



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação

Sérgio Rodrigo Quadros dos Santos¹, Clovis Angeli Sansigolo², Theomar Trindade de Araujo Tiburtino Neves³,
Thamiris Luisa de Oliveira Brandão Campos⁴, Ana Paula Paes dos Santos⁵

¹ Doutorando no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP. sergiosanntos@yahoo.com.br (autor correspondente). ² Pesquisador titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP. clovis.sansigolo@cptec.inpe.br. ³ Pesquisador DCTA-A no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus – AM. neves.theomar@gmail.com. ⁴ Doutoranda no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP. brandao.thamiris@gmail.com. ⁵ Doutoranda no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP. anapaulaps02@gmail.com.

Artigo recebido em 13/01/2017 e aceito em 24/04/2017

RESUMO

Nas últimas décadas, o clima da Terra vem apresentando mudanças no seu comportamento, através do aumento da frequência de eventos climáticos extremos, associado muito provavelmente às mudanças climáticas globais, cujo tema tornou-se popular e motivo de discussão do público em geral. Neste contexto, o presente estudo apresenta uma análise das frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia baseada em séries de precipitação mensal de quatro bancos de dados: GPCP (Global Precipitation Climatology Project), GPCC (Global Precipitation Climatology Center), CPC (Climate Prediction Center) e Era-Interim, no período de 1979 a 2014. Os eventos extremos de seca e chuva foram caracterizados pelo índice de precipitação padronizada (SPI) aplicado a diferentes escalas temporais (3, 6 e 12 meses). Os resultados mostraram diferenças expressivas nas frequências dos eventos extremos de seca e chuva, nos quatro bancos de dados. Todavia, constatou-se nas três escalas do SPI, em todas as estações do ano e nos quatro bancos de dados que, a Amazônia apresentou frequências de eventos extremos de chuva variando entre 3% a 6% no período em estudo. Por outro lado, observou-se nos eventos extremos de seca uma variação superior a 6% das frequências.

Palavras-chave: Amazônia, precipitação, extremo, SPI.

Frequency of extreme dry and rain events in Amazon using different precipitation data bases

ABSTRACT

In recent decades, the Earth's climate has been showing changes in their behavior by increasing the frequency of extreme climatic events, most likely associated to global climate change, whose theme became popular and point of discussion the general public. In this context, this study presents an analysis of the frequency of the extreme dry and rainy events in the Amazon based on monthly rainfall series of four databases GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*), GPCC (*Global Precipitation Climatology Center*), CPC (*Climate Prediction Center*) e Era-Interim in the period 1979-2014. The extreme dry and rainy events were characterized by Standard Precipitation Index (SPI) being applied to different time scales (3, 6 and 12 months). The results showed expressive differences in the frequency of extreme dry and rainy events in the four databases. However, it was noted in the three scales of SPI, in all seasons and in the four databases that Amazon presented frequencies of extreme rainy events ranging from 3% to 6% in the study period. Moreover, it was observed in extreme dry events changes by more than 6% of frequencies.

Keywords: Amazon, precipitation, extreme, SPI.

Introdução

A variabilidade climática, por meio de ciclos anuais, gera deficiência e/ou excesso de chuvas em todo o mundo, que por sua vez produz secas ou inundações. Os eventos climáticos extremos assumem importância significativa no cotidiano das sociedades, quer seja por sua frequência e intensidade de ocorrência, quer seja

pela vulnerabilidade socioambiental. Para a Amazônia, vários estudos têm documentado uma alta frequência de secas e chuvas extremas sobre a Amazônia durante as últimas décadas (Zeng et al., 2008; Gloor et al., 2013; Marengo et al., 2013; Espinoza et al., 2014). Estes eventos produzem impactos socioambientais tais como, o aumento do risco de incêndios florestais, e as inundações e enchentes, que afetam a população humana e a

flora/fauna dos lagos e rios (Davidson et al., 2012; Marengo et al., 2013; Brando et al., 2014; Dougherty et al., 2015).

Na Amazônia, a ocorrência de um evento extremo pode estar relacionado às alterações na temperatura da superfície do mar, uma vez que, a interação oceano-atmosfera no Pacífico Equatorial e no Atlântico Tropical são fatores que podem modificar as configurações da circulação geral da atmosfera e influenciam, substancialmente, na variabilidade interanual da distribuição das chuvas na Região tanto na escala espacial como temporal (Nobre e Shukla, 1996; Molion e Bernardo, 2002; Souza et al., 2005; Souza et al., 2009; Dos Santos et al., 2011; Lopes et al., 2013; Kayano, et al., 2013).

A identificação de eventos extremos de seca e chuva vem sendo bastante trabalhada ao longo dos últimos anos, utilizando-se diferentes técnicas estatísticas. Pode-se destacar os trabalhos desenvolvidos por McKee et al. (1993), Sansigolo (2004), Dos Santos et al. (2014) e Coelho et al. (2015) que utilizaram o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) para analisar e quantificar extremos de seca/chuva. O SPI tem-se mostrado bastante útil no monitoramento dos eventos secos e chuvosos, principalmente pela sua flexibilidade, simplicidade de cálculo e interpretação (Hayes, 2000; Dos Santos et al., 2014). Além disso, o SPI apresenta uma vantagem em relação aos demais índices, como por exemplo, o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), pois utiliza apenas dados mensais de precipitação, ou seja, não se faz necessário a utilização de outras variáveis meteorológicas na detecção dos eventos secos e chuvosos (Guttman, 1998).

