

CENÁRIO FUTURO DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA PARA A CLIMATOLOGIA 2011-2040, DERIVADO DE UMA MÉDIA MULTI-MODEL DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS DO IPCC AR4

María Valverde e José Marengo

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista, 12630-000, São Paulo. E-mails: valverde@cptec.inpe.br, marengo@cptec.inpe.br.

RESUMO: Este trabalho analisa o cenário futuro (A2) da circulação atmosférica para a climatologia 2011-2040 derivado do *ensemble* de cinco modelos do IPCC AR4 (GFDL_CM2.1, MIROC3.2_medres, UKMO_hadcm3, CCCMA e GISS-ER). As mudanças mais significativas para o cenário futuro em relação à climatologia 1961-1990 (20c3m) acontecem no outono e na primavera. No outono, o deslocamento para o norte da ZCIT, associado ao enfraquecimento da alta subtropical do Atlântico Norte, provoca uma diminuição das áreas de anomalias positivas de chuva sobre o Nordeste do Brasil, especificamente no setor leste de Pernambuco, Ceará e Recife. Por outro lado, na primavera, as anomalias negativas de chuva sobre o sul do Brasil (Rio Grande do Sul) observadas na climatologia presente diminuem de -4 mm/dia para -2 mm/dia, e isto se associa ao deslocamento para o norte do jato subtropical (25°S), que estaria contribuindo com instabilidade e se associando ao aumento das chuvas sobre a região.

ABSTRACT: This work analyzes the atmospheric circulation changes for the 2011-2040 climatology derived from the ensemble of five models of the IPCC AR4 (GFDL_CM2.1, MIROC3.2_medres, UKMO_hadcm3, CCCMA and GISS-ER) for the A2 scenario. The changes more evident when the A2 scenario is compared with the 1961-1990 climatology (20c3m) happened in the fall and spring. In the fall, due to the northward shift of the ZCIT, and the weakness of the subtropical high of the Atlantic North, the areas of positive anomaly of rain over the Northeast of Brazil are reduce, specifically in the east of Pernambuco, Ceará e Recife regions. On the other hand, in the spring, the area of negative anomaly of rain over the south of Brazil (Rio Grande do Sul) decrease of -4 mm/day to -2 mm/day, and this is linked with the northward shift of the subtropical jet (~25°S) with its several related system (i.e.: frontal systems, cyclogenesis, etc) and would be originating the rain over south of Brazil.

Palavras Chaves: Cenário de emissão, Mudanças Climáticas, Média por Conjuntos, IPCC AR4, Circulação Atmosférica.

1. INTRODUÇÃO

Cenários climáticos futuros são representações prováveis de como o clima pode vir a se comportar no futuro. Para a construção de cada cenário são atribuídas variáveis relacionadas, a concentrações de gases de efeito estufa, avanços tecnológicos, desenvolvimento social, demográfico, etc (IPCC SRES Nakinocevic 2000). Cada modelo do IPCC AR4 que é utilizado para gerar um cenário futuro possui suas próprias características físicas e numéricas, pelo que cada um deles mostra cenários próprios, com as suas divergências e incertezas.

Uma forma de obter um panorama único para um determinado cenário é através de uma média dos diferentes modelos (*ensemble*), de tal forma, a visualizar apenas as áreas que são comuns e representativas a todos os modelos. Pois, as áreas que não são comuns terminam-se anulando ou minimizando, restando apenas as mais significativas. Nos relatórios do IPCC AR4 (WG1 e WG2) é comum observar os campos de multi-model *ensemble* de anomalias de precipitação e temperatura derivados da média dos 21 modelos do IPCC AR4 (IPCC, 2007a). Diversos trabalhos (Tebaldi et al, 2005) têm adotado a técnica de multi-model *ensemble*, a fim de minimizar e quantificar as incertezas através de índices estatísticos (Kumar et al. 2001), e facilitar a análise do que pode ser um comportamento futuro, pois um campo obtido através de um multi-model *ensemble* pode refletir melhor o que sucederá na realidade que analisando apenas um único modelo (Taylor, et al 2005). Carril et al (2005) para a península Antártica realizou um *ensemble* de 5 modelos globais do AR4 para avaliar as mudanças e decrescimento do volume do gelo do mar como consequência do incremento de gases de efeito estufa, assim como, avaliar o padrão da oscilação da Antártica (AO) através do campo de pressão ao nível do mar. Os resultados encontrados para cenários futuros mostram uma intensificação dos padrões associados a AO, com intensificação dos ventos do oeste em 60° S durante o verão e a primavera austral. Min e Hense (2006) avaliaram o campo médio (*ensemble*) global da temperatura do ar em superfície dos 21 modelos do IPCC AR4 utilizando uma aproximação Bayesiana.

