necessidade de informação sobre as mudanças em uma resolução mais fina temporal. Aqui, vamos examinar as mudanças projetadas na distribuição de diários de chuva e temperatura média do ar ao longo do século 21. Fazemos isso para as estações de DJF e JJA nas três bacias selecionadas, bem como todo o território brasileiro para o período simulado de hoje (1961-1990) e futuro timeslices 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071 - 2100 (Figs. 10 e 11). As distribuições são uma média de quatro distribuições diferente formado a partir de cada um dos membros do conjunto.

As distribuições de frequência de temperatura do ar média diária de indicar claramente o aquecimento progressivo ao longo do século, em todas as regiões e épocas, com o valor do modelo de temperatura média diária deverá atingir 24 ° C ou 28 ° C no máximo durante o verão no Brasil, 2071-2100 em relação a um modo de 18 ° C e máxima de 21 ° C no momento. As distribuições geralmente mais estreitos para o clima do presente no início do século 21 - especialmente na temporada de verão - implica uma escala relativamente pequena em temperaturas médias diárias durante uma única temporada. No entanto, no final do século, a distribuição mais ampla indicam

uma maior gama de temperaturas médias diárias em toda a temporada. Esta é a probabilidade de estar relacionada, em parte, à diferença de sensibilidade entre os modelos de condução global do aumento da concentração de gases de efeito estufa se tornando mais pronunciada no final do século, ou pode ser também que o intervalo em temps diariamente dentro de uma temporada em um modelo se torna maior.

Há poucos sinais claros de mudança na distribuição da precipitação diária (Fig. 11), especialmente no inverno. No verão, o tempo presente 1961-90 é diferente das três frações de tempo, no século 21. A análise revela mudanças nos padrões de precipitação de verão na Amazônia e nas bacias do São Francisco e no Brasil como um todo, que são consistentes com um clima mais seco futuro, especialmente em São Francisco e as bacias Amazônica. No entanto, estes resultados são difíceis de quantificar e sua importância pode ser afetada pela natureza não-Gaussiana do campo de precipitação.

7. Discussão

As evidências mostradas nas seções anteriores sugerem mudanças na circulação superior e de baixo nível e da pressão do nível do mar (PNM), campos, sob a forma de enfraquecimento da circulação tropical e reforço da circulação subtropical, com a intensificação da Baixa do Chaco e as altas subtropicais, bem como a intensificação e uma posição mais para o norte do jato subtropical de altos níveis. Aumentos de temperatura de até 4-6 ° C no continente sul-americano são projetadas, com mais intensas mudanças que ocorrem na segunda metade do século 21. No futuro, os gradientes de temperatura entre o continente sul-americano e do Atlântico Sul, e entre tropical e subtropical da América do Sul, são projetados para ser mais intensos pelo modelo Eta do CPTEC. O primeiro leva a fortes gradientes SLP entre o continente e Atlântico subtropical, enquanto o último induz a posição intensificação e para o norte do jato subtropical oeste.

Mudanças no transporte de umidade e pluviosidade são projectados no sector do Atlântico tropical, com o enfraquecimento do comércio do Atlântico Norte e posterior redução de chuvas na Amazônia, grandes e Nordeste do Brasil (que atinge até 40%), enquanto que a precipitação aumenta em torno da costa norte do Peru e Equador e no sudeste da América do Sul, atingindo até 30% no norte da Argentina. Todas as mudanças tornam-se mais intensas após 2040. A diferença P-E sugere déficit de água e redução do escoamento fluvial na Amazônia Oriental e da Bacia do São Francisco, o aumento da susceptibilidade destas regiões a condições mais secas e as secas no futuro.

As mudanças de temperatura por volta de 2100 para o Brasil como um todo atingem 4,3°C, com um aquecimento global de 3,3°C, correspondente ao aumento das concentrações de CO₂ de 638 ppm. A 3° C o aquecimento em temperaturas globais, algo que poderia acontecer já em 2050 - efetivamente inverte o ciclo do carbono. Em vez de absorver CO₂ da vegetação e do solo começa a liberá-lo em quantidades maciças. Então, muito carbono despeja na atmosfera até que as bombas de concentrações atmosféricas de 250 ppm

adicionais até 2100, dando um impulso C mais 1,5 para o aquecimento global. (Cox et al 2000).

A nível regional, o aquecimento atinge em média 1-2 °C em 2010-40, 2,5-3,5 °C, em 2041-2070 e 2071-2100 pelo 3,5-5,0 °C, sendo a média e a variabilidade do aquecimento maior no inverno que no verão. Quanto à precipitação, as maiores reduções de precipitação são detectados pelo 2071-2100, atingindo cerca de 20% ou mais nas três bacias, principalmente durante o verão para a Amazônia e Paraná, e no inverno para a bacia do São Francisco, com os maiores desvios-padrão durante o inverno. O aquecimento é maior na bacia do Amazonas, cerca de 1,9 °C. A médio prazo, até 2050, e com a concentração de CO₂ de 523 ppm, o aquecimento global previsto é de cerca de 2,5 C, com o aquecimento no Brasil, sendo 3,2 C. reduções de precipitação anual são projetados para atingir 19% e 35% na bacias do Amazonas e São Francisco em 2100, enquanto que para a bacia do Paraná há uma ligeira redução de 2%.

O aquecimento projetado mais próximo prazo (2010-40) indica que há mais acordo entre as integrações do modelo em cada uma das três bacias hidrográficas e do Brasil (largura estreita do PDFs) sobre a magnitude das mudanças em relação ao no final do século (maior PDFs em 2041-70 e 2071-2100). As funções de distribuição mostram um aquecimento progressivo no verão e inverno, nas décadas por vir, com as mudanças cada vez mais intensa no final do século. O PDF mostra as mudanças nos campos de precipitação de verão nas três bacias hidrográficas e nos índices do Brasil que são consistentes com um clima mais seco futuro, especialmente em São Francisco e as bacias Amazônica.

Para as três bacias hidrográficas, são necessários mais estudos sobre as secas ou inundações históricas, para avaliar se seria possível tratar de futuras alterações na precipitação como comparável aos extremos de secas históricas. Para entender as possíveis mudanças na frequência ou na intensidade de episódios de seca e inundações, uma pergunta: pode um evento "extrema" do passado se tornam mais comuns, ou mesmo a norma no futuro?.

Alterações na circulação atmosférica em grande escala são identificadas como uma das principais fontes de incerteza, bem como alterações na precipitação em especial nas regiões andinas. Este estudo abrangeu apenas as incertezas associadas com a escolha do MCR, e não aqueles associados com a GCM de condução e de o cenário de emissões. Os resultados aqui apresentados estão baseados em quatro realizações produzidas por um modelo de condução única. Com o aparecimento recente de estudos em simulações de mudanças climáticas regionais na América do Sul, agora é possível iniciar uma avaliação da robustez das mudanças projetadas. Espera-se que o conjunto de simulações climáticas regionais utilizando vários modelos globais e regionais conduzidas no âmbito da UE-projecto CLARIS LPB vai dar alguma luz sobre esta questão.

Referencias:

- Alves LM, Marengo JA (2009) Assessment of Regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, doi:10.1007/s00704-009-0165-2.
- Assad E, Pinto HS (2008) Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil, EMBRAPA, (Cepagri/Unicamp). São Paulo - Agosto de 2008, www.climaeagricultura.org.br
- Betts AK, Miller MT (1986) A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. *Quart J Roy Meteor Soc* 112: 693-703. doi:10.1002/qj.49711247308
- Black TL, (1994) NMC notes. The new NMC mesoscale Eta Model: description and forecast examples. *Weather Analysis and Forecasting* 9:256–278.
- Bustamante J, Gomes JL, Chou SC, (2006) 5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America. In: 8th Inter Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 2006, Foz do Iguaçu.
- Cabré MF, Solman S, Nuñez M (2010) Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations. *Climatic Change* 98: 449-469, doi: 10.1007/s10584-009-9737-5
- Cavalcanti IFA and Kousky VE (2001) Drought in Brazil during Summer and Fall 2001 and associated atmospheric circulation fields, *Climanalise*, 2(01), 1-10.
- CEDEPLAR and FIOCRUZ (2008) Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste 2000-2050, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Belo Horizonte, MG,
- Ek MB, Mitchell KE, Lin Y, Rogers E, Grummen P, Koren V, Gayno G, Tarpley JD (2003) Implementation of NOAA land surface advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta Model. *J. Geophys Res* 108:8851, doi:10.1029/2002JD003246.
- Chou SC, Bustamante JF, Gomes JL (2005) Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Process Geophys* 12(4):537–555.
- Chou SC, Marengo JA, Lyra A, Sueiro G, Pesquero J, Alves LM, Kay G, Betts R, Chagas D, Gomes JL, Bustamante J, Tavares P (2010) Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs, submitted to *Climate Dynamics*.
- Collins M, Tett SFB, and Cooper C (2001) The internal climate variability of a HadCM3, a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Clim. Dyn.*, 17, 61–81, doi:10.1007/s003820000094.
- Collins M, Booth BB, Harris GR, Murphy JM, Sexton DHM, and Webb MJ (2006), Towards quantifying uncertainty in transient climate change, *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-006-0121-0.
- Covey C, AchutaRao KM, Cubasch U, Jones P, Lambert SJ, Mann ME, Phillips TJ and Taylor KE (2003) An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project. *Global Planet. Change* 37:103-133.
- Cox P, Betts R, Jones C, Spall S, Totterdell T (2000) Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* **408**, 184-187.

- Cox P, Harris P, Huntingford C, Betts R, Collins M, Jones C, Jupp T, Marengo JA, and Nobre CA (2008) Increase risk of Amazonian Drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* **453**, 212 – 216
- Christensen JH, Hewitson B, Busuioc A, Chen A, Gao X, Held I, Jones R, Kolli RK, Kwon W-T, Laprise R, Magaña Rueda V, Mearns L, Menéndez CG, Räisänen J, Rinke A, Sarr A, Whetton P (2007a) Regional Climate Projections. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Chapter 11, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York
- Ek MB, Mitchell KE, Lin Y, Rogers E, Grummen P, Koren V, Gayno G, Tarpley JD (2003) Implementation of NOAA land surface advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta Model. *J. Geophys Res* 108:8851, doi:10.1029/2002JD003246.
- Fels SB, Schwarzkopf MD (1975) The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations. *J Atmos Sci* 32:1475-1488.
- Gao X, Pal JS, Giorgi F (2006) Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophys Res Lett* 33:L03706. doi:10.1029/2005GL024954
- Garreaud R, Falvey M (2008) The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. *Int J Climatol* 29:543-554. doi: 10.1002/joc.1716
- Gedney N, Cox P, Douville H, Polcher J, and Valdes P (2000), Characterizing land surface schemes to understand their responses to climate change, *J. Clim.*, 13, 3066–3079, doi:10.1175/1520-0442(2000)013<3066:CGLSST>2.0.CO;2.
- Giorgi F, Bi X, Pal JS (2004) Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. I: Present-day climate (1961-1990). *Clim Dyn* 22:733-756. doi:10.1007/s00382-004-0467-0
- Good P, Lowe J, Collins M, and Moufouma-Okia W (2008), An objective tropical Atlantic sea surface temperature gradient index for studies of South Amazon dry-season climate variability and change, *Philos. Trans. R. Soc., Ser. B*, 363, 1761–1766.
- Gordon C et al. (2000), Simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Clim. Dyn.*, 16, 147–168.
- Haylock MR, Peterson T, Abreu de Sousa JR, Alves LM, Ambrizzi T, Baez J, Barbosa de Brito JI, Barros VR, Berlato MA, Bidegain M, Coronel G, Corradi V, Grimm AM, dos Anjos RJ, Karoly D, Marengo JA, Marino MB, Meira PR, Miranda GC, Molion LCB, Muncunil DF, Nechet D, Ontaneda G, Quintana J, Ramirez E, Rebello E, Rusticucci M, Santos JL, Varillas IT, Villanueva, JG, Vincent L, Yumico M (2006) Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J Clim* 19:1490-1512.
- Harris P, Huntingford C, Cox PM (2008), Amazon Basin climate under global warming: The role of the sea surface temperature, *Philos. Trans. R. Soc., Ser. B*, 363, 1753–1759.

- Hewitt CD, Griggs DJ (2004) Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts. *Eos Trans AGU* 85(52). doi:10.1029/2004EO520005
- Hulme M, Jenkins GJ, Lu X, Turnpenny JR, Mitchell TD, Jones RG, Lowe J, Murphy JM, Hassell D, Boorman P, Macdonald R, Hill S (2002) Climate-Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report. Tyndall Centre for Climate Change Research. School of Environmental Sciences. University of East Anglia, Norwich, UK, p 120
- Janjic ZI (1994) The Step-mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer and Turbulence Closure Schemes, *Mon Wea Rev* 122:927–945.
- Lacis AA, Hansen JE (1974) A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere, *J Atmos Sci* 31:118–133.
- Li W, Fu R, Dickinson RE, (2006), Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4, *J. Geophys. Res.*, 111, D02111, doi:10.1029/2005JD006355.
- Marengo JA, Jones R, Alves LM, Valverde MC (2009a) Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int J Climatol* **15**:2241-2255.
- Marengo JA, Ambrizzi T, Rocha RP, Alves LM, Cuadra SV, Valverde MC, Ferraz SET, Torres RR, Santos DC (2009b) Future change of climate in South America in the late XXI Century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models, *Clim Dyn.* doi 10.1007/s00382-009-0721-6.
- Marengo, J.A., Nobre, C.A., Tomasella, J., Oyama, M.D., De Oliveira, G.S., Oliveira, R., Camargo, H., Alves, L.M., and Brown, I.F. (2008a) The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate* 21, 495-516.
- Marengo, J.A., Nobre, C.A., Tomasella, J., Cardoso, M.F., Oyama, M.D. (2008b) Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transaction of the Royal Society B*, 363, 1773-1778.
- Mearns L (2004) NARCCAP North American Regional Climate Change Assessment Program A Multiple AOGCM and RCM Climate Scenario Project over North America. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA
- Mellor GL, Yamada T (1974) A hierarchy of turbulence closure models for boundary layers. *J Atmos Sci* 31:1791-1806. doi:10.1175/1520-0469(1974)031
- Menéndez C, M de Castro, J-P Boulanger, A D'Onofrio, E Sanchez, A A Sörensson, J Blazquez, A Elizalde, D Jacob, H Le Treut, Z X Li, M N Núñez, N Pessacg, S Pfeiffer, M Rojas, A Rolla, P Samuelsson, S A Solman, C Teichmann (2010) Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America, *Climatic Change* 98:379–403, doi 10.1007/s10584-009-9739-3.
- Mesinger F (1984) A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models, *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 44, 1–4, 195–202.
- Mesinger F, Janjic ZI, Nickovic S, Gavrilov D, Deaven D G (1988) The step-mountain coordinate: Model description description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Mon Wea Rev* 116:1493-1518.
- Milly, P. C. D. et al. (2005) Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438, 347-350.
- Murphy, J. M., D. M. H. Sexton, D. N. Barnett, G. S. Jones, M. J. Webb, M. Collins, and D. A. Stainforth (2004), Quantification of modelling uncertainties in

- a large ensemble of climate change simulations, *Nature*, 430, 768–772, doi:10.1038/nature02771.
- Murphy, J. M. B., B. B. Booth, M. Collins, G. R. Harris, D. M. H. Sexton, and M. J. Webb (2007), A methodology for probabilistic predictions of regional climate change from perturbed physics ensembles, *Philos. Trans. Soc., R., Ser. A*, 365, 1993–2028.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grubler A, Jung TY, Kram T, La Rovere EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner H-H, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (2000) Special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, United Kingdom, p 599.
- Nobre CA, Young AF, Salvidá P, Marengo, JA, Nobre AD, Ales Jr S, da Silva GCM, Lombardo, M (2010) Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. INPE/UNICAMP/USP/IPT/UNESP. Junho 2010, 31 pp.
- Núñez M, Solman S, Cabré M (2006) Mean climate and annual cycle in a regional climate change experiment over Southern South America. II: climate change scenarios (2081–2090). In: *Proceedings of 8 ICSHMO*, 24–28 April 2006. Foz do Iguacu, Brazil, pp 325–331
- Núñez MN, Solman SA, Cabré MF (2008) Regional Climate change experiments over southern South America. II: Climate Change scenarios in the late twenty-first century. *Clim Dyn*. doi 10.1007/s00382-008-0449-8
- Pesquero JF, Chou SC, Nobre CA, Marengo JA (2009) Climate downscaling over South America for 1961–1970 using the Eta Model. *Theor Appl Climatol*. doi: 10.1007/s00704-009-0123-z.
- Pisnichenko IA, Tarasova TA (2009) Climate version of the ETA regional forecast model. Evaluating the consistency between the ETA model and HadAM3P global model. *Theor Appl Climatol*, doi:10.1007/s00704-009-0139-4.
- Pope V, Gallani M, Rowtree P, Stratton R (2000) The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model. *Clim Dyn* 16:123–146.
- da Rocha RP, Morales CA, Cuadra SV, Ambrizzi T (2009) Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model version 3 simulations *J Geophys Res* 114:D10108, doi: doi:10.1029/2008JD010212.
- Schaeffer R, Szklo AS, Lucena AF, De Souza RR, Borba BM, Costa I, Pereira Júnior A, da Cunha SHF, (2008) Mudanças Climáticas e Segurança Energética no Brasil. COPPE/UFRJ, RJ, 2008. www.ppe.ufrj.br
- Stainforth DA, et al. (2005), Uncertainty in projections of the climate response to rising levels of greenhouse gases, *Nature*, 433, 403–406, doi:10.1038/nature03301.
- Solman SA, Núñez MN (1999) Local estimates of global climate change: a statistical downscaling approach. *Int J Climatol* 19:835–861. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(19990630)19:8
- Solman SA, Núñez MN, Cabré MF (2008) Regional climate change experiments over southern South America. I: present climate. *Clim Dyn* 30:533–552. doi:10.1007/s00382-007-0304-3
- Sörensson A, Menéndez CG, Samuelsson P, Willén U, Hansson U (2010a) Soil-precipitation feedbacks during the South American Monsoon as simulated by a

- regional climate model, *Climatic Change* (2010) 98:429–447, DOI 10.1007/s10584-009-9740-x
- Sorensen A, Menendez CG, Ruscica R, Alexander P, Samuelsson P, and Willen U (2010b) Projected precipitation changes in South America: a dynamical downscaling within CLARIS, *Meteorologische Zeitschrift* 19(4), 347-355.
- Sorensen A, Menendez CG (2010) Summer soil–precipitation coupling in South America, *Tellus*, DOI: 10.1111/j.1600-0870.2010.00468.x
- Trivedi MR, Mitchell AW, Mardas N, Parker C, Watson JE, Nobre AD (2009) REDD and PINC: A new policy framework to fund tropical forests as global ‘eco-utilities’, IOP *Conf.Series:EarthandEnvironmentalScience* **8** 012005doi:10.1088/1755-1315/8/1/012005
- Urrutia R, Vuille M (2009) Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century, *J Geophys Res* 114: D2. D02108.
- Zeng N, Yoon Y, Marengo JA, Subramaniam A, Nobre CA, and Mariotti N. (2008) Causes and impacts of the 2005 Amazon drought, *Environmental Research* **3**, 1-6.
- Zhao Q, Black TL, Baldwin ME (1997) Implementation of the cloud prediction scheme in the Eta Model at NCEP. *Weather and Forecasting*, 12, 697-712.

Legendas das figuras:

Fig. 1. Sub-regiões utilizadas para uma análise mais detalhada do ciclo anual, as tendências e alterações de precipitação e temperatura do ar: Amazônica, São Francisco, as bacias do rio Paraná e da área do Brasil.

Fig. 2. Os modelos de campos médios e mudanças no Mar de Nível de Pressão (hPa, af), a circulação do nível 850 hPa mais baixa (m / s) e 200 hPa circulação de nível superior (m / s). As alterações são em relação ao presente (de regulação 1961-1990) sobre a América do Sul para o cenário A1B, no verão austral (DJF) e inverno escalas (JJA) tempo. Séries temporais consideradas são 2011-40, 2041-70 e 2071-2100. Af painéis mostram as mudanças previstas média PNM (linhas) e projetado (em cores, escala de cores para a direita do painel). Painéis (g-r), mostram a projeção de 850 hPa e 200 hPa significam campos de circulação as projeções (simplifica) e as alterações previstas (em cores, escala de cores entre painéis).

Fig. 3. Série histórica da SLP simulado para o Eta do CPTEC para 2011-2100. Os valores são para essas regiões: (a) Subtropical do Pacífico alta, (b) Baixa Térmica do Chaco, (c) região amazônica, (d) Alta Subtropical do Atlântico. As unidades estão em hPa. Os membros individuais são mostrados em cores diferentes em cada painel.

Fig. 4. Os modelos de mudanças na precipitação (% af), PE (% gl) e temperatura do ar (oC, mr). Circulação em 850 hPa baixo (m / s, g-l, as mudanças são em relação ao presente (1961-1990 corridas) na América do Sul para o cenário A1B, no verão austral (DJF) e inverno escalas (JJA) tempo. frações de tempo considerado são 2011-40, 2041-70 e 2071-2100. painéis mostram al as mudanças previstas na chuva e PE (em cores, escala de cores entre painéis). painéis escala de cores (gr) mostram as alterações previstas na temperatura (em cores, entre os painéis).

Fig. 5. Ciclo anual da temperatura do ar (oC): clima atual é executado (linha preta), e as projeções para o cenário A1B futuro por quatro membros, para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 para o Amazonas, Paraná, São Francisco e do Brasil. Alterações na amplitude do ciclo anual atingir significância estatística em 95% usando o teste t de Student. Os membros são identificadas no primeiro painel.

Fig. 6. Como na Fig. 5, mas para a precipitação, em mm / d.

Fig. 7. Série temporal de chuva e anomalias de temperatura do ar para 2011-2100 para as regiões de estudo, em relação ao clima atual 1961-90 executar. Execuções individuais são identificados por cores. As linhas foram suavizadas usando uma média de 20 anos em movimento.

