

PROJEÇÕES DE MUDANÇAS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

Sin Chan Chou^{1}; André de Arruda Lyra²; Diego José Chagas³; Gustavo Sueiro⁴; Jorge Luís Gomes⁵; Diêgo Campos⁶; Daniela Carneiro Rodrigues⁷; Priscila Tavares⁸; Daniel Rodriguez⁹*

Resumo – Reduções de escala (regionalização) dos cenários de mudanças climáticas de três modelos globais, HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM2, a partir do modelo Eta na resolução de 20 km foram produzidos para o período histórico, desde 1961 a 2005 e para o período futuro de 2006 a 2100, em dois cenários de emissão, RCP4.5 e RCP8.5. As simulações regionalizadas das chuvas para o período histórico são validadas com dados observacionais do CRU. As projeções de mudança da precipitação média na bacia do Rio São Francisco mostram redução em todos os cenários climáticos regionalizados, com maior evidência nas projeções do modelo Eta aninhado ao CanESM2, no cenário de emissão RCP8.5. Esta redução de precipitação das projeções é mais intensa na região do Alto e parte do médio São Francisco. As projeções também mostram redução no excedente hídrico no período futuro comparado com o período histórico.

Palavras-Chave – Mudança Climática, Regionalização, Modelo Eta

PROJECTIONS OF PRECIPITATION CHANGE IN THE SÃO FRANCISCO RIVER BASIN

Abstract – Downscalings of climate change scenarios from three global climate models, HadGEM2-ES, MIROC5, and CanESM2 are carried out by the regional Eta model at 20-km horizontal resolution, for the historical period, from 1961 to 1990, and for the future period, from 2006 to 2100, and at two emission scenarios, RCP4.5 and RCP8.5. The simulations of precipitation for the historical are validated against CRU observations. Projections of precipitation change in the São Francisco River basin show reduction in all downscaling runs, especially in the Eta model run driven by the CanESM climate conditions, under RCP8.5 emission scenario. Precipitation reduction is more intense in the upper and mid part of the São Francisco river basin. The excess of water calculated from the water budget shows reduction in the future period in comparison with the historical period.

Keywords – Climate Change, Downscaling, Eta model

INTRODUÇÃO

A principal ferramenta para estudos das mudanças climáticas globais são os modelos globais do sistema terrestre. Por outro lado, os impactos em diferentes setores de atividades são geralmente

¹ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, chou.sinchan@cptec.inpe.br

² Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, andre.lyra@cptec.inpe.br

³ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, diego.chagas@cptec.inpe.br

⁴ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, gustavo.sueiro@cptec.inpe.br

⁵ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, jorge.gomes@cptec.inpe.br

⁶ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, diego.campos@cptec.inpe.br

⁷ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, daniela.rodrigues@inpe.br

⁸ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, priscila.tavares@inpe.br

⁹ Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, daniel.andres@inpe.br

* Autor Correspondente

de caráter local. A resolução dos modelos globais, de cerca de 200 km x 200 km, é considerada grosseira para estes estudos. Modelos regionais climáticos, com tamanhos de grade de cerca de 50 km a 20 km, buscam atender a necessidade de detalhamento.

O modelo Eta tem sido utilizado para produzir estudos de mudanças climáticas (Pesquero *et al.* 2010; Chou *et al.* 2012; Marengo *et al.*, 2012) e apoiou a elaboração da Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (MCT, 2010). Novos cenários de emissão foram propostos pelo IPCC (IPCC 2013) e, conseqüentemente, novas projeções de mudanças climáticas globais foram produzidas. Recentemente, as projeções dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5, em dois cenários de emissão, RCP4.5 e RCP8.5, foram regionalizadas pelo modelo Eta do INPE (Chou *et al.* 2014a; Chou *et al.* 2014b).

O excesso de água e, principalmente, sua escassez geram conflitos pelo seu uso. A crise hídrica em 2015 ressaltou os conflitos desse tipo no país, por exemplo, a transposição de parte das águas do rio Paraíba do Sul, principal fonte de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, para o sistema Cantareira que abastece a capital paulista. Outro exemplo de conflito decorrente da crise hídrica de 2015 ocorre no rio São Francisco, cujas águas têm sido motivo de disputa entre a geração de energia e os projetos de irrigação. Uma questão que surge é se esses conflitos pelo uso dão se agravarão no futuro com as mudanças climáticas, e em que magnitude. A estimativa dos impactos permite avaliar a necessidade de propor medidas de adaptação.

Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar os impactos das mudanças climáticas no balanço hídrico da bacia do Rio São Francisco, supondo diferentes cenários de emissão e em alta resolução espacial.

METODOLOGIA

Na geração de projeções de mudanças climáticas, há uma cadeia de incertezas associadas às hipóteses, que vão desde os cenários de emissão, aos métodos de cálculo de concentração, que por sua vez são dados de entrada dos modelos globais, que forçam os modelos regionais. O uso de diversos cenários em simulações numéricas é prática comum no estudo das mudanças climáticas. O uso de vários cenários permite considerar o leque de possibilidades dos estudos, bem como indicar as possibilidades mais prováveis, o que confere maior confiança nos resultados de estudos de impacto, vulnerabilidade e adaptação.

As simulações utilizadas para análise dos impactos sobre a bacia do Rio São Francisco foram as reduções de escala (regionalizações) (Chou *et al.* 2014a e 2014b) a partir dos cenários climáticos dos modelos globais HadGEM2-ES (Collins *et al.*, 2011) e MIROC5 (Watanabe *et al.*, 2010), e além do modelo CanESM2 (Arora *et al.* 2011). Sendo assim, foram utilizados um total de 3 modelos globais (Figura 1). A maior quantidade de membros regionalizados permite analisar melhor as incertezas associadas aos modelos em cenários climáticos futuros. Inicialmente, as simulações foram geradas para o clima presente (1961-1990), em seguida, as projeções para o período de 2006-2100 foram produzidas utilizando os dois cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5.

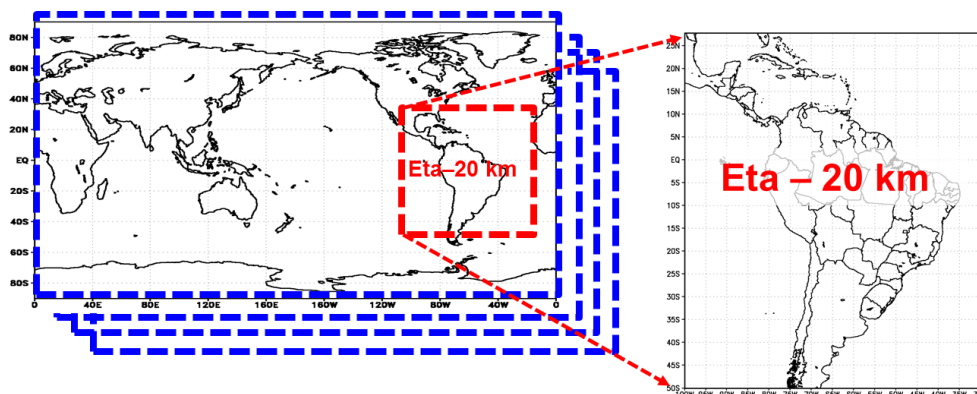


Figura 1 – Representação esquemática da redução de escala (regionalização) dos modelos globais e domínio do Modelo Eta. Cada quadro em azul tracejado indica um modelo global.

Modelo Eta

O modelo Eta é um modelo atmosférico regional (área limitada) em ponto de grade. Uma característica particular do modelo é a coordenada vertical eta apropriada para operar em regiões de topografias íngremes. A versão a ser utilizada para regionalização neste trabalho recebeu atualizações descritas em Mesinger *et al.* (2012) com as adaptações para uso em integrações multidecais descritas em Pesquero *et al.* (2010) e Chou *et al.* (2012). O modelo trata os processos físicos de subgrade através de esquemas de parametrizações, como a maioria dos modelos de previsão numérica de tempo. O modelo resolve as misturas turbulentas na atmosfera, as nuvens, a produção de chuva, a transferência radiativa na atmosfera e possui representação de hidrologia. Maiores detalhes podem ser encontrados em Mesinger *et al.*, (2016).

