

## ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA AMAZÔNIA UTILIZANDO O MODELO ETA-HADGEM2-ES NO PERÍODO DE 1985 A 2005

## ANALYSIS OF PRECIPITATION IN THE AMAZON BASIN USING THE ETA-HADGEM2-ES MODEL FROM 1985 TO 2005

**VINÍCIUS MACHADO ROCHA**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB  
Rua do Imperador, nº 9, Solar Araújo Pinho, Centro, Santo Amaro, Bahia, CEP 44.200-000  
E-mail: [vinimrocha@ufrb.edu.br](mailto:vinimrocha@ufrb.edu.br)

**FRANCIS WAGNER SILVA CORREIA**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Av. Darcy Vargas, nº 1.200, Parque 10 de novembro, Manaus, Amazonas, CEP 69.065-020  
E-mail: [francis.wagner70@gmail.com](mailto:francis.wagner70@gmail.com)

**WESLEY DE BRITO GOMES**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA  
Av. André Araújo, nº 2.936, Petrópolis, Manaus, Amazonas, CEP 69.067-375  
E-mail: [wesley.brito.gomes@gmail.com](mailto:wesley.brito.gomes@gmail.com)

**LEONARDO ALVES VERGASTA**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA  
Av. André Araújo, nº 2.936, Petrópolis, Manaus, Amazonas, CEP 69.067-375  
E-mail: [leo.vergasta86@gmail.com](mailto:leo.vergasta86@gmail.com)

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
*Novembro/2018*  
Data de Aprovação:  
*Dezembro/2018*

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a precipitação na bacia amazônica simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES para o período de 1985 a 2005. Para tanto, a precipitação simulada pelo modelo é comparada aos campos gerados a partir de dados observacionais e de reanálises. De modo geral, o modelo Eta-HadGEM2-ES conseguiu reproduzir de maneira satisfatória as características climatológicas da precipitação sobre a Amazônia e América do Sul. Na escala sazonal, a precipitação simulada apresentou bias negativo na Amazônia durante o

verão e positivo no inverno, especialmente nos setores oeste e sul da bacia.

**Palavras-chave:** Amazônia, precipitação, modelo regional Eta.

### Abstract

The goal of this study was to evaluate the Amazonian precipitation via an Eta-HadGEM2-ES model simulation for the period 1985-2005. Here, the precipitation simulated by the model were compared to observational data and reanalysis. In general, the Eta-HadGEM2-ES model was able to reproduce satisfactorily the precipitation climatology of the Amazon and South America. On the seasonal scale in the Amazon, simulated rainfall had a negative bias during the summer and was positively biased in the winter, especially in the areas west and south of the basin.

**Keywords:** Amazon basin, precipitation, Eta regional model.

## 1. Introdução

A principal ferramenta para avaliar as variabilidades e mudanças climáticas são os Modelos Climáticos Globais (MCGs) e Regionais (MCRs), que são capazes de representar as complexas interações entre o oceano, a atmosfera e a superfície terrestre. No Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os modelos globais apresentaram um aperfeiçoamento geral em relação aos modelos utilizados no Quarto Relatório de Avaliação (AR4), sobretudo, em termos de precipitação, no qual o padrão de correlação espacial aumentou de 0,77 para 0,82 (FLATO et al., 2013).

Os MCGs do AR5 tiveram suas simulações iniciadas no período industrial moderno (1850) e foram executados até 2005; a partir de 2006 realizaram-se as simulações utilizando os cenários Representation Concentration Pathway (RCP), geralmente se estabilizando em 2100. Conforme salientam Chou et al. (2014), ao configurar-se MCGs para serem executados por um longo período a resolução do modelo se caracteriza uma restrição computacional. Geralmente, a resolução dos modelos acoplados oceano-atmosfera é cerca de 100-300 km. Apesar da complexidade dos processos físicos incorporados às versões mais recentes dos modelos globais, suas resoluções podem não ser capazes de capturar detalhes de superfícies subjacentes que são importantes para a avaliação dos impactos das mudanças climáticas futuras na escala regional, por exemplo, impactos em áreas urbanas, na produção agrícola, etc.