Fig. 8. Diagrama de dispersão das alterações de precipitação e temperatura para cada região sob análise. As cores representam os intervalos de tempo diferentes, e as barras representam o desvio padrão. As alterações são em relação ao clima atual 1961-90 corre

Fig. 9. As mudanças climáticas projetadas no Brasil e na Amazônia, São Francisco e das bacias hidrográficas do Paraná por 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 em relação ao período de 1961-1990 associado com diferentes níveis de aquecimento global e as concentrações de CO₂. Direção das mudanças na precipitação (%) é indicado por setas, e ao aquecimento regional também é mostrado na figura.

Fig. 10. Função Densidade de simulado (1961-1990, o clima atual é executado) e projetado temperatura média no Brasil e as três bacias hidrográficas, para o verão (DJF) e inverno (JJA). Cada linha colorida representa a fatia de tempo considerado.

Fig. 11. Como na Fig. 10, mas para a precipitação (mm / d)

Figure 1



Figura 1

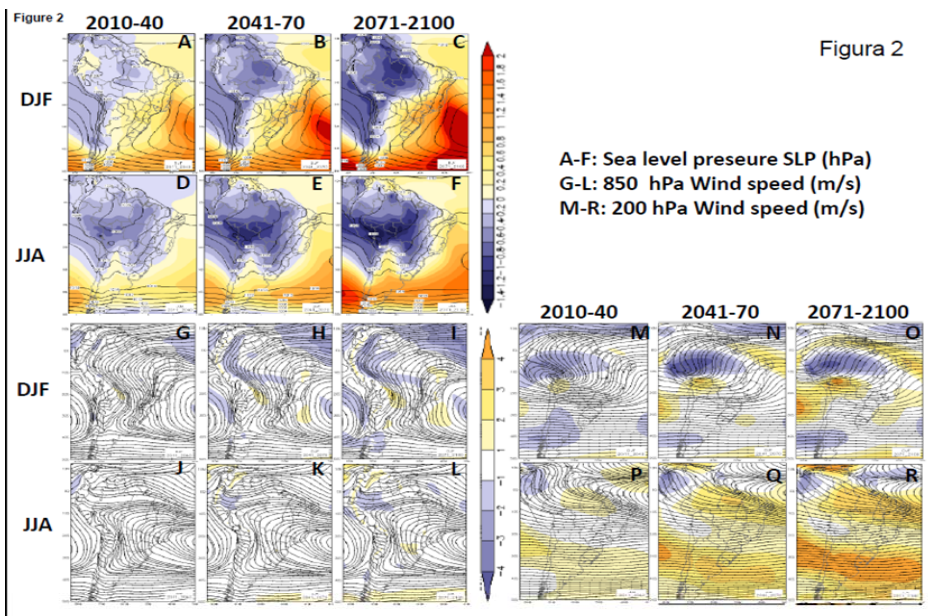


Figure 3

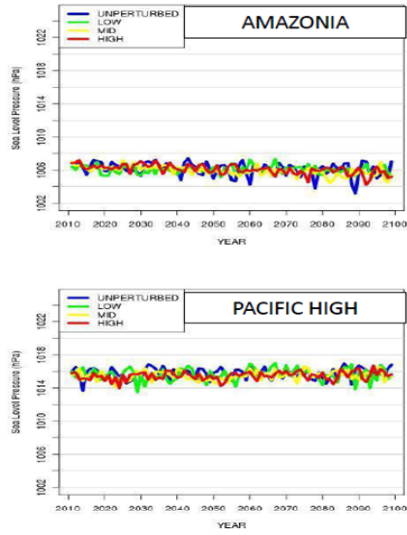
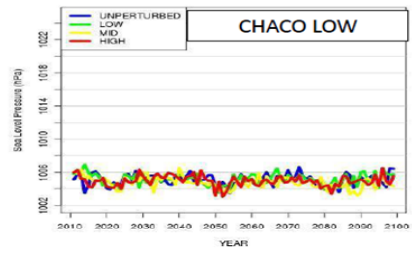
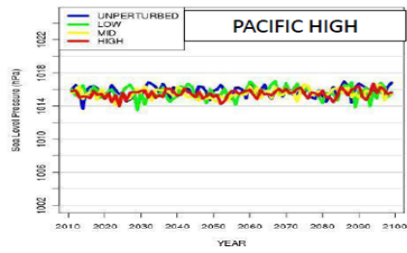
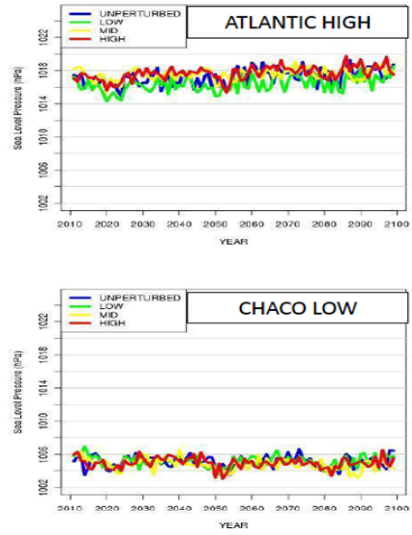


Figura 3



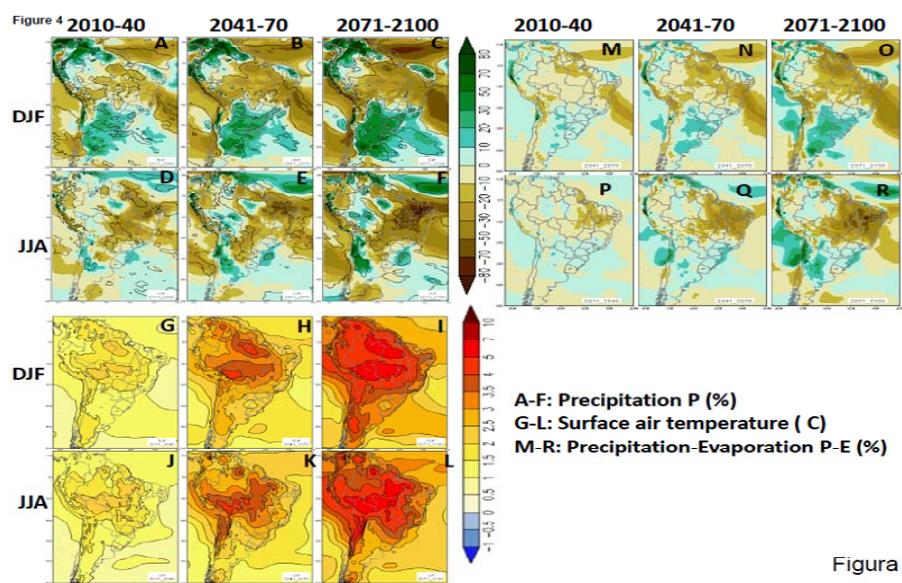


Figura 4

Figure 5

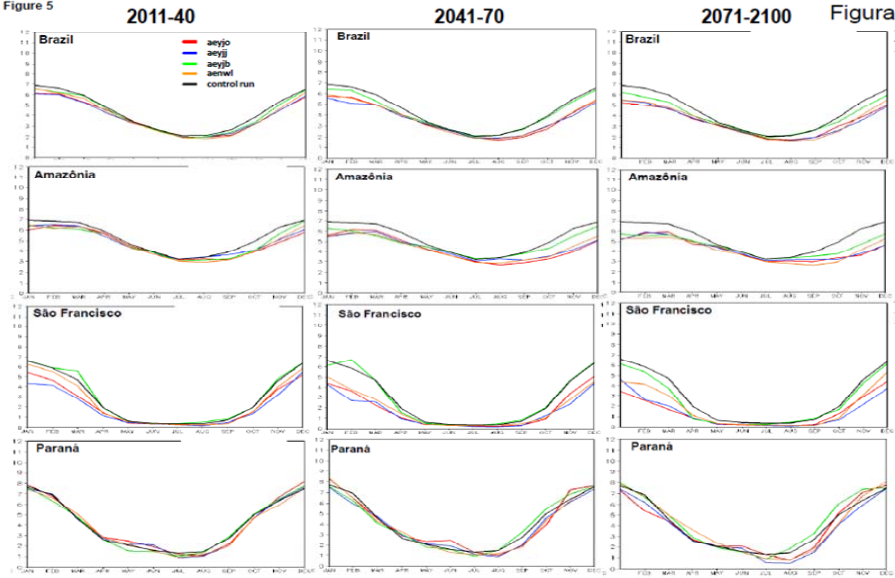


Figure 6

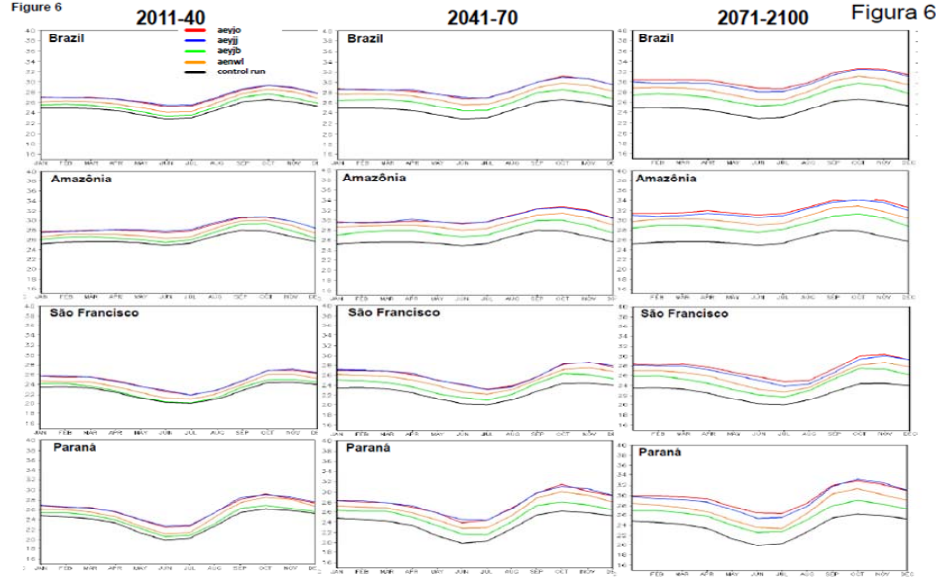


Figura 6

Figure 7

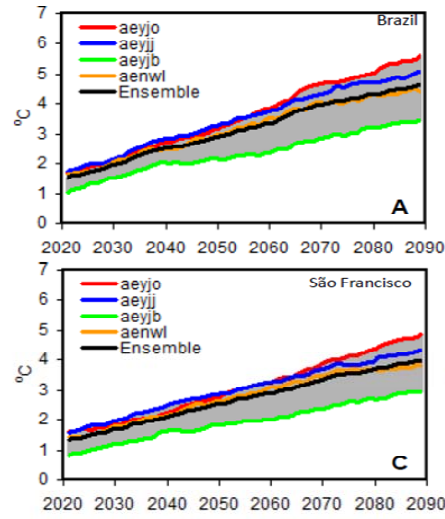


Figura 7

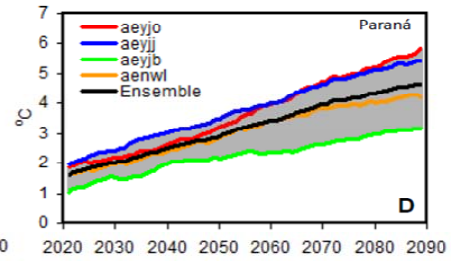
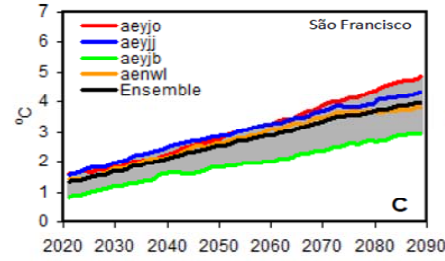
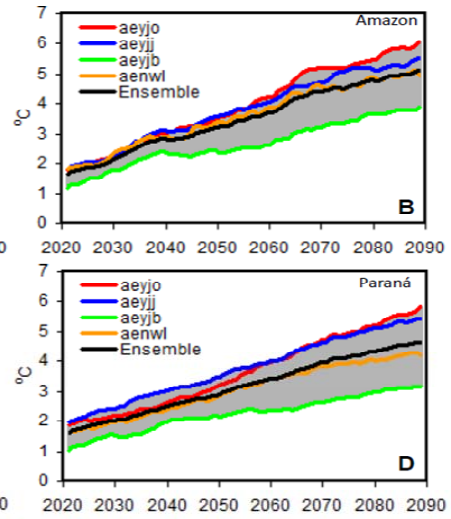


Figura 7

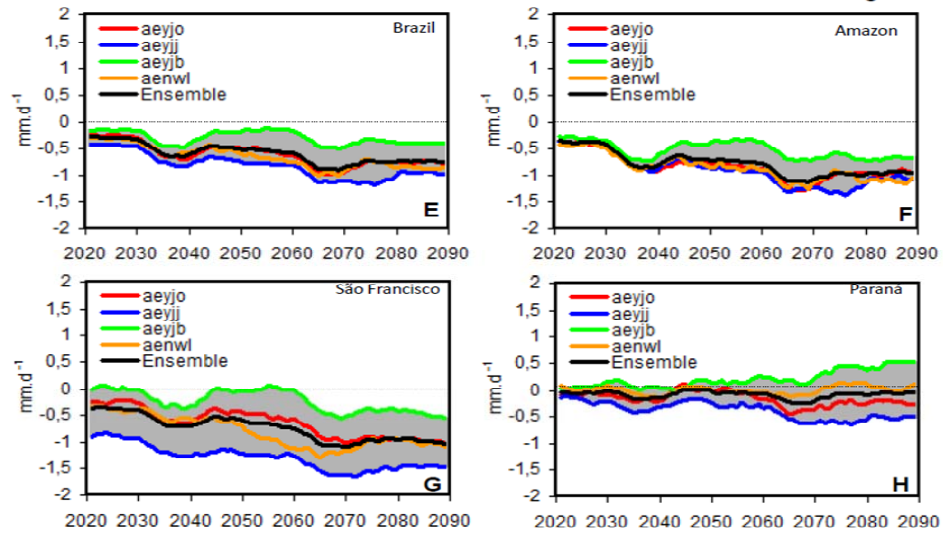
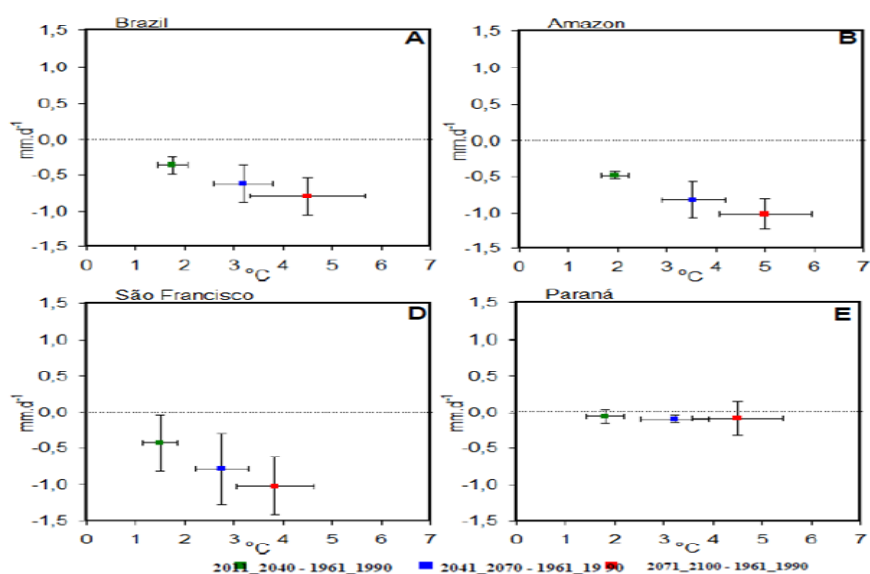


Figure 8

Figura 8



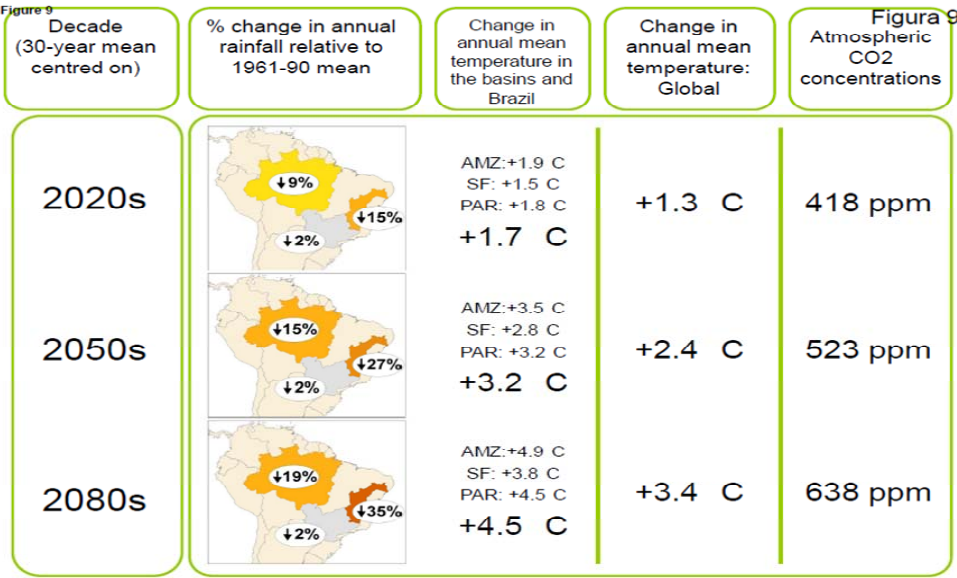


Figure 10

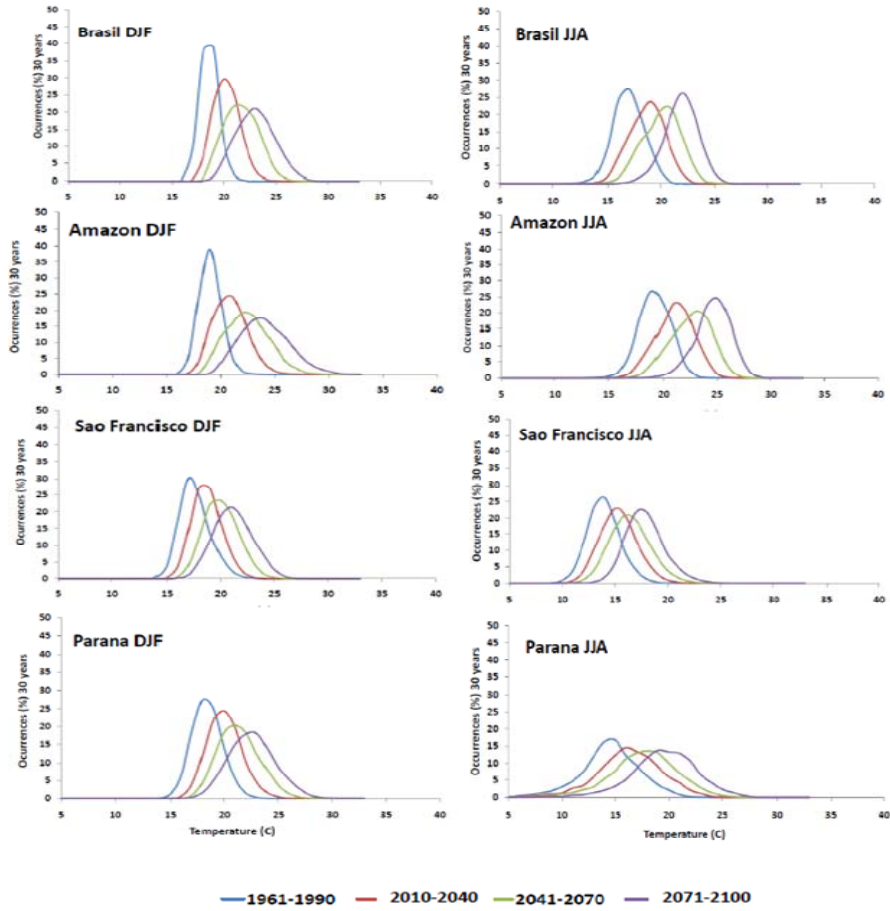
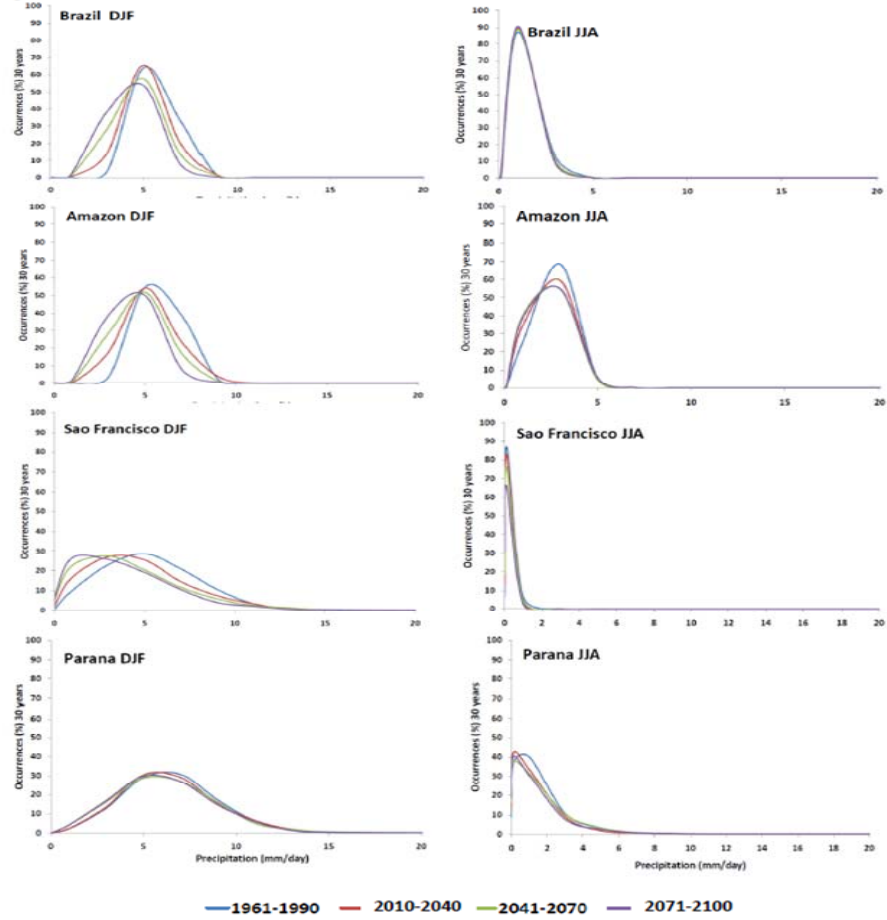


Figure 11



ANEXO IV

Compilação dos Resultados de Temperatura Forçados pelos 3 Cenários do HadCM3 para o Período de 2011- 2100

Dados e Metodologia

2.1 Dados

2.1.1 HadCM3

O HadCM3 utiliza-se de um calendário hipotético, no qual, cada ano possui 12 meses com 30 dias cada mês. O nome dos arquivos de saída dos modelos HadCM3 fazem uso do calendário de 360 dias/ano e com intervalos de 6 horas. As variáveis utilizadas são umidade específica, temperatura potencial, pressão à superfície e vento horizontal. O modelo tem resolução de $2,5^\circ$ na latitude por $3,75^\circ$ na longitude e é comparável à resolução de um modelo espectral T42. Além disto, é hidrostático, em ponto de grade, com grade Arakawa-B e coordenada vertical de pressão híbrida de 19 níveis. A componente oceânica tem 20 níveis e resolução horizontal de $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ na latitude e longitude, respectivamente. O esquema de precipitação é descrito por Sênior e Mitchell (1993) com a taxa de evaporação da precipitação descrito por Gregory (1995). A precipitação de larga escala e o esquema de nuvens está formulado em termos de uma variável de água de nuvem explícita seguindo Smith (1990). O esquema de radiação possui 6 e 8 bandas espectrais no comprimento de onda curta e longa, respectivamente. O efeito radiativo dos gases estufa menores tais como o CO_2 , vapor de água e O_3 estão explicitamente representados pelo esquema de (Edwards e Slingo, 1996). Uma simples parametrização de aerossol está também incluída (Cusack et al., 1998). Normalmente, os modelos de simulação de mudanças climáticas não calculam a transferência radiativa para cada um dos gases de efeito estufa, mas fazem isto somente para o CO_2 , ou seja, convertem outros gases como o metano em equivalentes de CO_2 . O HadCM3 é um Modelo Climático Global Acoplado Oceano-Atmosfera (MCGA) com uma climatologia estável, controlada e não usa o fluxo de ajuste.

