



Aspectos regionais do padrão sazonal da precipitação sobre a Amazônia utilizando o modelo RegCM4

Sérgio Rodrigo Quadros dos Santos¹, Everaldo Barreiros de Souza², Thamiris Luisa de Oliveira Brandão Campos³, Clovis Angeli Sansigolo⁴ e Ana Paula Paes dos Santos⁵.

^{1,3,5}Doutorandos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos-SP. Autor corresponde: ¹Email: sergiosanntos@yahoo.com.br. ²Pesquisador Associado no Instituto Tecnológico Vale (ITV) – Belém-PA. ⁴Pesquisador titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos-SP.

Artigo recebido em 29/03/2016 e aceito em 16/05/2016

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência do modelo RegCM4 em reproduzir as precipitações sazonais sobre a Amazônia no clima atual (1979-2014), com referência ao conjunto de dados do GPCP. De maneira geral, os resultados mostraram que o RegCM4 reproduziu de maneira satisfatória os padrões sazonais de precipitação na Região. Contudo, as análises quantitativas demonstraram que o RegCM4 apresenta erros sistemáticos de subestimativa (viés negativo) no verão e outono, e superestimava (viés positivo) no inverno e primavera. Além disso, foi investigado o desempenho do modelo em reproduzir os padrões anômalos sazonais de precipitação. Os resultados demonstraram uma boa concordância entre as anomalias de chuva observadas e simuladas no período estudado.

Palavras-chave: Amazônia, RegCM4, GPCP, Precipitação

Regional aspects of standard of seasonal rainfall on Amazon using the model RegCM4

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the efficiency of RegCM4 model to reproduce the seasonal rainfall over the Amazon in the current climate (1979-2014), in reference to the set of data GPCP. In general, the results show that reproduces RegCM4 satisfactorily seasonal precipitation patterns in the Region. However, quantitative analysis showed that the RegCM4 presents systematic errors of underestimation (negative bias) in summer and autumn, and overestimated (positive bias) in winter and spring. Furthermore, it was investigated in the model performance reproduce seasonal precipitation anomalous patterns. The results demonstrated good agreement between the rainfall anomalies observed and simulated during the study period.

Keywords: Amazon, RegCM4, GPCP, Rainfall

Introdução

A Amazônia é importante para o mundo inteiro pois captura e armazena o carbono da atmosfera e também exerce um papel fundamental no clima da América do Sul por seu efeito sobre o ciclo hidrológico local (Marengo et al., 2012). Nesta perspectiva, a previsão sazonal de precipitação se torna muito importante em vários setores da sociedade, especialmente para a Amazônia, seja para a tomada de decisões em várias áreas em relação às tendências climáticas, como para servir de alerta de eventuais anomalias extremas de precipitação em longo prazo.

A previsão sazonal feita por Modelos Climáticos Globais (MCG) possui resolução horizontal de centenas de quilômetros enquanto que por modelos regionais possui dezenas de quilômetros. Como a convecção e a própria precipitação são diretamente influenciadas pelo relevo e vegetação, muitas vezes os MCG não conseguem prevê-la adequadamente devido a sua baixa resolução espacial fazendo com que o modelo não consiga representar características locais (Nicolini et al., 2002). Neste aspecto, a vantagem de usar Modelos Climáticos Regionais (MCR) está no fato deles capturarem os efeitos de

escala local, suprimindo assim as limitações dos MCG (Lopes, 2009; Ferreira et al., 2012).

Alguns estudos de modelagem climática regional sobre a região Amazônica têm sido realizados para investigar o desempenho do modelo regional RegCM (Pal, et al. 2007; Giorgi et al., 2012). Souza et al. (2009) investigaram o desempenho do modelo RegCM3 em simular a distribuição regional de precipitação no verão e outono na Amazônia oriental para um período de 26 anos (1982/83 a 2007/08). As análises quantitativas evidenciaram que o RegCM3 apresenta erros sistemáticos, sobretudo aqueles relacionados com viés seco de precipitação no Amapá e norte/nordeste do Pará usando ambos os esquemas de convecção Grell e MIT, os quais apontam que o modelo não reproduz as características da ZCIT sobre o Atlântico equatorial. Por outro lado, o modelo conseguiu representar realisticamente bem o padrão espacial das anomalias pluviométricas acima (abaixo) do normal em grande parte da Amazônia oriental, durante os conhecidos cenários favoráveis, i.e., condições de La Niña e gradiente de aTSM para o Atlântico sul (desfavoráveis, i.e., El Niño e gradiente de aTSM para o Atlântico norte).

Neves et al. (2011) realizaram uma avaliação da previsão sazonal do Modelo RegCM3 em dois eventos extremos de precipitação, nos anos 2006 e 2007 para a região do Estado do Amapá. Os resultados mostraram que a utilização da técnica de redução de escala de previsão da precipitação sazonal, apresentou um bom desempenho em simular a variabilidade da chuva em escala regional. Porém, erros na quantidade e na posição de alguns máximos foram observados, quando comparado com os dados observados.

Ferreira et al., (2012) estudaram a importância do Oceano Atlântico Equatorial no padrão sazonal, durante o período de verão e de outono da região Amazônica, utilizando o modelo RegCM3, com esquema de convecção Grell, aplicando a técnica *downscaling* e utilizando como condição inicial os dados de reanálise do NCEP/NCAR. Os resultados sugerem que a baixa resolução e a parametrização Grell são os principais fatores para a inadequação da qualidade das simulações. Apesar de o esquema Grell ser indicado para regiões com intensa convecção e fortes movimentos verticais, o mesmo necessita ser ajustado com as características físicas da região.