Para a Amazônia, em especial, é relevante o estudo da frequência dos eventos extremos de chuva e seca no clima atual, uma vez que, as informações geradas neste tipo de estudo podem ser úteis para o planejamento das atividades humanas, a exemplo do zoneamento de práticas agrícolas, gerenciamento dos recursos hídricos e transmissão e distribuição de energia elétrica. Nessa perspectiva, essa pesquisa propõe contribuir com os estudos de frequência eventos extremos de chuva/seca no clima atual (1979 a 2014) na Amazônia utilizando quatro bancos de dados de precipitação mensal (GPCP, GPCC, CPC e Era-Interim) para a obtenção dos eventos extremos por meio do SPI. Buscando um melhor entendimento destes eventos, com o intuito de fornecer subsídios para os órgãos governamentais, no sentido de amenizar as consequências geradas pelas intempéries do tempo.

Material e métodos

Região de estudo

O estudo será realizado para Região Amazônica, compreendendo a área entre 5°N a 15°S e 73°W a 53°W. A Região Norte do Brasil inclui a maior extensão de floresta tropical da Terra, a floresta Amazônica. Ela é rica em biodiversidade e água doce, sendo importante para o mundo inteiro, uma vez que, captura e armazena o carbono da atmosfera. Além disso, a Amazônia exerce um papel fundamental no clima da América do Sul por seu efeito sobre o ciclo hidrológico. (Marengo et al. 2011).

Adicionalmente, diversos estudos têm identificado que esta Região é vulnerável as variabilidades dos extremos climáticos, especialmente aqueles relacionados a enchentes e secas que causam enormes danos econômicos e sociais, tais como perdas humanas e em safras agrícolas. Isto ressalta a importância de pesquisas relacionadas a eventos de seca e chuva nesta Região.

Dados climatológicos de Precipitação Mensal

Nesse estudo serão utilizados quatro conjuntos de dados de precipitação mensal, dois baseados em precipitações interpoladas a partir de observações de superfície: *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC) (Rudolf et al., 1994) e *Climate Prediction Center* (CPC) (Silvia et al., 2007), um 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) e o último conjunto de dados é composto por reanálises do Era-Interim (Simmons et al., 2007).

As análises compreendem o período de 36 anos, entre 1979 a 2014, como o período comum entre os quatro bancos de dados.

Índice de Precipitação Normalizada

Estudos realizados para diagnosticar a ocorrência das secas e chuvas severas em uma região podem evitar consequências graves à população, tanto em escala local como regional. Dessa forma, surge a necessidade de estudá-las por meio de índices quantificadores de secas e análises estatísticas, que determinam a intensidade, a duração e a frequência em que essa anomalia ocorre. Um dos índices utilizado é o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) proposto por McKee et al., (1993)

Conceitualmente, o SPI é simplesmente a variável reduzida Z_i da distribuição normal da precipitação:

$$SPI = z_i = (P_i - \bar{P}_i) / \sigma_i$$

na qual i é a escala de tempo (1, 3, 6, 12 meses); P_i a precipitação observada; \bar{P}_i e σ_i , são respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

Hayes (2000) destaca que os dados de precipitação precisam ser transformados em uma distribuição normal por meio de uma função adequada. Desta forma, neste estudo foi utilizada a função gama. Pois, segundo Wilks (2006), a distribuição gama é largamente utilizada para o estudo de séries longas de precipitação. Em adição, detalhes e/ou considerações sobre esse cálculo podem ser encontradas em McKee et al., (1993), Guttman (1998), Hayes et al. (2000), Sansigolo (2004), Dos Santos et al., (2014), entre outros.

Finalmente, os valores encontrados foram classificados conforme McKee et al. (1993). No entanto, para simplificar as interpretações dos resultados houve a adaptação das classes sugeridas por McKee et al. (1993) a qual podem ser vistas na Tabela 1. Cada valor de SPI ou classe pode ser associados probabilidades de ocorrência diretamente decorrentes da função densidade de probabilidade normal.

Tabela 1. Classificação dos períodos secos e chuvosos do SPI adaptado de McKee et al., (1993)

Valores de SPI	Classes	Probabilidade (%)
SPI < -1.50	Extremamente Seco	6,7
-1.49 a -0,5	Moderadamente Seco	14,9
-0.49 a 0.49	Quase Normal	28,4
0.5 a 1.49	Moderadamente Chuvoso	14,9
SPI > 1.50	Extremamente Chuvoso	6,7

Nesta pesquisa, foram utilizadas as escalas de tempo do SPI de 3 (trimestral), 6 (semestral) e 12 (anual) meses. A escolha da escala temporal usada para o cálculo do índice relaciona-se com o tempo necessário para que os efeitos dos eventos de seca e de chuva se façam sentir, sobre os diferentes setores de atividade e sobre os recursos hídricos em geral. Deste modo, escalas de tempo mais curtas ou mais longas refletem diferentes tempos de resposta dos recursos hídricos às anomalias de precipitação. À medida que a escala temporal aumenta, o SPI responde mais lentamente a mudanças na precipitação (McKee et al., 1993).

Resultados

O comportamento das frequências dos eventos extremos de seca e chuva pelos SPI-3, 6 e 12 meses

obtidos com dados de precipitação do GPCP, GPCC, CPC e Era-Interim, no período de 1979 a 2014, encontram-se nas Figuras 1 a 6. Nota-se uma distribuição espacial heterogênea ao longo das estações do ano nas frequências dos eventos extremos de seca e chuva pelos SPI's para os quatro bancos de dados, não sendo possível observar um padrão sazonal entre eles.

