

A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil

Caio A. S. Coelho, Denis H.F Cardoso, Mári A. F. Firpo

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

caio.coelho@cptec.inpe.br

Resumo

A região sudeste do Brasil sofreu durante os verões 2013/2014 e 2014/2015 importantes déficits de precipitação, resultando em condições de seca e uma crítica crise de água com impactos em diversos setores da sociedade. Este artigo apresenta uma compilação de recentes pesquisas que abordaram a temática da seca observada na região sudeste do Brasil, buscando respostas a uma série de questões demandadas pela sociedade quando da manifestação de anomalias climáticas dessa magnitude. Os resultados dessas pesquisas revelaram a excepcionalidade do déficit de precipitação observado, particularmente durante o verão 2013/2014 quando comparado com outros verões desde 1961/62, e que a região estudada vem sofrendo com déficit de precipitação desde o final da década de 90. Eventos de seca semelhantes foram observados no passado, porém de menor magnitude. Um dos fatores que contribuiu para o déficit expressivo de precipitação durante o verão 2013/2014 foi o término exageradamente antecipado da estação chuvosa. A cadeia de mecanismos/teleconexões desde a fonte tropical anômala de calor ao norte da Austrália até a região sudeste do Brasil foi diagnosticada ajudando a explicar as causas da seca observada, em particular o estabelecimento do sistema de alta pressão sobre o oceano Atlântico adjacente à região afetada pelo déficit de precipitação. Os resultados dos estudos não apontaram evidências de alterações no risco climático através das atividades humanas (emissão de gases do efeito estufa) para a ocorrência desse evento de seca. O aumento da população e do consumo de água foram identificados como os prováveis fatores responsáveis pela crise hídrica que afetou a região.

Palavras chave: seca, estação chuvosa, risco climático

1. Introdução

A região sudeste do Brasil sofreu durante os verões 2013/2014 e 2014/2015 importantes déficits de precipitação, resultando no estabelecimento de condições de seca e uma crítica crise de água com impactos em diversos setores da sociedade, incluindo o abastecimento humano, agricultura e a geração de energia hidroelétrica. O maior reservatório de abastecimento humano de água, o sistema Cantareira, atingiu em Janeiro de 2015 seu menor volume histórico de armazenamento (5%), forçando o governo do Estado de São Paulo a instalar um sistema de bombeamento para trazer águas de profundidades jamais utilizadas visando evitar o colapso de abastecimento da cidade de São Paulo. Quando da manifestação de eventos climáticos extremos dessa magnitude uma série de questões passam a ser demandadas pela sociedade. Entre estas questões estão: Quanto choveu (ou deixou de chover) na região? É comum a região sofrer com condições climáticas anormais? Quando condições climáticas de seca semelhantes foram observadas no passado? Como vem se comportando o padrão de precipitação na região nos últimos anos? Quão severo/raro foi o evento de seca observado durante os verões 2013/2014 e 2014/2015? Quando a estação chuvosa tipicamente tem seu início e fim na região sudeste do Estado de São Paulo? Como se comportaram essas características (início e fim) durante as estações chuvosas 2013/2014 e 2014/2015? O que causou tais condições de seca? Seria possível detectar a contribuição humana associada à emissão de gases do efeito estufa nas condições climáticas da seca 2014/2015? Este trabalho apresenta uma compilação de resultados de três recentes estudos (Coelho et al. 2016a, Coelho et al. 2016b e Otto et al. 2015) que abordaram a temática da seca observada na região sudeste do Brasil buscando respostas às questões listadas acima.

2. Diagnóstico climático da precipitação observada em São Paulo durante os verões 2013/2014 e 2014/2015

A Figura 1b ilustra que os meses de dezembro de 2013 a março de 2014 apresentaram, para a região sudeste do Estado de São Paulo destacada em azul na Figura 1a, déficits expressivos de precipitação da ordem de 95.5, 137.0, 143.6 e 106.8 mm, respectivamente. No verão seguinte, os meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 apresentaram déficits similares aos de dezembro de 2013 e janeiro de 2014, porém em fevereiro e março de 2015 os valores observados se aproximaram da média climatológica representada pela linha preta na Figura 1b.