Neste trabalho se analisa o resultado do cenário médio futuro dos campos de pressão ao nível do mar, vento e vorticidade em 250 hPa, derivado de cinco modelos do IPCC AR4, e se associa estes campos as mudanças relacionadas com as anomalias de precipitação e temperatura sobre a América do Sul.

2. DADOS E METODOLOGIA

Utilizaram-se as saídas dos modelos globais do AR4, obtido do site do *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCDMI)*, para o clima presente (*20th Century experiment - 20c3m*) (1961-1990) e futuro (SRESA2/2011-2040). Dados de precipitação e temperatura mensal do *Climatic Research Unit (CRU)* (Hulme, 1992) e as saídas da Reanálise do modelo do *National Center Environmental Prediction (NCEP)*, para o período de 1961-1990 (Kalnay et al, 1996).

Se calculou a média (*ensemble*) do cenário A2 de 5 modelos (GFDL_CM2.1, MIROC3.2_medres, Ukmo_hadcm3, CCCMA e GISS-ER), tanto para a climatologia presente (1961-1990), como para o cenário futuro (2011-2040). O *ensemble* é derivado da média dos campos (anomalia de temperatura e precipitação, campo de precipitação, pressão em nível do mar - PSLM, linhas de corrente e vorticidade relativa em 200 hPa) considerando-se que todos eles tivessem igualmente probabilidade de ocorrência, não se atribuindo peso a nenhum modelo específico. Os mapas das anomalias (precipitação e temperatura) para o clima presente e futuro tiveram como média climatológica os dados do CRU. Os campos construídos foram sazonais: dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); março, abril e maio (MAM); junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON), representando as quatro estações do ano.

3. RESULTADOS

A primeira análise consistiu em avaliar a capacidade dos modelos do IPCC AR4, através do campo médio, em representar a climatologia presente da circulação atmosférica (representada pelas saídas da Reanálise). Quando compara-se o campo de PSLM do IPCC AR4 (Fig.1a) para a climatologia 1961-1990, com o da Reanálise (Fig. 2), o que mais ressalta é a posição e intensidade da baixa continental (BC), no verão e a primavera. O *ensemble* do IPCC AR4 a localiza ao noroeste da sua posição climatológica (Reanálise) e com um núcleo de 1002 hPa no verão. Na primavera a BC se localiza sobre a Amazônia. Em altos níveis (Fig.1b), a Alta da Bolívia (AB) no verão apresenta uma extensão zonal, com seu núcleo deslocado para o noroeste em relação à Reanálise (Fig.2). Na primavera a AB se localiza ao noroeste do continente (Norte Peruano). Por outro lado, a alta subtropical do Pacífico Sul (APS) não mostra diferença muito marcante e a alta subtropical do Atlântico Sul (AAS) é mais intensa em 3hPa no verão e no outono.

No campo de precipitação do IPCC AR4 (Fig. 1c) para a climatologia presente, observa-se uma faixa de precipitação sobre o continente com direção SW-NE que associa-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), com seu núcleo mais intenso de chuva localizado sobre o leste de Mato Grosso, Tocantins, Goiás e Sul do Pará, o que gera uma área de anomalias negativas (Fig. 1d) sobre o Amazonas. Para o outono, destaca-se a banda de chuva associada a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) entre os 2°N-5°S e a diminuição de precipitação sobre grande parte do continente. Para o inverno, anomalias negativas são visíveis sobre o sul do Brasil e noroeste do continente. Sobre o Nordeste do Brasil (ND), anomalias de chuva positiva são observadas principalmente no verão e no outono. No campo de anomalias de temperatura (Fig. 1e), ressaltam-se as anomalias positivas (3°C) que o *ensemble* do IPCC AR4 simula na primavera sobre grande parte do continente. No outono e inverno existe diminuição da temperatura sobre o leste do Brasil.