Avila et al., (2013) investigaram o desempenho do RegCM4 em simular a distribuição regional de precipitação sazonal no

Estado do Pará, localizado na Amazônia Oriental, para os anos de El Niño (1982/83) e La Niña (1988/89). Apesar das análises quantitativas evidenciaram que o RegCM4 apresenta erros sistemáticos. O modelo demonstrou ser capaz de simular a variabilidade sazonal da precipitação para o Pará durante a estação chuvosa (verão e outono austral) para os anos de contraste climáticos caracterizados como extremos chuvoso (La Niña) e seco (El Niño). Contudo, ajustes nas parametrizações mostram-se necessários

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é verificar se o modelo RegCM4 reproduz de maneira satisfatória, qualitativa e quantitativamente, as precipitações sazonais sobre a Amazônia no clima atual, compreendendo o período de 1979 a 2014. Além disso, investiga-se performance do modelo em capturar os padrões anômalos sazonais de precipitação no período estudado

Material e métodos

Descrição do RegCM4 e configurações das simulações.

O RegCM4 é a versão do RegCM, originalmente desenvolvido pelo *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) (Giorgi, 1990), baseado no *Mesoscale Model* (MM4). É um modelo de área limitada discretizado em pontos de grade (B de Arakawa). Na vertical é usado o sistema de coordenadas sigma. As equações primitivas, que compõem o núcleo dinâmico do modelo, são para um fluido compreensível e hidrostático. O modelo dispõe de várias opções de parametrizações físicas para convecção, microfísica, camada limite e radiação, mais detalhes em Giorgi et al., (2012).

Nesta pesquisa usou-se as configurações propostas por Da Rocha et al., (2012), onde há mudanças no esquema de convecção Grell (hora de convecção trigger) e o esquema BATS de superfície (teor de água e condutividade hidráulica do solo). Tais modificações produziram simulações climáticas qualitativa e quantitativamente melhores do que os estudos anteriores para o verão e inverno no sudeste do Brasil (Cuadra e Rocha, 2006) e para estação chuvosa da Amazônia Oriental (Souza et al., 2009).

Adicionalmente, o modelo regional foi instalado no Instituto Vale de Tecnologia (ITV), utilizando o estado-da-arte em simulação computacional de alto desempenho por meio de

um cluster com 196 processadores. As simulações regionais para este estudo foram geradas para a Amazônia (5° N a 15 °S/74 °W a 44 °W) (Figura 1) no período de 1979 a 2014, utilizando a projeção Mercator com 192 pontos na zonal, 96 pontos na meridional e 18 pontos verticais. O espaçamento de grade foi de 50km, com condições iniciais e de fronteira provenientes do modelo HadGEM2-ES, desenvolvido pelo Hadley Center.

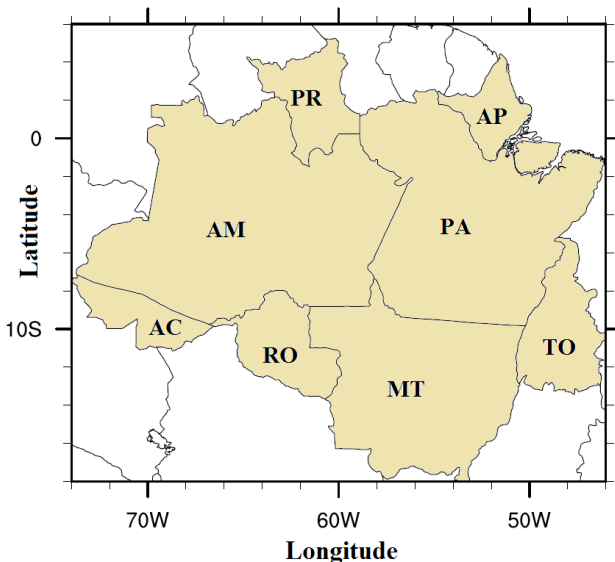


Figura 1 - Localização da Região Amazônica, destacando os Estados pertencentes à Região de estudo e o domínio de simulação utilizado no RegCM4.

Método de análise

As análises sazonais do desempenho das simulações climatológicas (1979-2014) geradas pelo RegCM4, são realizadas com referência aos dados de precipitação do Global Precipitation Climatology Project (GPCP). Os dados de chuva do GPCP resultam da união de diversas fontes de informação: estimativas de vários sensores de satélites e observações em superfície (HUFFMAN et al. 2001).

Assim, construiu-se campos médios sazonais, estes centrados nos meses das diferentes estações do ano. Os campos sazonais foram divididos em dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); março, abril e maio (MAM); junho, julho e agosto (JJA); setembro, outubro e novembro (SON), representando as quatro estações do ano, verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Análises estatísticas

Quando se trabalha com modelos de previsão numérica de tempo ou clima, surge a necessidade premente de se verificar a qualidade da simulação. Invariavelmente, a verificação da simulação constitui um método que envolve medidas de relação entre as previsões e as observações correspondentes do(s) preditando(s) (WILKS, 2006). Por isso, foram aplicados os seguintes métodos estáticos:

Viés:

O viés ou bias, como encontrado frequentemente na literatura, é uma metodologia estatística utilizada para expressar o erro sistemático ou tendenciosidade no prognóstico de determinada variável. Este método mede a correspondência entre a previsão média e o valor médio observado de um determinado parâmetro (Wilks, 2006). O viés negativo está indicando que o modelo tende a subestimar o determinado parâmetro simulado, quanto mais negativo, mais o modelo tende ao erro de subestimativa. E quanto mais o viés for positivo, mais o modelo tende a superestimar o parâmetro. Já quando o viés se aproximar do zero, o parâmetro está sendo bem representado, indicando que o valor previsto se aproxima do valor observado.

$$Vies = s - o \quad (1)$$

Onde “s” representa as simulações e “o” representa a observação.