2.1.2 Eta

O modelo regional Eta foi desenvolvido na Universidade de Belgrado (Mesinger et al., 1988), foi utilizado operacionalmente no NCEP (Black, 1994) e, atualmente, é usado no CPTEC (Chou et al. 2000) na previsão de tempo. Tal modelo foi modificado para simulações climáticas (Bustamante et al. 2002) e foi utilizado anteriormente em estudos de previsão sazonal sobre a América do Sul (Bustamante et al., 2006; Alves et al., 2002; Chou et al., 2005) apresentando bons resultados, isto é, mais próximos das observações do que o modelo global T062, usado como condições iniciais e de contorno.

O esquema do cálculo de radiação de onda longa baseia-se no modelo de Fels e Schwarzkopf (1975), enquanto a radiação de onda curta segue o modelo de Lacis e Hansen (1974). Os dois esquemas são chamados a cada duas horas de integração. As tendências de temperatura da atmosfera associadas aos efeitos radiativos são aplicadas após cada passo de tempo. A cobertura de nuvens estratiformes e cumuliformes é diagnosticada com base na umidade relativa e na taxa de precipitação convectiva do modelo. As concentrações de CO_2 e O_3 na atmosfera são climatológicas, porém a de CO_2 é alterada e comentada a seguir no próximo capítulo. O modelo Eta/Clim usa um esquema de convecção cumulus desenvolvido por Betts e Miller (1986). Esta

parametrização trata tanto a convecção rasa (não precipitante) quanto a profunda (precipitante). Este esquema é fundamentado no ajuste dos perfis de temperatura e umidade específica termodinamicamente instáveis na direção de um perfil de referência, com um tempo de relaxação prescrito.

2.1.2 Configurações, Parametrizações e Alterações no Código

A grade horizontal do modelo é a grade E de Arakawa, mas na projeção de uma grade regular ela tem resolução de 40 km na latitude e longitude. Neste trabalho são utilizados 38 níveis na vertical. As condições de contorno situam-se sobre as longitudes -83°W e $-25,8^{\circ}\text{W}$ e sobre as latitudes $-50,2^{\circ}\text{W}$ e $-12,2^{\circ}\text{W}$. Estas bordas são colocadas distantes, o suficiente, para uma diminuição dos efeitos das bordas sobre a região de análise que é a Região da ZCAS. Além disto, mais de 90% da região das bordas localiza-se sobre os oceanos Pacífico e Atlântico (Mearns et al., 2003). As condições iniciais e as condições de contorno são provenientes do modelo HadCM3 e podem variar a cada 6 horas (temperatura e vento, por exemplo), a cada mês (TSM) ou até a cada década (CO_2). O modelo Eta lê o arquivo de TSM no início da integração e o mantém fixo durante todo o período da integração, porém o modelo HadCM3 modifica a TSM mensalmente. Desta forma é necessária uma modificação no código do modelo Eta para que a leitura da TSM seja mensal. Uma forma de não haver modificações abruptas no campo de TSM durante a troca dos meses, é o uso também de uma interpolação linear entre dois meses seguidos de forma a se obter 30 diferentes campos entre estes (modificação diária).

As condições inferiores de albedo são climatológicas. A água no solo segue o esquema Chen et al. (1997) possuindo 4 camadas de solo e um mapa com 12 tipos de cobertura vegetal. As reanálises do NCEP foram utilizadas como condições iniciais de superfície com 4 camadas de solo (temperatura e umidade de solo). O modelo HadCM3 utiliza-se de um calendário hipotético no qual, cada ano, tem exatos 360 dias. Sendo assim, o calendário do Eta é alterado com o objetivo de uma equiparação dos ciclos sazonais do modelo regional e dos modelos do HC. Do mesmo modo que a constante de TSM, a constante de CO_2 é lida no começo do programa e depois seu valor permanece inalterado durante todo o período de integração. Desta forma, é necessária mais uma alteração no código do modelo de forma que as simulações do modelo Eta tenham perfis de CO_2 próximas aos modelos do HC. O modelo troca o valor do CO_2 de acordo com os modelos do HC, porém para não haver mudanças bruscas do valor, o mesmo é interpolado linearmente para uma variação anual.

2.2 Metodologia

Os campos de precipitação, temperatura próximo a superfície, vento e corrente de jato em 200 hPa do modelo regional Eta serão analisados através de uma comparação com os dados do Climate Regional Unit (CRU) e com os dados das reanálises do ERA40. Serão comparadas as médias mensais, sazonais, anuais, decadais e de 30 anos destes campos. Será realizada também uma avaliação do ciclo anual dos resultados através da média de área variando com o tempo. São seis áreas usadas neste trabalho e estão

esquematisadas na Figura 1 abaixo. As áreas em ordem alfabética são Amazonas, Brasil, Nordeste, Pantanal, Sudeste e Sul.

O objetivo deste trabalho é fazer uma verificação das diferenças climatológicas do modelo Eta na simulação de temperatura no decorrer dos anos de 2011 a 2099 com relação a 1961-1990.

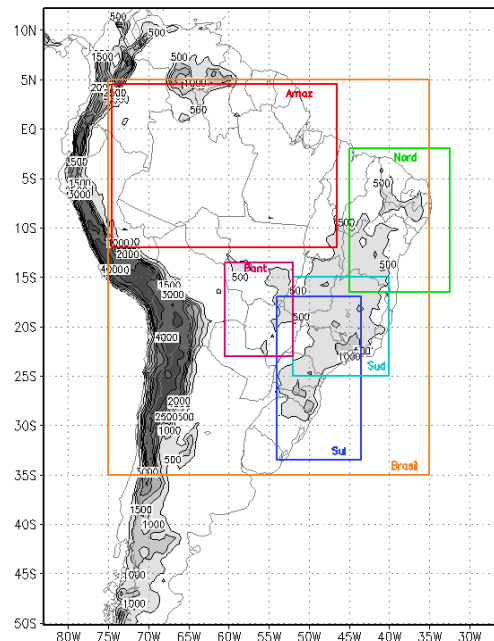
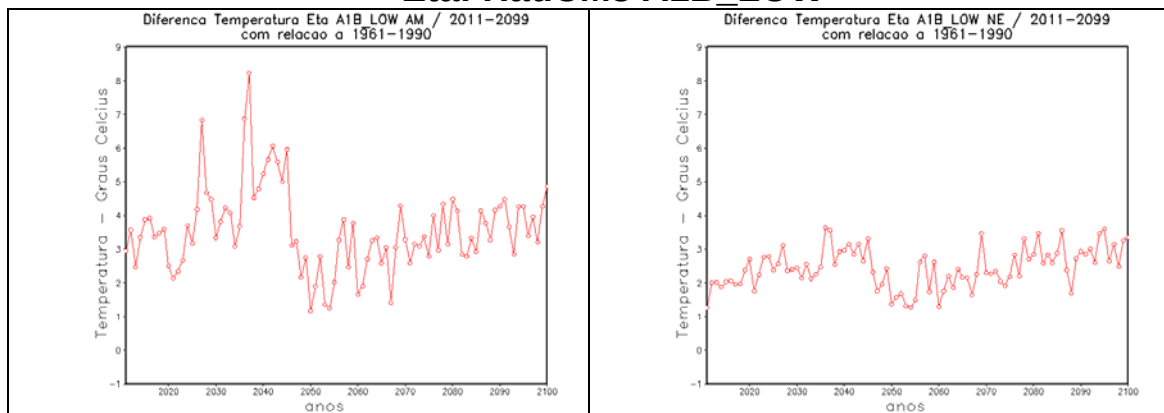


Figura 1 – Território Brasileiro e os seis subdomínios de estudo: Brasil, Nordeste, Amazônia, Sul do Paraná, Sudeste e o Pantanal. Brasil=BR, Amazonas=AM, Nordeste=NE, Pantanal=PN, Sudeste=SE, Sul=SD

Descrição dos Resultados

3.1.1 Anomalia anual de temperatura entre 2011 e 2099 para o cenário A1B LOW, MID e HIGH

Eta: HadCM3 A1B_LOW



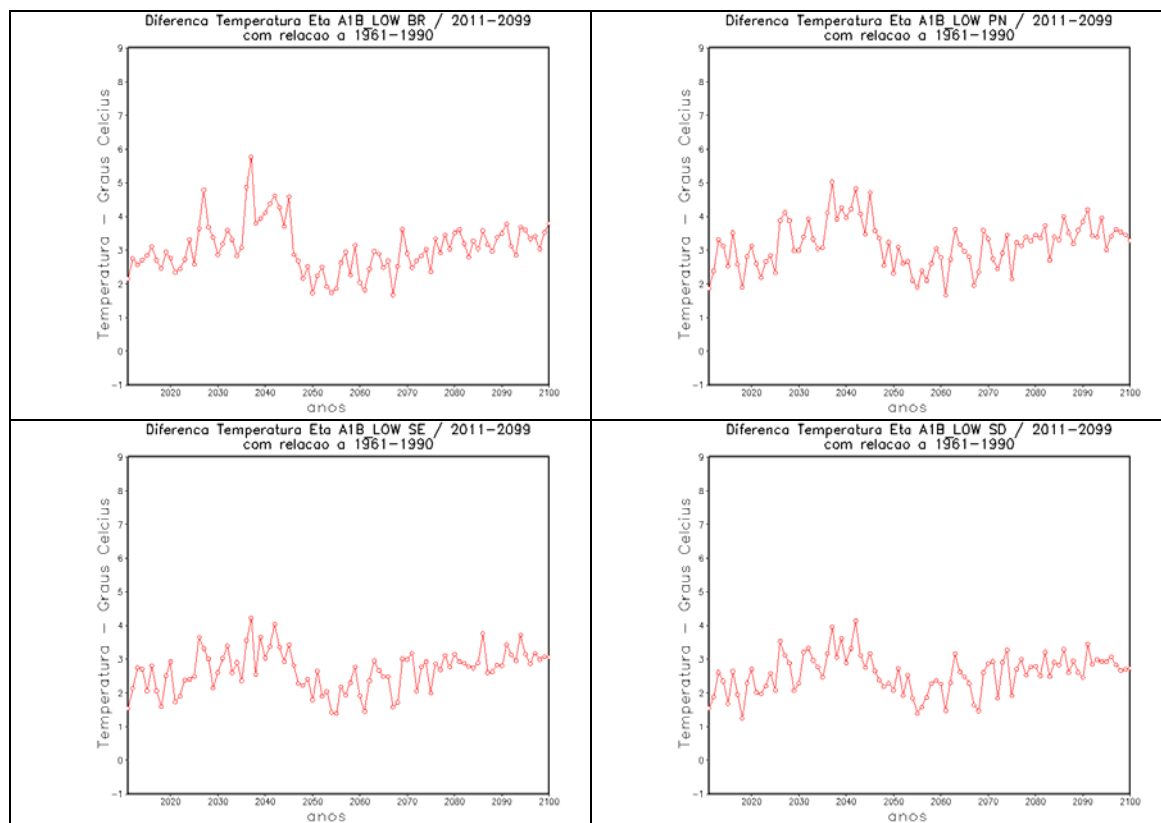
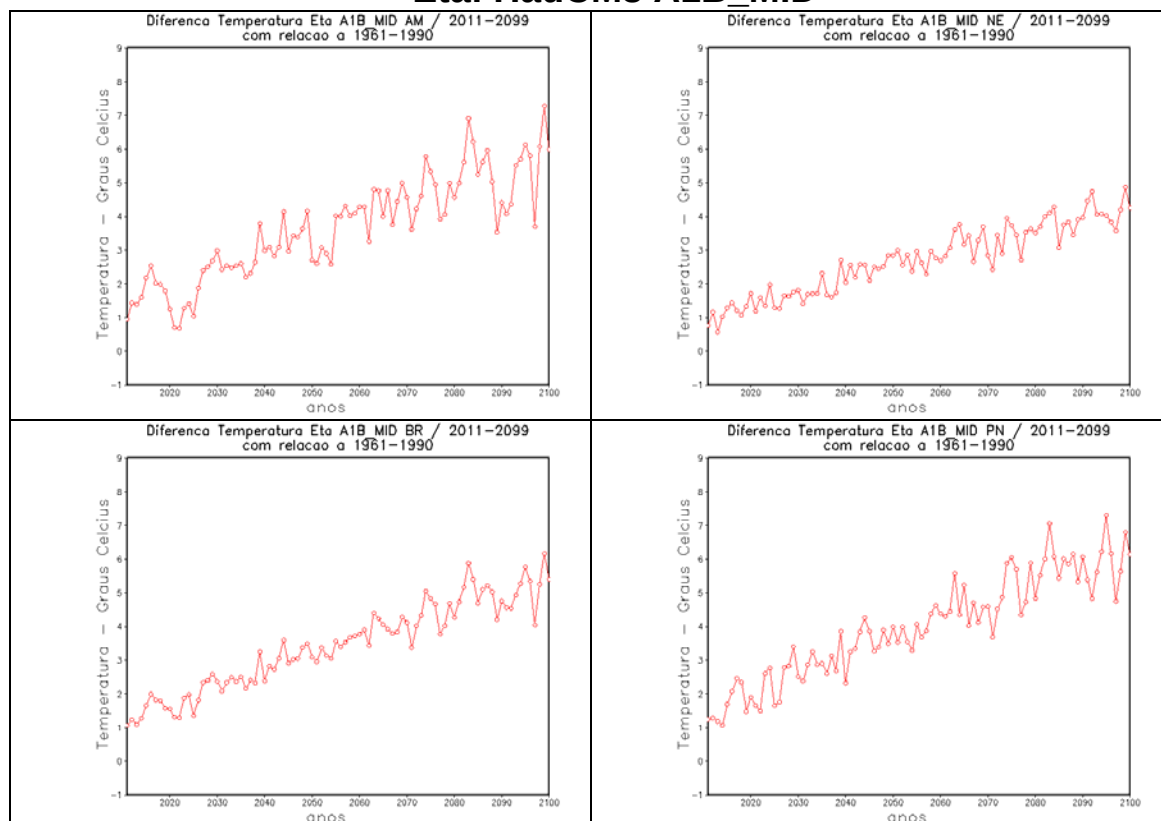


Figura 2: Diferença de Temperatura projetada pelo Modelo Eta usando o cenário A1B LOW do HadCM3 de 2011-2099 com relação aos anos de 1961-1990. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_MID



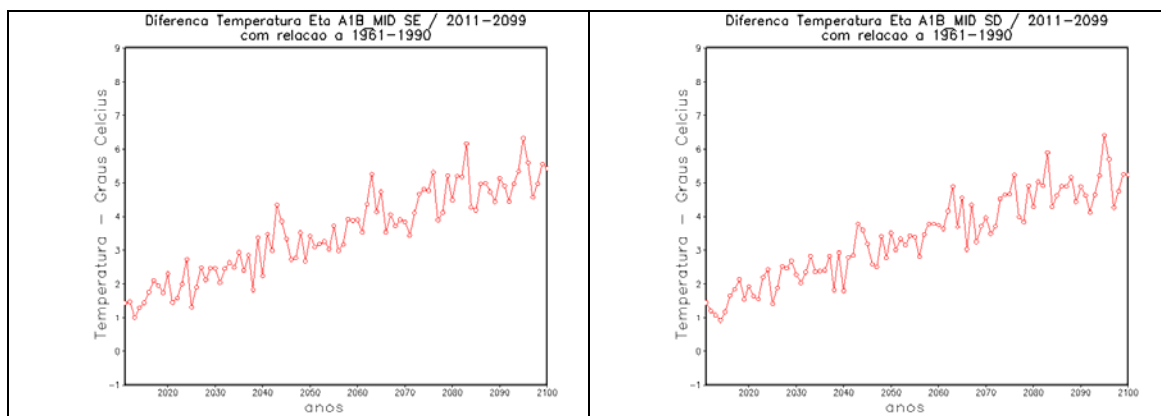
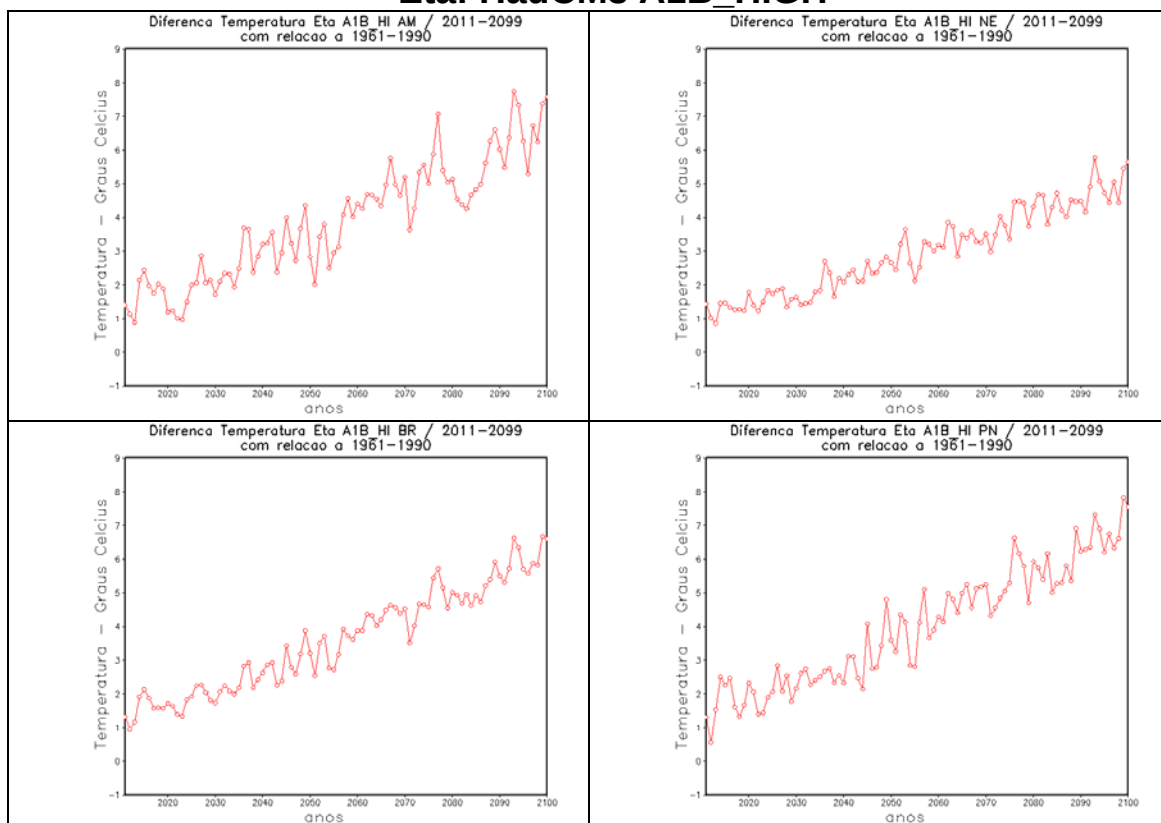


Figura 3: Diferença de Temperatura projetada pelo Modelo Eta usando o cenário A1B MID do HadCM3 de 2011-2099 com relação aos anos de 1961-1990. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_HIGH



