



A Seca de 2013/2014 na Região Sudeste do Brasil
The Droughts 2013/2014 in Southeast Brazil

Hugo Alves Braga & Luiz Carlos Baldicero Molion

*Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas,
Bloco 15, 1º Andar, Campus A.C. Simões, 57051-900, Maceió, Alagoas, Brasil.*

E-mails: hugoalves@hotmail.com; lcmolion@gmail.com

Recebido em: 19/01/2018 Aprovado em: 07/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_100_107

Resumo

A afirmação propalada na mídia de que as secas da Região Sudeste estão sendo causadas pelo desmatamento da Amazônia não tem base científica e não sobrevive a uma análise de dados climáticos. A estiagem pela qual o Sudeste passou em 2013 e 2014 - e que causou grandes transtornos sociais notadamente pela falta de água para consumo humano especialmente nas grandes cidades - é decorrente da variabilidade natural do clima e já ocorreu, até com intensidade maior, no passado, notadamente nas décadas de 1930 e 1960, quando o desmatamento da Amazônia era incipiente. A umidade para as chuvas do Sudeste não é produzida na Amazônia. Ela vem do Atlântico Tropical, apenas passa sobre a Amazônia e interage com a floresta. A partir de uma caixa virtual inscrita entre 0° e 12,5°S, 45°W e 75°W, calculou-se a divergência do fluxo de umidade no período 1999 a 2014 utilizando o conjunto de dados de Reanálises disponíveis no ESRL/PDS/NOAA. Os resultados indicam que os anos de 2013 e 2014 apresentaram os maiores valores de fluxo de umidade média anual exportado para região Sul/Sudeste, 2014[3,45x10⁸kg/s] e 2013[3,08x10⁸kg/s] respectivamente, durante o período estudado. Este estudo, portanto, demonstra que não houve falta de umidade atmosférica sobre o Sudeste. E, ainda, as análises dos campos de velocidade vertical Omega e ROLE observados no verão austral mostram a permanência de um sistema de alta pressão atmosférica sobre a Região que produziu intensa estabilidade atmosférica particularmente em 2014. Apesar do forte aquecimento continental nessa estação do ano, esse sistema de alta pressão foi o responsável pela seca severa, pois inibiu a formação de nuvens e o desenvolvimento de nuvens de tempestades e, simultaneamente, bloqueou a entrada dos sistemas frontais vindos do sul do Continente Sul-Americano, que é um mecanismo fundamental na produção do total pluviométrico regional durante o verão austral. Conclui-se que a estiagem na Região Sudeste nos anos de 2013-2014 não foi provocada pela falta de umidade atmosférica e sim pela falta de um mecanismo dinâmico capaz de converter em chuva a umidade proveniente do Atlântico Tropical.

Palavras-chave: divergência do fluxo de umidade; variabilidade interanual; precipitação

Abstract

The claim that droughts in the Southeastern Brazil are being caused by deforestation in the Amazon has no scientific basis and does not survive an analysis of the available climate data. The severe drought that affected Southeastern in the years 2013 and 2014 - and caused social adversities due to the lack of water for human consumption particularly in large cities - is due to the natural climate variability and droughts have occurred in the past, even with greater intensity, notably in the 1930s and 1960s, when the deforestation of the Amazon was incipient. The atmospheric humidity for the Southeastern rainfall is not produced in the Amazon. It comes from the Tropical Atlantic, only passes over the Amazon and interacts with the forest. Using a virtual box inscribed from 0° to 12,5°S, 45°W and 75°W, the annual moisture flux divergence for the years 1999 to 2014 is calculated using the Reanalysis data set available at ESRL/PSD/NOAA. The results show that the years 2013 and 2014 presented the largest mean annual flow values exported towards Southeastern Brazil, 2014[3,45x10⁸kg/s] and 2013[3,08x10⁸kg/s] respectively, during the period of this study. Therefore, it is clear that the 2013-2014 severe drought was not caused by the lack of atmospheric moisture flow. In addition, the analyses of vertical velocity Omega and Outgoing Long Wave (OLR) data observed during the austral summer show the presence of a high pressure system over the Region that resulted in an abnormally atmospheric stability particularly in 2014. Though there is a strong solar heating during the summer season, this high pressure system caused the drought since it inhibited convection and development of thunderstorms as well as blocked the frontal system propagating from southern South America, that is a primary dynamic mechanism for most of the regional rainfall in the summer season. One concludes that the drought in the Southeast Region in the years 2013-2014 was not caused by a lack of atmospheric moisture, but the absence of a dynamic mechanism capable of converting into rainfall the moisture flux originating in the Tropical Atlantic.