Raiz do erro Quadrático Médio

Uma medida frequentemente usada na verificação da acurácia de modelos numéricos é a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE em Inglês), como descrito em Wilks (2006). O RMSE mostra a amplitude do erro, ele é sempre positivo. RMSE = 0 indica simulação perfeita. RMSE é definido por:

$$RMSE: \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s - o)^2} \quad (2)$$

Onde S representa a simulação; O representa o observado; n o tempo.

Coefficiente de correlação

O coeficiente de correlação (r) é uma medida da intensidade ou grau de associação entre duas variáveis analisadas, neste caso, a chuva

simulada e a observada. Este índice não é sensível ao viés que, eventualmente, podem estar presentes nas simulações (Wilks, 2006). Pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Si - \bar{S})(Oi - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Si - \bar{S})^2 (Oi - \bar{O})^2}} \quad (3)$$

Onde Si representa a simulação para cada tempo; \bar{S} representa a média das simulações no período; Oi representa o valor observado para cada tempo; \bar{O} representa o valor médio para o período de observações; n o tempo.

Teste t-Student

O teste t-Student, analisa se os valores médios entre dois grupos são estatisticamente diferentes, levando-se também em consideração a variabilidade da distribuição de cada grupo. Neste caso, os grupos foram: GPCP e RegCM4. Para isso foi utilizada a seguinte formulação:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (4)$$

Onde,

\bar{x} é o valor médio do grupo X;

\bar{y} é o valor médio do grupo Y;

n_i é o número de amostras de cada grupo, respectivamente para X (n_1) e Y (n_2);

s_i^2 é a variância de cada grupo, respectivamente para X (s_1) e Y (s_2)

Adicionalmente, é necessário o intervalo de confiança sendo ele o número de graus de liberdade para a análise do resultado do teste. O intervalo de confiança deste estudo é 95%. O índice p é utilizado para referenciar o intervalo de confiança, onde p igual a 0,05. O número de graus de liberdade é definido como $n - 1$, pois os dois grupos apresentam o mesmo número de dados, ou seja, $n_1 = n_2 = n$.

Rosolen (2005) afirma que a hipótese de que um grupo é estatisticamente diferente de outro é corroborada quando o valor obtido, t, é superior ao valor de referência, tr. As informações de tr são geralmente obtidas através de uma tabela de referência que utiliza informações cruzadas do intervalo de confiança com o número de graus de liberdade.

Anomalias

Com o propósito de se analisar a eficiência do modelo RegCM4 em simular o excesso/déficit de chuva, calculou-se as anomalias

mensais e sazonais da precipitação observada no GPCP e simulada pelo modelo.

$$A = (x - x_i) \quad (5)$$

Sendo "A" o valor da anomalia, " x_i " o valor observado e " x " o valor médio do referido período (1979-2014).

Resultados

Precipitação sazonal observada e simulada

A Figura 2 mostra os mapas climatológicos sazonais da precipitação observada (GPCP) e simulada (RegCM4) sobre a Região Amazônica, correspondentes a média do período de 36 anos (1979 a 2014). Observa-se que as estações mais chuvosas são o Verão e Outono com valores de precipitação superiores a 250 mm, por outro lado o inverno e primavera são menos chuvosos com valores de precipitação entre 50 mm a 200 mm. No verão/Outono a ZCIT e ZCAS exercem um papel preponderante na modulação do regime pluviométrico na Região Amazônica, pois é comum haver acoplamento desses sistemas, em associação com outros sistemas meteorológicos, como por exemplo, a Alta da Bolívia (AB), o que provoca chuvas generalizadas em grande parte dessa Região (Gan e Kousky, 1986; Souza e Ambrizi, 2003; Lopes et al., 2014; Dos Santos et al., 2014).

Por outro lado os sistemas precipitantes que atuam na Amazônia no inverno e primavera são os sistemas de Mesoescala como, por exemplo, as Linhas de Instabilidade (LI), Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMS), Frente frias, entre outros. (Cohen et al., 1989; De Oliveira e Oyama, 2009; Reboita et al., 2010).

Em termos qualitativos, para todas as estações do ano, o padrão espacial climatológico da precipitação é razoavelmente bem capturado nas simulações do modelo regional RegCM4, apesar de algumas regiões apresentam discrepâncias (para mais ou para menos) nos valores de precipitação simulada. Uma possível explicação para isto seria a representação inadequada dos mecanismos produtores de precipitação nessas regiões, como por exemplo, ZCIT, ZCAS e linhas de instabilidade, dentre outros (Sierra et al., 2015).