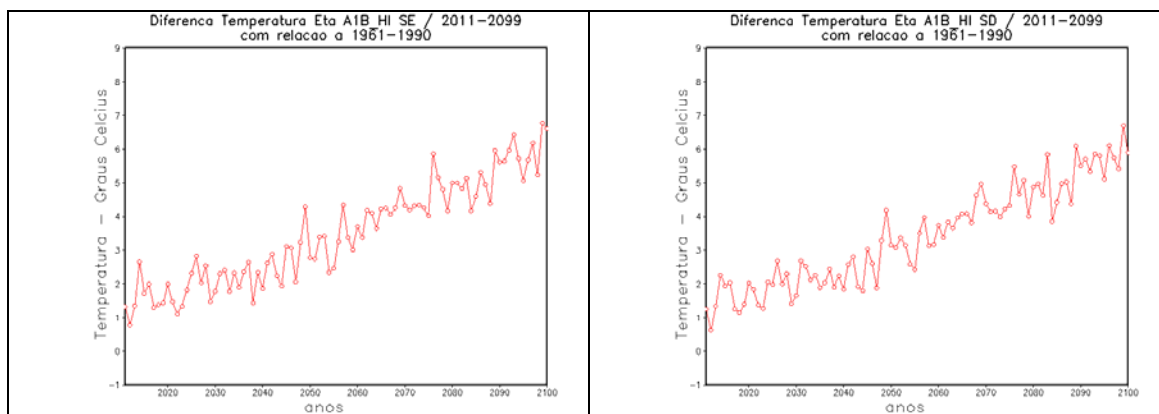
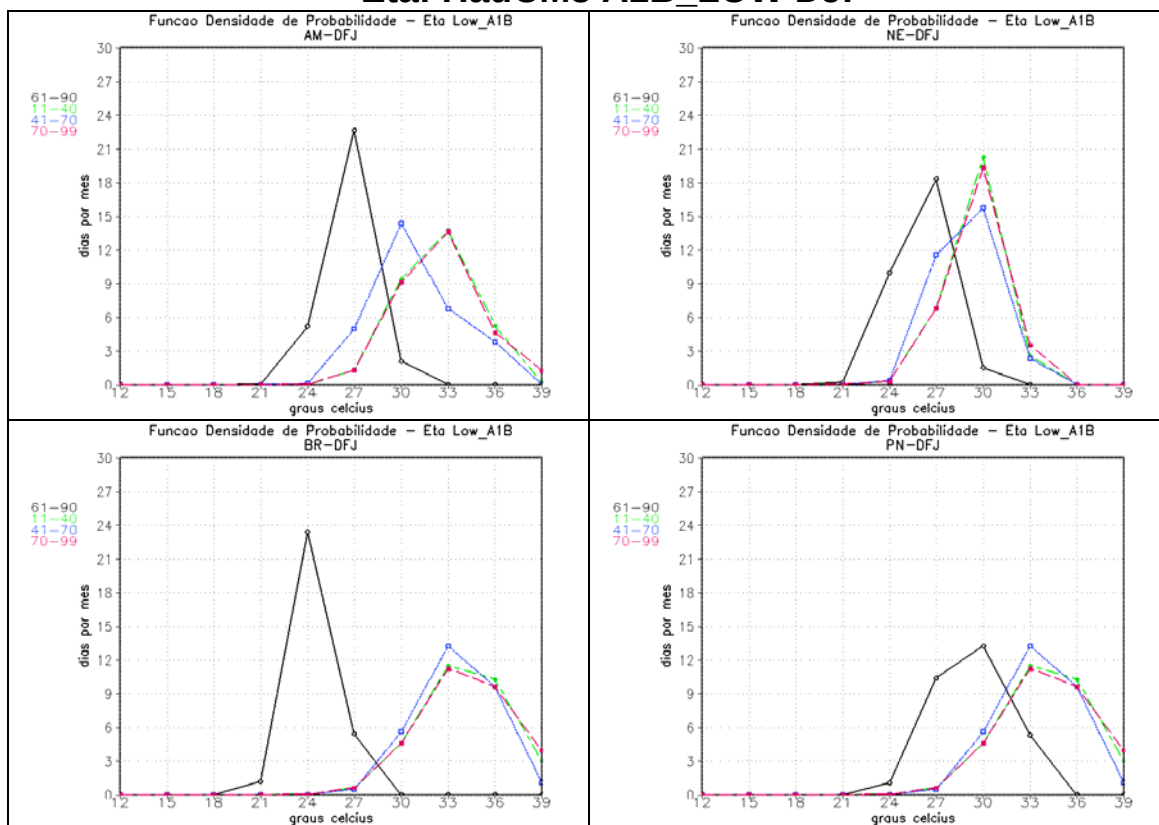


Figura 4: Diferença de Temperatura projetada pelo Modelo Eta usando o cenário A1B HIGH do HadCM3 de 2011-2099 com relação aos anos de 1961-1990. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

3.1.2 Função Densidade de Probabilidade Sazonal da Temperatura para o cenário A1B LOW, MID e HIGH

Eta: HadCM3 A1B_LOW DJF



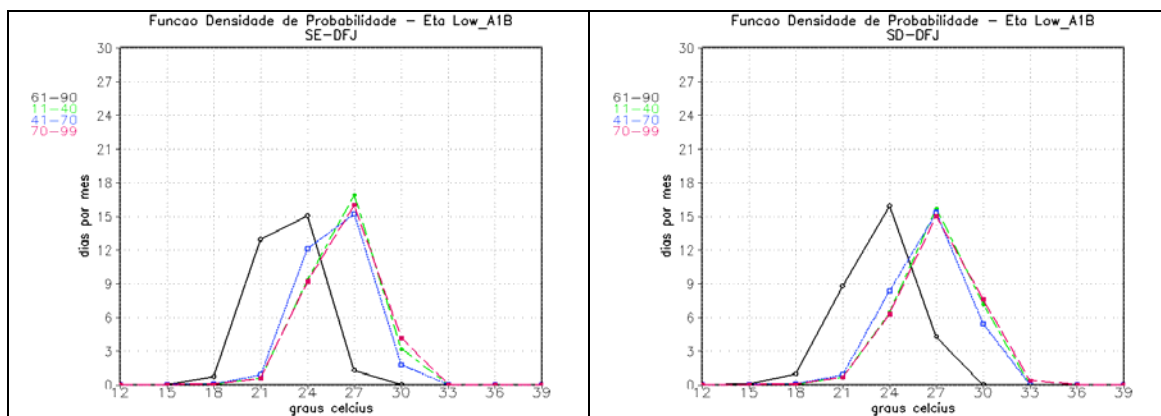
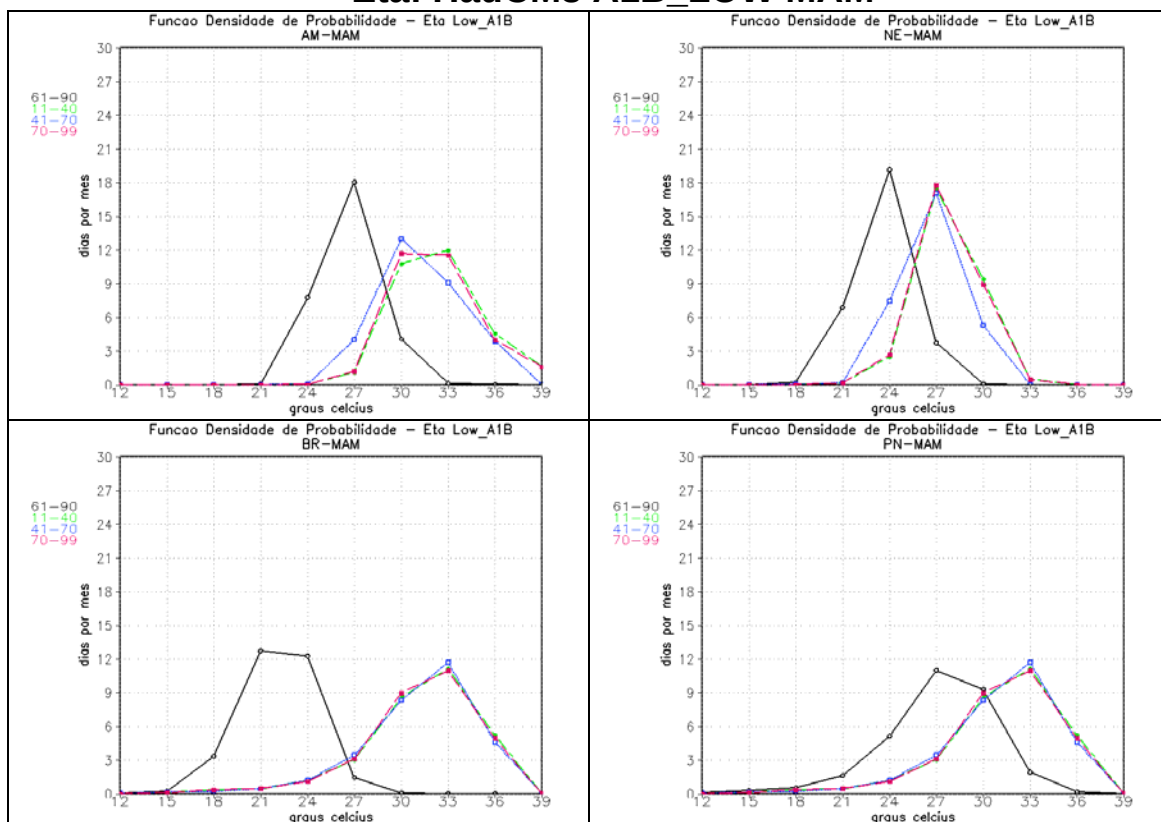


Figura 5: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em DJF projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B LOW para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_LOW MAM



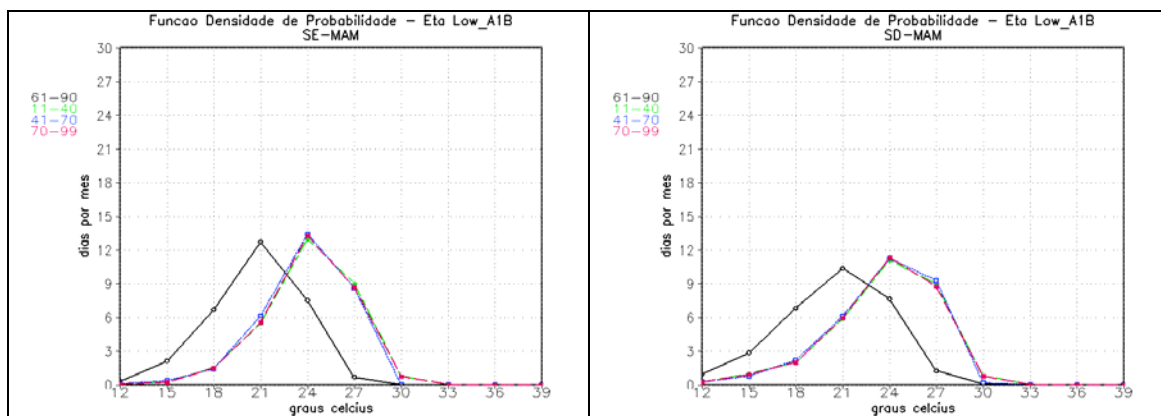
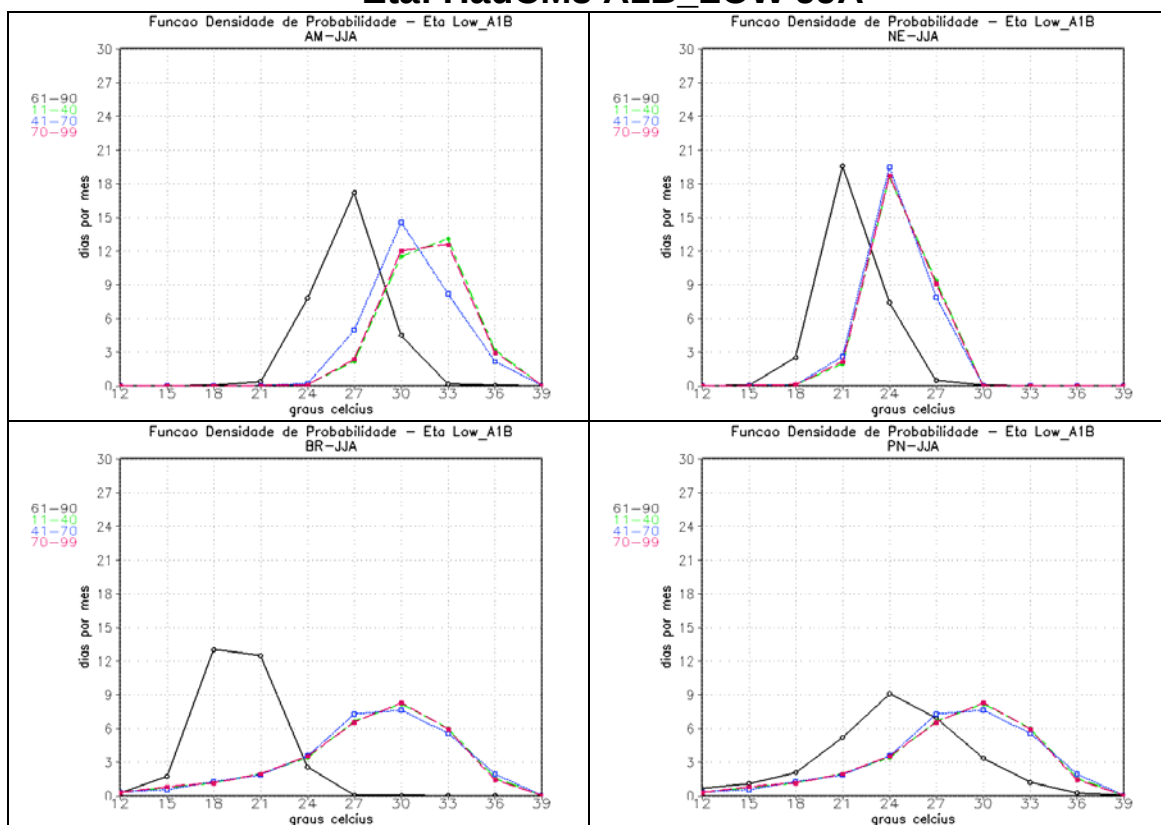


Figura 6: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em MAM projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B LOW para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_LOW JJA



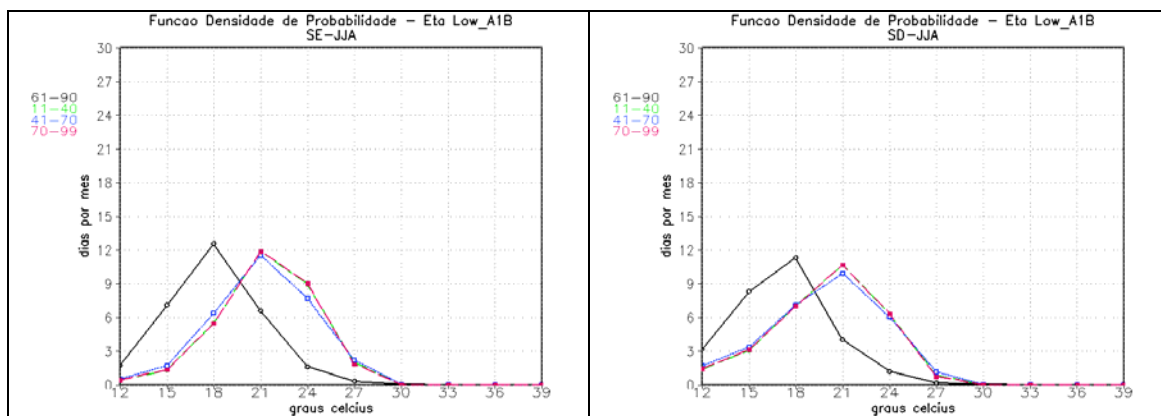
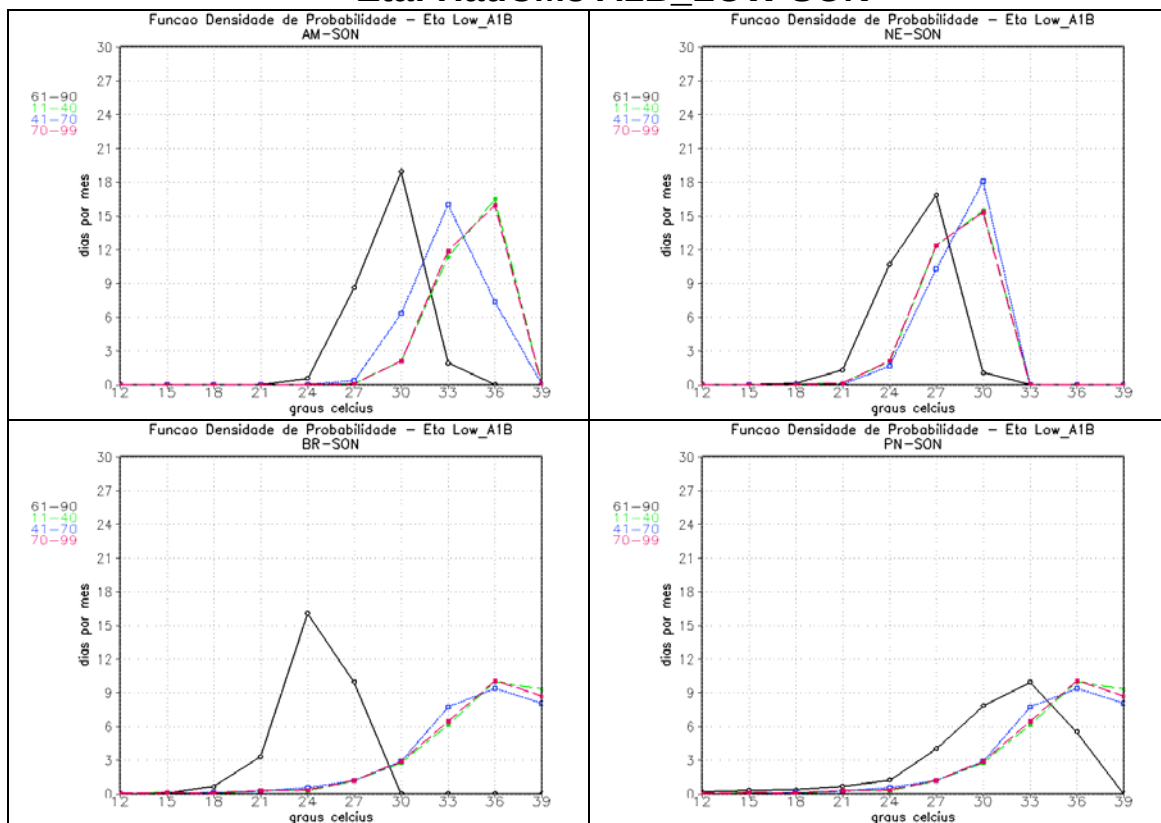


Figura 7: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em JJA projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B LOW para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B LOW SON



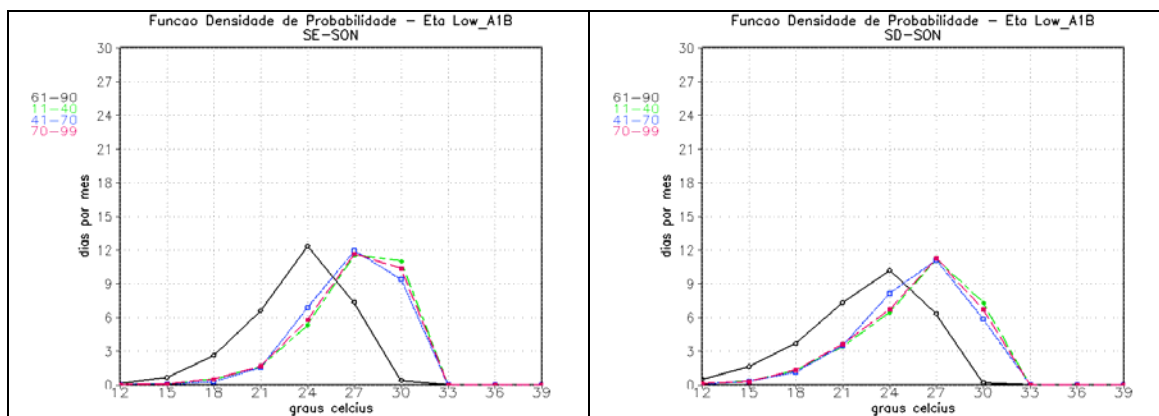
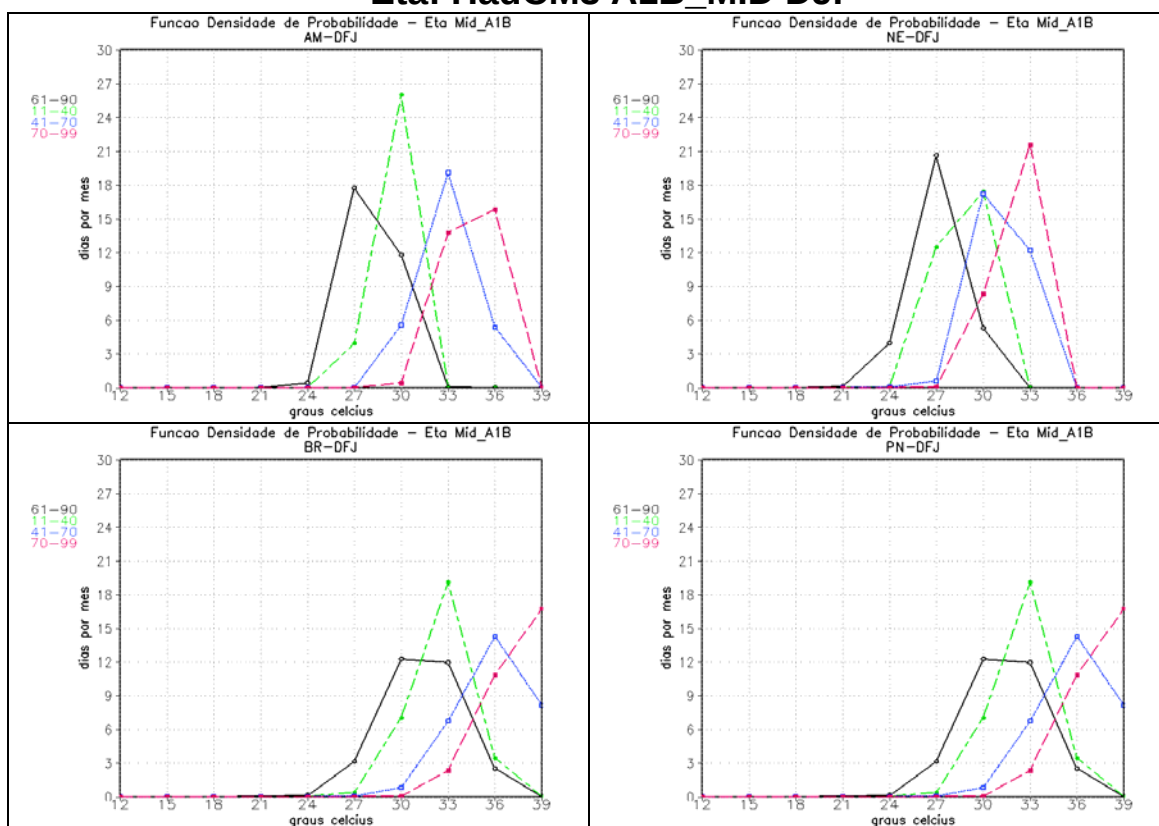