Desse modo, os MCRs forçados com os MCGs fornecem os detalhes necessários para a realização dos estudos de impactos na escala regional. As características de grande escala provenientes dos MCGs são forçadas através das fronteiras dos MCRs. Devido à sua resolução, os MCRs são capazes de capturar com maior precisão a amplitude dos fenômenos de mesoescala. As incertezas através dos limites laterais podem ser consideradas incluindo membros perturbados de um modelo global, como em Marengo et al. (2012). Os MCRs, em geral, subestimam a precipitação em grande parte do continente, porém, superestimam sobre setores localizados ao sul dos Andes. Esses erros sugerem alguma influência relacionada aos esquemas de superfície terrestre que são, provavelmente, mal calibrados para estas regiões devido à escassez de dados observacionais (CHOU et al., 2014).

Como parte do esforço para contribuir na elaboração da Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (United Nations Framework Convention of Climate Change – UNFCCC) e avaliação dos impactos no que concerne às questões estratégicas do país, simulações com alta resolução foram realizadas utilizando o modelo regional Eta (INPE).

Neste estudo, a simulação do modelo regional Eta, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), forçado com o modelo do sistema terrestre HadGEM2-ES, do Met Office Hadley

Centre (MOHC), conforme apresentado por Chou et al. (2014), é utilizada a fim de avaliar a precipitação na bacia amazônica no período de 1985 a 2005.

## **2. Materiais e Métodos**

A precipitação simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES é comparada à climatologia de precipitação das seguintes bases de dados: Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation – CMAP; Climatic Research Unit – CRU; Global Precipitation Climatology Centre – GPCC; Global Precipitation Climatology Project – GPCP; MERGE (que combina dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM com observações de superfície); e as reanálises do ERA-Interim (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF); todas no período entre 1985-2005, exceto os dados de precipitação do MERGE que compreendem ao intervalo de 1998 a 2005. A avaliação é baseada nos campos médios sazonais contrastantes (verão – DJF e inverno – JJA) e no ciclo anual sobre a Amazônia, incluindo os setores norte e sul da bacia. As métricas estatísticas utilizadas foram o bias, coeficiente de correlação e a raiz quadrada do erro médio quadrático. A seguir, são descritos os modelos climáticos, a estratégia de integração numérica e as métricas estatísticas utilizadas neste estudo.

### **2.1. Os modelos**

O modelo do sistema terrestre HadGEM2-ES, do Met Office Hadley Centre (MOHC), foi utilizado para forçar o MCR Eta (INPE). O HadGEM2-ES é um modelo em ponto de grade de resolução N96, que equivale à 1,875 graus de longitude e 1,275 graus de latitude, e 38 níveis na atmosfera. No oceano, o modelo possui 40 níveis na vertical; e na horizontal, a resolução varia de 1/3 graus nos trópicos a 1 grau nas latitudes superiores a 30°. O HadGEM2-ES é um modelo do sistema terrestre cujo ciclo do carbono é representado. Sobre a superfície da terra, o ciclo do carbono é modelado pelo esquema de vegetação dinâmica TRIFFID (Top-down Representation of Interactive Foliage Including Dynamics) (COX, 2001), que distingue cinco tipos funcionais de plantas: árvores de folhas grandes e coníferas, gramíneas C3 e C4, e vegetação arbustiva. O HadGEM2-ES ainda inclui a química da atmosfera e um modelo de aerossol com a representação do carbono orgânico e da pluma de poeira.

O MCR Eta utiliza a coordenada vertical ETA (MESINGER, 1984), que permanece aproximadamente horizontal em áreas montanhosas, o que torna a coordenada adequada para estudos em regiões de topografia acidentada como a Cordilheira dos Andes, na América do Sul. A dinâmica do modelo é determinada em volumes finitos (JANJÍĆ, 1984; MESINGER et al., 2012). As convecções profunda e rasa são parametrizadas de acordo com o esquema de Betts-Miller (BETTS

e MILLER, 1986), modificado por Janjić (1994). A microfísica de nuvens segue o esquema de Zhao et al. (1997). Os processos de superfície da terra são representados pelo esquema NOAH (EK et al., 2003). O MCR Eta distingue 12 tipos de vegetação e 9 tipos de solo. Os fluxos radiativos são tratados pelo esquema de Lacis e Hansen (1974), para ondas curtas, e pelo esquema proposto por Fels e Schwarzkopf (1975) para ondas longas.