Análise quantitativa da precipitação sazonal

A análise quantitativa, isto é, a diferença da intensidade entre o simulado e o observado, foi realizada com base nos coeficientes estatísticos viés e RMSE. Na Figura 3 observa-se os valores de viés para as quatro estações do ano, nota-se que durante o verão e outono há predominância de

viés seco (valores negativos) principalmente na costa leste da Amazônia, nas estações de inverno e primavera nota-se a predominância de viés úmido (valores positivos), no entanto na costa leste da Região ainda prevalece viés seco. O viés

entre -5 e 5 mm observado nas quatro estações indica que o modelo foi capaz de representar a precipitação na Região.

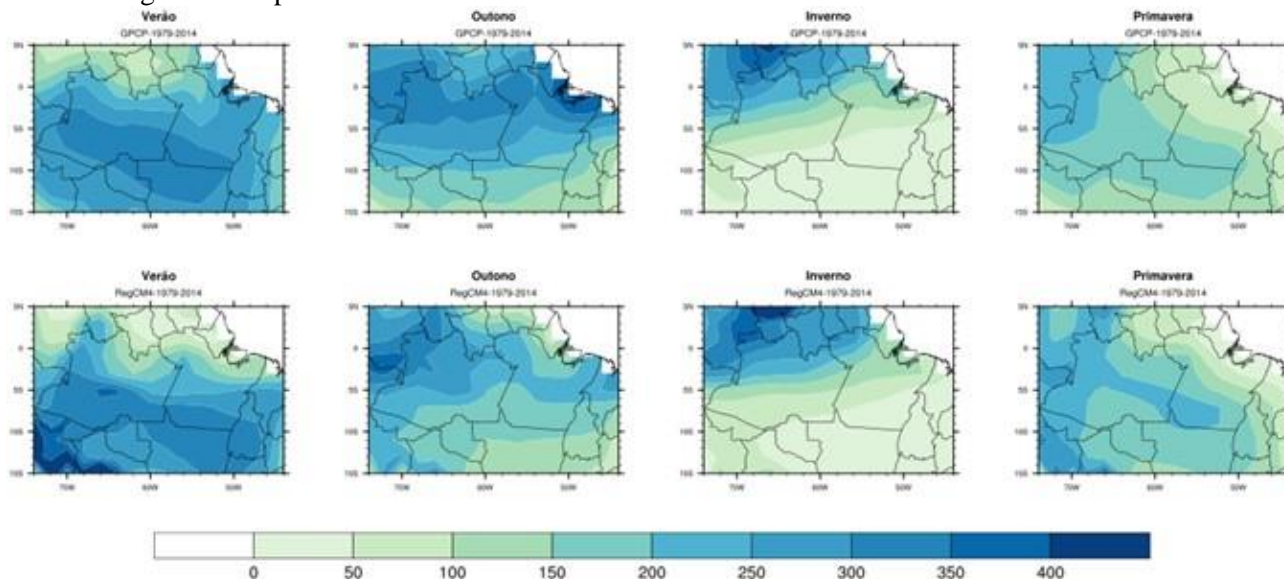


Figura 2 - Precipitação (mm) climatológica sazonal observada pelo GPCP (Painel Superior) e precipitação (mm) simulada pelo RegCM4 (Painel Inferior).

Em adição, os valores de viés negativos (positivos), estão relacionados a erros sistemáticos de subestimativa (superestimativas), mostrando que o modelo está colocando seca (chuva) onde deveria colocar chuva (seca). Ou seja, o modelo está executando processos físicos opostos ao que foi proposto. Ferreira et al. (2012), sugerem que o viés negativo (positivo) podem estar representando a falta de ajuste do esquema Grell às características físicas da região Amazônica.

O esquema de convecção Grell tenta representar da melhor forma possível o processo de retroalimentação e os controles estático e dinâmico. O primeiro descreve como os termos de transporte e de fonte na escala da convecção modicam os campos de temperatura e a umidade de grande escala, além da distribuição das taxas de aquecimento e secamento ou resfriamento e umedecimento, impostas pela convecção cumulus. De acordo com Santos (2013) o controle dinâmico determina como o ambiente de grande escala modula a intensidade e a localização da convecção, e o controle estático determina as propriedades termodinâmicas, sendo utilizada tanto na retroalimentação quanto no controle dinâmico.

Desta maneira, a subestimativa bem evidente de precipitação observada na costa leste do Pará pode estar relacionada ao desajuste nos termos de transportes, o que não representa corretamente a chuva que ocorre na costa desta

Região devido à circulação de brisa e linhas de instabilidades costeiras que ocorrem durante o ano inteiro. A superestimativa de precipitação pode estar associada ao desajuste quanto as propriedades termodinâmicas locais.

A Figura 4 mostra o RMSE para as estações do ano, observa-se no verão e outono valores de RMSE próximo dos 25 mm sobre a costa leste da Região, isto indica que há deficiência em simular a chuva. Além disso, esses valores de RMSE nesta região corroboram com os valores negativos de viés discutidos anteriormente, pois altos valores RMSE indicam a ocorrência de erros sistemáticos do modelo relacionados a superestimativa/subestimativa abordados anteriormente.

Os resultados do teste t de Student para as diferenças entre as precipitações médias sazonais do GPCP e do RegCM4 podem ser vistas na Figura 5, na qual nota-se que no verão e inverno as diferenças das precipitações sazonais são negativas em grande parte da Região, indicando que a precipitação simulada pelo RegCM4 foi menor que a observa no GPCP. No outono e primavera, a situação é inversa, as diferenças sazonais da precipitação são positivas em grande parte da Amazônia. Este resultado corrobora com o viés apresentando na Figura 3. Nota-se ainda, especialmente na parte Nordeste e Oeste da Região que as diferenças de precipitação

são significativas pelo teste t de Student a 95% de

confiança.