Figura 8: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em SON projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B LOW para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_MID DJF



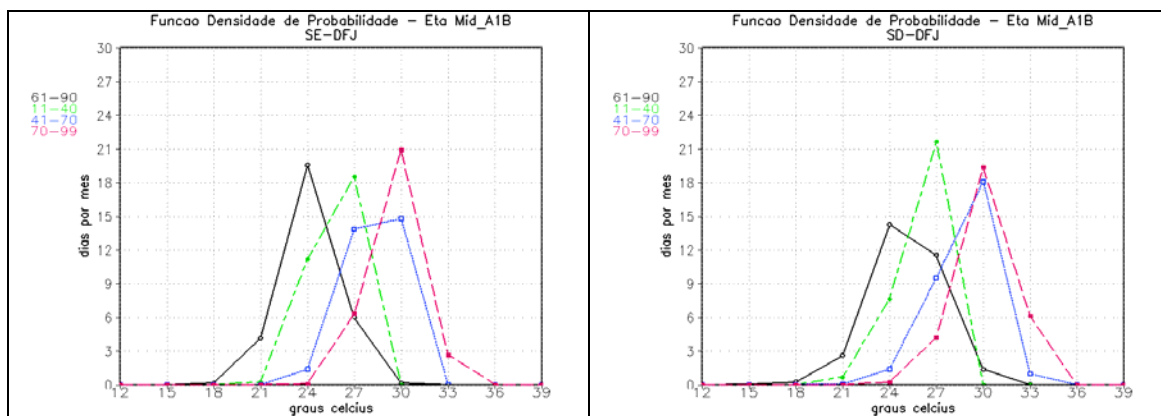
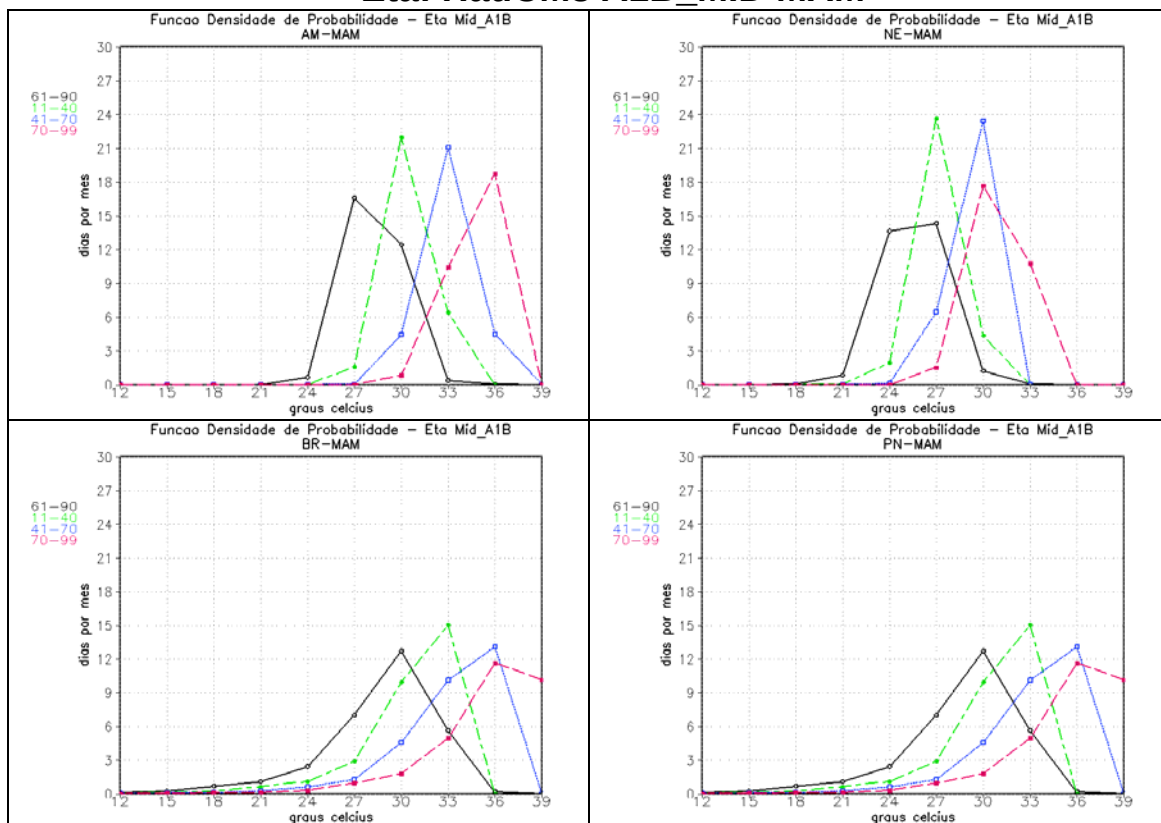


Figura 9: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em DJF projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B MID para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste, SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_MID MAM



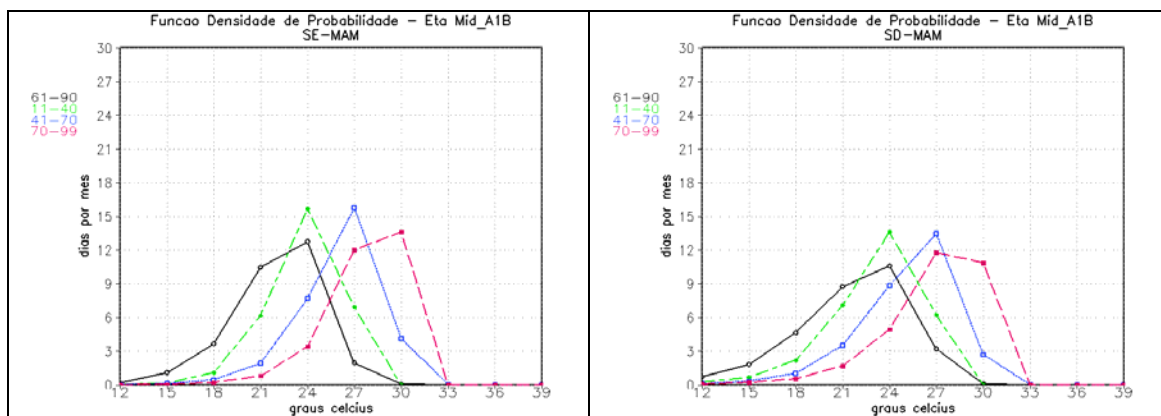
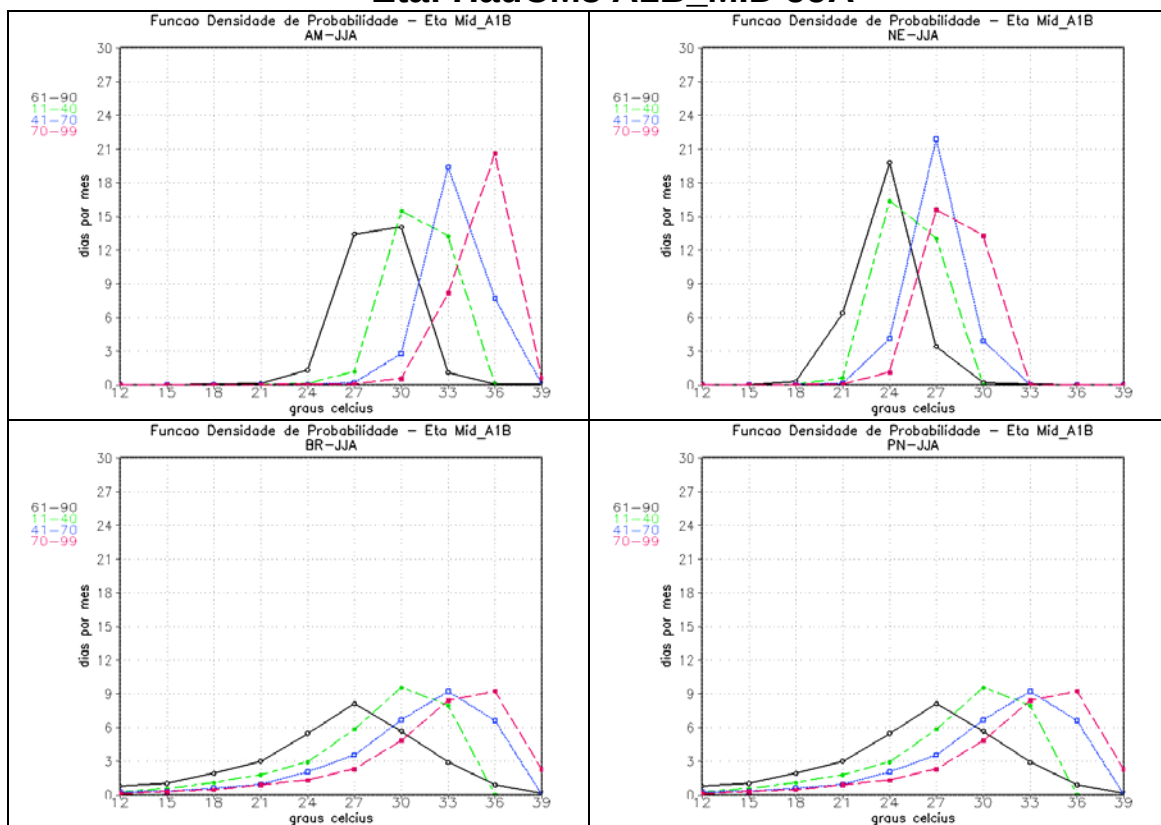


Figura 10: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em MAM projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B MID para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_MID JJA



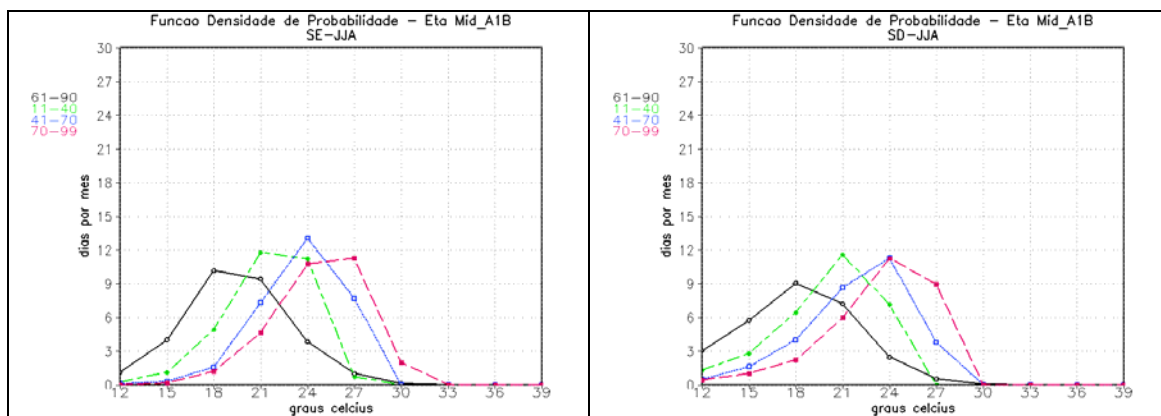
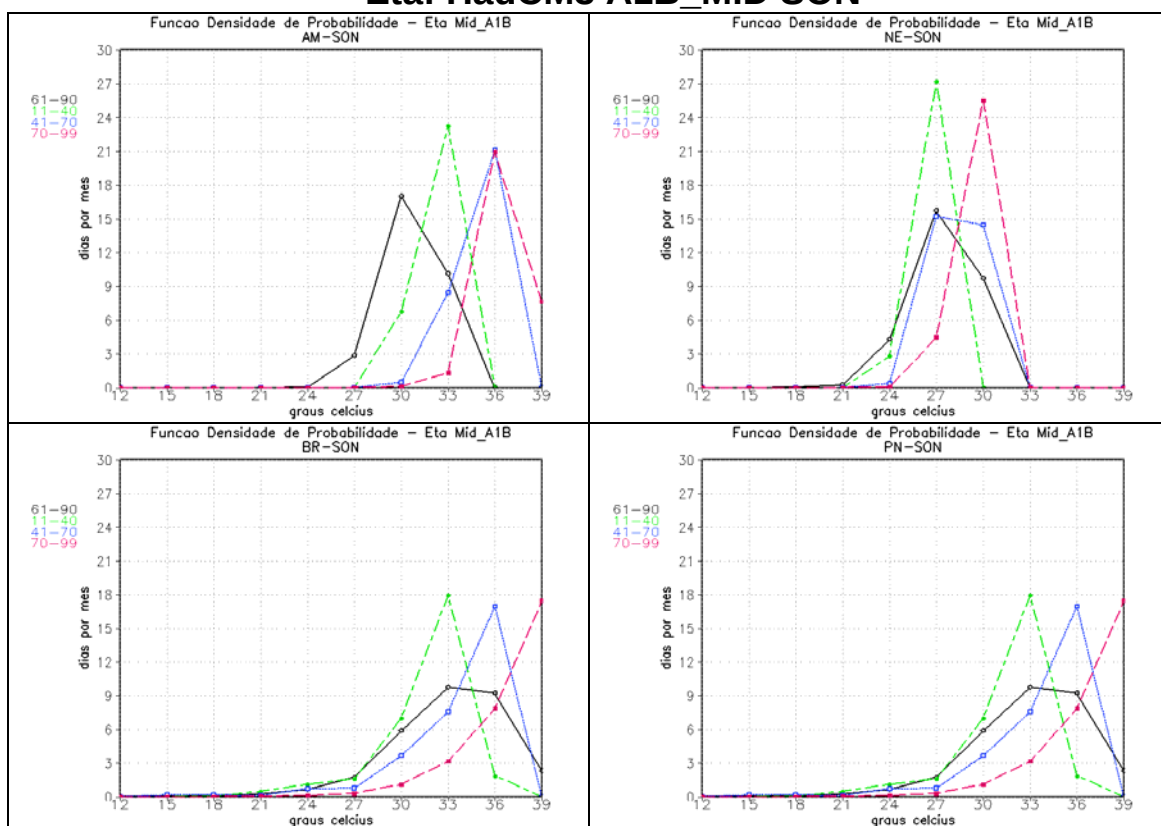


Figura 11: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em JJA projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B MID para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_MID SON



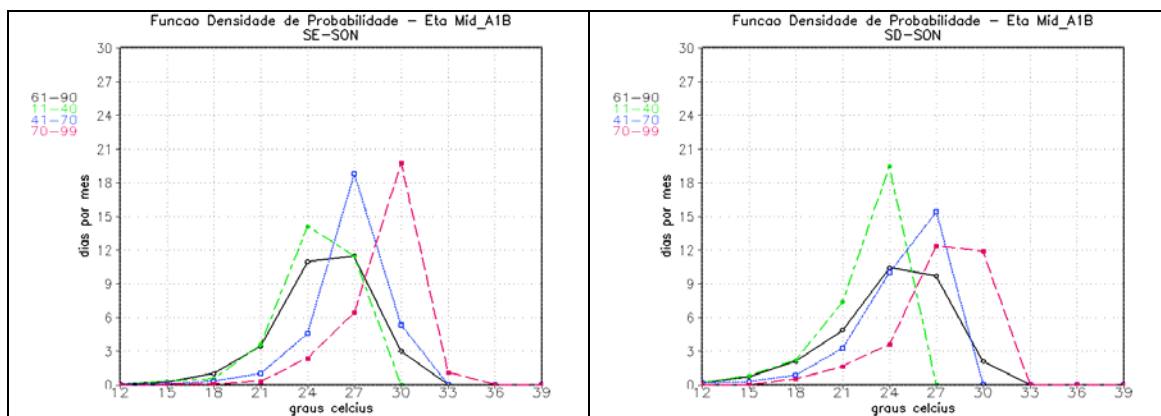
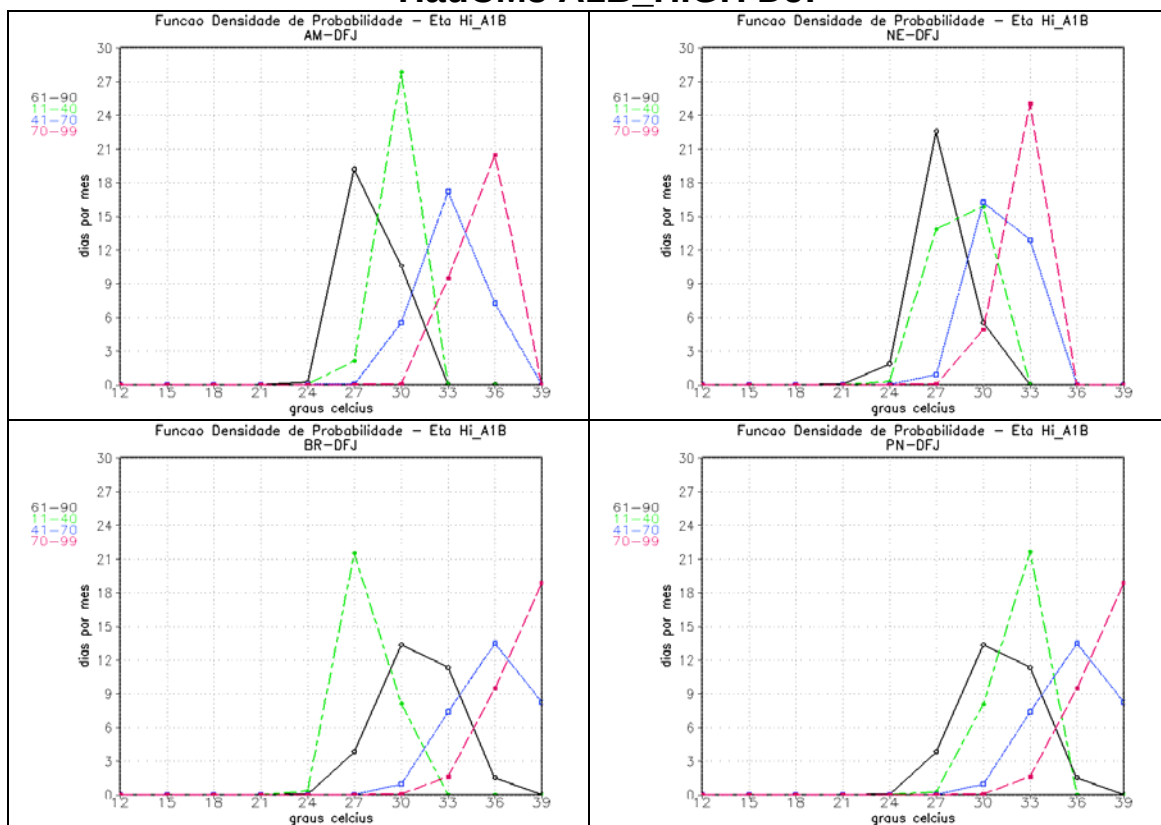


Figura 12: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em SON projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B MID para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

HadCM3 A1B_HIGH DJF



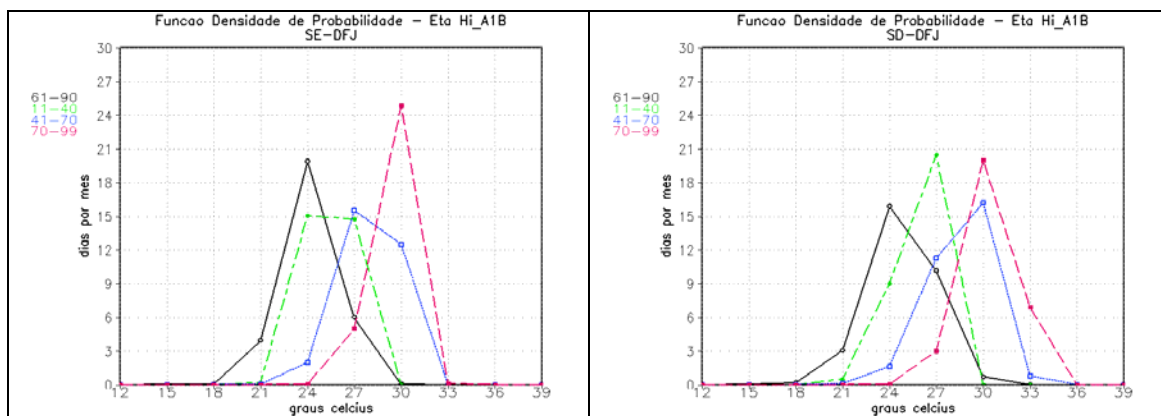
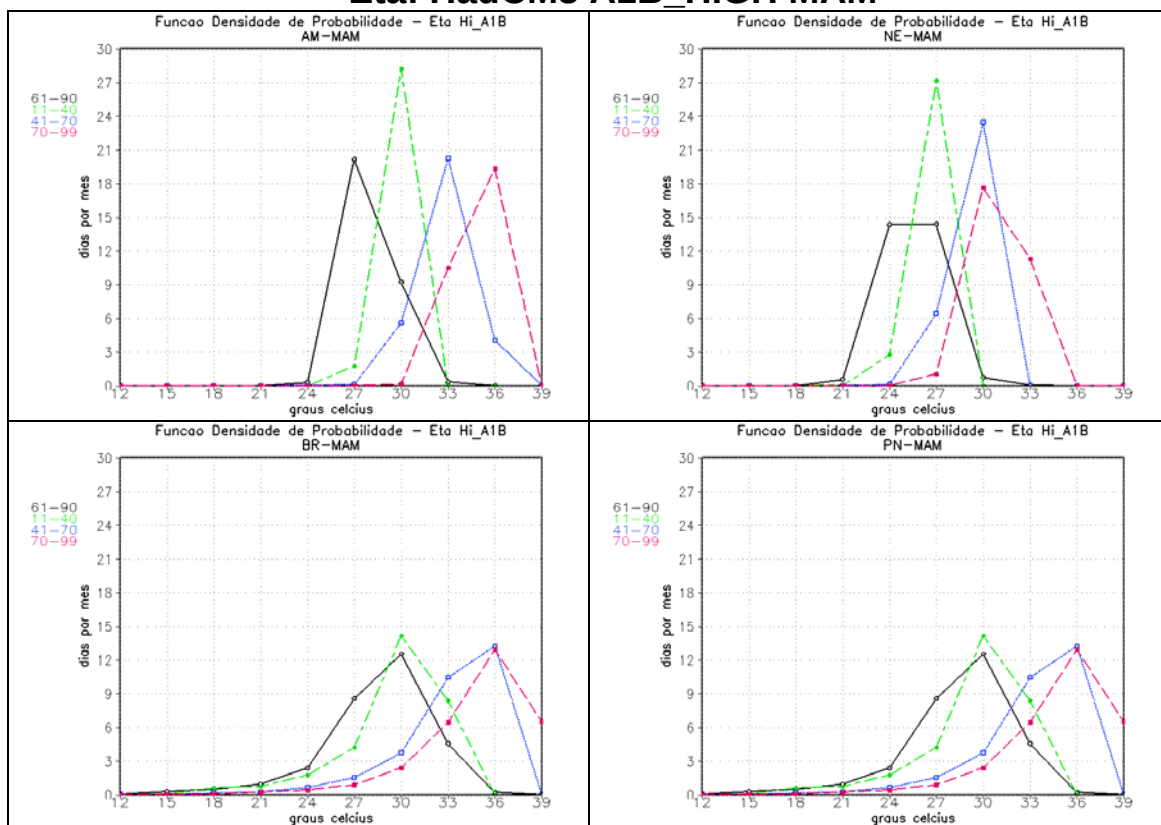


