ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: Validação da série de precipitação mensal do GPCC

Sérgio Rodrigo Quadros dos Santos[1], Clovis Angeli Sansigolo[2], Theomar Trindade de Araujo Tiburtino Neves [3] e Ana Paula Paes dos Santos[4].

[1,4]Doutorandos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos-SP;
[1]Email: sergiosanntos@yahoo.com.br
[2]Pesquisador titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos-SP.
[3]Pesquisador DCTA-A no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) – Manaus- AM

Artigo recebido em 25/04/2017 e aceito em 11/09/2017

R E S U M O

O conhecimento da distribuição espacial e temporal da precipitação, bem como da qualidade de diferentes conjuntos de dados disponíveis, são extremamente necessários para subsidiar estudos observacionais e também para a validação de modelos de previsão numérica de tempo e clima. Desta forma, este trabalho tem como objetivo investigar a consistência dos dados de precipitação provenientes do GPCC, uma vez que, este conjunto possui a maior serie continua de dados de precipitação (de 1901 até o presente), por meio de inter comparações com outros dados de precipitação mensal: GPCP, CPC e Era-interim. Neste estudo o GPCP foi considerado como referência, pois consiste na combinação e incorporação de estimativas de chuva baseadas na combinação de informações de satélite com postos pluviométricos locais. Os resultados mostraram que o padrão sazonal de precipitação foi semelhante nos quatro bancos de dados, porém as diferenças foram notadas no quantitativo de precipitação sazonal estimada em cada fonte de dados. Além disso, as precipitações mensais do GPCC apresentaram valores de viés e RMSE pequenos para as quatros estações do ano, quando comparados com os dados do CPC e Era-Interim. Vale destacar que os dados do GPCP utilizam dados do GPCC e por isso os erros sistemáticos são menores.

Palavras-chave: Amazônia, Precipitação, Sazonalidade, GPCC.

Seasonal variability of rainfall in the Amazon: Validation of the GPCC monthly precipitation

A B S T R A C T

The knowledge of the spatial and temporal distribution of precipitation, as well as the quality of different database available, are extremely necessary to support observational studies and also for the validation of numerical weather and climate prediction models. Thus, this study aims to investigate the consistency of rainfall data from the GPCC, since this databse has the largest continuous series of precipitation data (from 1901 to the present), through inter comparisons with other monthly rainfall database: GPCP, CPC and Era-interim. In this study GPCP was considered as a reference because it consists of the combination and incorporation of rainfall estimates based on the combination of satellite information with local rainfall stations. The results showed that the seasonal precipitation pattern was similar in the four databases, however differences were noted in the quantitative seasonal precipitation estimated in each database. In addition, the GPCC monthly precipitations presented small bias and RMSE values for the four seasons, when compared to the CPC and Era-Interim database. It is worth mentioning that GPCP use GPCC data and therefore systematic errors are smaller.

Keywords: Amazon, Precipitation, Seasonality, GPCC.

Introdução

A precipitação é uma das variáveis mais importantes quando se trata de tempo e clima. O regime de precipitação é a principal característica climática que determina a duração das estações. Conhecer a variabilidade espacial e temporal da distribuição da precipitação é fundamental para diversos setores da sociedade, como agricultura, pecuária, a geração de energia e controle dos impactos referentes aos eventos extremos.

Uma das mais importantes questões relacionadas a eventos extremos de chuva/seca na América do Sul, em especial, na Região Amazônica é se sua ocorrência está aumentando ou diminuindo com o tempo, isto é, se há uma tendência significativa a cenários propícios à ocorrência desses eventos. No entanto, a falta de observações climáticas de longo prazo de alta qualidade e/ou a dificuldade de acesso a bases de dados são os grandes obstáculos para a quantificação dos Eventos Extremos (Marengo, 2012).

Pesquisas têm mostrado ao longo dos últimos anos a relevância da modelagem climática global e regional para simular o clima presente e, principalmente, o futuro (Cox et al., 2004; Tebaldi et al., 2007; Cox et al., 2008; Marengo et al., 2009 Souza et al., 2009; Lopes et al., 2013; Moraes et al., 2014; Souza, et al., 2014). Todavia, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PMBC, 2013) ressalta que, ainda há muitas incertezas nas formulações dos modelos numéricos para resolver o sistema climático e isto se reflete na magnitude dos erros sistemáticos das simulações. Esta avaliação dos erros, por sua vez, também contém incertezas oriundas da qualidade das observações, cuja rede sobre a América do Sul, principalmente nas Regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil é deficiente do ponto de vista espacial e temporal.