Keywords: horizontal moisture flux divergence; interannual variability; rainfall

1 Introdução

Os anos de 2013 e 2014 foram fortemente marcados por secas severas na Região Sudeste e tal fenômeno foi amplamente noticiado na mídia como tendo sido provocado pelo aumento do desmatamento da Floresta Amazônica (ver e.g., G1-Globo, 2014). Essa situação de estiagem provocou a maior crise hídrica da história recente do Sudeste, particularmente no Estado de São Paulo, uma comoção social local sem precedentes. Secas extremas regionais são resultantes de interações complexas de mecanismos atmosféricos de escala global, como eventos El Niño-Oscilação Sul e a variabilidade espacial e de intensidade das células da Circulação Planetária, e, eventualmente, podem ser agravadas por ações antrópicas locais.

A Floresta Amazônica é uma das regiões mais úmidas do planeta e sua precipitação é decorrente da convergência do fluxo de umidade proveniente do Oceano Atlântico Tropical Norte e Sul que é transportada pelos ventos Alísios para dentro dela, de acordo com Satyamurty *et al.* (2012), Satyamurty & Arraut (2009) e definida como a principal fonte de umidade para Bacia Amazônica. Em princípio, uma parte dessa umidade fica na bacia e outra parte, após ter interagido com a floresta, é “exportada” para outras regiões mais ao sul, caracterizando o que é erroneamente denominado “umidade da Floresta Amazônica”, como se a floresta fosse a fonte da umidade. As árvores apenas reciclam a água da chuva precipitada, árvores não produzem a umidade que é exportada, a floresta existe porque o clima global assim o permite. A análise da divergência do fluxo de umidade na Amazônia é a metodologia adequada quando se pretende compreender a estabilidade do clima e do balanço hídrico regional e o transporte de umidade para outras regiões do Continente Sul Americano, em particular para as Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Marengo *et al.* (2004) mencionam que os fluxos de umidade e de calor são exportados da Amazônia por meio dos jatos (correntes de vento) de níveis baixos na atmosfera, condicionados pela presença dos Andes. Mas, não enfatizam que a fonte da umidade é externa, o Oceano Atlântico Tropical, e que a umidade transportada não um produto interno da bacia, ou seja, não é um produto da floresta em si.

Afirmações de o desmatamento da Floresta Amazônica provoca redução do fluxo de umidade nos níveis baixos da atmosfera e que essa redução teria sido a causa da seca severa ocorrida no Sudeste não se sustentam em face de uma análise climática simples e objetiva como é mostrado a seguir. Esse artigo objetiva demonstrar que não houve redução do fluxo de umidade transportado para o Sudeste e descrever o mecanismo dinâmico causador da seca severa. Para isso, além do cálculo da divergência do fluxo de umidade, são analisadas as variáveis como pressão atmosférica ao nível médio do mar, velocidade vertical Ômega e radiação de onda longa emergente para o verão dos anos de 2013 e 2014 com intuito de caracterizar o estado atmosférico, e, portanto, a fenomenologia, que predominou na Região Sudeste durante as estações chuvosas de 2013 e 2014.

2 Material e Métodos

Para avaliar a convergência do fluxo de umidade foi considerada uma “caixa virtual” sobre a Região Amazônica e calculada a divergência do fluxo de umidade, seguindo a metodologia descrita por Satyamurty *et al.* (2012) que utilizam a integral de linha fechada (Teorema de Gauss), ou seja:

$$Dw = \oint_L \nabla \cdot Q \, dl$$

e

$$Q = \frac{1}{g} \int_{p_s}^p qV \, dp$$

onde l é a distância ao longo da fronteira fechada L em volta da área; p , a pressão atmosférica; q , a umidade específica; V , o vetor vento horizontal, e g é a aceleração da gravidade. Se a área considerada é retangular, a integral fechada pode ser quebrada em quatro partes, fronteiras norte (N), oeste (W), sul (S) e leste (E) da caixa, e a equação acima se converte em Dw , onde u_{Ei} e u_{Wi} são as componentes do vento zonal perpendiculares às fronteiras leste e oeste, v_{Ni} e v_{Si} , as componentes do vento meridional nas fronteiras norte e sul.