## 2.2. Estratégia de integração numérica

Neste estudo foi utilizado o cenário do clima presente regionalizado pelo MCR Eta forçado com o modelo do sistema terrestre HadGEM2-ES (CHOU et al., 2014) e que corresponde ao período entre 1961-2005, onde a concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera é constante, mantendo-se a 330 ppm. A temperatura da superfície do mar (TSM) é fornecida pelo modelo global HadGEM2-ES e atualizada diariamente. Tanto a umidade inicial do solo quanto a temperatura inicial do solo são derivadas do modelo do sistema terrestre. As condições de contorno foram atualizadas a cada 6 horas. O modelo foi configurado com uma resolução de 20 km e 38 níveis verticais, cujo topo definiu-se em 25 hPa.

## 2.3. As métricas estatísticas

Para o cálculo dos coeficientes de correlação entre a simulação 'x' e os dados observados e de reanálises 'y' é utilizado o método de correlação linear de Pearson, que é dado pela razão entre a covariância e o produto dos desvios padrão das duas variáveis, como segue:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

O método da raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) também é utilizado para aferir a precisão da simulação, no qual altos valores de REMQ indicam altos níveis de discordância entre a simulação  $\phi$  e os dados observados e de reanálises  $\psi$ . A fórmula do REMQ é dada por:

$$REMQ = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \psi_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

O bias mostra a tendência sistemática da simulação, ou seja, se o bias for maior que zero, na média, a previsão está sendo superestimada enquanto que se for menor do que zero a previsão é subestimada:

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \psi_i)$$

### 3. Resultados e Discussão

A simulação do modelo Eta-HadGEM2-ES (CHOU et al., 2014) compreende o período entre 1961-2005, porém, neste estudo a avaliação é realizada com base no período de 1985 a 2005, considerando os campos médios sazonais contrastantes e o ciclo anual da precipitação na bacia amazônica.

#### 3.1. Estações úmida (DJF) e seca (JJA)

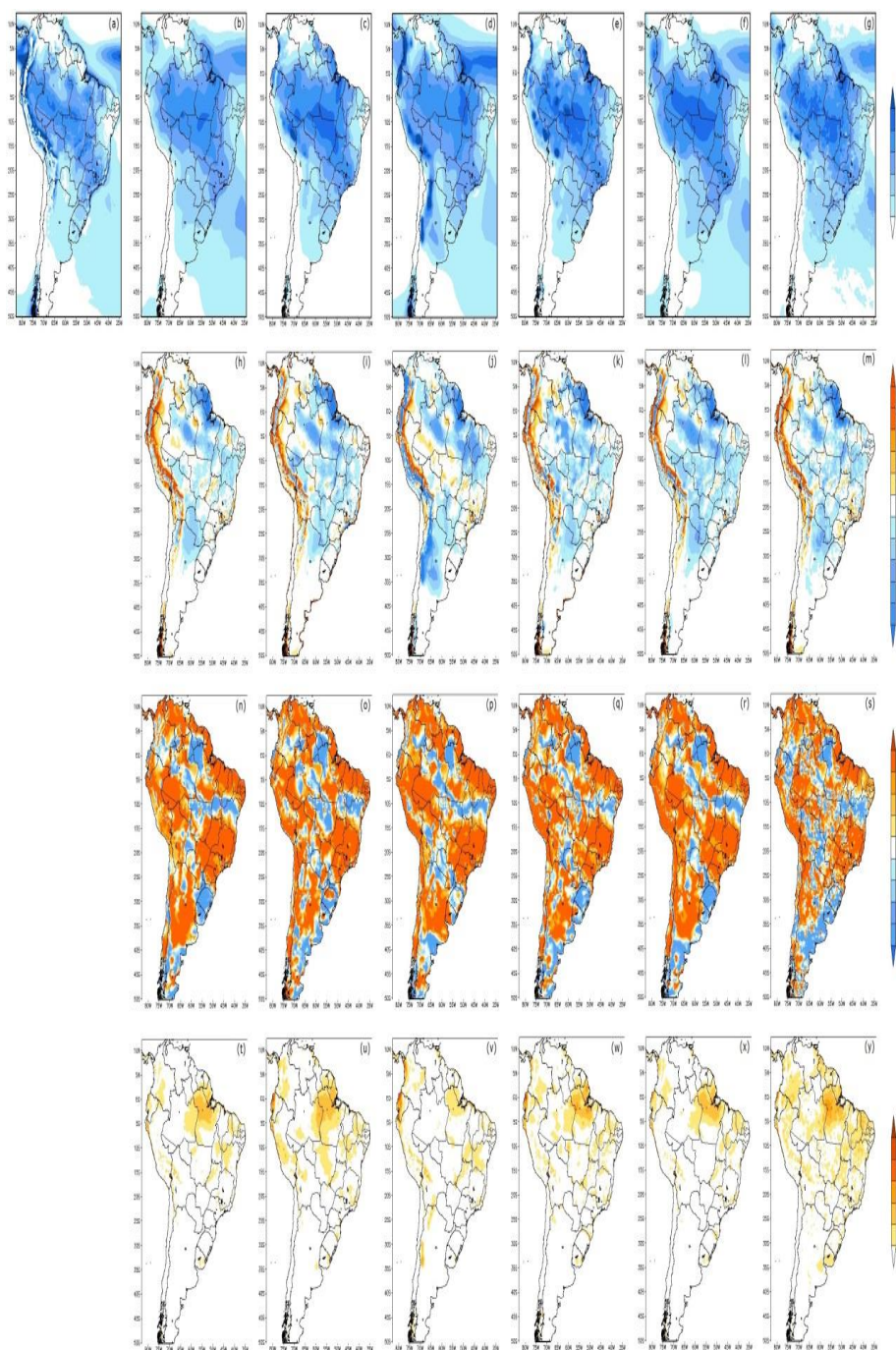
As Figuras 1 e 2 apresentam a precipitação média sazonal simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES e a climatologia referente aos dados observacionais e de reanálises para as estações de verão e inverno, respectivamente.