As incertezas sobre as medidas observacionais afetam diretamente a robustez da avaliação dos modelos climáticos. Em termos específicos, o conhecimento da eficiência dos modelos climáticos globais e regionais em reproduzir corretamente o padrão sazonal de precipitação e os vários sistemas importantes para o clima da América do Sul e do Brasil, tais como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de convergência intertropical (ZCIT), entre outros, depende da expansão e da manutenção de sistemas observacionais que permitam a obtenção de séries contínuas de dados meteorológicos e climatológicos de qualidade (PMBC, 2013).

Nessa perspectiva, essa pesquisa se propõe a investigar a consistência dos dados de precipitação provenientes do GPCC, uma vez que, este conjunto possui a maior serie continua de dados de precipitação (1901 até o presente), por meio de inter comparações com outros dados de precipitação mensal, a qual pode servir como embasamento para futuros trabalhos que visem ampliar o horizonte do conhecimento científico nesta linha de pesquisa.

Metodologia

Dados climatológicos de Precipitação Mensal

Nesta pesquisa serão utilizados quatro conjuntos de dados de precipitação mensal. Dois destes bancos de dados são baseados em precipitações interpoladas a partir de observações de superfície, o *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC) (Rudolf e Schneider, 2005) e o *Climate Prediction Center* (CPC) (Silvia et al 2007). O outro banco de dados é baseado em precipitações observadas que são combinadas com estimativas de precipitação geradas a partir de dados de satélite: *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) (HUFFMAN et al. 2001), desta forma este conjunto de dados é considerado como referência. O último conjunto de dados é composto por reanálise do Era-Interim (Simmons et al., 2007). O objetivo da utilização destes conjuntos de dados é avaliar o desempenho dos dados do GPCC, uma vez que este conjunto possui a maior serie continua de dados de precipitação , compreendendo o período de 1901 até o presente.

Todos os conjuntos de dados de chuvas mensais foram interpolados para uma grade 2.5° x 2.5° de resolução espacial, visando realizar inter comparação por meio de métricas como viés e RSME. Para as análises, foi utilizado o período de 1979 a 2014, devido este ser em comum entre os quatro bancos de dados.

Assim, construiu-se campos médios sazonais, 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

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 subestimativa do parâmetro estudado, quanto mais negativo, mais o há erro de subestimativa. E quanto mais o *viés* for positivo, mais há superestimativa do parâmetro estudado. Já quando o *viés* se aproximar

do zero, o parâmetro está sendo mais bem representado.

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

Onde *"p"* representa os dados de chuva do GPCP e "o" representa os dados de chuva das demais fontes de dados (GPCC, CPC e Era-Interim).

Raiz do erro Quadrático Médio

Uma medida frequentemente usada na verificação da acurácia de um determinado parâmetro 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:

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

As variáveis na expressão acima são as mesmas da equação 1.

Coeficiente de correlação

O coeficiente de correlação (r) é uma medida da intensidade ou grau de associação entre duas variáveis analisadas, neste caso, a precipitação do GPCP com as das demais fontes de dados. Este índice não é sensível ao *viés* que, eventualmente, podem estar presentes nas simulações (Wilks, 2006). Pode ser calculado pela seguinte expressão:

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

As variáveis na expressão acima são as mesmas da equação 1.

Resultados

Variabilidade Sazonal

A Figura 1 ilustra a variabilidade sazonal da precipitação nos diferentes bancos de dados. Observou-se muita semelhança espacial entre os bancos, porém as diferenças são notadas no quantitativo de precipitação sazonal estimada para cada fonte de dados. Analisando a precipitação no trimestre DJF, evidenciou-se uma banda de máximo pluviométrico no sentido noroeste/sudoeste, com valores entre 200 a 300 mm, que engloba parte sul da Amazônia. Este máximo pode estar associado à atuação da ZCAS (Souza e Ambrizzi, 2003), que apresenta frequência máxima de ocorrência nos meses de dezembro e janeiro (Carvalho et al., 2004) e pelo SMAS (Zhou e Lau, 1998 ; Gan et al., 2004; Vera et al., 2006). Durante o trimestre MAM, ocorre uma diminuição significativa da precipitação na parte sul da Amazônia devido o retraimento dos episódios da ZCAS ou de sistemas frontais (Souza e Ambrizzi, 2003). Em compensação, observou-se um máximo pluviométrico sazonal na porção norte da Amazônia. Essa intensificação da precipitação deve-se a atuação direta da ZCIT atingindo sua posição climatológica mais austral em março (Nobre e Shukla, 1996; Souza e Nobre, 1998) sendo, portanto, o principal sistema meteorológico indutor de chuva na Amazônia, durante o máximo da estação chuvosa (Souza e Rocha, 2006).