$$D_w = \frac{1}{g} \left\{ X \left[\sum_N q_i v_{Ni} \Delta p_i + \sum_S q_i v_{Si} \Delta p_i \right] + Y \left[\sum_E q_i u_{Ei} \Delta p_i + \sum_W q_i u_{Wi} \Delta p_i \right] \right\}$$

A caixa se estende latitudinalmente do equador [0°] a 12,5°S, com comprimento Y ($1,4 \times 10^6$ m) e longitudinalmente de 45°W a 75°W, com comprimento X ($3,3 \times 10^6$ m) e está representada pela Figura 1.

Os somatórios verticais ficam restritos entre $p_s = 1000$ hPa e $p = 300$ hPa, uma vez a umidade acima de 300hPa é muito pequena. Quando D_w for negativa, caracteriza-se convergência do fluxo de umidade, enquanto positiva, divergência. Os fluxos estão expressos em kg/s.

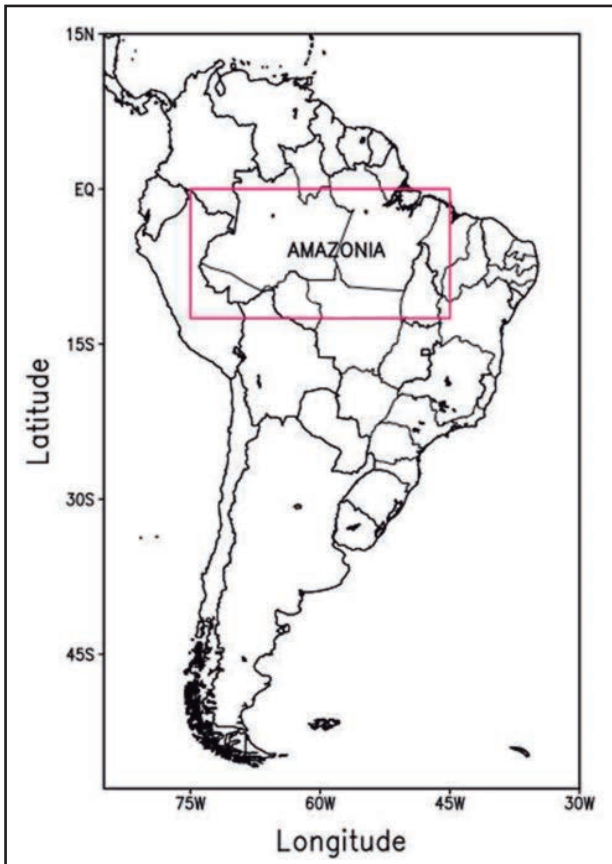


Figura 1 Caixa que abrange a Região Amazônica entre as latitudes de 0°-12,5°S, e longitudes 45°W-75°W usada para estimar a convergência do fluxo de umidade médio anual na região.

Os dados utilizados são do conjunto de Reanálises NCEP/NCAR, dispostos em pontos de grade de 2,5°x 2,5° de latitude/longitude, e o período estudado é entre 1999 e 2014. Entende-se que os dados de Reanálises apresentam limitações, mas os dados de umidade, particularmente, são mais confiáveis no período do estudo e esse conjunto de dado é de fácil acesso a todos os pesquisadores permitindo a réplica dos resultados aqui obtidos.

Foram, ainda, analisadas variáveis que auxiliam no diagnóstico do estado atmosférico atuante, como velocidade vertical ômega, desvios de pressão ao nível médio do mar (PNM) e desvios de radiação de onda longa emergente (ROLE) média para o verão austral, meses de janeiro a março, dos anos de 2013 e 2014. Essas variáveis, também disponíveis no conjunto de dados mencionado, foram selecionadas para confirmar a hipótese da existência de um mecanismo inibidor de chuvas no Sudeste, ou seja, um sistema de alta pressão atmosférica que bloqueia a entrada dos sistemas frontais na Região Sudeste responsáveis pelas chuvas e que, em última análise, é a causa da estiagem no verão austral nos dois anos citados. Dados dessas variáveis e seus respectivos mapas foram gerados por meio de aplicativos existentes na página eletrônica do ESRL/PSD/NOAA. Os desvios são com relação à média de 1981-2010 e a seção vertical de Ômega foi calculada fixando-se a faixa longitudinal em 45°W-47,5°W (parte central da Região Sudeste) entre as latitudes 10°N-35°S.