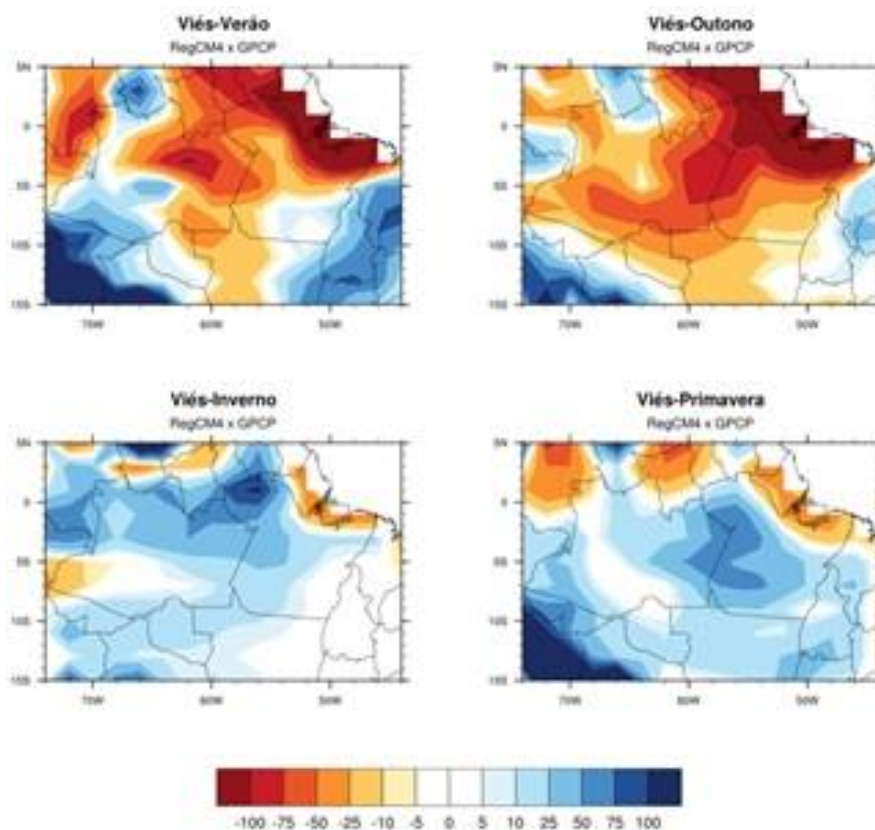


Figura 3 – Viés sazonal da precipitação entre os dados de chuva do GPCP e RegCM4 sobre a Amazônia no período de 1979 a 2014. A escala de cores indica os valores em milímetros.

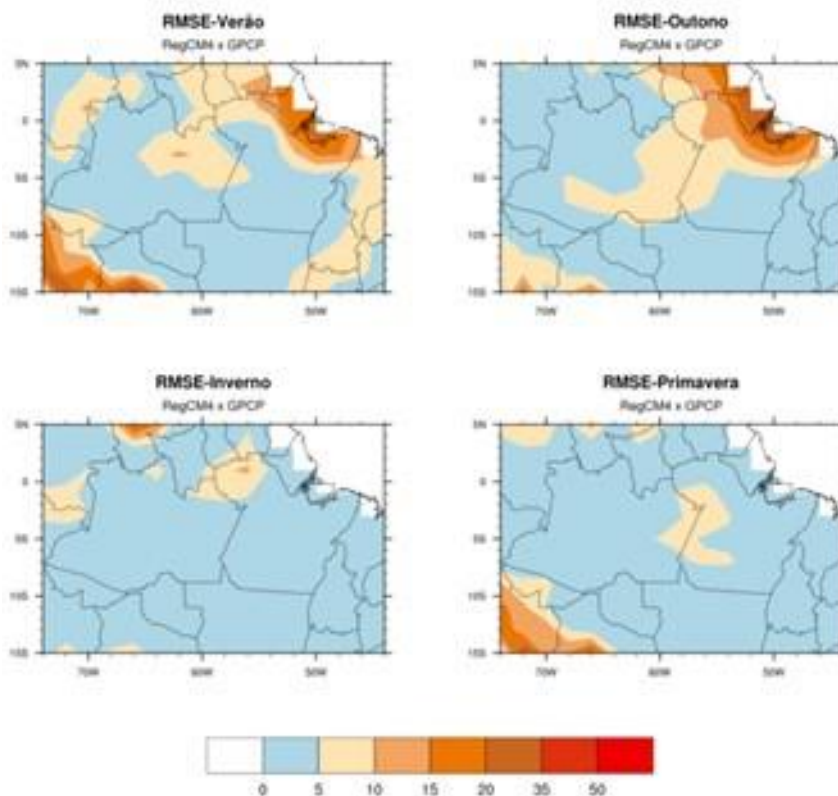


Figura 4 – RMSE sazonal da precipitação entre os dados de chuva do GPCP e RegCM4 sobre a Amazônia no período de 1979 a 2014. A escala de cores indica os valores em milímetros.