Sugere-se que estas diferenças observadas ocorreram devido aos diferentes métodos de obtenção dos dados de precipitação em pontos de grade que cada banco de dados possui, tais como: diferenças nas quantidades de estações pluviométricas, períodos, métodos de interpolação utilizando dados de satélite e/ou de modelos numéricos de previsão climática. Criando desta forma erros sistemáticos. Em adição, Marengo et al., (2011) ressalta que não há sinal consistente nem para condições úmidas nem secas na Região Amazônica no registro "observacional". Em geral, os resultados obtidos vão depender do conjunto de dados que é utilizado, sua duração, se há interrupções nos registros e como elas são compiladas.

Todavia, algumas características foram observadas para as quatro estações do ano, as frequências dos eventos extremos de chuva (SPI > 1.5) obtidos pelos SPI's apresentaram frequências entre 3% a 6% sobre Amazônia no período estudado (Figuras 1 a 3). Por outro lado, as frequências dos eventos extremos de seca (SPI < -1.5) foram superiores a 6% sobre toda a Amazônia (Figuras 4 a 6). Dessa forma, constata-se que durante o período de 1979-2014 nas quatro estações do ano, houve uma maior frequência de eventos extremos de seca na Amazônia.

Baseando-se na literatura, algumas secas na Amazônia foram relacionadas com a ocorrência de eventos de El Niño, como por exemplo, os que ocorreram em 1997 e 1998 (Uvo et al., 1998). No entanto, a seca de 2005 não foi relacionada com o El Niño, é sim com as anomalias de TSM do Atlântico tropical Norte (Marengo et al, 2008). Por sua vez, a seca de 2010 foi relacionada a ocorrências sucessivas de eventos El Niño, combinados com o aquecimento anômalo do Oceano Atlântico Tropical Norte durante a primavera e verão boreal (Espinoza et al, 2011). Por outro lado, algumas enchentes foram associadas a La Niña (por exemplo, 1989, 1999, 2011 e 2012) (Marengo et al., 2010; Espinoza et al., 2014). Porém, o evento extremo de chuva observado em 2009 estava relacionado com o aquecimento anômalo do Oceano Atlântico Tropical Sul (Marengo et al., 2013).

Na escala regional, o transporte de umidade para dentro e fora da Bacia Amazônica,

particularmente durante a estação chuvosa, é extremamente importante no regime de chuvas (Drumond et al., 2014.; Arraut e Satyamurty, 2009; Dirmeyer et al., 2009; Martinez e Dominguez, 2014). Vários autores têm sugerido que uma flutuação no fornecimento de umidade regional, pela evaporação local e/ou o transporte de vapor a

partir das regiões adjacentes, podem ter importantes consequências na instabilidade da floresta amazônica contribuindo para as secas ou inundações (Oyama e Nobre, 2003; Betts et al., 2004; Vera et al., 2006; Hirota et al., 2011; Spracklen et al., 2012).