3 Resultados

Como resultado básico e primordial obteve-se a convergência média anual do fluxo de umidade dada pela diferença entre os fluxos de umidade, integrados na vertical, que entram pelas fronteiras norte e leste e os que saem por suas fronteiras sul e oeste. A média anual para o período 1999-2014 resultou em $1,04 \times 10^8$ kg/s, esse valor corresponde a apenas 20% do fluxo médio de entrada no domínio usado, ou seja, o equivalente a cerca de 80% do fluxo de entrada sai por suas fronteiras sul e oeste. Os fluxos estão representados na Tabela que segue.

Convergência Média Anual	1,04 x10 ⁸ kg/s
Fluxo Médio de Entrada	4,64 x10 ⁸ kg/s
Fluxo Médio de Saída	3,60 x10 ⁸ kg/s

Tabela 1 Convergência do fluxo de umidade médio anual e fluxos médios anuais de entrada e saída de umidade em kg/s no período 1999 a 2014.

A estabilidade do clima, ou balanço hídrico, na Bacia Amazônica requer que a convergência do fluxo de umidade média anual seja igual à descarga média anual do rio no Oceano Atlântico.

Em outras palavras, a umidade atmosférica que fica na região tem que ser balanceada pelo que sai pelo rio, do contrário não haveria equilíbrio climático. Admitindo, por hipótese, que o período de 16 anos aqui utilizado possa representar do clima da bacia, a convergência calculada corresponde a uma vazão de 104 mil m³/s. O fluxo de saída calculado na fronteira oeste resultou em 1,01x10⁸ kg/s. Se for admitido que esse fluxo convirja e seja transformado em chuva, ter-se-ia um adicional de 101 mil m³/s que, somado ao fluxo convergente, daria 205 mil m³/s, valor surpreendente próximo ao da estimativa da descarga do rio Amazonas no Atlântico que é de 210 mil m³/s.

Na Figura 2, mostra-se a variabilidade interanual da convergência do fluxo de umidade médio anual (kg/s) para o período 1999-2014. Nota-se, na Figura, que os maiores valores de convergência do fluxo de umidade foram em anos de eventos La Niña, ou seja, em 1999, 2008 e 2011, definidos pelo índice Oceânico de El Niño (ONI, em Inglês) elaborado pelo CPC/NCEP/NOAA. Verifica-se, ainda, que o ano de 2002, ano de El Niño, foi o ano de menor convergência do fluxo de umidade [-2,84x10⁷kg/s] e o ano de 2011, o de maior convergência [-1,5x10⁸ kg/s], um fator cinco vezes maior que 2002. Anos de eventos El Niño estão associados a campo de ventos Alísios médio horizontal mais fraco que o normal, que reduz o transporte de umidade por si só. Em adição, o deslocamento zonal do ramo subsidente da Célula de Walker para sobre a Região Amazônica,

cria uma inversão térmica e reduz a formação de nuvens e chuva sobre a região. Os anos de 2013 e 2014 foram anos neutros e a convergência foi acima da média nesses dois anos.

Na Figura 3 é mostrada a variabilidade interanual do fluxo de umidade médio anual “exportado” pela fronteira sul do domínio geográfico adotado [12,5°S; 45°W-75°W] no período 1999-2014. Pela fronteira sul, principalmente, sai a umidade que é transportada pelos ventos e correntes de jatos de baixos níveis para as regiões Sul e Sudeste do Brasil (Marengo *et al.*, 2004). O fluxo médio anual foi igual a 2,59x10⁸ kg/s para o período e sua variabilidade interanual é notável, tendo sido os maiores fluxos médios anuais registrados em 2014 [=3,45x10⁸ kg/s] e 2013[=-3,08x10⁸ kg/s] que foram anos de estiagem severa no Sudeste. Espinoza *et al.* (2014) definiram os anos de 2013 e 2014 como anos úmidos, devido a precipitação acima da média na Região Amazônica. Portanto, as afirmações que o desmatamento da Amazônia tem reduzido o fluxo de umidade que foi transportado para a região Sudeste nesses dois anos, não têm fundamento científico. Os fluxos “exportados” foram os maiores dos últimos 16 anos e o que faltou foi um mecanismo dinâmico que convertesse esses fluxos em precipitação, como é visto a seguir. Convém ressaltar que o Sudeste já sofreu estiagens severas no passado, como nas décadas de 1930 e 1960, em que o desmatamento amazônico não era significativo.