As mudanças no campo de circulação para a climatologia 2011-2040 (Fig. 1a) são mais evidentes nos períodos de verão e primavera, onde a BC se estende desde o norte da Argentina até o Amazonas, com seu núcleo localizado ao noroeste de sua posição climatológica. No verão, os centros da APS e do ATS se aproximam mais ao continente. No outono, o deslocamento para o norte e uma ligeira intensificação do núcleo da AAS é observado. No inverno nota-se a intensificação do núcleo do APS e uma diminuição da pressão sobre o Amazonas, norte do Peru, Equador e a Colômbia. Em altos níveis (Fig. 1b), o núcleo da AB se desloca para o oeste e a área de divergência sobre o oceano Atlântico desintensifica-se. O Jato subtropical tanto para o inverno como na primavera se desloca para o norte, chegando aos 25 °S no inverno.

No campo de precipitação (Fig. 1c) a faixa de precipitação associadas à ZCAS enfraquece sobre Tocantins e a área de anomalias positivas de chuva diminui (Fig. 1d) sobre o oeste do Nordeste. No outono, a área de anomalias positivas de chuva sobre o ND se restringe para o leste do ND, pois a faixa da ZCIT se desloca para o Norte. Na primavera as anomalias negativas de chuva sobre o sul desintensificam-se. Em termos de anomalias de temperatura (Fig. 1e), estas tendem a aumentar sobre grande parte do centro e sul do Brasil alcançando para a primavera valores de até 4°C.