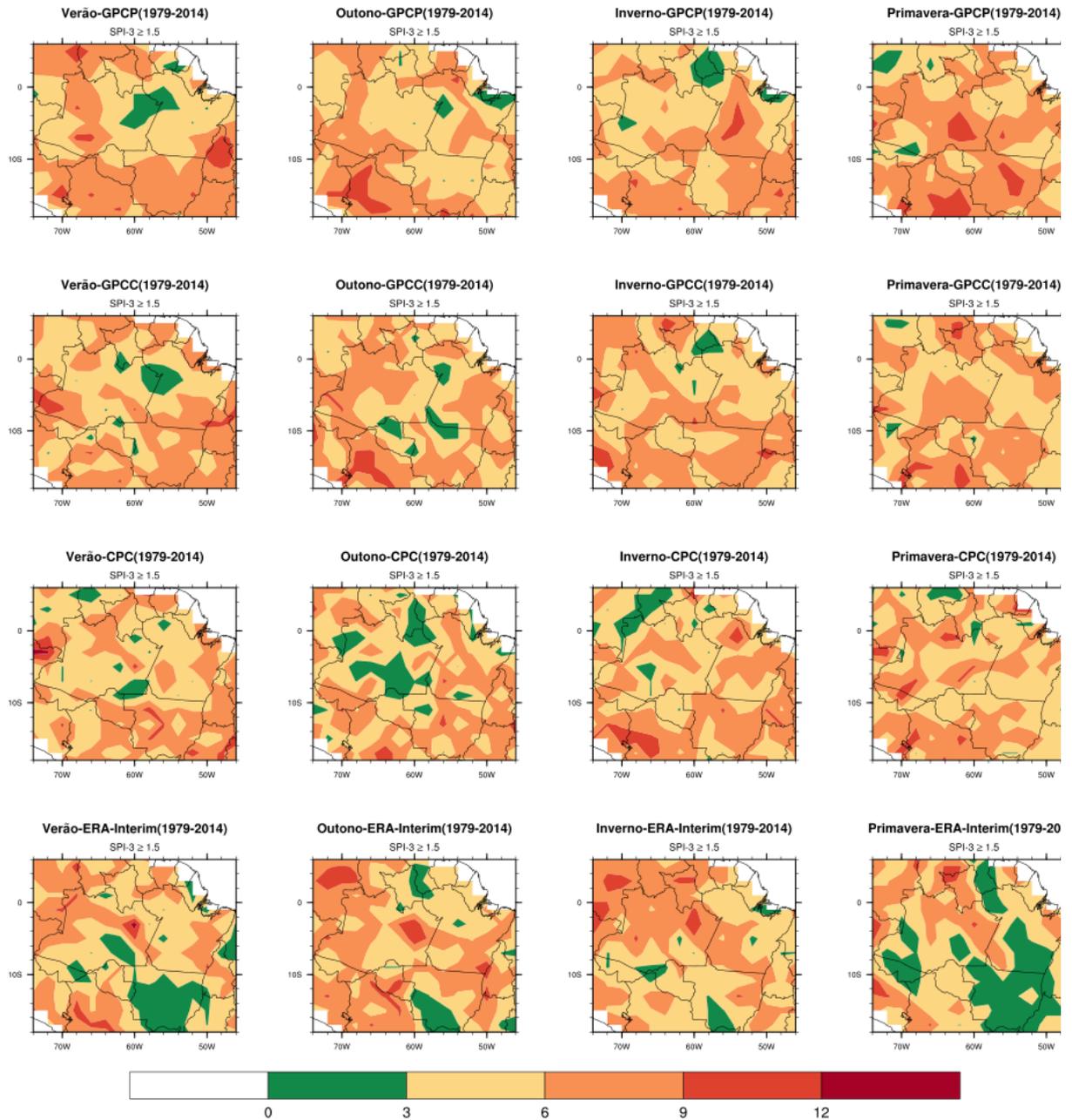


Figura 1. Climatologia sazonal das frequências dos eventos extremos de chuva ($SPI > 1.5$) pelo SPI-3, para o período de 1979 a 2014 usando os dados de precipitação mensal do GPCP, GPC, CPC e Era-Interim.

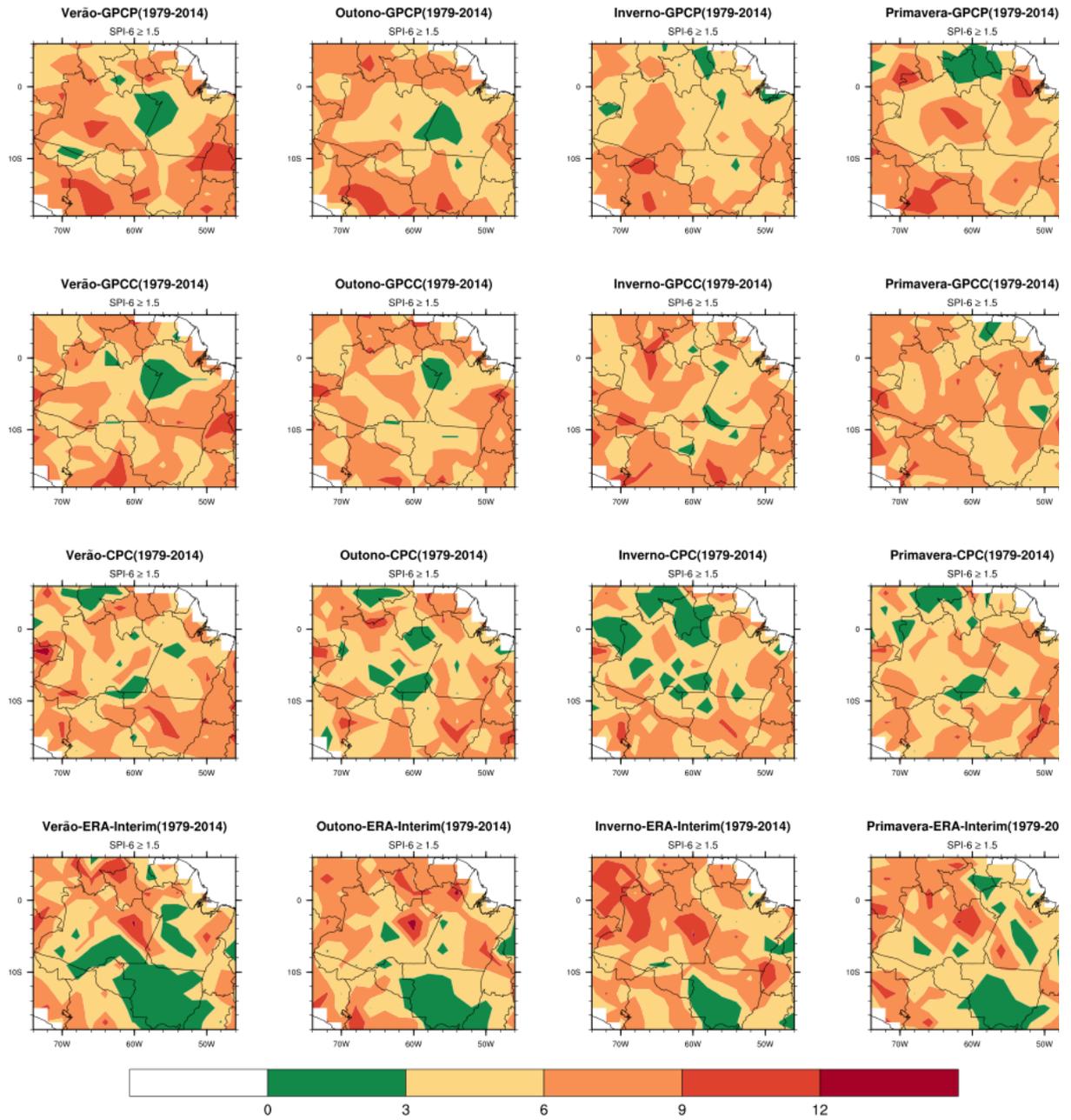


Figura 2. Idem a Figura 1, porém para o SPI-6.