Bacia do Rio São Francisco

Este trabalho tem enfoque na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Esta bacia se estende pelas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, sendo a principal fonte de água doce da região Nordeste do Brasil. Na sua extensão encontra-se diferentes tipos de cobertura vegetal: Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. A agricultura é uma das principais atividades econômicas na bacia. A área de drenagem (638.576 km²) ocupa 8% do território nacional. A bacia possui um potencial hidrelétrico de mais de 10000 MW, sendo os reservatórios de Três Marias e Sobradinho os principais regularizadores das vazões. Os recursos hídricos da bacia são demandados tanto para a geração de energia, como para a irrigação das culturas agrícolas, navegação, saneamento, pesca e aquicultura e lazer. Estes vários usos criam sérios conflitos na disputa pelos mesmos. O aumento na demanda de produção de energia e de transposição de suas águas certamente irão aprofundar estes conflitos. Portanto, analisar as possíveis mudanças no regime das chuvas e os possíveis impactos sobre a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio São Francisco é importante para apoiar medidas de adaptação nesta região.

A disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio São Francisco é de 7.024 m³/hab/ano (ANA 2003). A maior disponibilidade hídrica se encontra no Médio São Francisco com 15.167 m³/hab/ano, apesar de estarem localizadas aí as sub-bacias com as menores contribuições hídricas de toda a Bacia, seguida do Alto São Francisco com 6.003 m³/hab/ano, o Baixo com 1.172 m³/hab/ano e no Sub-Médio com 899 m³/hab/ano (ANA 2003).

RESULTADOS

A validação das simulações regionalizadas com o modelo Eta (Eta-HadGEM2-ES, Eta-MIROC5 e Eta-CanESM2) é apresentada através dos campos de precipitação para os trimestres que compreendem os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) e de junho, julho e agosto (JJA), correspondendo respectivamente as estações de verão e inverno austral. Levando em consideração os erros de cada simulação do clima presente, são investigadas as mudanças no balanço hídrico da bacia, considerando os diferentes cenários de emissão.

Avaliação das regionalizações com o Modelo Eta

A Figura 2 mostra a distribuição espacial da precipitação observada do CRU (Mitchell e Jones 2005) e a precipitação simulada pelo modelo Eta com as diferentes condições de contorno no verão e inverno, para o período de 30 anos, de 1961 a 1990. Esta etapa permite validar as simulações do período histórico. Todas as regionalizações capturam a variabilidade sazonal da precipitação sobre a América do Sul. Entretanto, o Eta forçado com o modelo CanESM2 apresenta a maior precipitação sobre o Alto e parte do Médio São Francisco durante o verão, DJF. A simulação que apresenta a menor precipitação sobre o Sub-médio e Baixo São Francisco é a que utiliza condições de contorno do modelo HadGEM2-ES. O Modelo Eta-MIROC5 apresenta precipitação de 1 a 3mm/dia sobre o Alto São Francisco, entretanto a observação mostra valores abaixo de 1mm/dia nesta região em JJA.