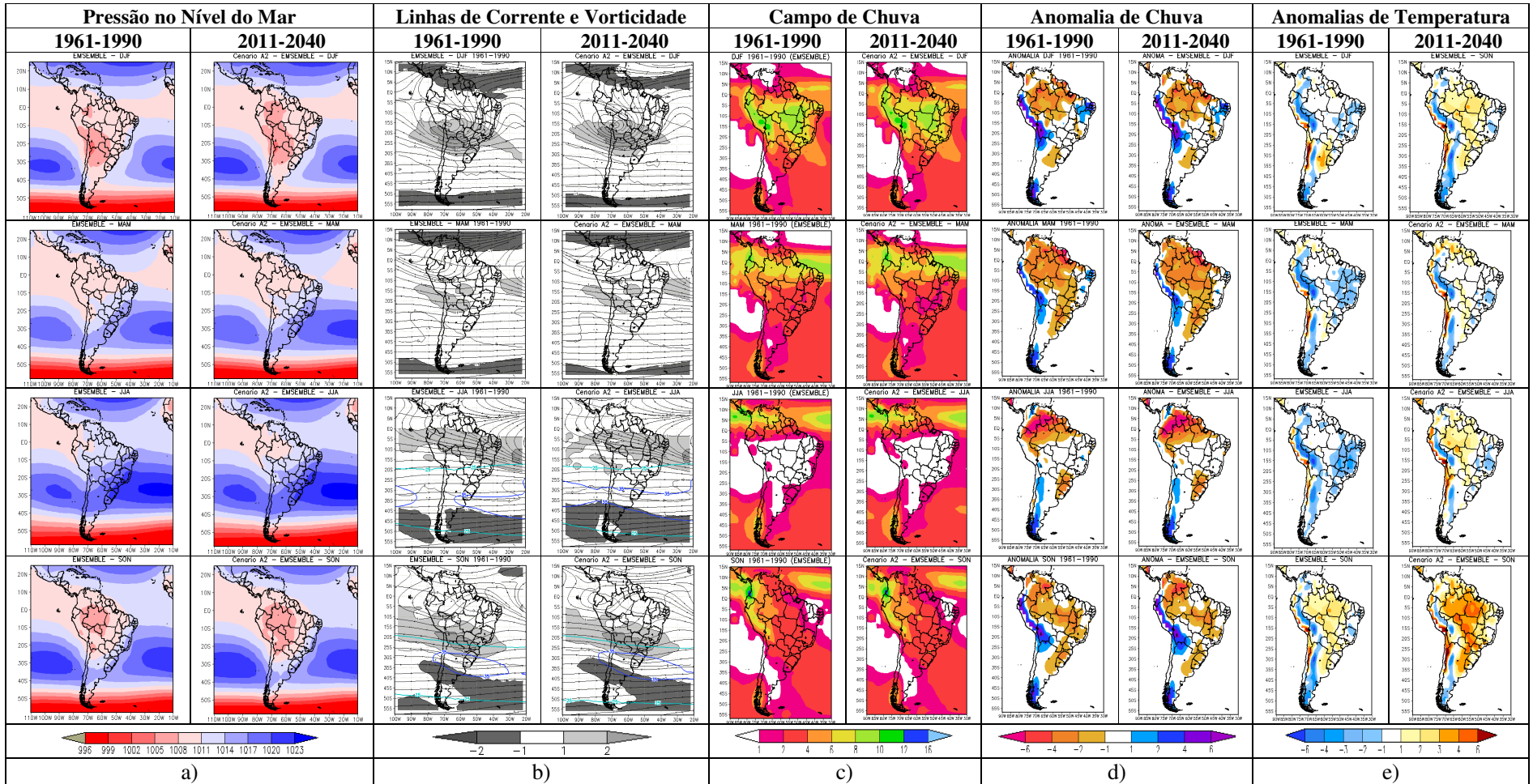


Fig. 1 – Campos médios (ensemble de cinco modelos) de pressão ao nível do mar (a), linhas de corrente e vorticidade (b), campo de precipitação (c), anomalias de precipitação (d) e anomalias de temperatura (e) para o clima presente 1961-1990 (20cm3) e clima futuro, 2011-2040 (SRESA2) e para as quatro estações do ano, derivado dos modelos do IPCC AR4

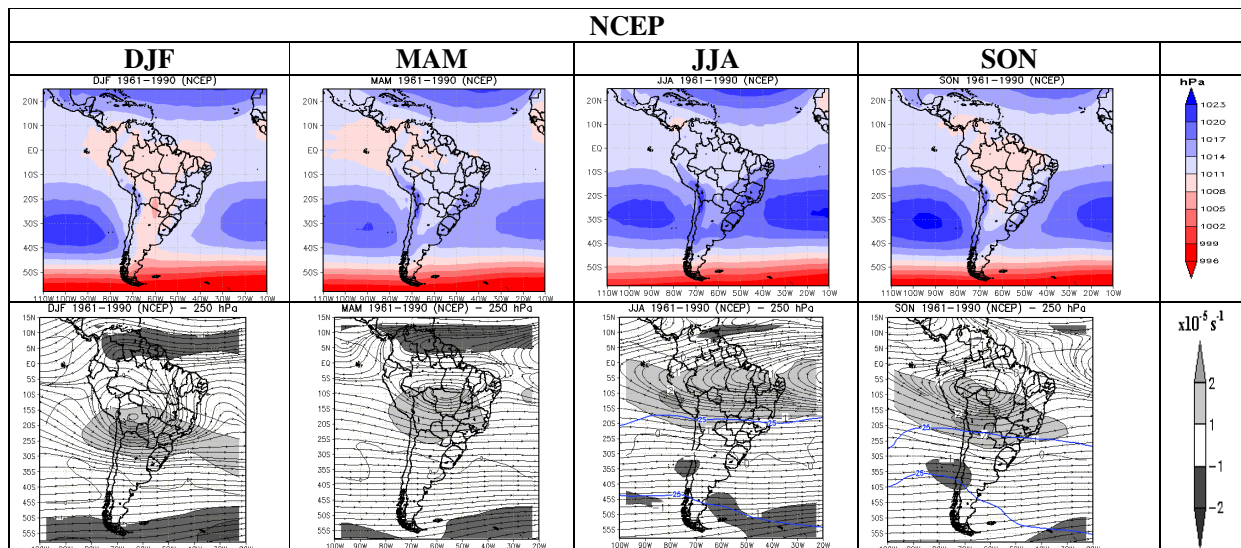


Fig. 2 - Campos de pressão ao nível do mar e linhas de corrente e vorticidade em 250 hPa obtidas da Reanálise, para o período de 1961-1990 e para as quatro estações do ano.