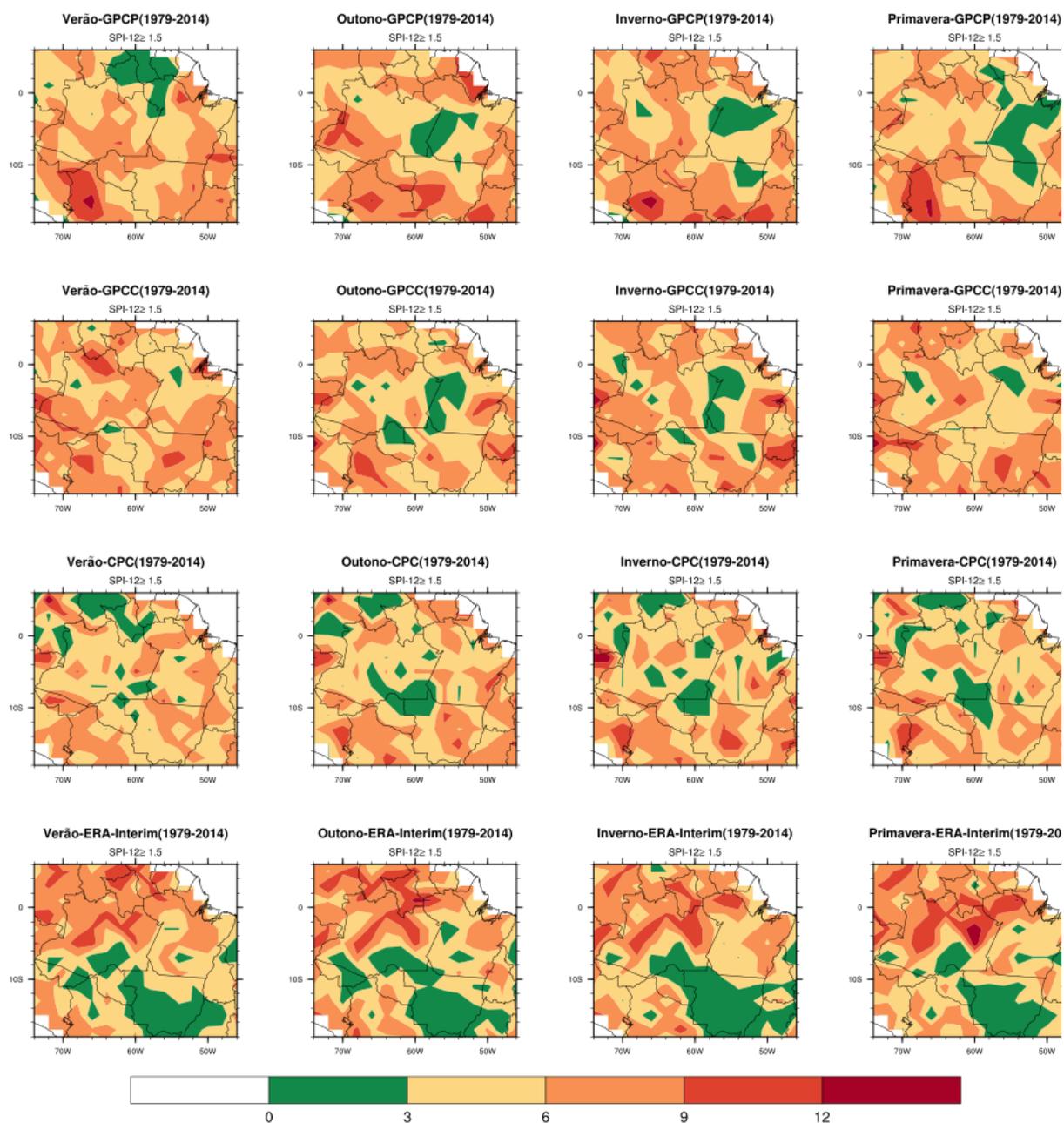


Figura 3. Idem a Figura 1, porém para o SPI-12.