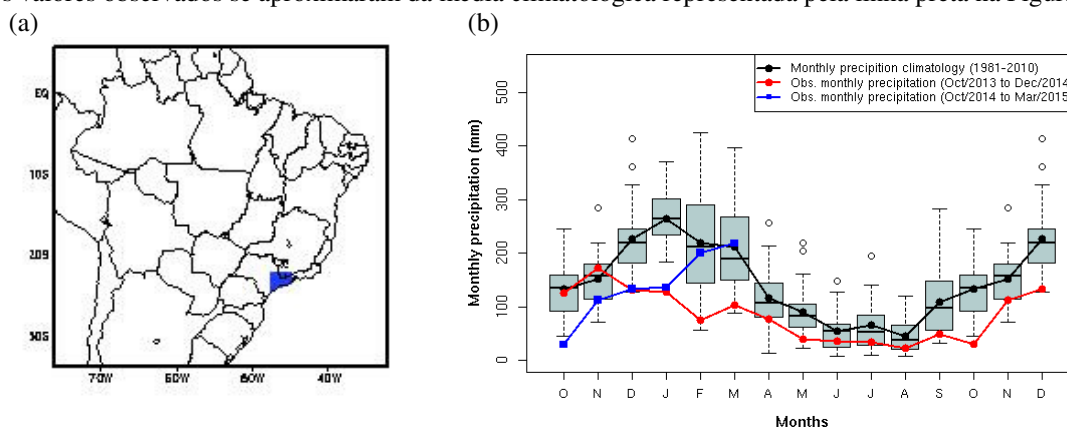


Figura 1: a) Região sudeste do Estado de São Paulo (destacada em azul). b) Gráfico de caixas (boxplot em inglês) da precipitação mensal (mm) construído usando dados históricos do período 1981-2010 para a região sudeste do Estado de São Paulo destaca no painel a). A linha sólida negra representa a média histórica (climatológica) mensal para o período 1981-2010. A linha sólida cinza escura representa os valores de precipitação mensal observados durante o período de Outubro de 2013 a Dezembro de 2014. A linha sólida cinza clara representa os valores de precipitação mensal observados durante o período de Outubro de 2014 a Março de 2015. Adaptado de Coelho et al. (2016a).

A figura 2a mostra a série temporal de precipitação acumulada no período de dezembro a março de 1961/1962 a 2014/2015 na região sudeste do Estado de São Paulo destacada em azul na Figura 1a. O verão de dezembro de 2013 a março de 2014 (penúltima barra da série) destaca-se como o mais seco da série com acúmulo de apenas 439 mm. No entanto, a inspeção visual da série revela que é comum a região apresentar déficits expressivos de precipitação. Condições semelhantes a 2013/2014 foram observadas em 1976/1977, 1983/1984, 1989/1990, 1991/1992, 2000/2001, 2011/2012 e 2014/2015. A figura 2b mostra a série temporal de anomalias de precipitação no período de dezembro a março de 1961/1962 a 2014/2015. A região sofreu com expressivas anomalias negativas nos últimos anos, particularmente 2011/2012 e 2013/2014 (-479.7 mm). A figura 2b ainda revela que a região vem sofrendo com um padrão predominante de déficit de precipitação desde 1999/2000.

Coelho et al. (2016a) calcularam também o índice padronizado de precipitação para os verões de dezembro de 2013 a março de 2014 e de dezembro de 2014 a março de 2015. Os valores encontrados para esse índice foram -3.66 e -1.47, respectivamente, que segundo a tabela de classificação de severidade de seca da agência Americana (NOAA) representa um evento excepcionalmente seco em 2013/2014 e muito seco em 2014/2015.

3. Diagnóstico do início e fim da estação chuvosa em São Paulo durante os verões 2013/2014 e 2014/2015

A Figura 3 mostra a Função Densidade de Probabilidade (PDF em inglês) construída com os dados históricos de 1998 a 2013 das datas de início e fim da estação chuvosa para a região sudeste do Estado de São Paulo destacada na Figura 1a, datas estas estimadas empregando-se o procedimento proposto por Liebmann et al. (2007), sendo este análogo ao procedimento proposto anteriormente por Camberlin and Diop (2003). A figura apresenta não somente as datas históricas de início/fim da estação chuvosa (círculos azuis abertos), mas também as datas de início/fim mais adiantado e mais atrasado registrados no histórico dos dados, além da indicação da data mais provável para o início/fim (linha tracejada vertical) da estação chuvosa. A figura destaca ainda os inícios e fins das estações para os verões de 2013/2014 e 2014/2015 através de círculos e quadrados negros, respectivamente.