Figura 9: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em DJF projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B HIGH para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_HIGH MAM



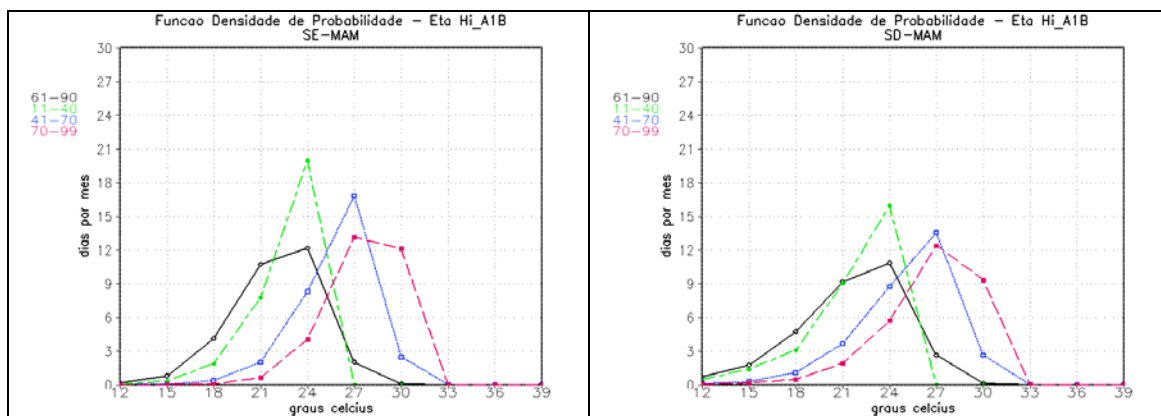
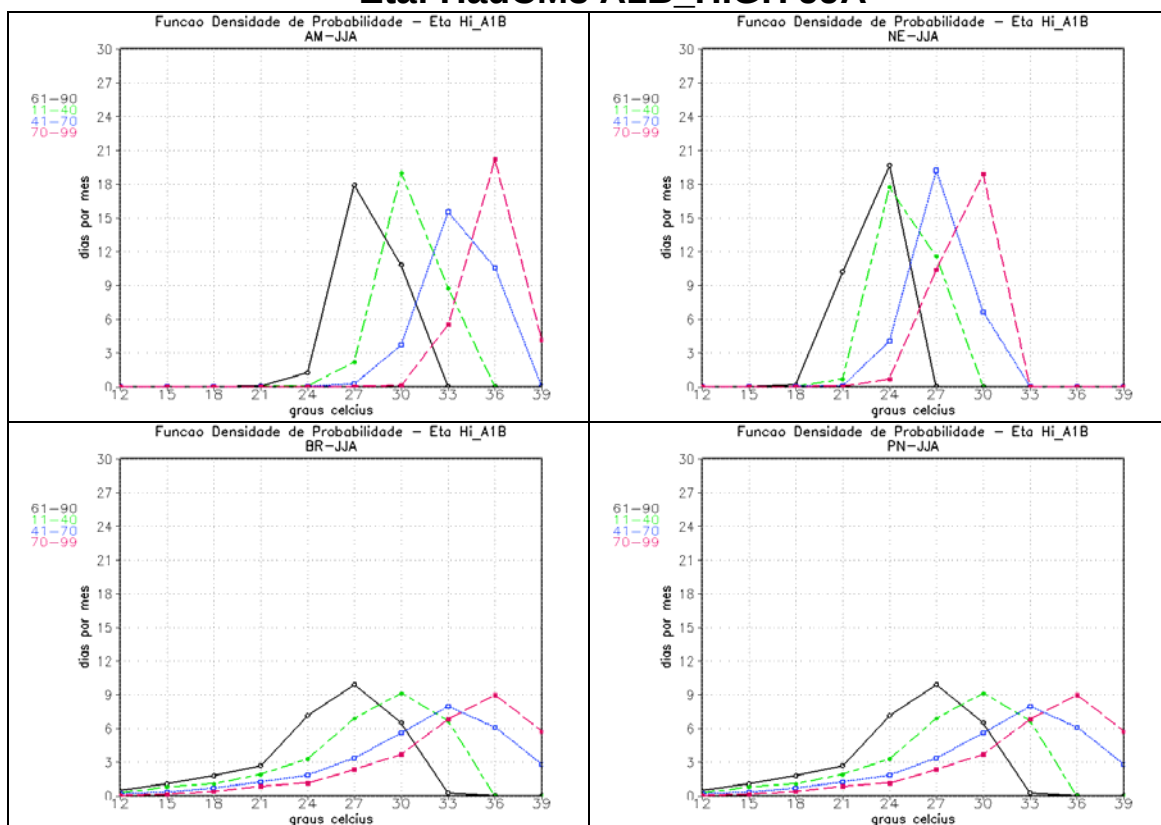


Figura 10: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em MAM projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B HIGH para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B HIGH JJA



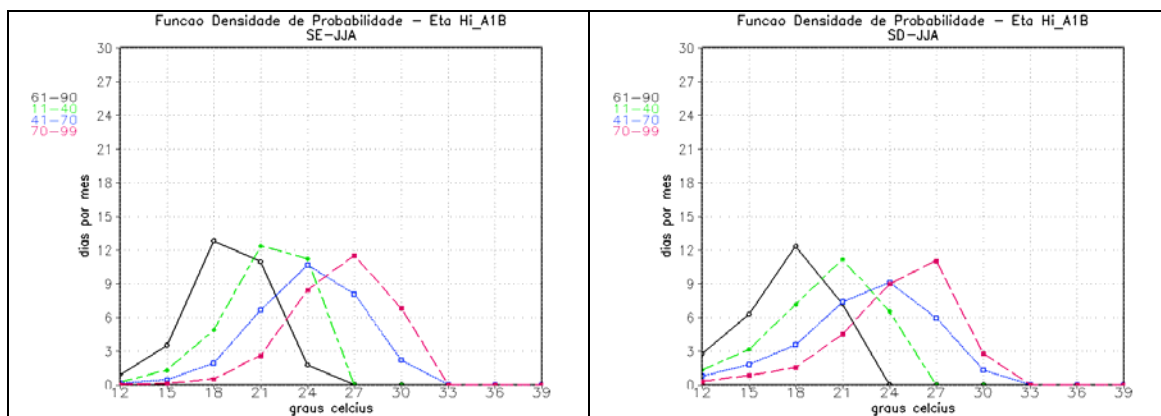
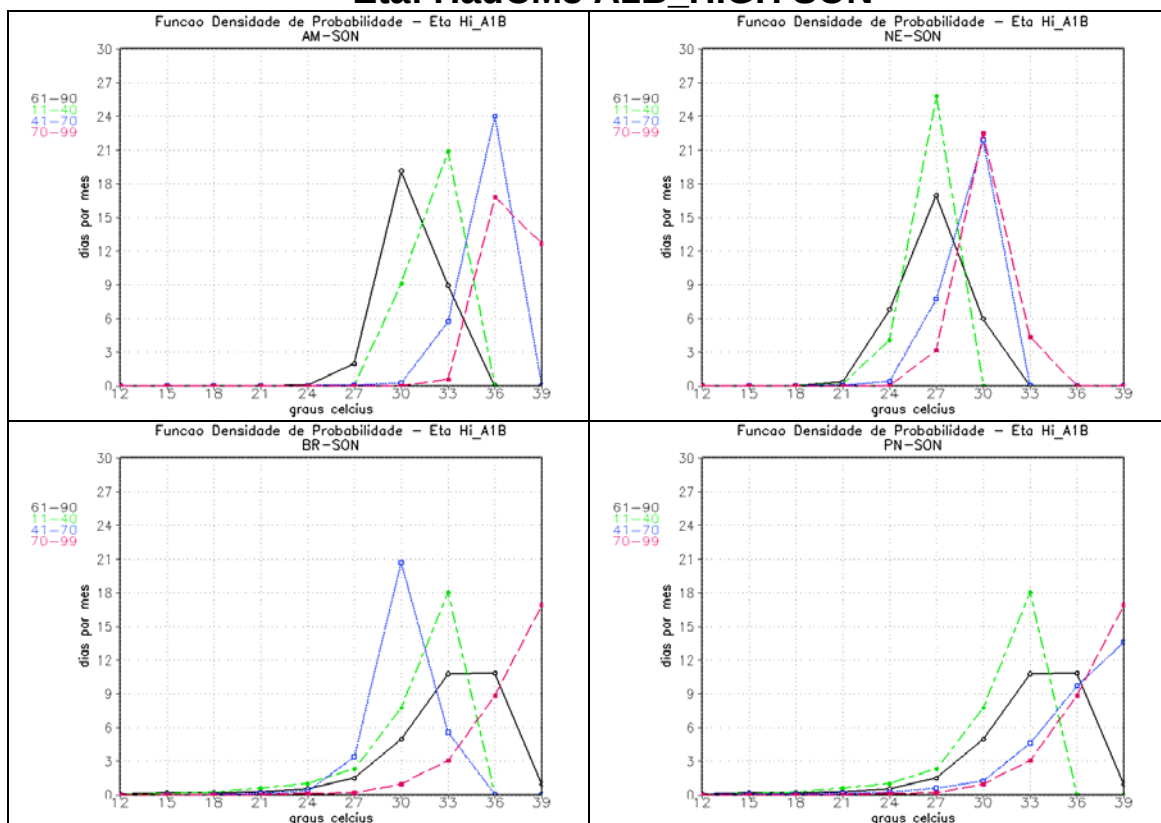


Figura 15: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em JJA projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B HIGH para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste, SD=Sul.

Eta: HadCM3 A1B_HIGH SON



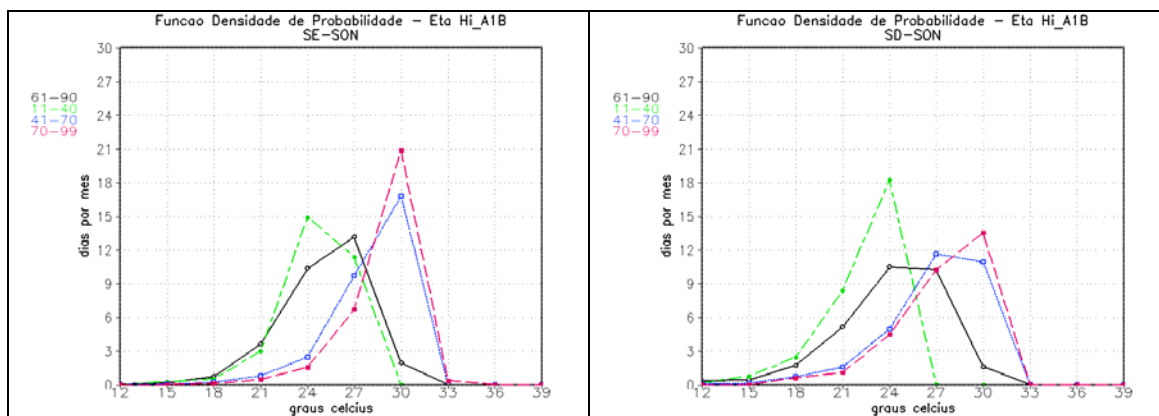


Figura 16: Função Densidade de Probabilidade de Temperatura em SON projetada pelo modelo Eta com o cenário A1B HIGH para as seis áreas sobre o Brasil. Preto=1961-1990; Verde=2011-2040; Azul=2041-2070; Vermelho=2070-2099. AM=Amazonas, NE=Nordeste, BR=Brasil, PN=Pantanal, SE=Sudeste,SD=Sul.

Referências Bibliográficas

- Alves, L.F.; Marengo, J.A.; Chou, S.C. Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo ETA climático sobre o Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. 29 Agosto – 13 setembro, 2004, Fortaleza, (CE)
- Andrade, K.M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE-14056-TDI/1067, 2005.
- Antic, S.; Laprise, R.; Denis, B. e de Elia, R. Testing the downscaling ability of a one-way nested regional climate model in regions of complex topography. *Climate Dynamics*, 25(3), 473-493, 2004.
- Betts, A. K. e Miller, M.J. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX and arctic air-mass data sets. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 112, 693-709, 1986.
- Black, T. L. NMC Notes, 1994: The New NMC mesoscale Eta model: description and forecast samples. *Weather Forecasting*, 9, 256-278, 1994
- Bustamante, J.F.; Gomes, J.L.; Chou, S.C. Influência da temperatura da superfície do mar sobre as previsões climáticas sazonais do modelo regional ETA. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12. 4-9 agosto 2002, Foz do Iguaçu (PR). p. 2145-2152.
- Bustamante, J.F.; Gomes, J.L.; Chou, S.C. 5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 08. 24-28 abril 2006, Foz do Iguaçu (PR). p. 503-506.
- Chen, F.; Jnjjic, Z. I.; e Mitchell, K. Impact of atmospheric surface-layer parametrization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta model. *Boundary layer Meteorology*, 85, 391-421, 1997.
- Chou, S. C., Nunes, A. M. B., Cavalcanti, I.F.A., Extended range forecasts over South America using the regional eta model. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, D8, 105, 10147-10160, 2000.
- Chou, S. C.; Tanajura, C.A.S. Validation of coupled Eta/Ssib model over South America. *Journal of Geophysical Research*, v.107, n.D20, 2002
- Chou, S.C., Fonseca, J.F.B, Gomes, J.L., Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South América Nonlinear processes in geophysics, 12, 4, 537-555, 2005
- Chou, M.D. e Soares, M.J.. A solar radiation parametrization (CLIRAD-SW) for atmospheric studies. NASA Tech. Rep. NASA/TM-1999-10460, vol. 15, 38 pp, 1999.
- Chou, M.-D., M.J. Suarez, X.-Z. Liang, M. M.-H. Yan, A Thermal Infrared Radiation Parameterization for Atmospheric Studies. Technical Report Series on Global Modelling and Data Assimilation. NASA/TM-2001-104606, v. 19. 55p.
- Cusack, S., A. Slingo, J. M. Edwards and M. Wild: The radiative impact of a simple aerosol climatology on the Hadley Centre climate model. *Quarterly Journal of Royal Meteorology Society*, 124, pp 2517-2526, 1998.
- Cusack, S., J. M. Edwards and J. M. Crowther. Investigating k-distribution methods for parametrizing gaseous absorption in the Hadley Centre climate model. *J. Geophys. Res.*, 104, 2051-2057, 1999.

- Cusack S., A. Slingo, J.M. Edwards, and M. Wild, 1998: The radiative impact of a simple aerosol climatology on the Hadley Centre GCM. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 124: 2517-2526.
- Doty, B.E. Using the Grid Analysis and Display System Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA). Maryland , university of Maryland, jan 1992.
- Fernandez, J.P.R., Franchito, S.H., Rao, V. B. Simulation of the summer circulation over South América by two regional climate models. Part I: Mean Climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, DOI 10.1007/s00704-005-0212-6
- Gregory D., A consistent treatment of the evaporation of rain and snow for use in large-scale models. *Monthly Weather Review.*, 123, 2716-2732, 1995.
- IPCC, 1996: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.
- Intergovernmental Panel on Change Climate IPCC 2007a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report*. Brussels, February 2007.
- Janjic, Z.I. Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models. *Contributions to Atmospheric Physics*, 52, 69-84, 1979.
- Janjic, Z. I. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sub-layer and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, 122, 927-945, 1994.
- Kousky, V. E. ; Kayano, M. T. ; Cavalcanti, I. F. A. , 1984. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36 A: 490-504.
- Lacis, A. A. e Hansen, J. E. A parametrization of the absorption dissipation in the atmosphere from large-sclae balance requiriments. *Monthly Weather Review*, 49, 608-627, 1974.
- Marengo, J. A.; Tomasella J, Uvo CR (1998).Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 103: (D2) 1775-1783.
- Marengo, J. A.. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 16, 01, 01-18, 2001
- Mellor, G. L. e Yamada, T.; Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Review Geophysical Space Physics*, 20, 851-875.
- Mitchell, T. D., Carter, T. R., Jones P. D., Hulme, M. e New, M., A comprehensive set of climate scenarios for Europe and the globe. *Tyndall Centre Working Paper* 55, 2003
- New, M.; Hulme, M.; Jones, P. Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part I: Development of a 1961-1990 Mean Monthly Terrestrial Climatology. *Journal of Climate* , vol 12 , 829-856, 1999.
- Rocha, R. P., Ambrizzi, T., Cuandra, S. V., Ferraz, S.E.T., Fernandes, J.P.: RegCM3 simulations nested in the Hadley Center Model over South America:

- the present day climate. In: *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, 08. 24-28 Abril, Foz do Iguaçu (PR), 373-378, 2006
- Senior C and Mitchell J F B, CO₂ and climate: The impact of cloud parametrization. *Journal of Climate*. 6: 393-418, 1993.
- Smith R N B, 1990, A scheme for predicting layer clouds and their water content in a general circulation model. *Quarterly Journal Royal Meteorology Society* 116: 435-460.
- Uppala, S. M. Kalberg, P. W., Simmons, A. J. et al. The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012. Doi:10.1256/qj18.176, 2005.

ANEXO V

**Compilação das projeções de precipitação do Modelo Eta para o
cenário futuro de 2010-2100 forçadas pelos cenários do Modelo Global
HadCM3-A1B**

Este anexo tem como objetivo apresentar uma consolidação dos resultados dos cenários gerados do modelo regional Eta/CPTEC forçado com as condições do modelo global HadCM3 para diferentes cenários (baixo (_lo), médio (_av) e alto (_hi)) de emissões produzidas pelo Hadley Centre. Para tanto são apresentadas análises de tendências e distribuições de probabilidades, especialmente aplicado a precipitação em diferentes regiões do Brasil visando a contribuir de forma mais efetiva nas questões de adaptação e mitigação às mudanças climáticas.

RESULTADOS

Neste anexo serão apresentados os resultados compilados de projeções de precipitação futura feitas com o modelo regional Eta/CPTEC sobre diferentes regiões do Brasil.