O inverno austral (JJA) é caracterizado por forte redução nas chuvas, sobretudo na porção sul da Amazônia. O movimento aparente do Sol rumo ao hemisfério Norte conduz a ZCIT ao seu deslocamento sazonal em direção àquele hemisfério, privando o hemisfério Sul da sua atuação decisiva durante o trimestre JJA para produção de chuvas. Além disto, o resfriamento da superfície sobre o Brasil Central gera uma mudança no padrão da circulação de ar superior, isto é, a descaracterização da AB (Gan e Kousky, 1986; Lopes et al., 2013). Os valores de precipitação começam a aumentar na primavera (SON) na parte mais sul da Amazônia. Essa região passa a sofrer incursões mais frequentes de sistemas frontais e eventuais episódios de ZCAS. Além do mais o SMAS se inicia na primavera, entre setembro a novembro (SON), quando começa o desenvolvimento de convecção profunda sobre a bacia Amazônica e como já foi ressaltado o SMAS é um importante sistema indutor de chuvas no sul da Amazônia e Centro-Oeste do Brasil (Vera et al., 2006; Gan et al., 2006)

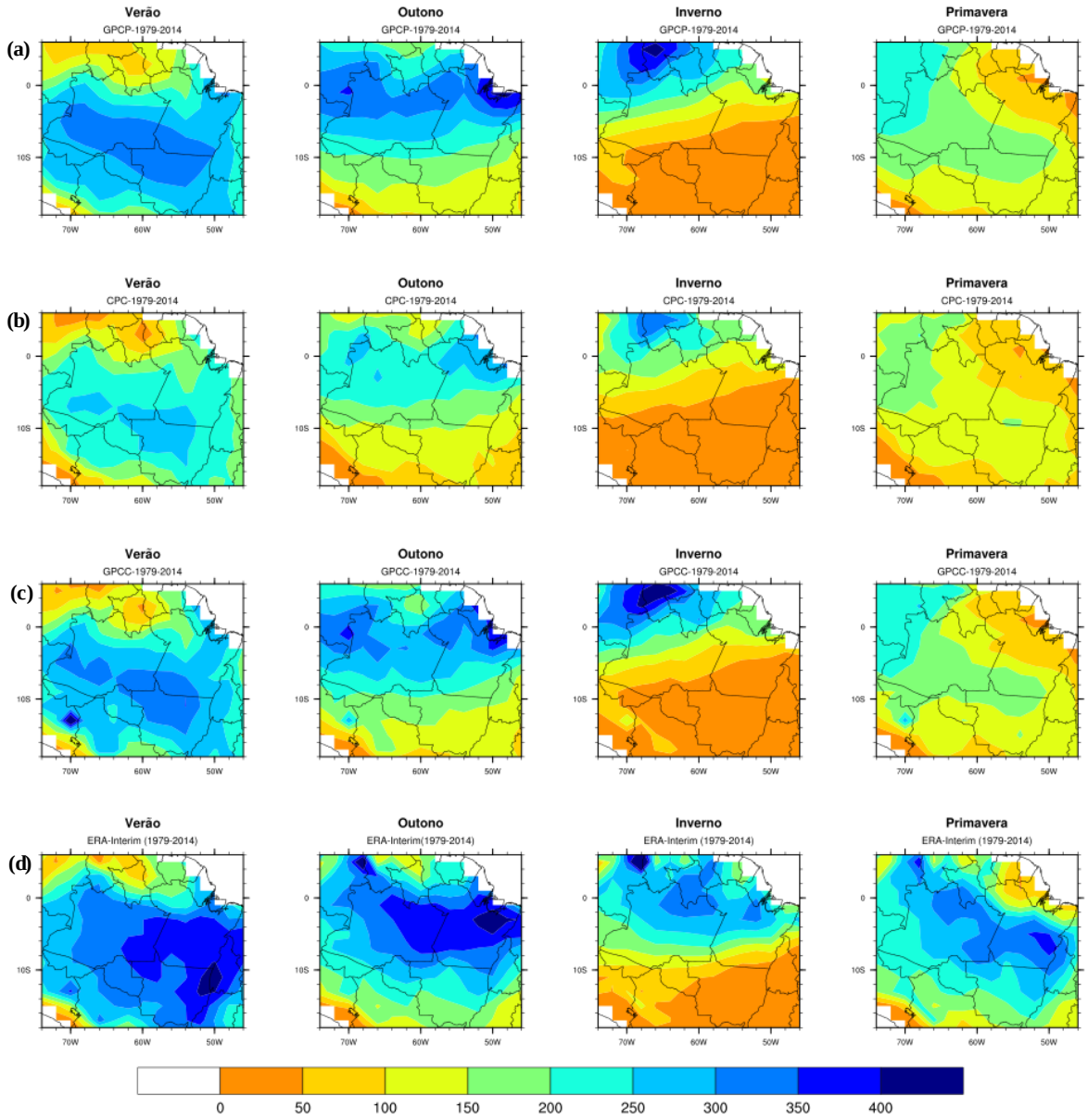


Figura 1 - Precipitação sazonal (mm) do GPCP (a), CPC (b), GPCC (c) e Era-Interim (d) para as quatros estações do ano, no período de 1979-2014.

Análise Quantitativa : Viés e RMSE