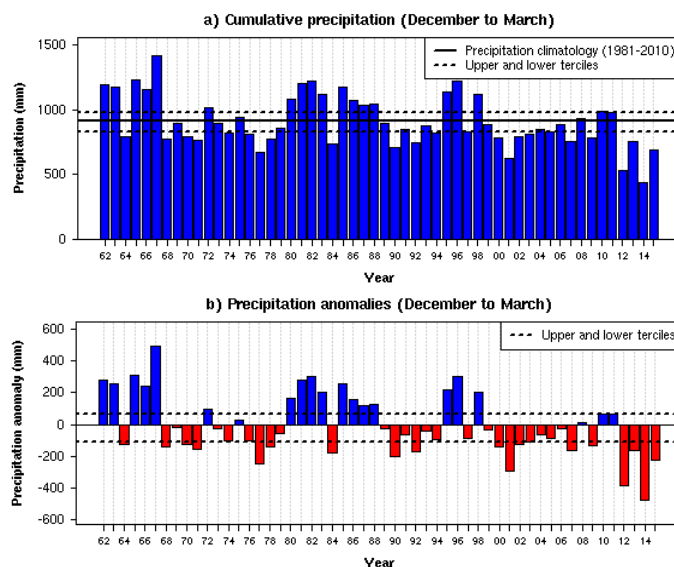


Figura 2: a) Série temporal (barras em azul) de precipitação acumulada (em mm) para o período de dezembro a março de 1961/1962 a 2014/2015 na região sudeste do Estado de São Paulo destacada em azul na Figura 1a. A primeira barra representa a precipitação acumulada para o período de dezembro de 1961 a março de 1962 e a última barra para o período de dezembro de 2014 a março de 2015. A linha sólida negra representa a média climatológica de 918.7 mm para o período 1981-2010. As linhas tracejadas representam os tercís inferior (827.6 mm) e superior (984.8 mm) calculados para o período 1981-2010. b) Série temporal de anomalias de precipitação (em mm) para período de dezembro a março de 1961/1962 a 2014/2015, calculadas em relação a média climatológica para o período 1981-2010. As linhas tracejadas representam os tercís inferior e superior. Adaptado de Coelho et al. (2016a).

O círculo negro na Figura 3a ilustra a data estimada para o início da estação chuvosa no verão 2013/2014 a qual mostrou-se próxima da data média histórica (próxima do início de novembro) representada pela cruz negra grande. No entanto, a Figura 3b ilustra que o fim da estação chuvosa 2013/2014 terminou muito antes da data média histórica (início de Abril), inclusive antes da data de término mais cedo que havia sido registrada em anos anteriores (cruz negra pequena), encerrando a estação muito antecipadamente em meados de Janeiro de 2014. Por outro lado, o quadrado negro na Figura 3a indica o início da estação chuvosa 2014/2015 em dezembro, portanto praticamente um mês mais tarde do que a data de início médio histórico da estação chuvosa. No entanto, a Figura 3b ilustra que o fim da estação 2014/2015 foi estimado ter ocorrido bem próximo da data média histórica.

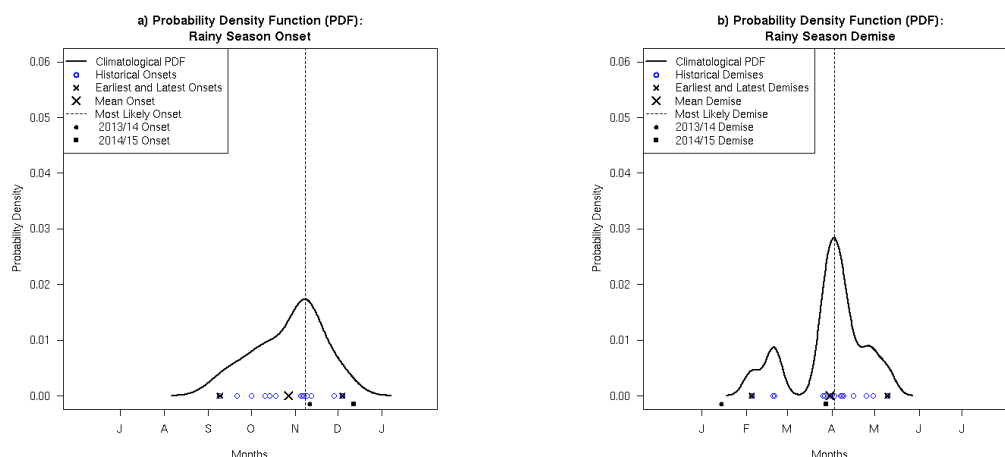


Figura 3: Funções densidade de probabilidade (PDF em inglês) das datas de a) início e b) fim da estação chuvosa da região sudeste do Estado de São Paulo destacada em azul na Figura 1a. Os círculos em azul representam as 15 datas históricas para o período 1998/1999 a 2012/2013. A cruz negra grande representa a média histórica para o período 1998/1999 a 2012/2013. As cruzes negras pequenas indicam as datas de início e final mais cedo e mais

tarde ocorridas no período 1998/1999 a 2012/2013. As linhas verticais tracejadas localizadas nos pontos de máximo da curva negra representam as datas estimadas como mais prováveis para o início e fim da estação chuvosa. Os círculos negros representam estimativas das datas de início e fim da estação chuvosa 2013/2014. Os quadrados negros representam estimativas das datas de início e fim da estação chuvosa 2014/2015. Adaptado de Coelho et al. (2016a).

4. Mecanismos causadores das secas no sudeste do Brasil

A Figura 1b ilustrou que a região sudeste do Estado de São Paulo sofreu durante o período de Janeiro a Março de 2014 importante déficit de precipitação. A Figura 4a ilustra que na realidade déficits expressivos de precipitação foram registrados em toda região sudeste do Brasil. Coelho et al. (2016b) propuseram os mecanismos causadores dessas condições de seca sobre o sudeste do Brasil. A Figura 4b apresenta o diagrama esquemático proposto por Coelho et al. (2016b) que ilustra a cadeia de mecanismos que, segundo as análises realizadas pelos autores, explicam a ocorrência do déficit de precipitação que levou ao estabelecimento de condições de seca sobre a região sudeste do Brasil. O diagrama destaca que a seca sobre a região sudeste durante o verão 2014 teve como raiz as condições de atividade convectiva anômalas na região tropical ao norte da Austrália, desencadeando uma sequência de processos conectando a região tropical e extra-tropical do oceano Pacífico, até atingir o oceano Atlântico e a região sudeste do Brasil. Como resultado houve o estabelecimento de um sistema anômalo de alta pressão sobre o oceano Atlântico que apresentava-se aquecido, que forçou os sistemas frontais a realizarem trajetórias oceânicas, favoreceu a manutenção do aquecimento oceânico através da incidência de radiação solar, transportou umidade tropical (do Atlântico e da Amazônia) para o sul do Brasil, e desfavoreceu a formação de eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), um dos principais mecanismos de produção de chuva sobre a região sudeste do Brasil.

5. Investigando a possível contribuição humana na alteração do risco climático da seca 2014/2015

A severa seca registrada em 2014 e 2015 e a crise hídrica que afetou a região sudeste do Brasil, incluindo a populosa região metropolitana de São Paulo, gerou curiosidade em vários setores da sociedade sobre o possível efeito do aquecimento global induzido pelas atividades humanas na intensificação desse evento climático. Otto et al. (2015) investigaram esta temática da possível alteração no risco climático através das atividades humanas associadas às emissões de gases do efeito estufa para a ocorrência deste evento de seca. Secas podem ser estudadas sob várias perspectivas. Este estudo examinou a seca em termos de falta de precipitação, disponibilidade e consumo de água.