A precipitação nessas duas estações é bem representada pelo modelo, que mostra a maior banda de precipitação durante os meses de DJF associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e baixo índice de chuva na porção central e no Sudeste do Brasil em JJA. No inverno, a precipitação na região Sudeste da América do Sul e a banda ao longo da costa leste do continente também foram representadas na simulação do modelo. No entanto, em DJF a precipitação simulada é subestimada em grande parte do continental, estendendo-se desde o norte da Argentina até o setor setentrional da América do Sul. Por outro lado, em JJA, a precipitação simulada é superestimada, sobretudo, na porção central do continente, especialmente sobre a Amazônia meridional e ocidental, e na bacia do Prata.

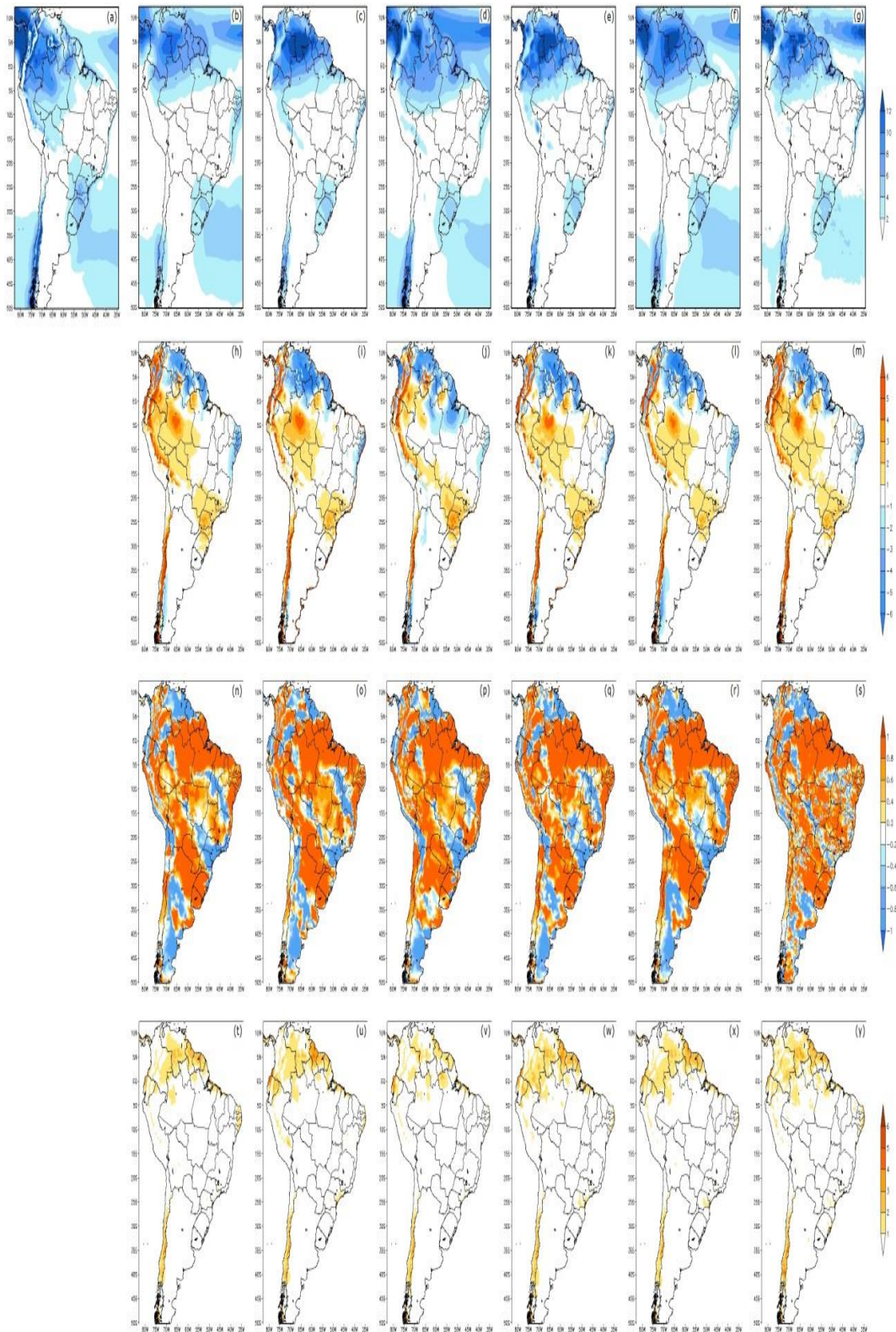
Verifica-se, ainda, a presença de erros sistemáticos na estimativa da precipitação sobre os Andes, em ambas as estações. Isto ocorre em virtude do efeito orográfico e revela que o modelo apresenta dificuldades em representar a precipitação próxima às áreas íngremes. No entanto, a climatologia mostra que chuvas abundantes são normalmente observadas nessa região (FIGUEROA e NOBRE, 1990).