A Figura 2 mostra o viés, que representa a diferença entre a precipitação sazonal controle (GPCP) e a precipitação estimada nos outros três bancos de dados (GPCC, CPC e ERA Interim). O GPCC e CPC apresentam uma predominância de valores subestimados, ou seja, um viés seco (valores negativos) nas quatro estações do ano. Por outro lado, o Era-Interim apresentou uma predominância de valores superestimados (viés úmido) para as quatro estações do ano. Os valores de viés seco são mais expressivos no o verão (DJF) e outono (MAM) nos dados de precipitação do CPC com valores entre 25 mm a 75 mm. No Era-Interim é observado valores de viés úmido entre 50 mm a 75 mm nas quatros estações do ano. Por sua vez, o GPCC apresenta valores de viés seco, no entanto esses valores são baixos (5 mm a 25 mm) quando comparados com os dados do CPC. Isto provavelmente ocorre, uma vez que, o GPCP utiliza também os dados do GPCC para estimar as precipitações. Ressalta-se que o GPCC possui as series mais longas de precipitação desde de 1901 até os dias atuais.

Os valores de RMSE são ilustrados na Figura 2, na qual os maiores valores indicam a ocorrência de erros sistemáticos nos dados relacionados a subestimativas/superestimavas

discutidas anteriormente. Os maiores valores de RSME são observados nos dados do Era-Interim, sendo que na primavera estes valores são da ordem de 15 mm a 35 mm em grande parte da Amazônia e nas demais estações do ano oscilam entre 10 mm a 25 mm. Os valores de RMSE no CPC são da ordem de 5 mm a 15 mm, sendo que no inverno os mesmos são de 5mm. O GPCC apresentou valores de RMSE de 5mm nas quatros estações do ano em praticamente toda a Amazônia.