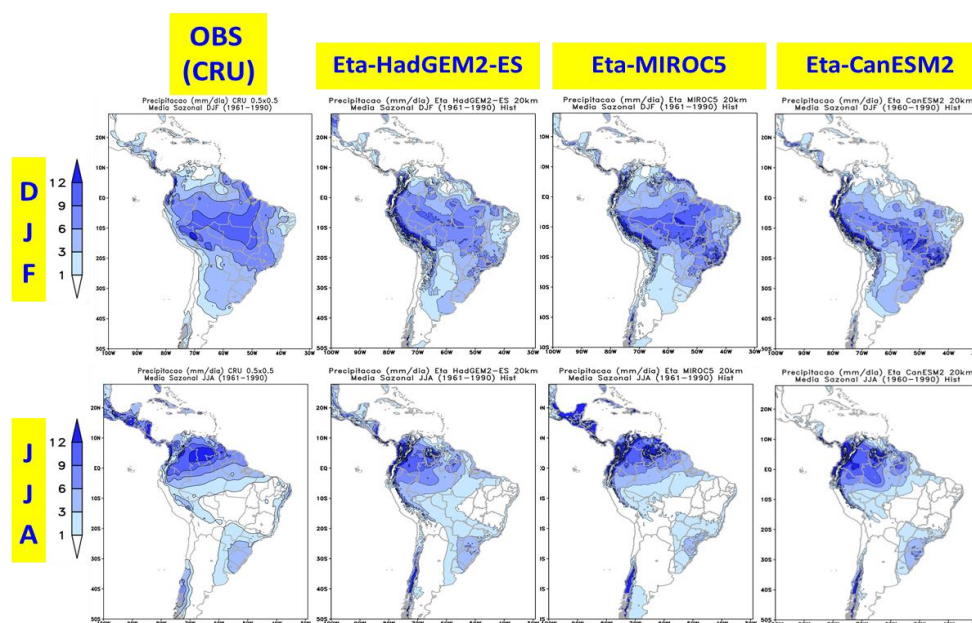


Figura 2 – Precipitação média (mm/dia) observada (CRU) e simulada pelo Eta-HadGEM2-ES, Eta-MIROC5 e Eta-CanESM2 para os trimestres DJF e JJA no período de 1961-1990.

Tendência da Precipitação

As projeções do modelo Eta, forçado pelos diferentes cenários climáticos dos modelos globais, indicam a tendência de redução da precipitação média na bacia conforme a concentração dos gases de efeito estufa aumenta com o passar dos anos, até o final do século 21. Esta redução é mais clara nos cenários em que apresentavam maiores quantidades de chuva no período histórico.

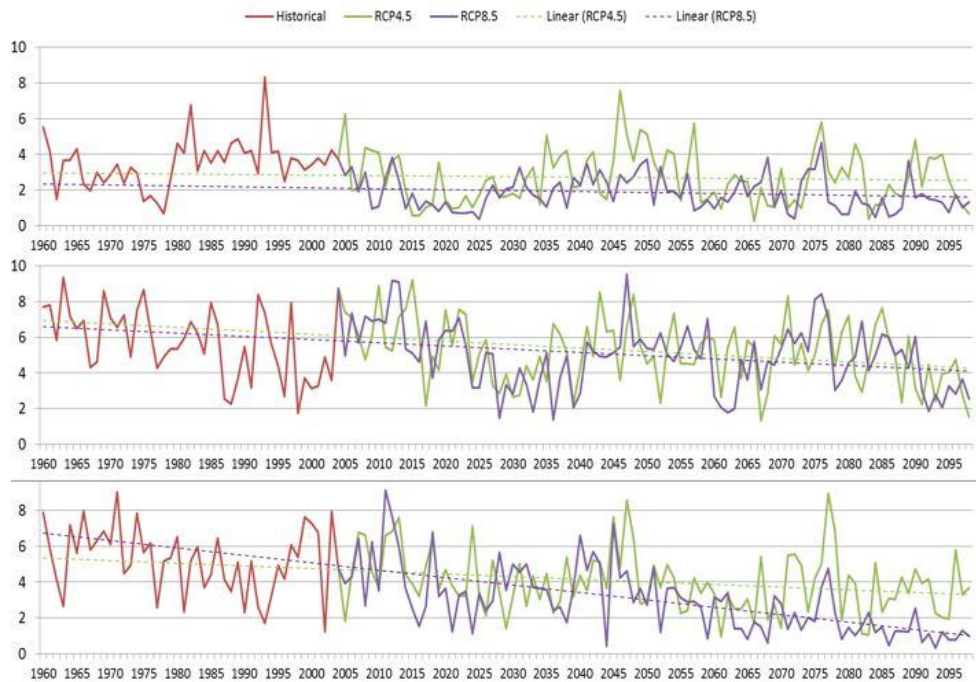
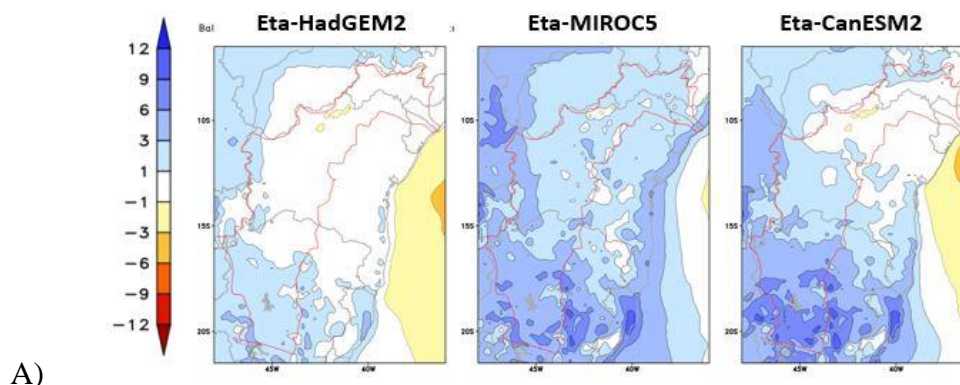