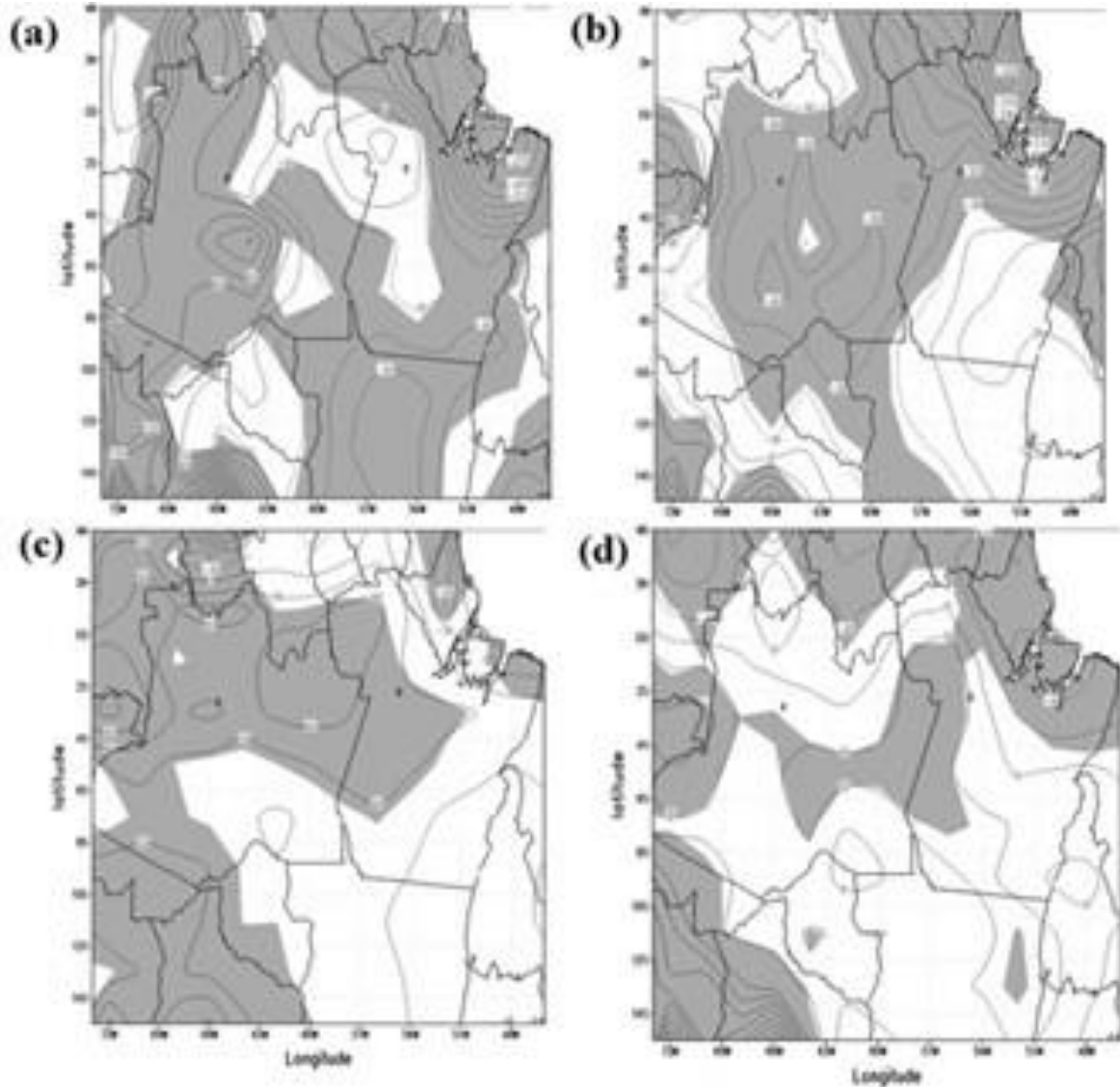


Figura 5 - Teste t de Student para as diferenças entre as precipitações sazonais do GPCP e RegCM4: (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera. Isolinhas contínuas/pontilhadas indicam diferenças positivas/negativas, sendo que as áreas em cinza são significativamente diferentes a 5% pelo teste t Student.

Campos Sazonais de anomalias de precipitação

Muitas vezes, a variação climática pode ser melhor evidenciada através das anomalias, que são desvios do clima observado ou simulado em relação às médias históricas. A Figura 6 mostra a série mensal média das anomalias de precipitação observada no GPCP e simulada pelo RegCM4 sobre a Amazônia no período de 1979 a 2014. Nota-se uma boa concordância entre as anomalias de chuva observadas e simuladas no período estudado. Contudo, há períodos onde o sinal da anomalia simulada é oposto ao da anomalia observada, por exemplo, em 1982-1983 e 1991-1992 foi observado anomalias negativas no GPCP

e positivas no RegCM4 de precipitação sobre a Região.

Estes dois anos de déficit de precipitação observados pelo GPCP, ocorreram devido à fase positiva do fenômeno ENOS, o qual gera mudanças significativas nos padrões da circulação atmosférica associados às células de Walker e de Hadley, interferindo na posição e intensidade das bandas de nebulosidade convectiva da ZCAS e ZCIT (Marengo e Hastenrath, 1993; Santos et al., 2011; Higuchi et al., 2004). Embora os anos de 1982-1983 e 1991-1992 não tenham sido corretamente simulados pelo RegCM4, os outros anos observados no período de 1979 a 2014 foram bem previstos,

reproduzindo parcialmente os processos de variabilidades climáticas de baixa frequências.