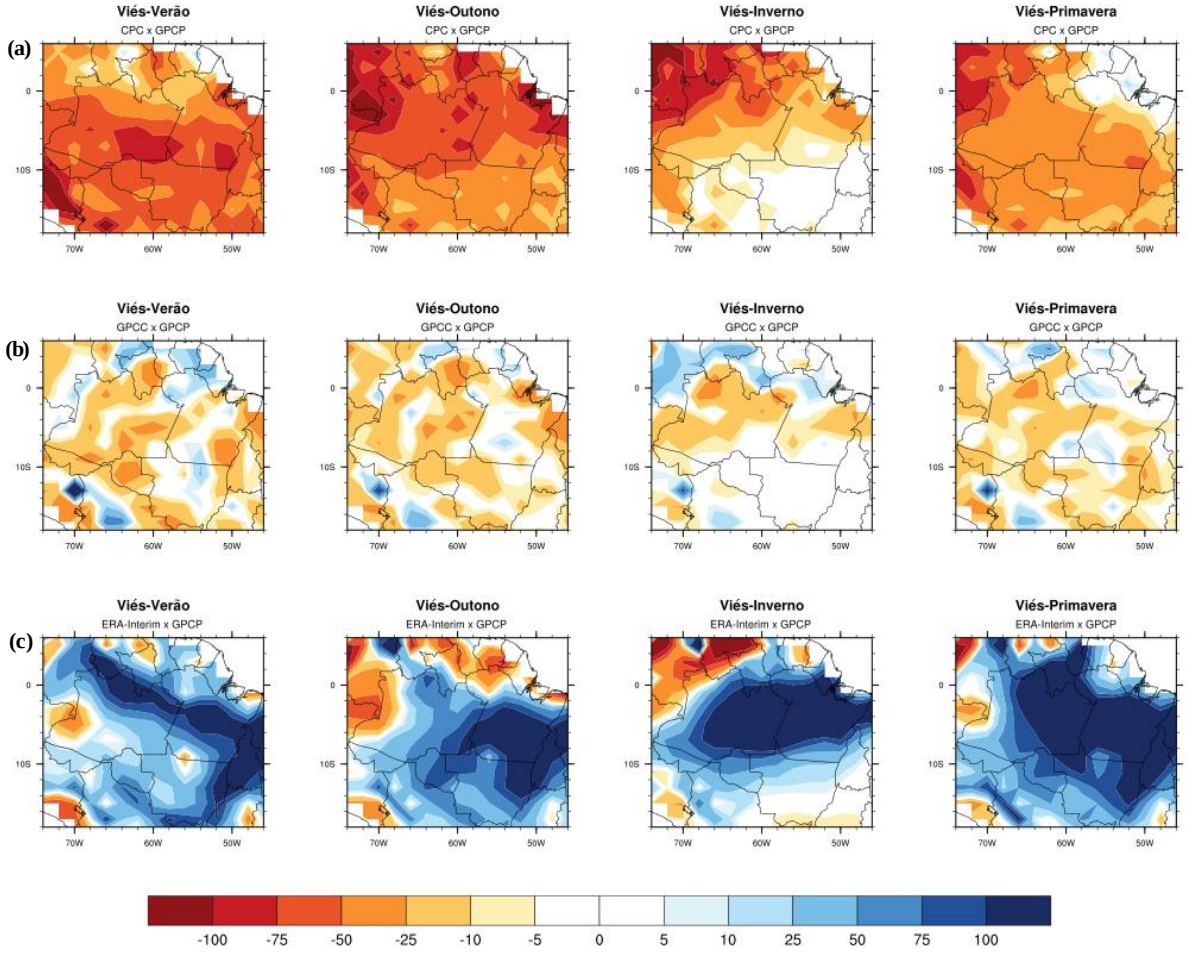


Figura 2 - Viés da precipitação entre o GPCP x CPC (a), GPCP x GPCC (b) e GPCP x Era-Interim (c) para as quatro estações do ano, no período de 1979-2014.