Além disso, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) foi corretamente posicionada sobre o Oceano Atlântico e com valores próximos ao observado em DJF, porém, sobre o Pacífico o modelo superestimou o máximo de chuva. Por outro lado, em JJA, o posicionamento e a intensidade da

ZCIT sobre o Atlântico não foram bem representados na simulação, estando abaixo de sua posição climatológica e com valores menos intensos se comparados às diferentes bases de dados.



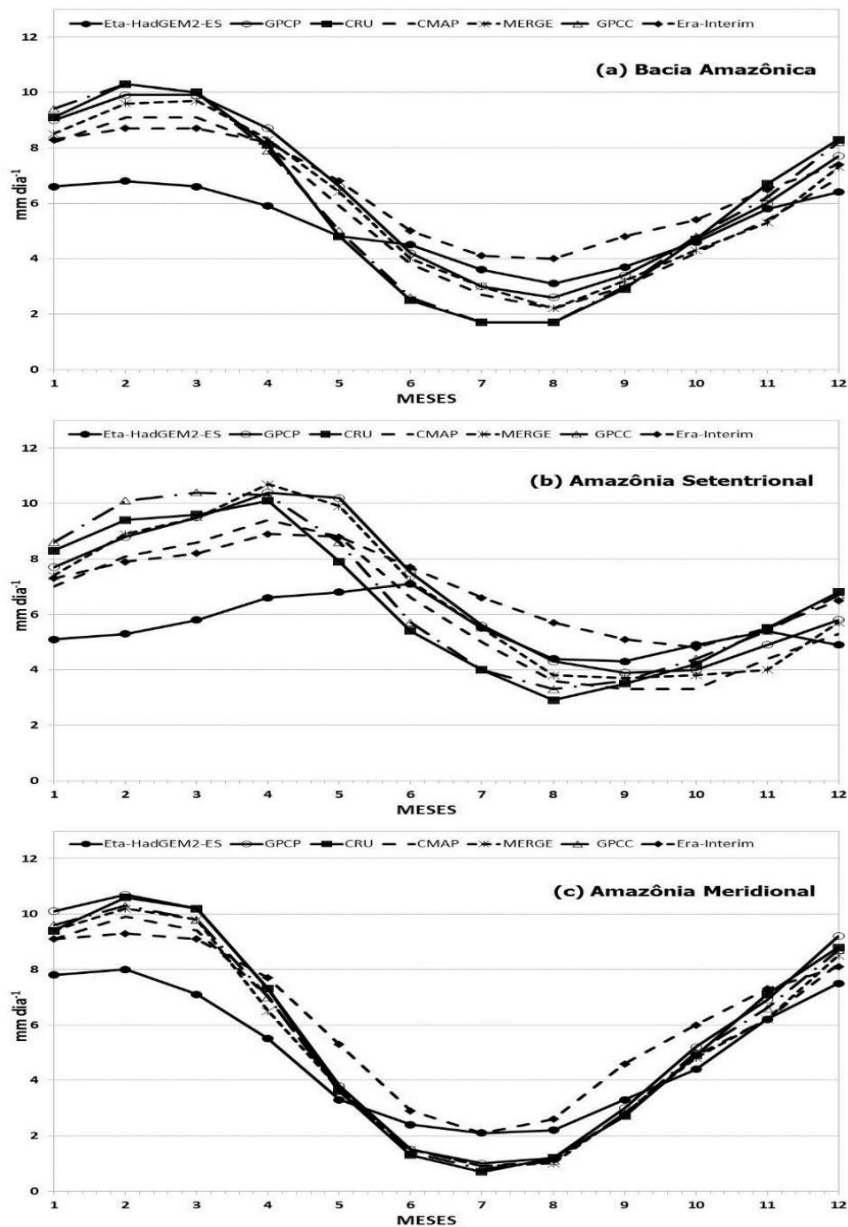
**FIGURA 1:** Precipitação média ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) em DJF: (a) simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, (b) CMAP, (c) CRU, (d) Era-Interim, (e) GPCC, (f) GPCP, (g) MERGE; bias ( $\text{mm dia}^{-1}$ ): (h) CMAP-Eta-HadGEM2-ES, (i) CRU-Eta-HadGEM2-ES, (j) Era-Interim-Eta-HadGEM2-ES, (k) GPCC-Eta-HadGEM2-ES, (l) GPCP-Eta-HadGEM2-ES, (m) MERGE-Eta-HadGEM2-ES; coeficiente de correlação: (n) CMAP-Eta-HadGEM2-ES, (o) CRU-Eta-HadGEM2-ES, (p) Era-Interim-Eta-HadGEM2-ES, (q) GPCC-Eta-HadGEM2-ES, (r) GPCP-Eta-HadGEM2-ES, (s) MERGE-Eta-HadGEM2-ES; REMQ ( $\text{mm dia}^{-1}$ ): (t) CMAP-Eta-HadGEM2-ES, (u) CRU-Eta-HadGEM2-ES, (v) Era-Interim-Eta-HadGEM2-ES, (w) GPCC-Eta-HadGEM2-ES, (x) GPCP-Eta-HadGEM2-ES, (y) MERGE-Eta-HadGEM2-ES.



**FIGURA 2:** Precipitação média ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) em JJA: (a) simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, (b) CMAP, (c) CRU, (d) Era-Interim, (e) GPCC, (f) GPCP, (g) MERGE; bias ( $\text{mm dia}^{-1}$ ): (h) CMAP-Eta-HadGEM2-ES, (i) CRU-Eta-HadGEM2-ES, (j) Era-Interim-Eta-HadGEM2-ES, (k) GPCC-Eta-HadGEM2-ES, (l) GPCP-Eta-HadGEM2-ES, (m) MERGE-Eta-HadGEM2-ES; coeficiente de correlação: (n) CMAP-Eta-HadGEM2-ES, (o) CRU-Eta-HadGEM2-ES, (p) Era-Interim-Eta-HadGEM2-ES, (q) GPCC-Eta-HadGEM2-ES, (r) GPCP-Eta-HadGEM2-ES, (s) MERGE-Eta-HadGEM2-ES; REMQ ( $\text{mm dia}^{-1}$ ): (t) CMAP-Eta-HadGEM2-ES, (u) CRU-Eta-HadGEM2-ES, (v) Era-Interim-Eta-HadGEM2-ES, (w) GPCC-Eta-HadGEM2-ES, (x) GPCP-Eta-HadGEM2-ES, (y) MERGE-Eta-HadGEM2-ES.