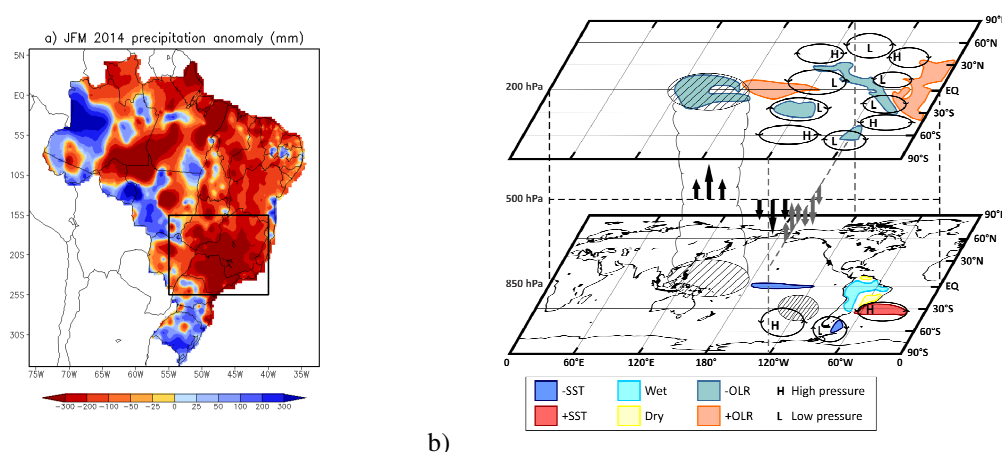
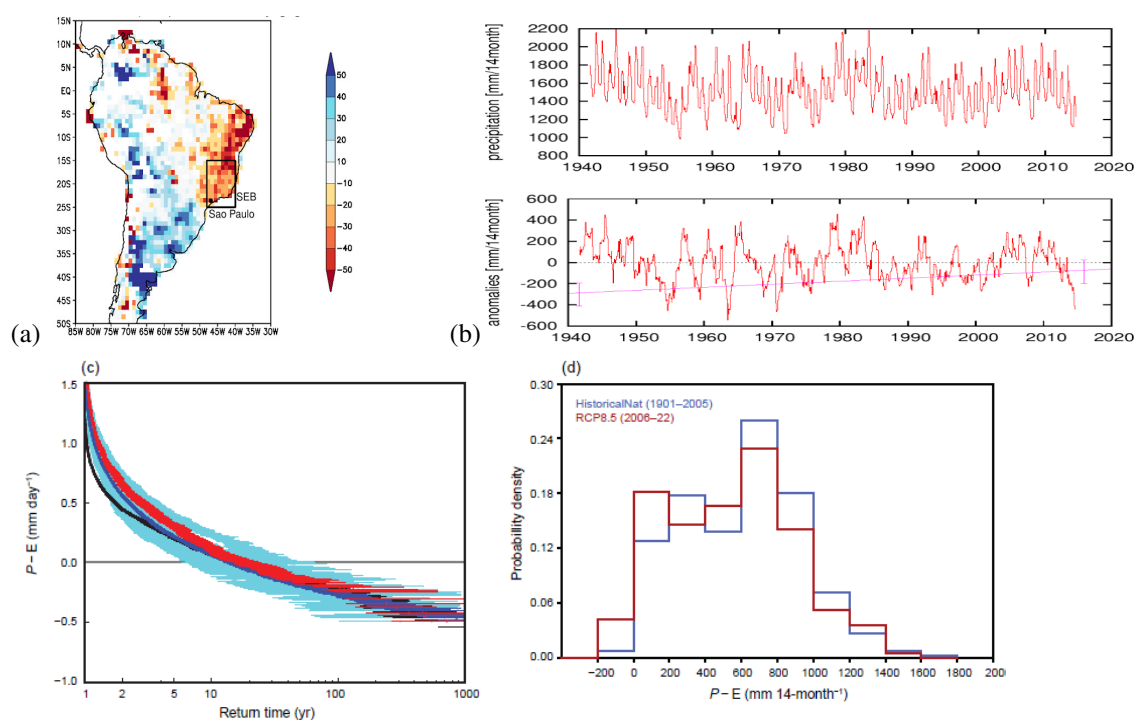


Figura 4: a) Anomalia de precipitação para janeiro a março de 2014 calculada em relação à climatologia de 1981 a 2010. b) Diagrama esquemático ilustrando a cadeia de mecanismos associados à ocorrência da seca sobre a região sudeste do Brasil durante o período de janeiro a março de 2014. Adaptado de Coelho et al. (2016b).