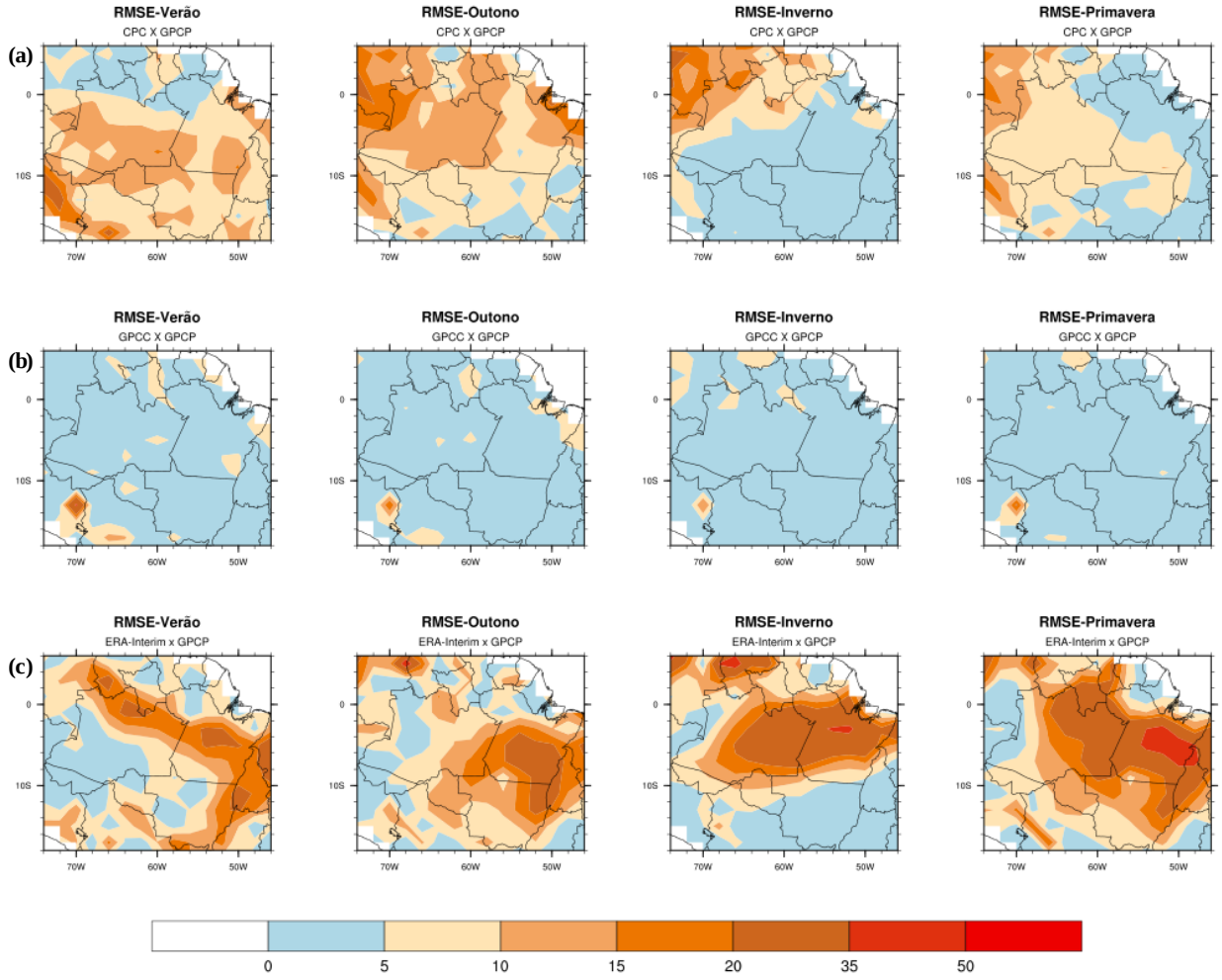


Figura 3 - RMSE da precipitação entre o GPCP x CPC (a), GPCP x GPCC (b) e GPCP x Era-Interim (c) para as quatro estações do ano, no período de 1979-2014.

Correlações das anomalias de precipitação sazonais.

Muitas vezes, a variação climática pode ser melhor evidenciada através das anomalias, que são desvios dos valores observados ou simulados em relação às médias históricas. A Figura 4 apresenta as correlações sazonais das anomalias de precipitação entre o dado de controle (GPCP) e os demais bancos de dados, ao nível de 95% de significância, no intuito de verificar o grau de associação entre estas anomalias.

Analisando as correlações sazonais das anomalias de chuva entre o GPCP e os demais bancos de dados, podemos observar que existe certa similaridade entre as correlações. De forma geral, verifica-se que as correlações são positivas nas quatro estações do ano. Isto quer dizer que, os sinais das anomalias de precipitação observadas no GPCP são semelhantes nos outros bancos de dados. Contudo, observando separadamente os dados das diferentes fontes nota-se que, as correlações entre o GPCP e GPCC apresentam forte correlação entre si, uma vez que, o valor do coeficiente de correlação "r" é superior 0,8, quando comparado com as correlações entre o CPC (Era-Interim) e o GPCP, nas quais os "r" variam entre 0,4 e 0,7 (0,2 e 0,5) nas quatro estações. Entretanto, já foi ressaltado que o GPCP utiliza também dados de precipitação do GPCC em sua série de precipitação, sendo possivelmente está uma das razões para a forte correlação entre as anomalias do GPCP e GPCC.