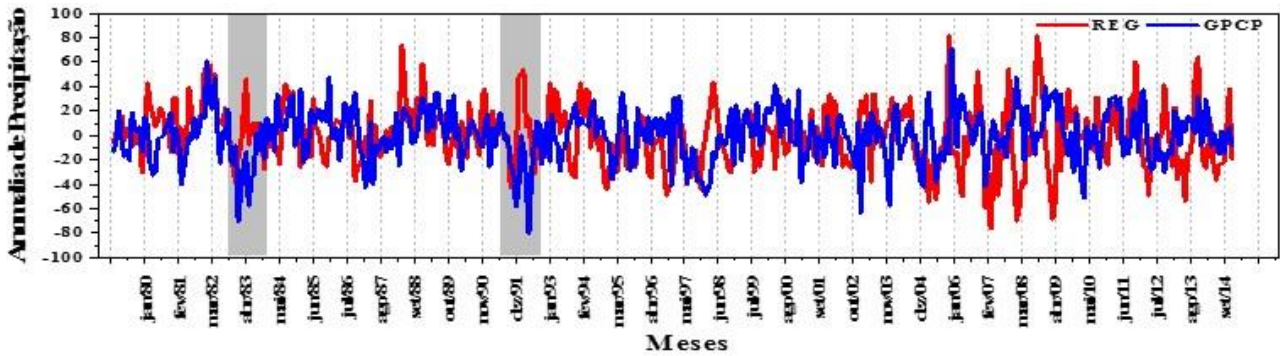


Figura 6 – Anomalias médias de precipitação sobre a Amazônia. A linha verde (vermelha) são as anomalias de chuvas do GPCP (RegCM4). As anomalias foram calculadas considerando a climatologia do período de 1979 a 2014.

Analisando as correlações sazonais das anomalias de chuva entre o GPCP e o RegCM4 (Figura 7), verifica-se no verão correlações positivas (negativas) sobre o setor leste e sul (oeste) da Região. No outono, observam-se correlações negativas sobre o setor leste da

Em adição, valores de correlação entre -0.1 e 0.1 são neutras, correlações positivas evidenciam que os sinais de anomalias seguem a mesma direção, isto é, o modelo reproduz o mesmo sinal de anomalia do dado observado. De maneira análoga, as correlações negativas mostram que os sinais de anomalias seguem direções opostas, ou seja, o modelo reproduz sinal de anomalia oposto ao do dado observado. Souza

Região e algumas áreas com correlações positivas e negativas sobre o setor oeste. Um contraste norte-sul é verificado no inverno, correlações positivas (negativas) no setor norte (sul). Na primavera, nota-se na parte central da Região pequenas áreas com correlações positivas. et al., (2009) destaca que apesar dos avanços nos estudos de modelagem obtidos nas últimas décadas, a representação numérica dos processos convectivos úmidos e a capacidade de simular o volume de precipitação regional e suas anomalias ainda é um desafio atual para a comunidade científica, particularmente para as regiões tropicais, a exemplo da Amazônia.

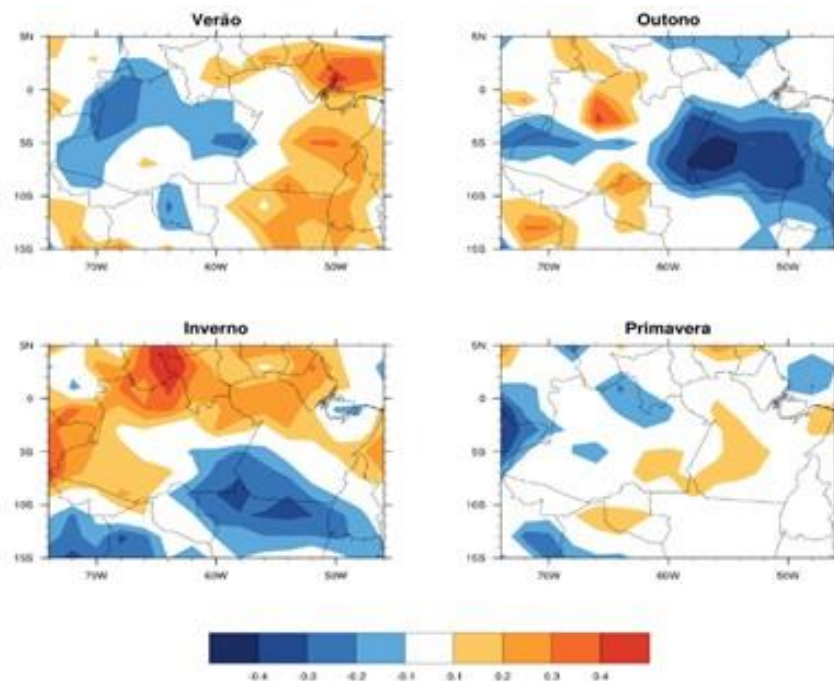


Figura 7 – Correlações sazonais entre as anomalias de chuva do GPCP e RegCM4 sobre a Amazônia no período de 1979 a 2014.

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar o modelo RegCM4 no clima atual por meio de uma análise sazonal da precipitação sobre a Amazônia. O modelo conseguiu reproduzir bem os padrões sazonais de precipitação na Região.