Otto et al. (2015) empregaram três métodos independentes para analisar o papel do aquecimento global induzido pelas atividades humanas na falta de precipitação e disponibilidade de água. A Figura 5a mostra as anomalias percentuais de precipitação para o período de Janeiro de 2014 a Fevereiro de 2015, sendo destacado o déficit expressivo observado na região sudeste do Brasil demarcada pelo retângulo. O primeiro método utilizado

por Otto et al. (2015) analisou os dados históricos de precipitação para avaliar tendências nos eventos extremos observados desde 1941. Os resultados dessas análises são mostrados no painel inferior da Figura 5b que indicaram que o déficit de precipitação registrado na região sudeste em 2014/15 foi excepcional, porém não único, uma vez que condições similares foram observadas na região em 1953/54, 1962/63 e 1970/71. A Figura 5e ilustra, através de uma análise de valores extremos aplicada aos 20% mais secos da série histórica de precipitação da região, que o período de retorno do evento de seca 2014/2015 foi estimado em 20 anos. O segundo método denominado *weather@home* (<http://www.climateprediction.net/weatherathome/>) usou resultados de um conjunto de milhares de simulações produzidas pelo modelo climático atmosférico do Centro Britânico Hadley (HadAM3P), reconhecido pela comunidade científica internacional como estado-da-arte, para executar duas análises distintas de possível alteração do risco climático em função da contribuição humana: uma que representa o clima atual assim como observado durante o evento de seca 2014/2015, e outra que representa o mesmo evento de seca, porém em um mundo hipotético sem a interferência humana na concentração de gases causadores do efeito estufa (ou seja, com concentrações de gases equivalentes a do período pré-industrial). Os resultados dessas análises são mostrados na Figura 5c que mostra as curvas de períodos de retorno para a média de 14 meses da diferença entre precipitação e evaporação (P-E) simuladas pelo modelo HadAM3P, para a média na área da região sudeste do Brasil definida pelo retângulo ilustrado na Figura 5a, para a condição do clima atual (curva vermelha) e para o mundo hipotético (curva azul escuro). A sobreposição dessas duas curvas sugere ser muito difícil atribuir mudanças no risco climático desse evento à contribuição humana através de emissão de gases de efeito estufa. O terceiro método utilizou modelos climáticos globais acoplados oceano-atmosfera do projeto internacional de intercomparação de modelos acoplados versão 5 (CMIP5). A Figura 5d mostra funções densidade de probabilidade para a média de 14 meses da diferença entre precipitação e evaporação (P-E) simuladas pelos modelos do CMIP5 com forçante natural (curva azul) e cenário de alta emissão de gases do efeito estufa (curva vermelha). Novamente, a superposição dessas curvas confirma o resultado anterior da Figura 5c, sendo difícil atribuir alterações no risco climático desse evento às atividades humanas.

Se o risco climático não sofreu mudanças devido às atividades humanas, o que pode ter contribuído para o impacto observado, ou seja, a crise hídrica, na região? A Figura 5f mostra as séries temporais da população da região metropolitana de São Paulo (linha vermelha) para o período 1960–2012, a estimativa do consumo de água no período 1960–2010 (linha azul escuro), e o consumo real de água no período 1999–2013 (linha azul claro) na região metropolitana de São Paulo. Ambos, a população e consumo de água aumentaram drasticamente na região, sendo estes dois fatores considerados como muito provavelmente os principais contribuidores para a crise hídrica observada na região.