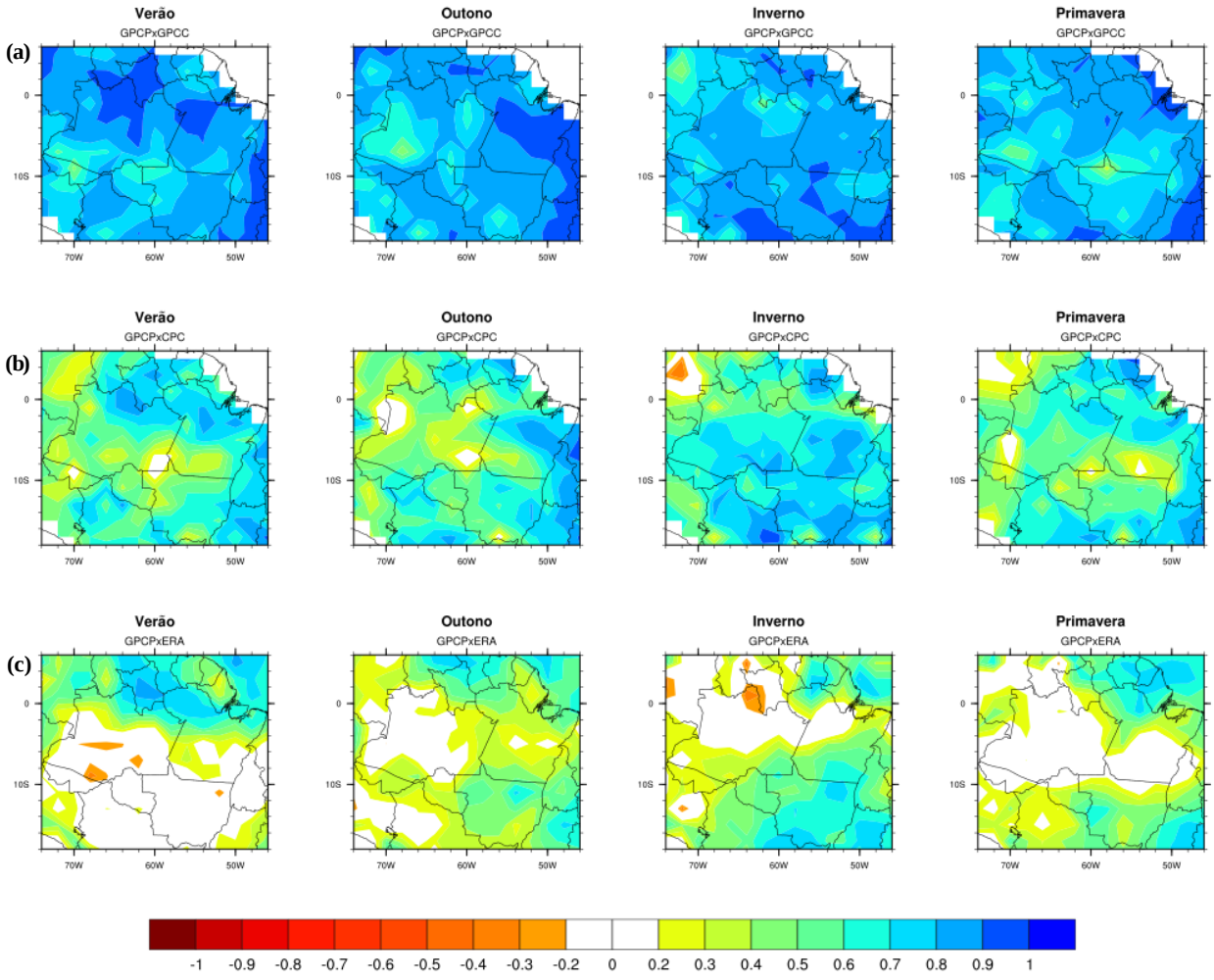


Figura 4 - Correlações sazonais entre as anomalias de chuva do GPCP x GPCC (a), GPCP x CPC(b) e GPCP x Era-Interim (c) sobre a Amazônia no período de 1979 a 2014.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo investigar a consistência dos dados de precipitação provenientes do GPCC, uma vez que, este conjunto possui a maior serie continua de dados de precipitação (1901 até o presente), por meio de inter comparações com outros dados de precipitação mensal: GPCP, CPC, Era-interim. O Padrão sazonal de precipitação apresentou semelhança espacial entre as fontes de dados, porém as diferenças foram notadas no volume de precipitação sazonal estimada em cada fonte de dados.

Também evidenciou-se que as precipitações mensais do GPCC apresentaram valores de viés e RMSE pequenos para as quatros estações do ano, quando comparados com os dados do CPC e Era-Interim. Vale destacar que os dados do GPCP utilizam dados do GPCC e por isso os erros sistemáticos são menores. Além disso, os valores de RMSE e viés, assim como o comportamento sazonal da precipitação, do GPCC, não são muitos distantes dos observado no CPC e Era-Interim. Salienta-se que esta comparação é válida para as precipitações sazonais no período de 1979 a 2014.