Eventos Extremos em América do Sul

Relacionando as mudanças na circulação atmosférica com os eventos extremos no IPCC AR4 o Grupo de Trabalho I (WG1) sobre a avaliação das bases físicas científicas, especificamente em seu capítulo Projeções do Clima Global, foi encontrado que no cenário futuro mais próximo (período 2011-2040), a ocorrência de eventos extremos não seria muito significativa quando comparada com os períodos próximos a 2100 (IPCC, 2007a). Isto está em concordância com as poucas mudanças no campo de circulação e anomalias de chuva encontradas para o período 2011- 2040. A Figura 3 extraída do relatório do WG1 mostra este comportamento para diferentes cenários e para os índices: intensidade de precipitação, dias secos e ondas de calor (área enquadrada mostra o período 2011-2040). Aparentemente as simulações feitas pelos modelos do IPCC AR4 e para os diferentes cenários indicam que as maiores mudanças estarão por acontecer depois de 2040. Embora estes gráficos representem médias globais dos índices, eles refletem o que pode acontecer até finais do século XXI. Especificamente, na América do Sul, os resultados encontrados pelo WG1 indicam que a média anual de aquecimento no sul do continente (resto das áreas) é provável para ser similar (muito maior) ao aquecimento médio global. Existe maior incerteza com a precipitação, sobre tudo no norte do continente e a Amazônia, porém, existe uma probabilidade maior para se incrementar na Tierra del Fuego no inverno e no sudeste do continente no verão, e diminuir no sul do ND (IPCC 2007a).

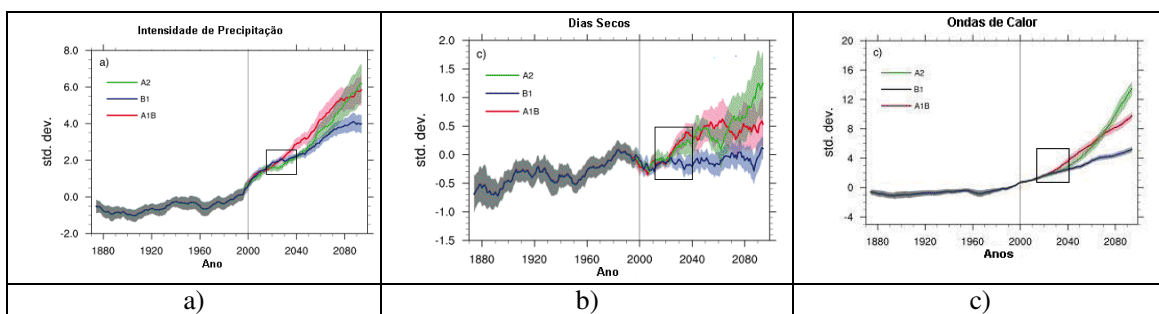


Fig. 3 – Mudanças de índices extremos em unidades de desvio padrão para uma simulação multi-model de nove modelos climáticos (Tibaldi et al 2006), a) mudança na intensidade de precipitação (definido como a precipitação total anual dividido pelo número de dias úmidos) para um baixo (SRESB2), médio (SRESA1B) e alto (SRESA2) cenário, b) mudança média global de dias secos (definido como o número máximo anual de dias secos consecutivos), c) mudança média global de ondas de calor (definido como o período mais longo no ano de no menos cinco dias consecutivos com temperatura máxima de no menos 5°C que a climatologia do mesmo ano no calendário). Fonte: WG1 – IPCC AR4.

AGRADECIMENTOS

Este documento se enquadra no Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, com o apoio do MMA/BIRD/GEF/CNPq e pelo Global Opportunity Fund-GOF do Reino Unido, através do projeto *Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and*

Adaptation in Brazil and South America. Os autores agradecem ao Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) por proporcionar as saídas dos modelos de IPCC AR4 no IPCC Data archive.