### 3.2. Ciclo anual

A Figura 3 apresenta o ciclo anual da precipitação simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES e a climatologia referente aos dados observacionais e de reanálises para toda a Amazônia (a), assim como nos setores norte (b) e sul (c) da bacia. De maneira geral, o modelo conseguiu representar o ciclo anual da precipitação na Amazônia, com melhor desempenho no setor sul da bacia. No ciclo anual, a representação da precipitação é melhor durante a estação seca, quando o bias é menor. A sazonalidade da precipitação, mais pronunciada sobre o setor sul da bacia, está associada ao padrão do regime de monção da América do Sul e à oscilação no sentido norte-sul da ZCIT.





**FIGURA 3:** Ciclo anual da precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES e a climatologia referente aos dados observacionais e de reanálises para a: (a) Bacia amazônica, (b) Amazônia Setentrional e (c) Amazônia Meridional.

#### 4. Considerações Finais

O objetivo deste estudo foi avaliar a precipitação na bacia amazônica simulada pelo modelo Eta-HadGEM2-ES (CHOU et al., 2014) no período de 1985 a 2005. Para tanto, a precipitação simulada pelo modelo foi comparada aos campos gerados com base nos dados observacionais e de reanálises.

De modo geral, o modelo Eta-HadGEM2-ES reproduziu de maneira satisfatória as características climatológicas da precipitação sobre a Amazônia e América do Sul. Considerando a escala sazonal, a precipitação simulada pelo modelo apresentou bias negativo na Amazônia durante o verão e positivo no inverno, especialmente nos setores oeste e sul da bacia. É provável que a origem desses erros esteja associada aos esquemas de parametrização que representam a superfície terrestre e/ou a convecção e microfísica de nuvens, o que requer mais investigação. Por fim, o bias do modelo sobre regiões montanhosas como os Andes, por exemplo, ainda é incerto devido à escassez de dados observacionais nessas áreas.

#### Referências Bibliográficas

- BETTS, A.K.; MILLER, M.J. A New Convective Adjustment Scheme. Part II: Single Column Tests Using GATE Wave, BOMEX, ATEX and Arctic Air-Mass Data Sets. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 112, p. 693-709, 1986.
- 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. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-454, 2014.
- COX, P.M. **Description of the “TRIFFID” Dynamic Global Vegetation Model**. Met Office, UK: Hadley Centre technical note 24, 2001.
- EK, M.B.; MITCHELL, K.E.; LIN, Y.; ROGERS, E.; GRUMMEN, P.; KOREN, V.; GAYNO, G.; TARPLEY, J.D. Implementation of NOAA land surface advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta Model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 108, p. 1-16, 2003.
- FELS, S.B.; SCHWARZKOPF, M.D. The simplified exchange approximation: a new method for radiative transfer calculations. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 32, p. 1475-1488, 1975.
- FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 5, p. 36-48, 1990.
- FLATO, G.; MAROTZKE, J.; ABIODUN, B.; BRACONNOT, P.; CHOU, S.C.; COLLINS, W.; COX, P.; DRIQUECH, F.; EMORI, S.; EYRING, V.; FOREST, C.; GLECKLER, P.; GUILYARDI, E.; JAKOB, C.; KATSOV, V.; REASON, C.; RUMMUKAINEN, M. Chapter 9. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.). **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, U.K. and New York, USA: Cambridge University Press, 2013.

JANJIĆ, Z.I. Nonlinear Advection Schemes and Energy Cascade on Semi-Staggered Grids. **Monthly Weather Review**, v. 112, p. 1234-1245, 1984.

JANJIĆ, Z.I. The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 927-945, 1994.

LACIS, A.A.; HANSEN, J.E. A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, p. 118-133, 1974.

MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; KAY, G.; ALVES, L.M.; 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. 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 the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2012.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. **Rivista di Meteorologia Aeronautica**, v. 44, p. 195-202, 1984.

MESINGER, F.; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; JOVIC, D.; BASTOS, P.; BUSTAMANTE, J.F.; LAZIC, L.; LYRA, A.A.; MORELLI, S.; RISTIC, I.; VELJOVIC, K. An Upgraded Version of the Eta Model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 116, p. 63-79, 2012.

ZHAO, Q.; BLACK, T.L.; BALDWIN, M.E. Implementation of the Cloud Prediction Scheme in the Eta Model at NCEP. **Weather and Forecasting**, v. 12, p. 697-712, 1997.