Todavia, vale ressaltar que a importância do uso das series de dados da precipitação mensal do GPCC é devido a sua longa série, e o criticismo em relação aos dados de chuva mensal do CPC e Era-Interim não deve ofuscar o ótimo desempenho dos mesmos em representar a sazonalidade da precipitação na Amazônia. Por fim, ainda há muitos desafios, em todos os bancos de dados, seja ele GPCP, GPCC, CPC, Era-Interim, ou outros, relacionados a melhorias referentes em reproduzir de forma perfeita todos os aspectos climáticos da precipitação, dado a variabilidade natural desta variável e a falta de observações para quantificar a mesma.

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 GPCP, GPCC, CPC e Era-Interim pelos dados cedidos.

Referências

Cox, P. M., Harris, P. P., Huntingford, C., Betts, R. A., Collins, M., Jones, C. D., Nobre, C. A., 2008. Increase risk of Amazonian Drought due to decreasing aerosol pollution. Nature 453, 212-216.

Cox, P. M., Betts, R. A., Collins, M., Harris, P., Huntingford, C., Jones, C. D., 2004. Amazon dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. Theoretical and Applied Climatology 78, 137-156.

Huffman, G. J., Adler, R. F., Morrissey, M. M., Bolvin, D. T., Curtis, S., Joyce, R., Susskind, J., 2001. Global precipitation at one-degree daily resolution from multi-satellite observations. Journal of Hydrometeorology 2, 36-50.

Gan, M.A., Kousky, V.E., Ropelewski, C.F., 2004. The South America monsoon circulation and its relashionship to rainfall over West-Central Brazil. Journal Climate 17, 47-66.

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

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.

Marengo, J. A. 2012. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas extremos eventos Climáticos No Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento sustentável. Brasília: MMA, 2012. Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf. Acesso em: 15 mar. 2015

Marengo, J. A., Jones, R., Alves, L. M., & Valverde, M. C., 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. International Journal of Climatology 29, 2241 – 2255.

Moraes, B. C., Ribeiro, J. B. M., Souza, E. B. D., Maia, W. J. D. M., Ferreira, D. B. D. S. 2014. Impactos das mudanças climáticas na ecoclimatologia de Aleurocanthus Woglumi Ashby, (Hemiptera: Aleyrodidae) no estado do Pará. Revista Brasileira de Meteorologia 29, 77-84.

Nobre, P., Shukla, J. 1996. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. Journal Climate 9, 2464-2479.

Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) – Mudanças climáticas, 2012. Disponível em http://www.brasil.gov.br/meioambiente/2012/04/mudancas-climaticas. Acesso em: 2 dez. 2013.

Rudolf, B., Schneider, U. 2005.Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations. In: PROC. SECOND WORKSHOP OF THE INT. PRECIPITATION WORKING GROUP, 2. Procedding... 2005, 31-247.

Souza, E. B., Moraes, B. C., Ferreira, D. B., & Meira Filho, L. G., 2014. Dynamical donwscaling for railroad areas in eastern Amazon and southeastern Brazil: current climate and near-future projections. Atmospheric and Climate Science 4, 155-163.

Souza, E. B., Lopes, M. N.G., Rocha, E. J.P., Souza, J. R. S., Cunha, Alan. C., Silva, R. R., Ferreira, D. B.S., Santos, D. M., Carmo, A. M. C., Sousa, J. R. A., Guimarães, P. L., Mota, M. A. S., Makino, M., Senna, R. C., Sousa, A. M.L., Mota, G. V., Kuhn, P. A.F., Souza, P. F. S., Vitorino, M. I., 2009. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. Revista Brasileira de Meteorologia 24, 111-124.

Silva, V. B., Kousky, V. E., Shi, W., Higgins, R. W., 2007. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. Journal of Hydrometeorology 8, 847-861.

Simmmons, A. 2007. ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from1989 onwards. ECMWF NEWSLETTER 110, 111-119.

Souza, E. B. Ambrizzi, T. 2003. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. Climanálise 5, 36-44.

Souza, E.B., Rocha, E.J.P. 2006. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and

extreme events. Revista Brasileira de Meteorologia 21, 142-152.

Souza, E.B., Nobre, P. 1998. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico tropical. Revista Brasileira de Meteorologia 13, 31-44.

Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J. M., Meehl, G. A., 2007. Going to Extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. Climatic Change 79 , 185-21.

Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D.,Nogues-Paegle, J., 2006. Towards a unified view of the American Monsoon System. Journal Climate 19, 4977-500.

Wilks, D. S. 2006. Statistical methods in the atmospheric sciences**.** 2 ed. California: Elsevier.

Zhou, J. Lau, K. M. 1998. Does a monsoon climate exist over South America? Journal Climate 11, 1020-1040.