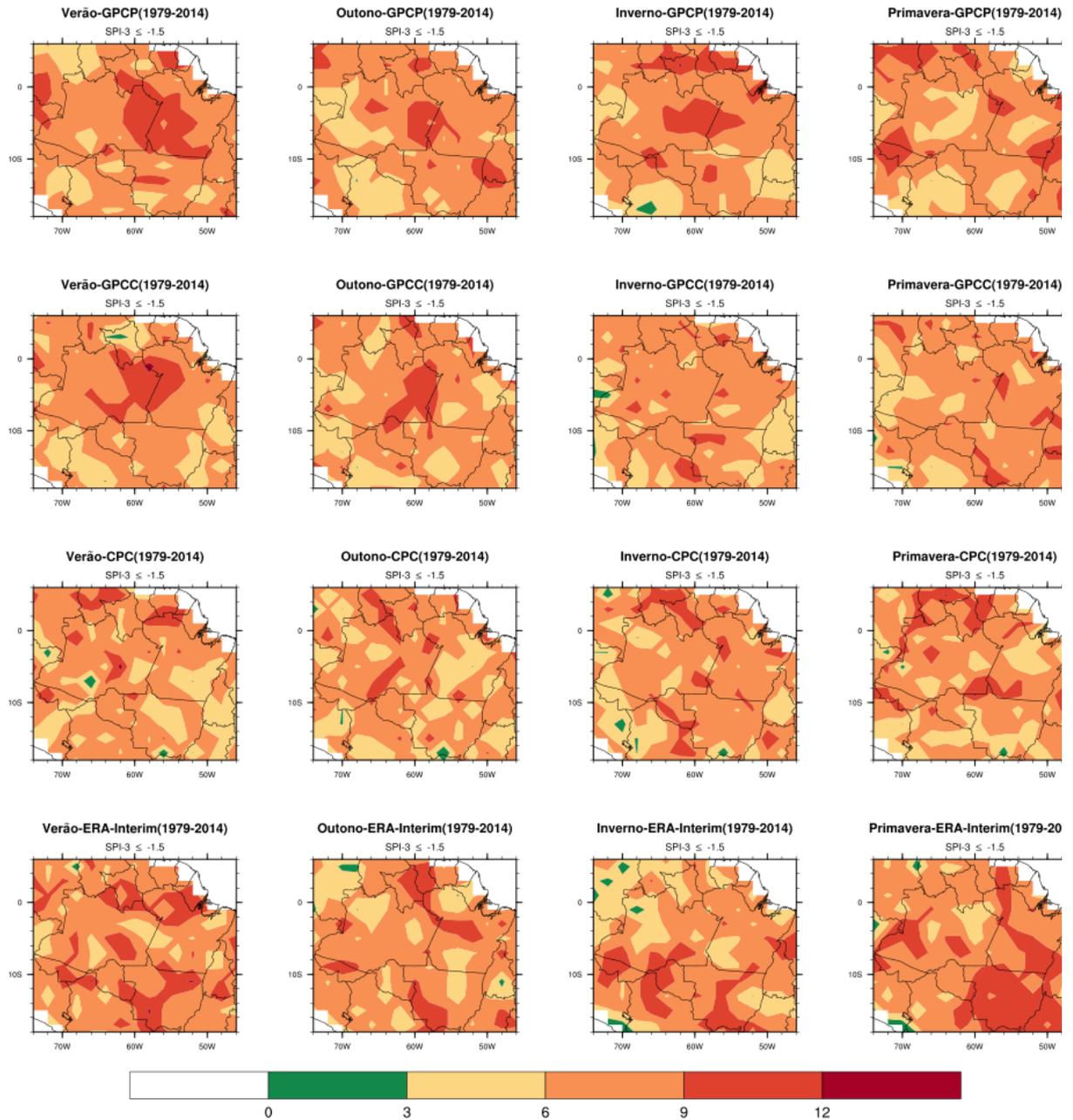


Figura 4. Climatologia sazonal das frequências dos eventos extremos de seca ($SPI < -1.5$) pelo SPI-3, para o período de 1979 a 2014 usando os dados de precipitação mensal do GPCP, GPCC, CPC e Era-Interim.

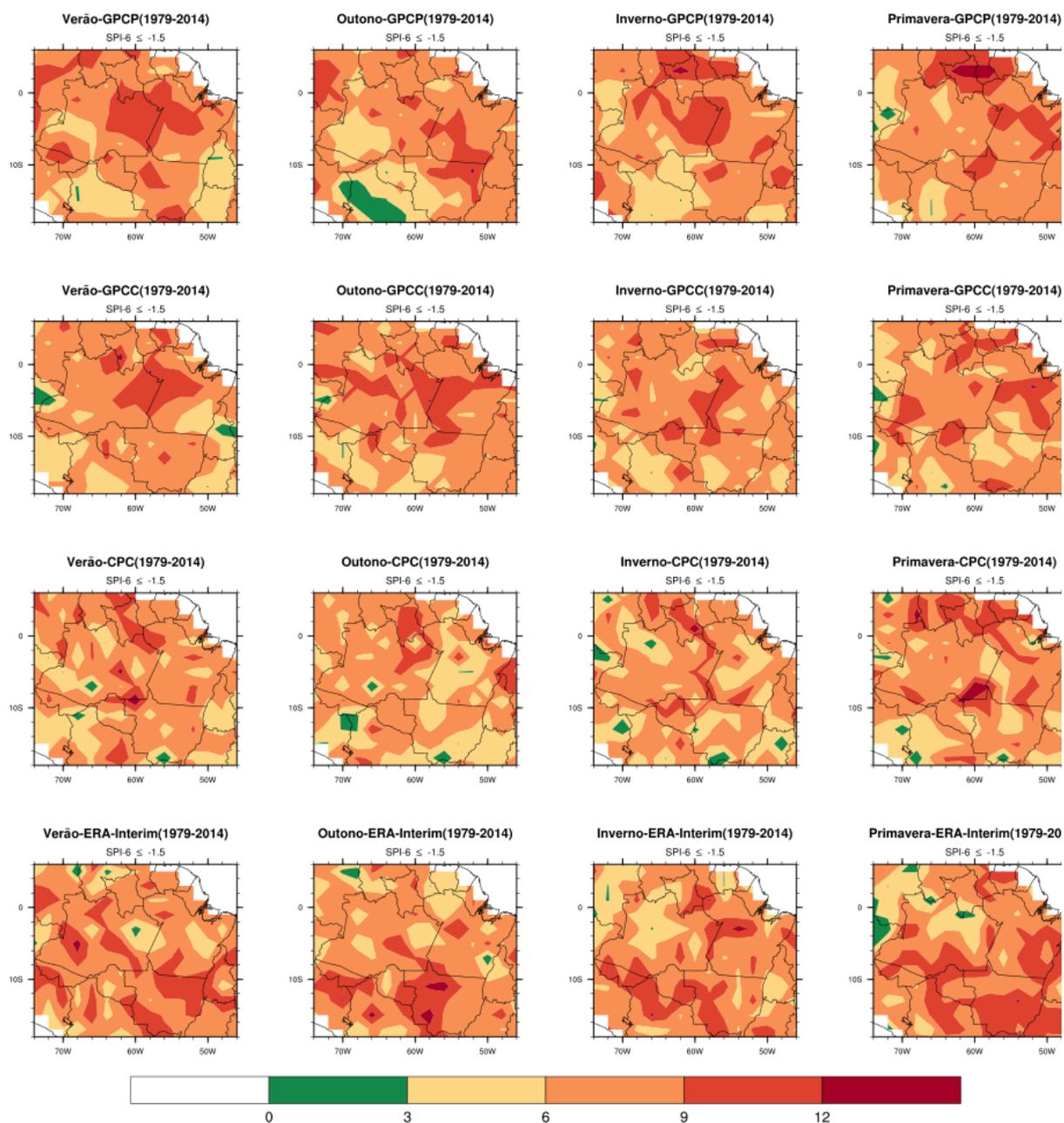


Figura 5. Idem a Figura 4, porém para o SPI-6.