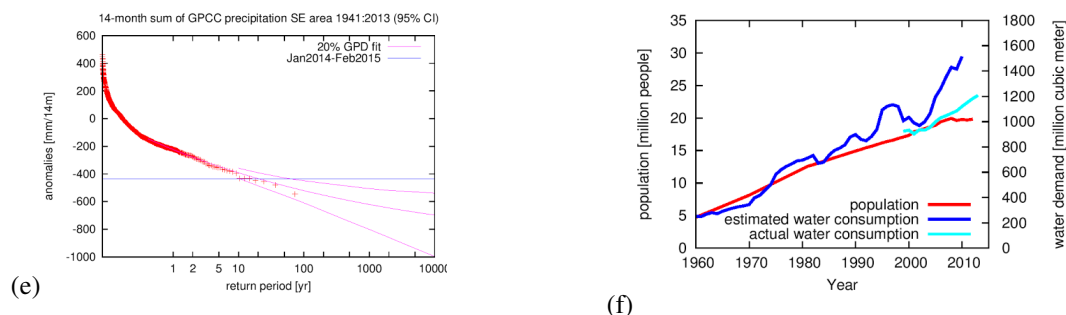


Figura 5: a) Anomalia percentual de precipitação para o período de Janeiro de 2014 a Fevereiro de 2015 (14 meses) relativas ao período 1941-2010 (Fonte: GPCC). b) Pannel superior: Série temporal da média móvel de 14 meses de precipitação na área da região sudeste do Brasil definida pelo retângulo ilustrado na Figura 5a. Pannel inferior: Série temporal das anomalias da média móvel de 14 meses de precipitação relativas ao período 1941-2010. c) Curvas de períodos de retorno para a média de 14 meses da diferença entre precipitação e evaporação (P-E) simuladas pelo modelo HadAM3P, para a média na área da região sudeste do Brasil definida pelo retângulo ilustrado na Figura 5a. d) Funções densidade de probabilidade para a média de 14 meses da diferença entre precipitação e evaporação (P-E) simuladas pelos modelos do CMIP5 com forçante natural (curva azul) e cenário de alta emissão de gases do efeito estufa RCP8.5 (curva vermelha). e) Ajuste da distribuição generalizada de Pareto aos 20% mais secos da série histórica das anomalias da média móvel de 14 meses de precipitação. A linha horizontal azul representa a anomalia de precipitação observada em 2014/15. f) Séries temporais da população da região metropolitana de São Paulo (linha vermelha) para o período 1960–2012, estimativa do consumo de água no período 1960–2010 (linha azul escuro), e consumo real de água no período 1999–2013 (linha azul claro) na região metropolitana de São Paulo (Fonte: SABESP). Adaptado de Otto et al. (2015).

6. Conclusões

A região sudeste do Brasil vem passando por um de seus mais importantes períodos de seca, com o estabelecimento de uma grave crise hídrica, com muitas questões e impactos sociais. Os déficits mais expressivos de precipitação foram observados durante o verão 2013/2014 que foi classificado como excepcionalmente seco com término exageradamente adiantado da estação chuvosa em função da ausência de episódios de ZCAS, particularmente nos primeiros meses de 2014. Entretanto, um dos estudos aqui compilado indicou que a falta de precipitação no sudeste do Brasil em 2014 e 2015 foi excepcional, porém não incomum, como, por exemplo, o mais recente episódio de seca observado em 2001. O estudo revelou ainda que a região vem sofrendo com déficit de precipitação desde o final da década 90. A investigação das causas da seca durante o verão de 2014 revelou que a mesma esteve associada a uma cadeia de mecanismos/teleconexões desde a fonte tropical anômala de calor ao norte da Austrália até a região sudeste do Brasil. Como resultado, houve o estabelecimento de um sistema anômalo de alta pressão sobre o oceano Atlântico aquecido adjacente à região sudeste do Brasil, que bloqueou os sistemas frontais, favoreceu a manutenção do aquecimento oceânico através de incidência de radiação solar e desfavoreceu a formação de eventos de ZCAS. Finalmente, em relação à detecção da possível contribuição humana no risco climático associado à seca 2014/2015 observada na região sudeste do Brasil, o estudo aqui compilado não detectou essa contribuição. A quadruplicação da população desde 1960 e o aumento do consumo de água na região metropolitana de São Paulo, foram identificados como muito provavelmente os principais fatores para o estabelecimento da crítica condição de déficit hídrico observado em 2014/2015 na região.

7. Referências

- Camberlin P, Diop M. 2003. Application of daily rainfall principal component analysis to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal. *Climate Research*, 23, 159-169.
- Coelho CAS, Cardoso DHF, Firpo MAF. 2016a. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theor Appl Climatol*. **125**(3): 769-784. doi:10.1007/s00704-015-1540-9.
- Coelho CAS, de Oliveira CP, Ambrizzi T, Reboita MS, Carpenedo CB, Campos JLPS, Tomaziello ACN, Pampuch LA, Custódio MS, Dutra LMM, Da Rocha RP, Rehbein A. 2016b. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*. **46**(11): 3737-3752. doi:10.1007/s00382-015-2800-1.

-
- Liebmann B, Camargo SJ, Seth A, Marengo JA, Carvalho LMV, Allured D, Fu R, Vera CS. 2007. Onset and End of the Rainy Season in South America in Observations and the ECHAM 4.5 Atmospheric General Circulation Model,. *J Climate*, 20:2037-2050.
- Otto FEL, Coelho CAS, King A, De Perez EC, Wada Y, Oldenborgh GJV, Haarsma R, Haustein K, Uhe P, Aalst MV, Aravequia JA, Almeida W, Cullen H. 2015. Factors Other Than Climate Change, Main Drivers of 2014/15 Water Shortage in Southeast Brazil [in “Explaining Extremes of 2014 from a Climate Perspective”]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96** (12), S35–S40.