Contudo, as análises quantitativas demonstraram que o RegCM4 apresenta erros sistemáticos de subestimativa (viés negativo) no verão e outono, e superestimava (viés positivo) no inverno e primavera. Os valores de RMSE não ultrapassam 10mm nas quatro estações do ano, porém no verão e outono a costa leste da Região apresentou valores de RMSE próximo dos 25mm.

Adicionalmente, também foi investigado o desempenho do RegCM4 em reproduzir os padrões anômalos de precipitação. Constatou-se a boa concordância entre as anomalias de chuva observadas e simuladas no período estudado. Todavia, há períodos onde o sinal da anomalia simulada é oposto ao da anomalia observada. Sugere-se, que o RegCM4 consegue reproduzir parcialmente os processos de variabilidades climáticas de baixa frequências.

Portanto, os resultados obtidos demonstraram que o modelo RegCM4 tem potencial para investigar a variabilidade climática regional na Amazônia e fornece importantes informações aos centros de previsão da região Amazônica.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela concessão de bolsa de doutorado do CNPq e juntamente com os demais autores, agradecemos ao ITV e GPCP pelos dados cedidos.

Referências

Ávila, P.L.R., De Souza, E. B., Pinheiro, A. N. 2013. Simulação da Precipitação Sazonal com o Regcm4 sobre o Estado do Pará para Anos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Geografia Física* 6, 1316-1335.

Cuadra, S.V., Da Rocha, R.P. 2006. Simulação numérica do clima de verão sobre o Brasil e sua variabilidade. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21, 271-282.

Cohen, J. C. P., Silva Dias, M. A. F. S., Nobre, C. A. 1989. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise* 4, 34 – 40.

Dos Santos, S.R.Q., et al. 2014. Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais). *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 615-627.

Da Rocha, R.P., Cuadra, S.V., Reboita, M.S., Kruger, L.F., Ambrizzi, T. and Krusche, N. 2012. Effects of RegCM3 Parameterizations on Simulated Rainy Season over South America. *Climate Research* 52, 253-265.

De Oliveira, F.P., Oyama, M.D. 2009. Radiosounding-derived convective parameters for the Alcântara Launch Center. *Journal of Aerospace Technology and Management* 1, 211.

Ferreira, W.R.S., Vitorino, M.I., De Souza, E.B., Carmo, A.M C. 2012. Sazonalidade da Precipitação para Amazônia Usando o modelo RegCM3: Avaliando apenas a Forçante do Atlântico equatorial. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 323-338.

Giorgi, F., Copola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M.B., et al. 2012. RegCM4: Model Description and Preliminary Tests over Multiple CORDEX Domains. *Climate Research* 52, 7-29.

Giorgi, F. 1990. Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *Journal of Climate* 3, 941–963.

Gan, M.A., Kousky, V.E. 1986. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia* 1, 19-28.

Huffman, G.J., et al. 2001. Global precipitation at one-degree daily resolution from multi-satellite observations. *Journal of Hydrometeorology* 2, 36-50.

Higuchi, N., et al. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta* 34, 3.

Lopes, M.N.G., Souza, E.B., Ferreira, D.B.S. 2013. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia* 12, 84-102.

Lopes, M.N.G. 2009. Aspectos regionais da variabilidade da precipitação no Estado do Pará: estudo observacional e modelagem climática em alta resolução. *Dissertação (Mestrado)*. Belém-PA, Universidade Federal do Pará.

Marengo, J., Hastenrath, S. 1993. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate* 6, 617-627.

Marengo, J.A. et al. 2011. Riscos das mudanças climáticas no Brasil. *Análise Conjunta Brasil-Reino Unido Sobre os Impactos das Mudanças*

- Climáticas e do Desmatamento na Amazônia, 2-56.
- Neves, D.G., Cunha, A.C., Cunha, A.C., Souza, E.S., Barreto, A.C.L. 2011. Modelagem climática regional durante dois anos extremos de precipitação sobre o Estado do Amapá: teste de sensibilidade aos esquemas convectivos. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 569-578.
- Nicolini, M. et. al. 2002. Enhanced precipitation over southeastern south America related to strong low-level jet events during austral warm season. *Revista Meteorológica, Argentina* 27, 59-69.
- Pal, J.S. et al. 2007. The ICTP RegCM3 and RegCNET: regional climate modeling for the developing World. *Bulletin of the American Meteorological Society* 1, 1395-1409.
- Rosolem, R. 2005. O impacto do desmatamento no ciclo hidrológico: um estudo de caso para a rodovia Cuiabá-Santarém. Dissertação (Mestrado). Piracicaba - SP. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz.
- Reboita, M.S., Gan, M.A., Rocha, R.P., Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 185-204.
- Souza, E.B., Ambrizzi, T. 2003. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise*, 3-10
- Souza, E.B., Lopes, M.N.G., Da Rocha, E.J.P., Souza, J.R.S., Cunha, A.C., et al. 2009. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: Observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 111-124.
- Santos, S.R.Q. et al. 2011. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña, Caxiuanã-PA: estudo de caso. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 367-374.
- Santos, A. F. Problemas inversos usando o método de Otimização firefly aplicado na Parametrização de precipitação do modelo Brams sobre a América do Sul. 2014. Tese (Doutorado). São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Sierra, J. P.; Arias, P. A.; Vieira, S. C. 2015. Precipitation over Northern South America and its seasonal variability as simulated by the CMIP5 models. *Advances in Meteorology* 15, 1–22.
- Wilks, D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Ed. Academic Press. Califórnia.