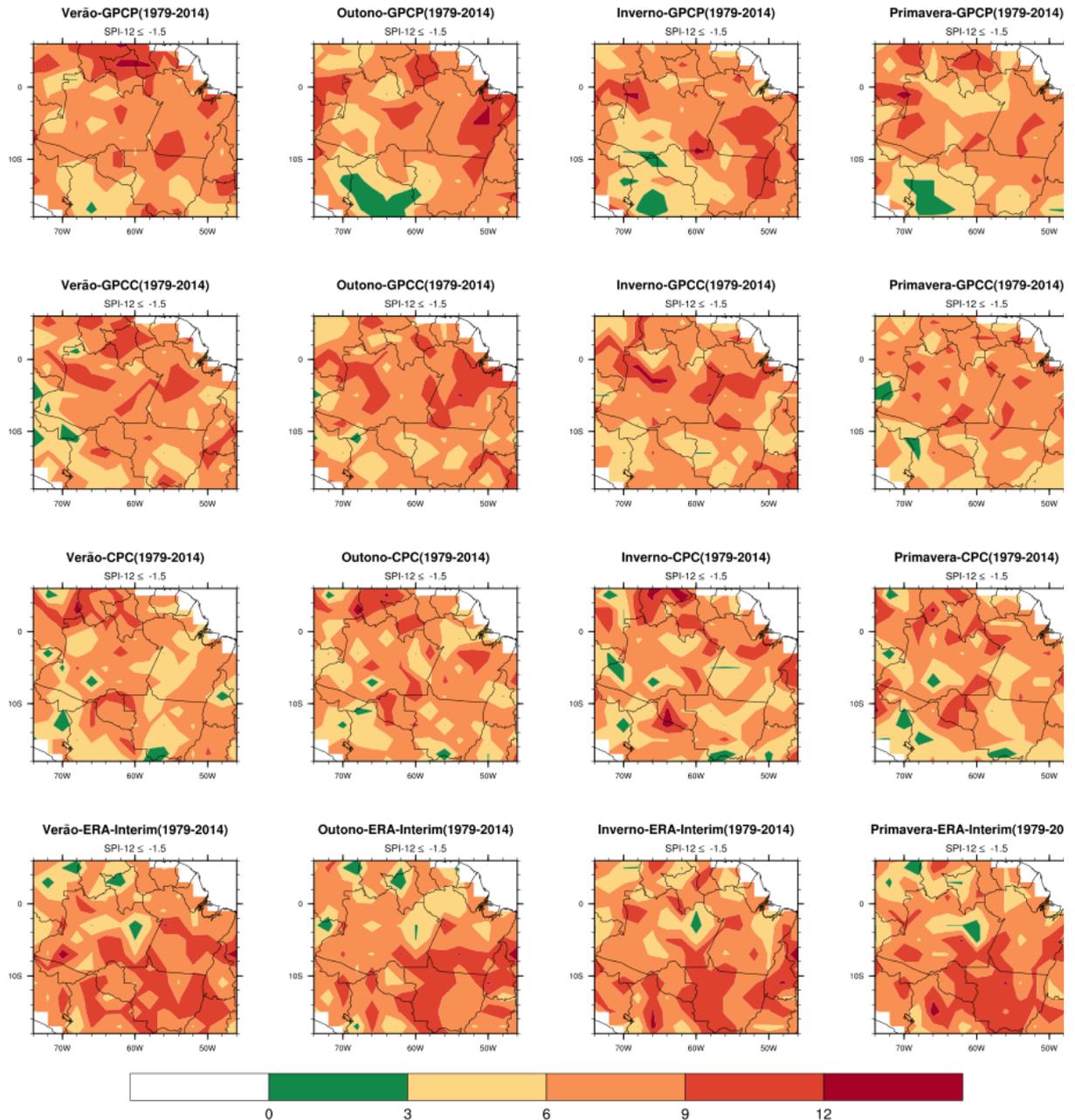


Figura 6. Idem a Figura 4, porém para o SPI-12.

Conclusões

Com o propósito de contribuir com os estudos de extremos climáticos na Amazônia e tendo em vista o potencial do SPI na quantificação de tais eventos. Este trabalho avaliou as frequências sazonais de eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando o SPI.

Os resultados mostraram uma distribuição heterogênea ao longo do ano das frequências dos eventos extremos de seca e chuva pelos SPI-3, 6 e 12 meses nos quatro bancos de dados, não sendo

possível observar um padrão sazonal característico entre eles.

Todavia, uma importante característica foi constatada nas três escalas do SPI, em todas as estações do ano e nos quatro bancos de dados: a Amazônia apresentou frequências de eventos extremos de chuva variando entre 3% a 6%. Por outro lado, observou-se nos eventos extremos de seca uma variação superior a 6% destas frequências, evidenciando que, para este período de análise, houve maior ocorrência de eventos extremos de seca que de chuva.