4. DISCUSSÕES E CONSIDERACIONES FINAIS

O campo médio obtido do *ensemble* dos modelos do IPCC AR4 para a climatologia presente (1961-1990) consegue reproduzir de uma forma geral a circulação atmosférica em baixos e altos níveis. Devido às limitações que todo modelo numérico apresenta em relação às parametrizações da convecção e topografia, observou-se a dificuldade dos modelos do IPCC AR4 em gerar chuva sobre a Amazônia, assim como, o excesso de chuva sobre a região dos Andes. Por outro lado, o campo médio mostrou a configuração de verão em altos níveis com a AB e o cavado, mas com um ligeiro deslocamento do núcleo da AB para o oeste. No campo de PSLM, a baixa continental foi configurada mais intensa e deslocada também para o oeste (sobre os Andes). Isto pode se relacionar com a dificuldade que os modelos apresentam em representar a topografia adequadamente. No outono, a ZCIT esteve presente na sua posição próxima a climatológica, associada ao deslocamento da alta do Atlântico Norte (AAN) e da APS para o sul, em relação ao verão.

Tendo como base este cenário presente, as mudanças mais significativas observadas para a climatologia 2011-2040, foram às reduções das áreas de chuva no setor leste do Nordeste, no verão, devido ao retraimento do núcleo de chuva para o oeste, como observado no campo de precipitação, e isto pode estar associado com a extensão da BC para o Amazonas. As baixas pressões associadas às anomalias positivas de temperatura sobre essa região, e em ausência de umidade, inibem a produção de chuvas. No outono, também se observaram a redução de áreas positivas de chuva sobre o ND, pois a ZCIT se deslocou para o norte, juntamente com o deslocamento para o norte da AAS ligeiramente intensificada. No inverno e na primavera, a mudança mais significativa foi o deslocamento do jato subtropical para latitudes mais altas, e que na primavera especificamente deslocou também a área de vorticidade negativa para o norte. Este comportamento pode estar associado à presença de fenômenos transientes, tais como, frentes ou ciclogênese, que favorecem a ocorrência de chuvas sobre o Sudeste e podem ter contribuído na diminuição da intensidade de áreas negativas de chuva sobre o sul do Brasil na primavera especificamente. No inverno, uma ligeira intensificação do APS com a sua subsidência associada estaria impedindo o deslocamento dos sistemas frontais do Pacífico para o Atlântico em latitudes menores que 30°S, o que pode estar associado a permanência das anomalias negativas de chuva sobre o sul do Brasil e do Paraguai. Em relação à temperatura, o cenário aponta para um aquecimento com anomalias positivas de até 6°C na primavera sobre o centro do continente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARRIL, A, MENÉNDEZ, C. e NAVARRA, A, (2005). Climate response associated with the Southern Annular Mode in the surroundings of Antarctic Peninsula: A multimodel ensemble analysis. **Geophysical Research Letters**, vol 32, doi:10.1029/2005GL0235981.
- HULME, M. (1992). A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models climate dynamics, 7, 57-72.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE IPCC 2000. **Summary for Policymakers, Special Reports on Emission Scenarios – SRES: A Special Report of Working Group III.** Cambridge Univ. Press. 2000.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE IPCC 2007a: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report.** Brussels, February 2007.
- KALNAY, E, ET AL., NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n.3, p.437-471, 1996.
- KUMAR, A, BARNSTON, A, HOERLING, M. (2001) Seasonal Predictions, probabilistic verifications, and ensemble size. **J. Climate** 14:1671-1676.
- MIN, S.K. e HENSE, A. A Bayesian approach to climate model evaluation and multi-model averaging with an application to global mean surface temperatures from IPCC AR4 coupled climate models. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L08708, doi:10.1029/2006GL025779, 2006.
- TEBALDI, C., HAYHOE, K., ARBLASTER, J., MEEHL, G., 2006: Going to the extremes An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. No prelo, **Climatic Change**, 2006.

TAYLOR, K.E.,GLECKER, P.J., E DOUTRIAX. **Tracking changes in the performance of AMIP models, in the second Phase of the Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP2): Toward Innovative Model Diagnostic**, Edited by P.J. Gleckler, WCRP report, in preparation. 2005.