Precipitação (mm/dia)

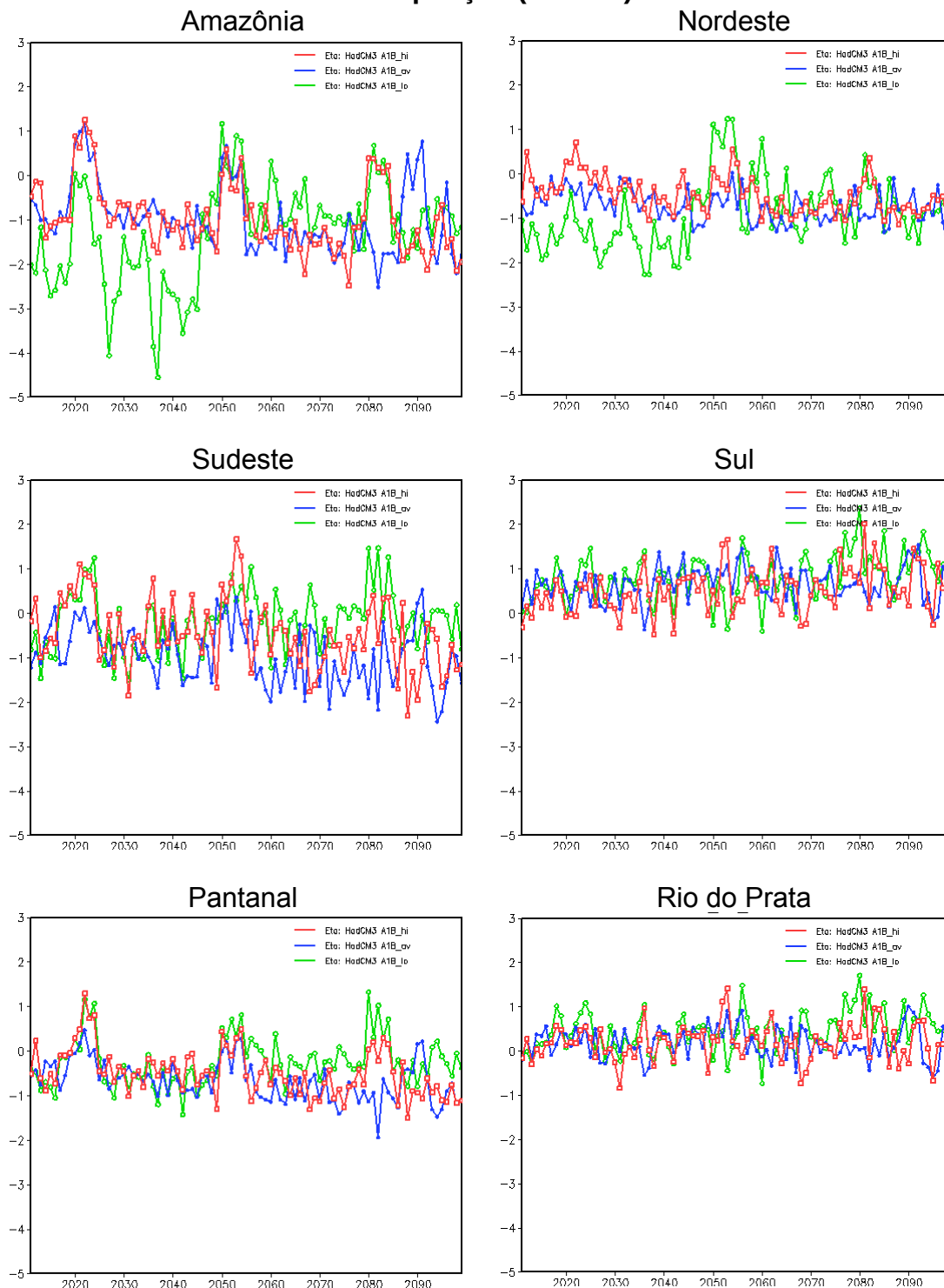


Figura 1 – Evolução temporal das anomalias anuais de precipitação (mm/dia) para diferentes regiões do País (Amazônia, Nordeste, Sudeste, Sul, Pantanal e Rio do Prata). Simulações geradas pelo modelo Eta/CPTEC com cenário de

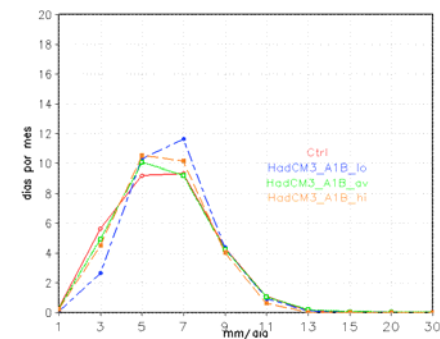
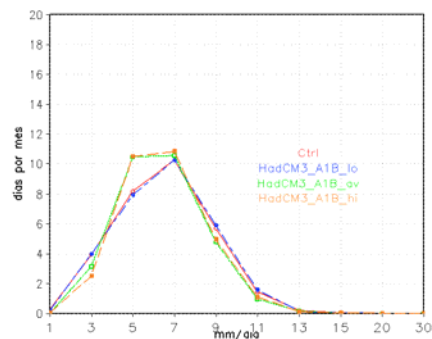
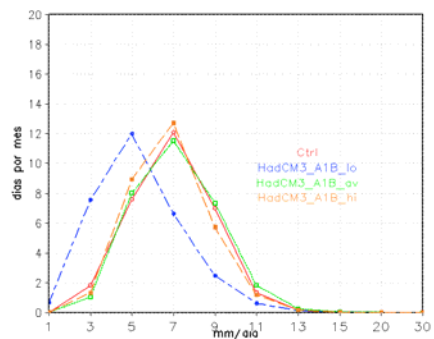
emissão A1B (baixo ($_lo$), médio ($_av$) e alto ($_hi$)) forçado pelo modelo global HadCM3.

Amazônia
2040-2070

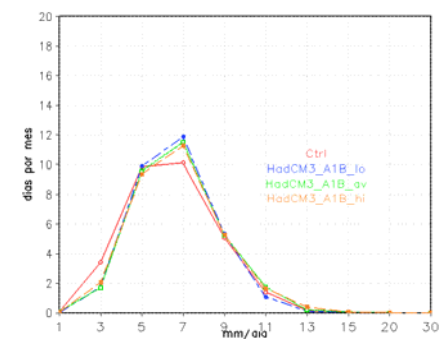
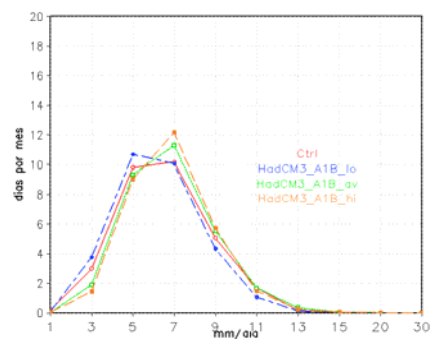
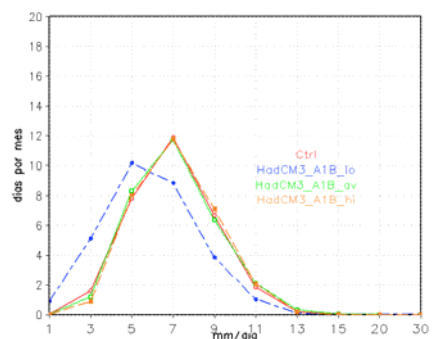
2010-2040

2070-2099

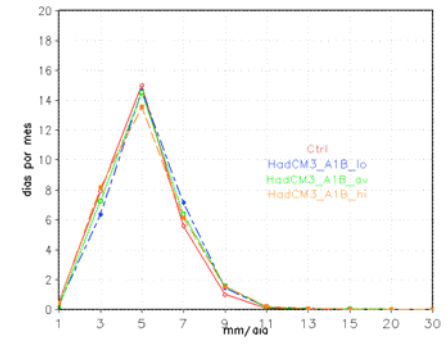
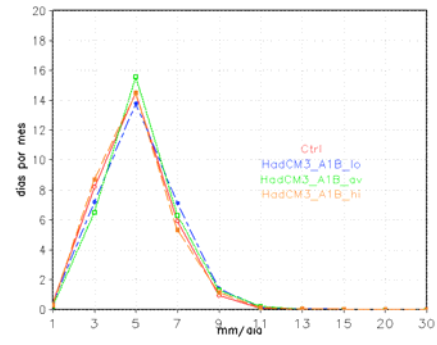
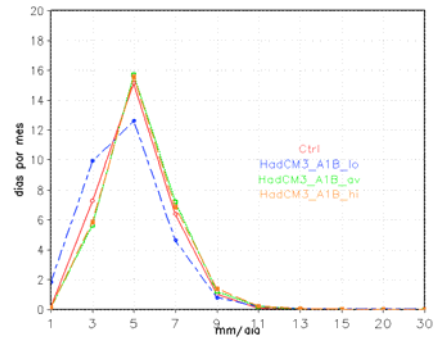
DJF



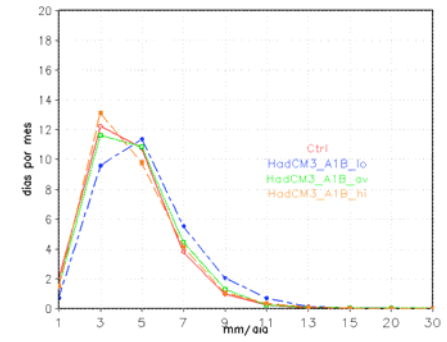
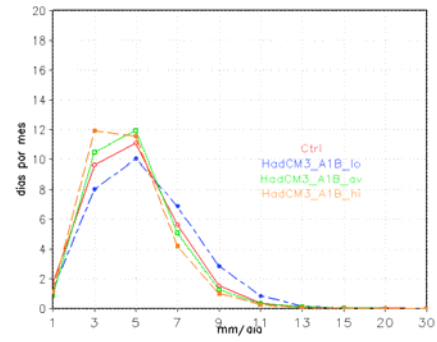
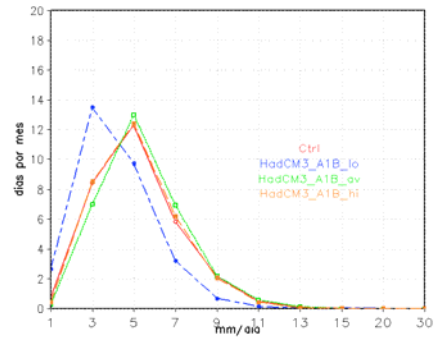
MAM



JJA



SON

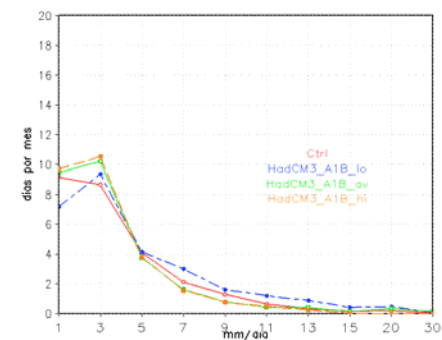
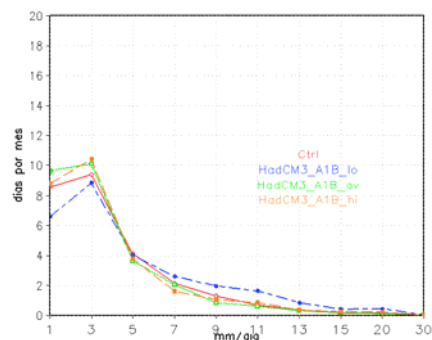
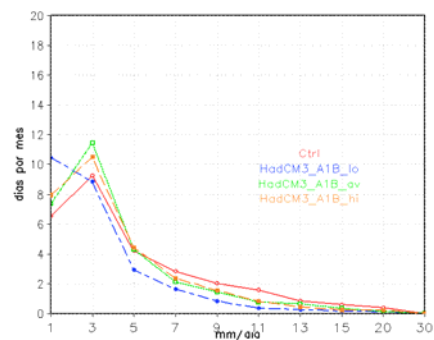


Nordeste
2040-2070

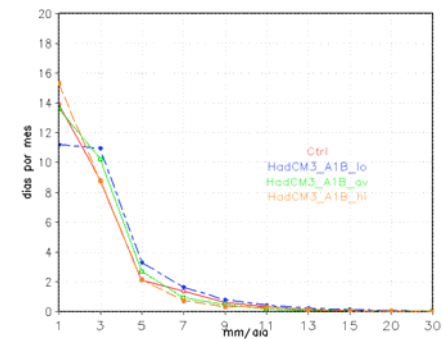
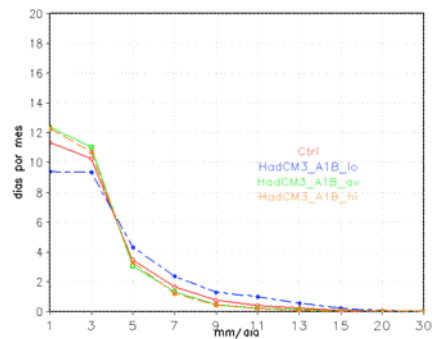
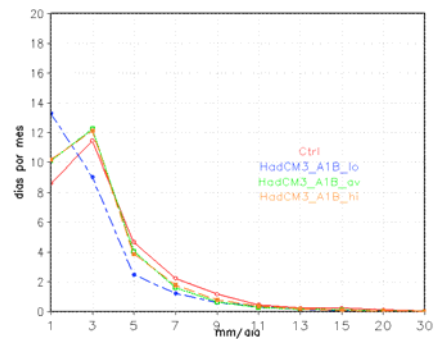
2010-2040

2070-2099

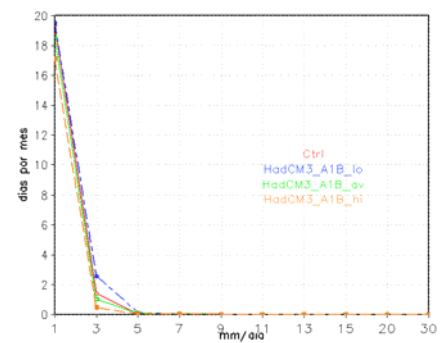
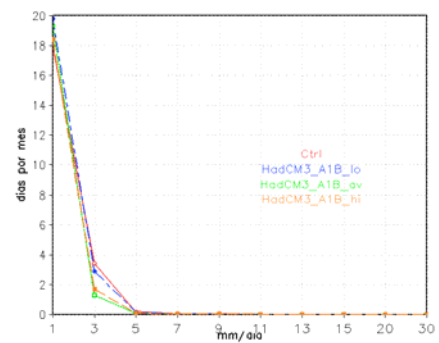
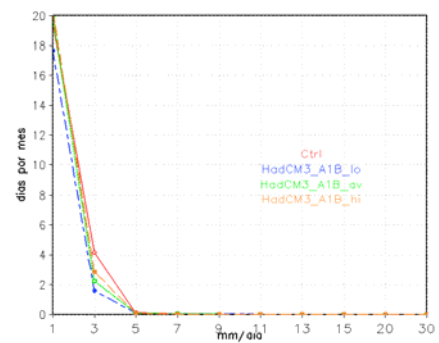
DJF



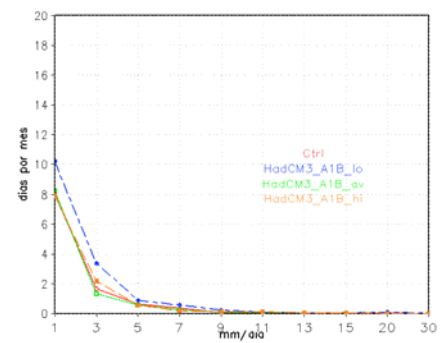
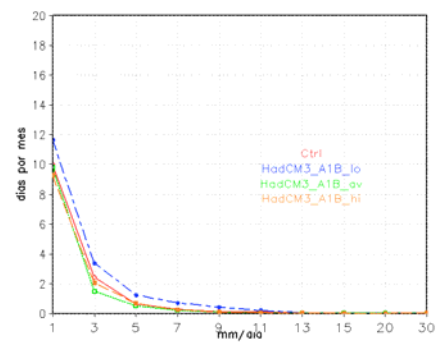
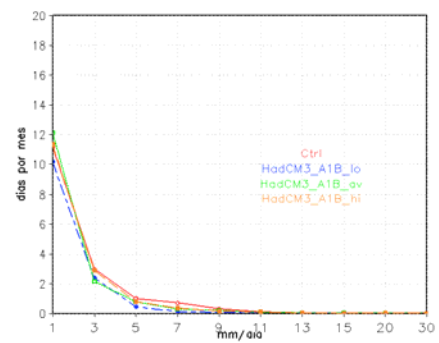
MAM



JJA



SON

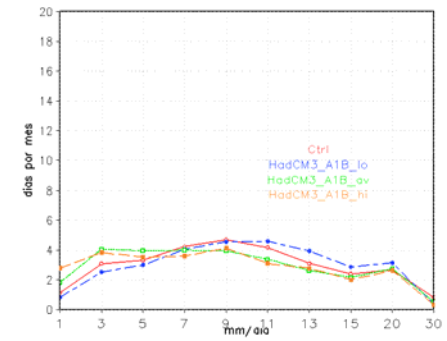
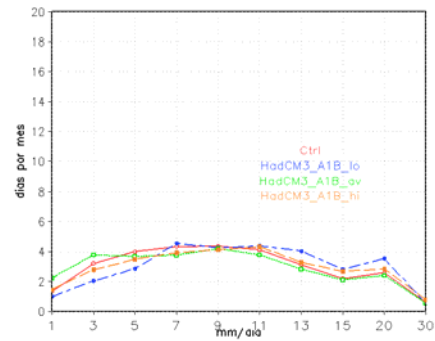
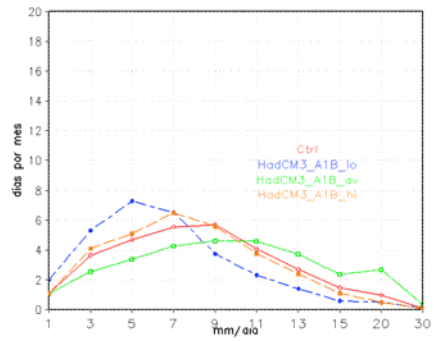


Sudeste
2040-2070

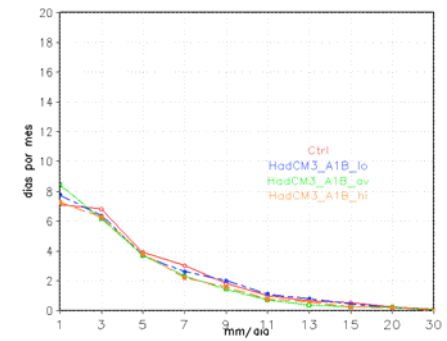
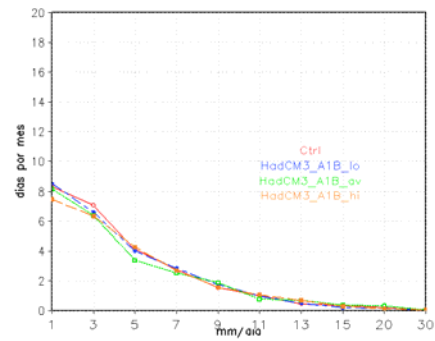
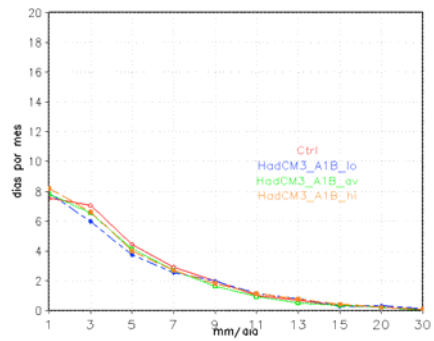
2010-2040

2070-2099

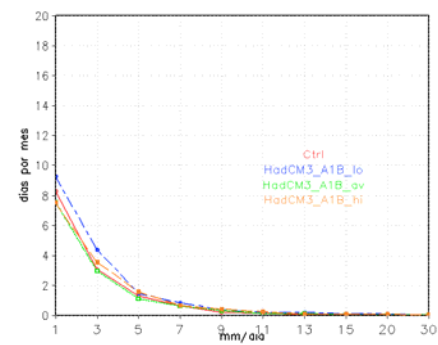
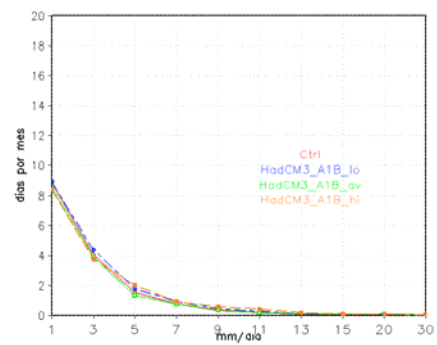
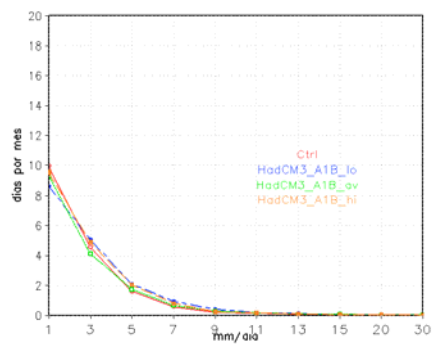
DJF



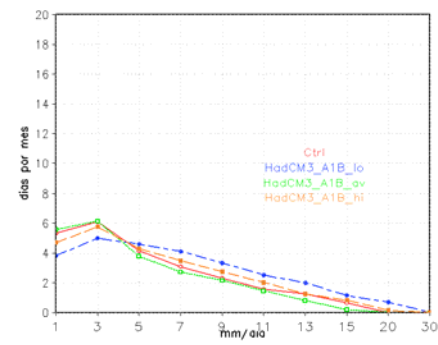
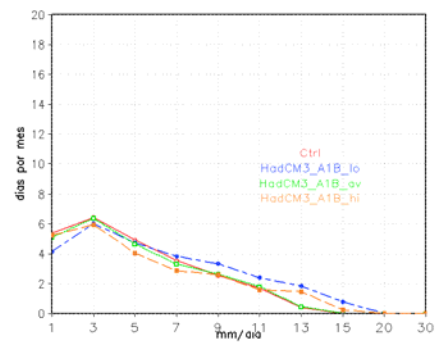
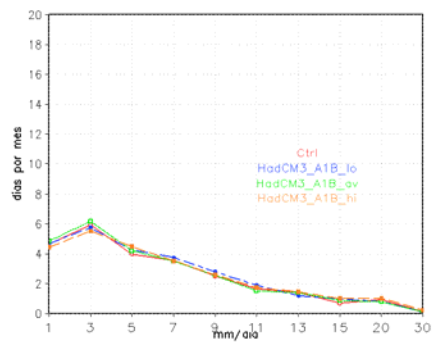
MAM



JJA



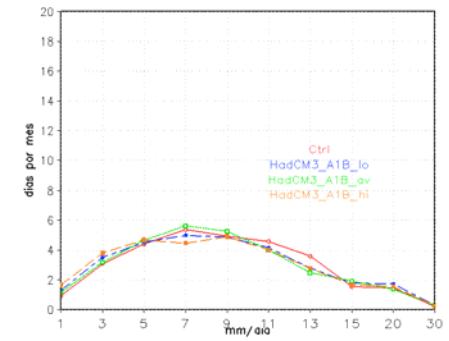
SON



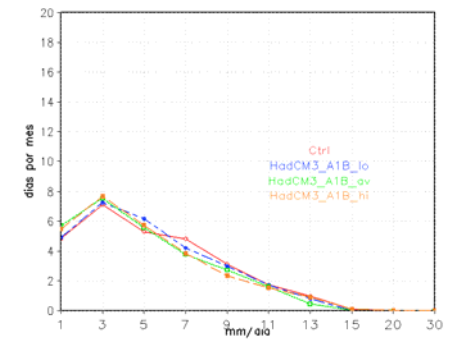
2010-2040

2040-2070

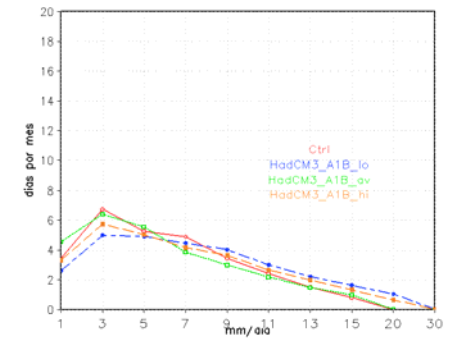
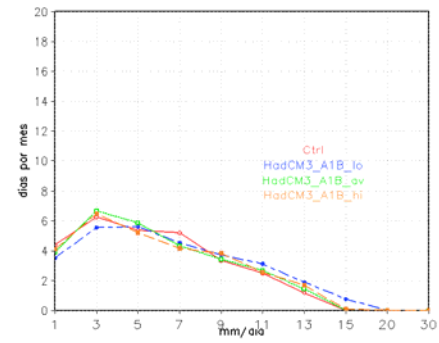
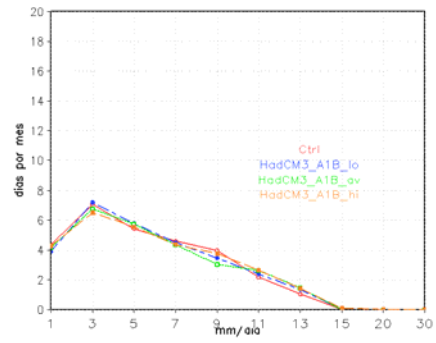
DJF