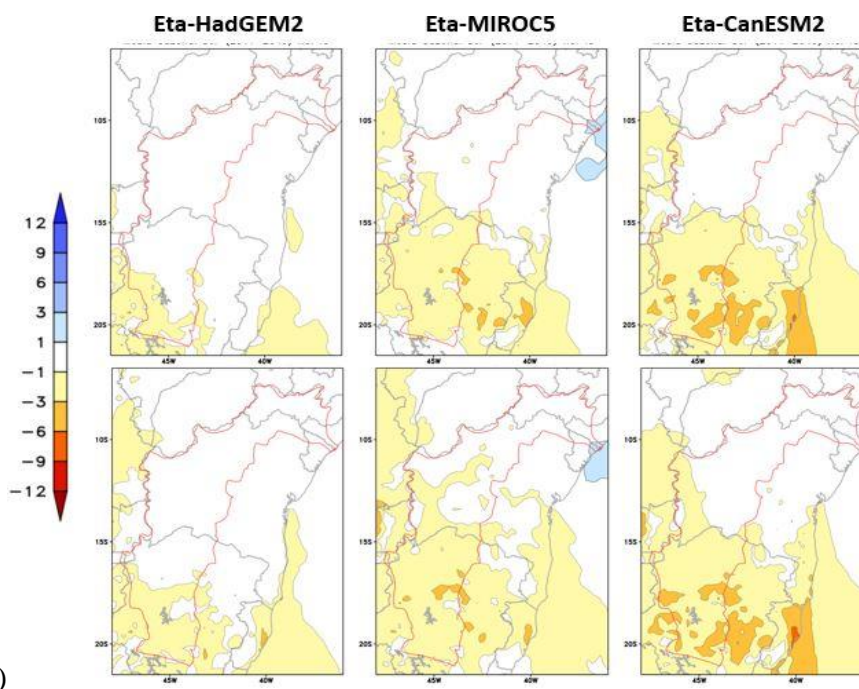
Figura 3 – Precipitação média na bacia do Rio São Francisco simulado para o período histórico (curva vermelha) e período futuro nos cenários RCP4.5 (curva verde) e RCP8.5) (curva preta). Eta-HadGEM2 na primeira fileira, Eta-MIROC5 na fileira do meio e Eta-CanESM2 na última fileira.

Projeções regionalizadas do balanço hídrico (Precipitação-Evapotranspiração)

Para calcular o balanço hídrico na bacia a partir das projeções regionalizadas foi utilizada a diferença entre precipitação e evapotranspiração em cada ponto de grade do modelo sobre a bacia. O valor de P-E pode ser considerado um indicador da componente de escoamento superficial (comparável a vazões dos rios). Os cenários futuros de P-E sugerem tendência de aumento na duração da deficiência hídrica em praticamente todo o ano, sobre a bacia do Rio São Francisco. Figura 4 mostra a diferença entre o P-E do período futuro, 2011-2040, e o P-E do período histórico, 1961-1990. Os valores negativos indicam redução no excedente hídrico (P-E). A redução é maior nos cenários climáticos produzidos pela regionalização Eta-CanESM2, que é a regionalização que apresentou maiores quantidades de chuva no período histórico. Apesar do cenário de emissão RCP8.5 apresentar maior redução no excedente hídrico, a diferença é pequena entre os dois cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5, isso se deve a concentrações semelhantes dos gases de efeito estufa neste primeiro período do futuro.



A)



B)

Figura 4 – P-E (Precipitação menos Evapotranspiração, mm/dia) do período histórico sobre a região da Bacia do Rio São Francisco (A) e mudança (diferença entre P-E do período futuro 2011-2040 e P-E do período histórico), em RCP4.5 (fila superior) e RCP8.5 (fila inferior) (B).