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

- Arraut, J.M., Satyamurty, P., 2009. Precipitation and water vapor transport in the Southern Hemisphere with emphasis on the South American region. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48, 1902-1912.
- Betts, R.A. Cox, P.M., Collins, M., Harris, P.P., Huntingford, C., Jones, C.D., 2004. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theoretical and applied climatology* 78, 157-175.
- Brando, P. M., Balch, J. K., Nepstad, D. C., Morton, D. C., Putz, F. E., Coe, M. T., Alencar, A., 2014. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought–fire interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, 6347-6352.
- Coelho, C. A. S., Denis, H. F. C., Mári, A. F. F., 2015. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 125, 1-16.
- Dirmeyer, P. A., Brubaker, K. L., DelSole, T., 2009. Import and export of atmospheric water vapor between nations. *Journal of hydrology* 365, 11-22.
- Drumond, A. Marengo, J., Ambrizzi, T., Nieto, R., Moreira, L., Gimeno, L., 2014. The role of the Amazon Basin moisture in the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis. *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 2577-2598.
- Davidson, E. A., de Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., Bustamante, M. M., Munger, J. W., 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481, 321-328.
- Doughty, C. E., Metcalfe, D. B., Girardin, C. A. J., Amézquita, F. F., Cabrera, D. G., Huasco, W. H., ... & Feldpausch, T. R., 2015. Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. *Nature* 519, 78-82.
- Dos Santos, S. R. Q., Campos, C. C., Santos, A. P. P., Campos, T.L.O.B., Brito, J.I.B., 2014. Classificação de Eventos Extremos de Precipitação em Múltiplas Escalas de Tempo em Belém-PA: Utilizando o Índice de Precipitação Normalizada. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 628-635.
- Dos Santos, S. R. Q., Da Silva, R. B. C., Barreto, P. N., Nunes, H. G. G., Rodrigues, R. D. S., & Campos, T. L. D. O. B., 2011. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña, Caxiuana-PA: estudo de caso. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 367-374.
- Espinoza, J. C., Marengo, J. A., Ronchail, J., Carpio, J. M., Flores, L. N., Guyot, J. L., 2014. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. *Environmental Research Letters* 9, 124007.
- Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Junquas, C., Vauchel, P., Lavado, W., Pombosa, R., 2011. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. *Geophysical Research Letters* 38, L13406.
- Gloor, M. R. J. W. Brienen, R. J., Galbraith, D., Feldpausch, T. R., Schöngart, J., Guyot, J. L., Phillips, O. L., 2013. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophysical Research Letters* 40, 1729-1733.
- Guttman, N. B., 1998. Comparing the Palmer Drought Index and The Standardized Precipitation Index. *Journal Of The American Water Resources Association* 34, 113-121.
- Hirota, M. Holmgren, M., Van Nes, E. H., Scheffer, M., 2011. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. *Science* 334, 232-235.
- 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.
- Hayes, M. J., 2000. Revisiting the SPI: clarifying the process. *Drought Network News* 12, 13–14.
- Kayano, M. T., Andreoli, R. V., Ferreira de Souza, R. A., 2013. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. *International Journal of Climatology* 33, 2008-2023.
- 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.
- Martinez, J. A., Dominguez, F., 2014. Sources of Atmospheric Moisture for the La Plata River Basin. *Journal of Climate* 27, 6737-6753.

- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Cardoso, M. F., Oyama, M. D., 2008. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 363, 1773-1778.
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Soares, W. R., Alves, L. M., Nobre, C. A., 2012. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology* 107, 73-85.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Soares, W. R., Rodriguez, D. A., Camargo, H., Riveros, M. P., Pabló, A. D., 2013. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. *Journal of Climate* 26, 9137-9154.
- Marengo, J. A., Borma, L. S., Rodriguez, D. A., Pinho, P., Soares, W. R., Alves, L. M., 2013. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. *American Journal of Climate Change* 2, 87-96.
- Molion, L. C. B., Bernardo, S. O., 2002. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Chou, S. C., Tomasella, J., Sampaio, G., Alves, L. M., Kay, G., 2011. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil. *Análise Conjunta Brasil- Reino Unido Sobre os Impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia*. Disponível: <http://proclima.cetesb.sp.gov.br/2011/05/19/riscos-das-mudancas-climaticas-no-brasil-analise-conjunta-brasil-reino-unido-sobre-os-impactos-das-mudancas-climaticas-e-do-desmatamento-na-amazonia.pdf>. Acesso: 13 set. 2016.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., 1993. The relationships of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, 233-236.
- Nobre, P., Shukla, J., 1996. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal Climate* 9, 2464-2479.
- Oyama, M. D., Nobre, C. A., 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. *Geophysical research letters* 30, 2199.
- Rudolf, B., Hauschild, H., Rueth, W., Schneider, U., 1994. Terrestrial precipitation analysis: Operational method and required density of point measurements. *Global Precipitations and Climate Change* 3, 173-186.
- Souza, E. B., Kayano, M. T., Ambrizzi, T., 2005. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology* 81, 177-191.
- Souza, E. B., Lopes, M. N.G., Rocha, E. J. P., Souza, J. R. S., Cunha, A. 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.
- Sansigolo, C. A., 2004. Análise comparativa do desempenho dos índices de seca de Palmer (PDSI) e da precipitação normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917-2001). *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 237-242.
- 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.
- Simmons, A. S., Uppala, S., Dee, D., Kobayashi, S., 2007. ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF newsletter* 110, 25-35.
- Spracklen, D. V., Arnold, S. R., Taylor, C. M., 2012. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature* 489, 282-285.
- Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Noguez-Paele, 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. Elsevier Science & Technology Books, California.
- Zeng, N., Yoon, J. H., Marengo, J. A., Subramaniam, A., Nobre, C. A., Mariotti, A., Neelin, J. D., 2008. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. *Environmental Research Letters* 3, 014002.