MAM



NOS

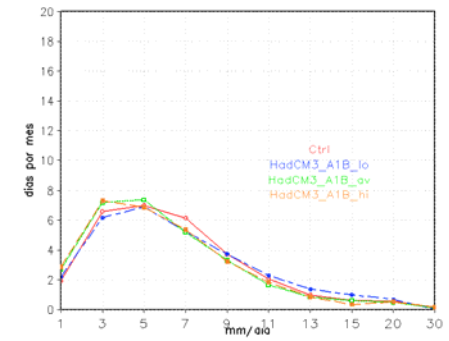
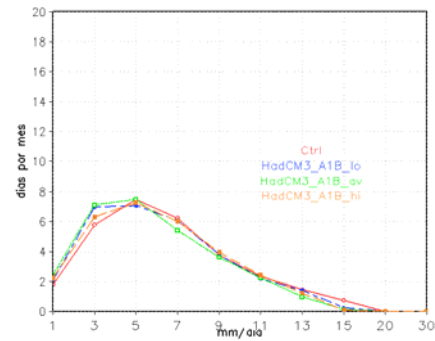
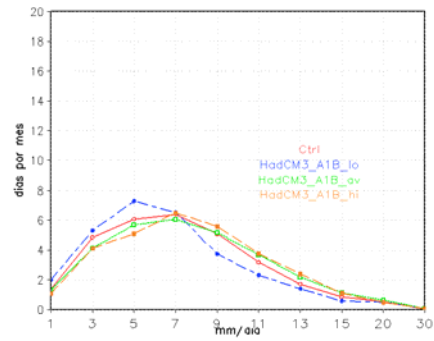


Pantanal
2040-2070

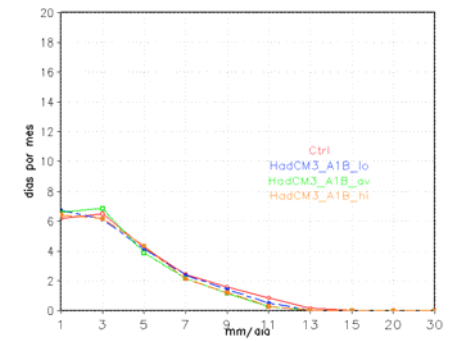
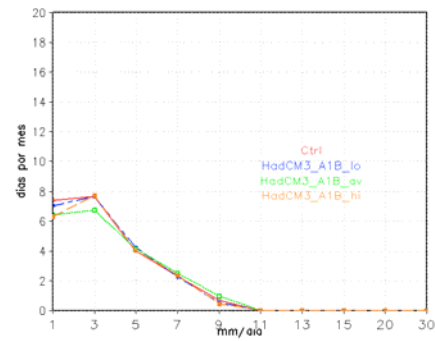
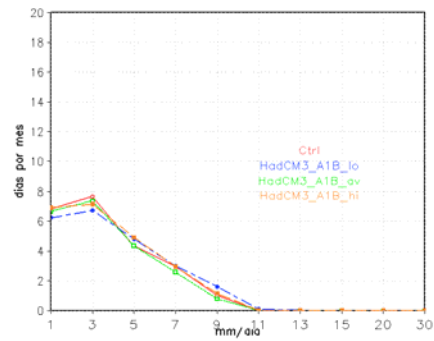
2010-2040

2070-2099

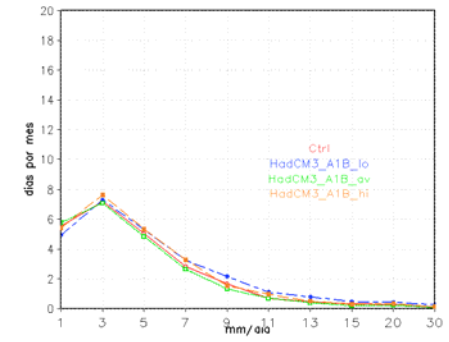
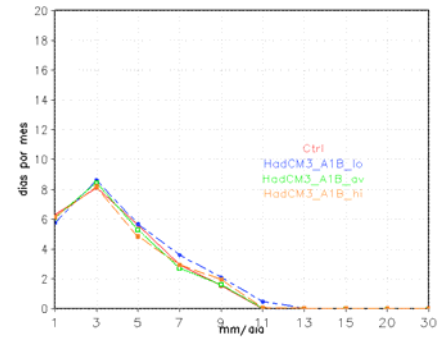
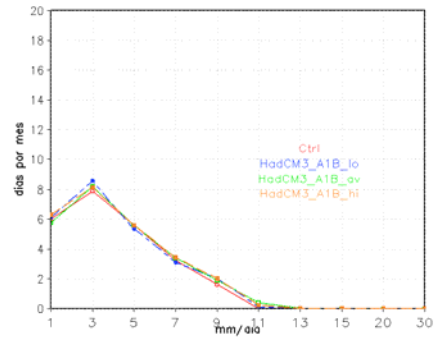
DJF



MAM



NOS

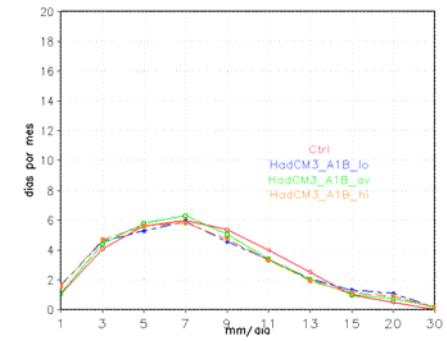
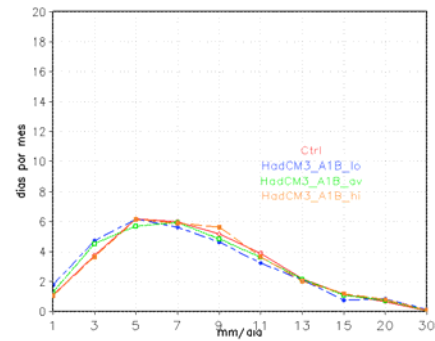
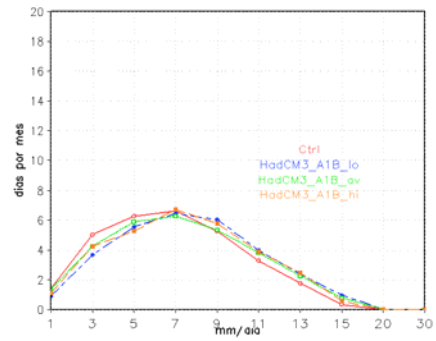


Rio do Prata
2040-2070

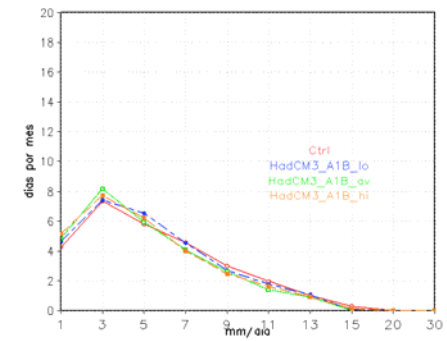
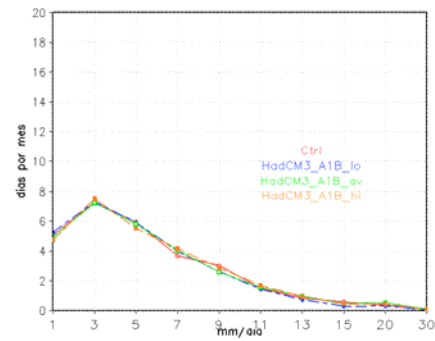
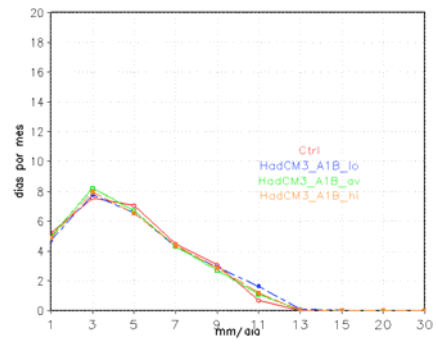
2010-2040

2070-2099

DJF



MAM



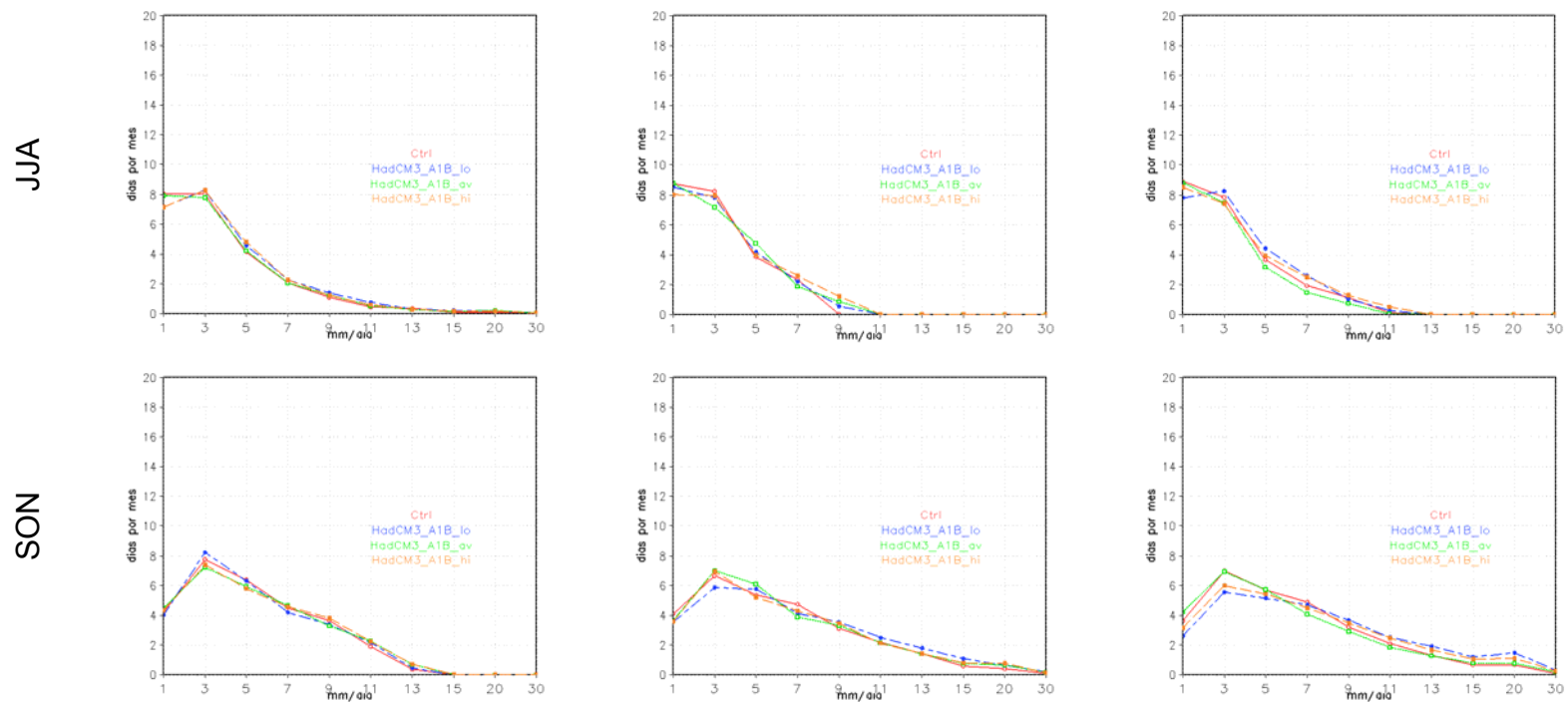


Figura 2 – Função densidade de probabilidade para precipitação (mm/dia), trimestres DJF, MAM, JJA e SON, para diferentes regiões do País (Amazônia, Nordeste, Sudeste, Sul, Pantanal e Rio do Prata) e para diferentes timeslices (2010-2040, 2041-2070, 2071-2099). Simulações geradas pelo modelo Eta/CPTEC com cenário de emissão A1B (baixo (_lo), médio (_av) e alto (_hi)) forçado pelo modelo global HadCM3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambrizzi, T., Rocha, R., Marengo J, A. I. Pisnitchenko, L. Alves, Fernandez, J. P. 2007: Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. **Relatório 3**. 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.
- Chou. S. C, J. Marengo, A. Lyra, G. Sueiro, J. Pesquero, L. M. Alves, G. Kay, R. Betts D. Chagas, J. L Gomes, J. Bustamante, P. Tavares, 2011: Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs, In press to Climate Dynamics.
- 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 Change Climate IPCC 2007a: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report. Brussels**, February 2007.
- Marengo J., 2007: Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI (Segunda Edição). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, v.1. p.214.
- Marengo, J. S. C. Chou, . G. Kay, L. M. Alves, J F. Pesquero, W R. Soares , D C. Santos , AA. Lyra, G Sueiro, R Betts, D J. Chagas, J L. Gomes, J F. Bustamante, P Tavares, 2011: Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and and the Parana River Basins, submitted to Climate Dynamics.
- Obregon, G., Marengo J, A. 2007: *Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas medias e extremas. Relatório 2*, 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, janeiro 2007..

ANEXO VI

WEBSITE PARA DIVULGAÇÃO DOS DADOS

Os resultados das projeções do Eta-HadCM3-A1B-lo foram disponibilizados por meio de site internet em *html*, desenvolvido por meio do uso do *software* “*ADOBE DREAMWEAVER CS3*”. Tal site foi projetado para fornecer as principais informações do projeto, links para notícias recentes relacionadas ao tema de mudanças climáticas e referências bibliográficas sobre o tema. A página pode ser acessada pelo endereço de Internet <http://pnud.cptec.inpe.br>.

Conteúdo do site

O site é dividido em 4 tópicos principais separados em abas: “O Projeto”, “Condições”, “Simulações/Projeções” e “Índices”. Além dos links principais, há seções de Artigos e Notícias que são atualizadas frequentemente e links para os cursos realizados e outros projetos. A Figura 1 apresenta a página inicial do site com um breve texto falando sobre o Projeto e os Objetivos.



Figura 1 – Layout da página principal do site

Condições iniciais – O conteúdo deste link é apresentado na forma de tabela, contendo a resolução, a frequência, o domínio, o formato dos dados de entrada e os membros de cada modelo para cada período (Figura 2).

The image shows a web interface for climate scenario projections. At the top, there are logos for INPE, CPTec, and the UN Development Program. The main title is 'Projeções de Cenários Climáticos'. Below the title is a navigation bar with links: Cptec, Tempo, Clima, Previsão Numérica, Satélite, Ondas, Energia, Dados Observacionais, Qualidade do Ar, Pesq. & Desenvol., and Pós Graduação. The main content area has four tabs: 'O Projeto', 'Condições', 'Simulações/Projeções', and 'Índices'. The 'Condições' tab is active, showing four panels for different climate models and periods:

HADCM3 1960 - 1990	ECHAM 1960 - 1990
Resolução: $dx=3.75^\circ$ $dy=2.5^\circ$	Resolução: $dx=dy=1.125^\circ$
Frequência: 6/6h	Frequência: 6/6h
Formato: pp	Formato: bin/ctl
Membros: aenwh-aexsb-aexsm-aexso	Domínio: América do Sul e Central
Domínio: América do Sul	

HADCM3 2010 - 2100	ECHAM 2010 - 2040
Resolução: $dx=3.75^\circ$ $dy=2.5^\circ$	Resolução: Gaussian lat/lon
Cenário: A1B	Cenário: A2 e A1B
Frequência: 6/6h	Frequência: 12/12h
Membros: aenwh-aeyjb-aeyjm-aeyjo	Formato: grib2
Formato: pp	Domínio: Global
Domínio: América do Sul	

On the right side, there are two sections: 'Notícias' (News) and 'Artigos' (Articles). The 'Notícias' section lists several news items with dates and topics related to climate change and environmental impact. The 'Artigos' section lists articles from Embrapa/Unicamp, Climate Models, and Revista Brasileira de Meteorologia.

Figura 2 – Layout do site para o tópico “Condições iniciais”

Simulações/Projeções – Apresenta as figuras de campos médios mensais e sazonais das variáveis temperatura e precipitação das simulações numéricas (período de 1961-1990) e projeções numéricas (período de 2010 a 2070) forçadas pelas condições de contorno HadCM3 (controle, high, low e average) e ECHAM. Este link permite a visualização dos menus para escolha da condição de contorno, ou seja modelo global (HadCM3-controle, HadCM3-low, HadCM3-mid, HadCM3-high e ECHAM); As variáveis (temperatura ou precipitação); o período (1960 para simulações e 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 para projeções); o mês ou estação do ano (DJF, MAM, JJA, SON) do campo médio a ser mostrado (Figura 3).



Figura 3 – Layout do site para o tópico “Simulações/Projeções”

Índices extremos – Este link contém os resultados do clima presente e os índices de anomalias climáticas projetadas para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100 para as simulações/projeções HadCM3 (4 membros: controle e perturbações alta, média e baixa) e ECHAM (Figura 4). Abaixo dos links são apresentados os índices e a descrição de cada um.

Projeções de Cenários Climáticos

Índices

Eta - HadCM

Condição: HadCM Cntrl

Índice: CDD

Período: 1961 - 1990

Submeter

Eta - Echam

Condição: Echam Cntrl

Índice: CDD

Período: 1961 - 1990

Submeter

ÍNDICE	DESCRIÇÃO
CDD	Número máximo de dias secos consecutivos com a taxa de precipitação diária < 1mm
PRCPTOT	Precipitação total anual em dias úmidos com a taxa de precipitação diária > 1mm
R10mm	Número de dias por ano com precipitação $\geq 10\text{mm d}^{-1}$
R20mm	Número de dias por ano com precipitação $\geq 20\text{mm d}^{-1}$
R35mm	Precipitação total anual quando a taxa de precipitação $\geq 35\text{mm d}^{-1}$

Notícias

31/10/2008- Amazônia: 45% das espécies ameaçadas

31/10/2008- Ação humana causa aquecimento nos pólos, diz estudo

30/10/2008- Concentração de metano sofre aumento brusco na atmosfera, diz estudo

29/10/2008- Mudança climática pode alterar área cultivo agrícola do Brasil

28/10/2008- Quantidade de gelo no Ártico 'despençou', diz estudo

28/10/2008- Atlas mapeia alterações climáticas e mostra como enfrentá-las

28/10/2008- Relatório de adaptação

Artigos

Embrapa/Unicamp - Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil

Climate Models - An Assessment of Strengths and Limitations

Figura 4 – Layout do site para o tópico “Índices”

Está disponível na página um link com as Palestras e a foto oficial dos cursos: I e II ENTRENAMIENTO EN MODELADO NUMÉRICO DE ESCENÁRIOS DE CAMBIOS CLIMÁTICOS, realizado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos em Cachoeira Paulista, realizados em julho de 2008 e setembro de 2009, respectivamente. O link para esta seção da página encontra-se na parte inferior da página junto com os links para outras páginas e projetos. Os links para visualização das apresentações são mostradas no campo principal da página, onde inicialmente continha o texto com informações sobre o projeto (Figura 5). Esta seção contém as apresentações em formato PDF dos principais palestrantes do curso.

The image shows a screenshot of a website titled "Projeções de Cenários Climáticos". At the top, there is a navigation bar with logos for PNUD, INPE, and CPTEC, along with the text "INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS". Below this, a banner features the United Nations logo and the text "Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento: Projeções de Cenários Climáticos". A horizontal menu bar contains links: "Cptec", "Tempo", "Clima", "Previsão Numérica", "Satélite", "Ondas", "Energia", "Dados Observacionais", "Qualidade do Ar", "Pesq. & Desenvolv.", and "Pós Graduação".

The main content area is divided into four tabs: "O Projeto", "Condições", "Simulações/Projeções", and "Índices". The "Simulações/Projeções" tab is active, displaying the title "II Entrenamiento en Modelado Numérico de Escenarios de Cambios Climáticos (30 de agosto a 04 de setembro de 2009)". Below the title, a section labeled ":: Apresentações" lists several presentations:

- Extremos na projeção de Mudanças Climáticas do século XXI - Dr. Obregón
- Mudanças Climáticas Globais - Dr. Carlos Nobre
- Escenários de Cambio Climático em América del Sur: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación em relación a extremos - Dr. Marengo
- Estudo da disponibilidade de Energia Eólica em cenários de mudanças climáticas futuras - Dr. Enio Bueno e Dr. Fernando Martins
- Eta Model Dynamics - Dr. Mesinger
- Cambio Climatico, Vulnerabilidad y Salud Publica- Dr. Ulisses E. C. Confalonieri
- Modelado Acoplado océano-atmósfera. El papel de TSM en la modulación del clima tropical - Dr. Gilvan Sampaio
- Impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos superficiales y los niveles del acuífero en la cuenca del Río

On the right side, there are two sections: "Notícias" (News) and "Artigos" (Articles). The "Notícias" section lists several news items with dates and topics, such as "31/10/2008- Amazônia: 45% das espécies ameaçadas" and "31/10/2008- Ação humana causa aquecimento nos pólos, diz estudo". The "Artigos" section lists articles like "Embrapa/Unicamp - Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil" and "Climate Models - An Assessment of Strengths and Limitations".

Figura 5 – Link para I e II Entrenamiento en modelado numerico.

O layout da página mostra na parte superior três faixas, a primeira faixa em amarelo contém o link para o Ministério de Ciência e Tecnologia, a segunda contém os logotipos das instituições e centros envolvidos (CPTEC/INPE/PNUD) e a última faixa em tons de azul apresenta o título do projeto e o programa em que ele está inserido. Abaixo do título do projeto está situada a barra de links do CPTEC, com link para as principais áreas de atuação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.