CONCLUSÕES

A regionalização dos cenários climáticos de três modelos globais, HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM2, a partir do modelo Eta na resolução de 20 km mostra boa validação com as observações no período presente para toda América do Sul e América Central. As projeções da chuva média na bacia do rio São Francisco mostram reduções conforme aumenta a concentração dos gases de efeito estufa ao longo do século 21, sendo a redução mais intensa nas projeções do Eta forçado pelo modelo climático CanESM2. Estas reduções na chuva se estendem além da área da bacia, cobrindo partes das regiões Sudeste e Centro-Oeste. O balanço hídrico durante o verão resultante da diferença entre precipitação e evaporação apresenta reduções no período futuro de 2011-2040 em relação ao período histórico de 1961-1990, o que indica menor excedente hídrico durante a estação chuvosa na bacia do rio São Francisco. Estudos alimentando modelos hidrológicos com as projeções de precipitação podem mostrar as mudanças no regime hidrológico da bacia.

Agradecimentos: Este trabalho foi parcialmente financiado pelos projetos CNPq-ANA 446197/2015-7, CNPq 308035/2013-5, CAPES-ANA 88887.115869/2015-01 e PNUD/bra/10/G32.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2003). Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco: Subprojeto 4.5B - Formulação de um Programa de Gerenciamento Integrado da Bacia do rio São Francisco e da sua Zona Costeira. Brasília-DF, 243 p.

ARORA, V. K.; J. F. SCINOCICA, G. J. BOER, J. R. CHRISTIAN, K. L. DENMAN, G. M. FLATO, V. V. KHARIN, W. G. LEE, AND W. J. MERRYFIELD (2011), Carbon emission limits

required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L05805, doi:[10.1029/2010GL046270](https://doi.org/10.1029/2010GL046270).

CHOU, S.C.; MARENGO, J.A.; LYRA, A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.; ALVES, L.M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P. (2012) Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*. Vol. 38 n. 3-4, 635-653. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8

CHOU, S.C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. (2014) Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change*, 3, 438-454. doi:10.4236/ajcc.2014.35039.

CHOU, S.C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. (2014) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 3, 512-527. doi: 10.4236/ajcc.2014.35043.

COLLINS, W.J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; *et al.* (2011) Development and Evaluation of an Earth-System Model-HadGEM2. *Geoscientific Model Development*, 4, pp. 1051-1075. <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO978110741532>

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY G.; ALVES, L.; PESQUERO, J. F SOARES, W.R; SANTOS, D.C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. (2012). 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. *Climate Dynamics*. Vol 38, n 9-10, 1829-1848. DOI 10.1007/s00382-011-1155-5

MARTIN, G.M., BELLOUIN, N., COLLINS, W.J., CULVERWELL, I.D., HALLORAN, P.R., HARDIMAN, S.C., *et al.* (2011). The HadGEM2 Family of Met Office Unified Model Climate Configurations. *Geoscientific Model Development*, 4, pp. 723-757. <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-4-723-2011>.

MCT, 2010: *Second National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia.

MESINGER, F.; VELJOVIC, K.; CHOU, S. C.; GOMES, J.; LYRA, A. (2016). The Eta Model: Design, Use, and Added Value, In *Topics in Climate Modeling*, Theodore Hromadka and Prasada Rao (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/64956. Available from: <http://www.intechopen.com/books/topics-in-climate-modeling/the-eta-model-design-use-and-added-value>

MESINGER F, CHOU SC, GOMES JL, JOVIC D, BASTOS P, BUSTAMANTE JF, LAZIC L, LYRA AA, MORELLI S, RISTIC I, VELJOVIC K. (2012). An upgraded version of the Eta model. *Meteorology and Atmospheric Physics*. Vol 116 (3), 63-79. DOI: 10.1007/s00703-012-0182-z

MITCHELL, T.D.; JONES, P.D. (2005). An Improved Method of Constructing a Database of Monthly Climate Observations and Associated High-Resolution Grids. *International Journal of Climatology*, 25, pp. 693-712. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1181>

PESQUERO, J.F., CHOU, S.C, NOBRE, C.A, MARENGO, J.A. (2010). Climate downscaling over South America for 1961-1970 using the Eta Model. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol 99, 1-2, p.75-93. DOI: 10.1007/s00704-009-0123-z

WATANABE, M., SUZUKI, T., O'ISHI, R., KOMURO, Y., WATANABE, S., EMORI, S., *et al.* (2010). Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *Journal of Climate*, 23, pp. 6312-6335. <http://dx.doi.org/10.1175/2010JCLI3679.1>