Figura 2 Convergência do fluxo de umidade médio anual (kg/s) para o período 1999-2014.

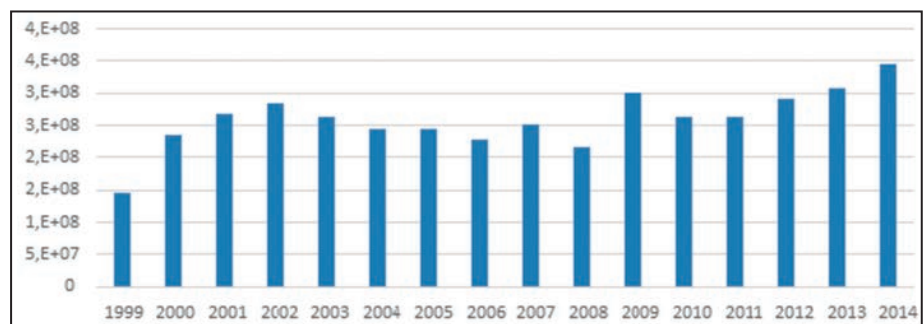
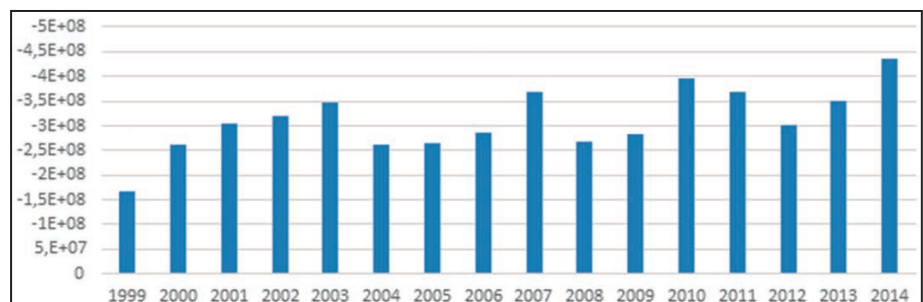


Figura 3 “Exportação” do fluxo de umidade médio anual (kg/s) pela fronteira sul no período 1999-2014.



Os fluxos de umidade exportados pela fronteira sul [12,5°S; 45°W-75°W] durante o período do verão austral, período de janeiro-março correspondente à estação chuvosa da Região Sudeste, são mostrados na Figura 4. O sinal negativo indica simplesmente o sentido do fluxo, de norte para sul. De acordo com essa figura, os verões de 2013 e 2014 também foram caracterizados como anos de alta exportação de umidade, com destaque ao ano de 2014 que é o maior em módulo no período estudado.

A Figura 5 mostra as anomalias de precipitação do ano de 2014 para o Brasil, que foi elaborada com o conjunto de dados GPCP Precipitation V6 Combined, disponíveis na página do ESRL/PSD/NOAA. Nela, vê-se que, de maneira, a região Amazônica Ocidental, apresentou chuvas acima da média. Os maiores totais ocorreram sobre o oeste da Amazônia e sobre a Bolívia, cujos rios alimentam o rio Madeira. Germano *et al.* (2015) mostram, que a cota do rio Madeira, em Porto Velho, atingiu 19,69 m de altura no dia 28/03/2014, superando todos os registros anteriores.

Foi elaborado um diagnóstico climático para o verão dos anos de 2013 e 2014 com o intuito de identificar mecanismos dinâmicos que possam ter causado a estiagem severa observada sobre a Região Sudeste do Brasil uma vez que se demonstrou que não houve falta de umidade nos níveis baixos da atmosfera sobre a região. Para não se tornar repetitivo, somente os resultados referentes ao ano de 2014 são mostrados aqui.

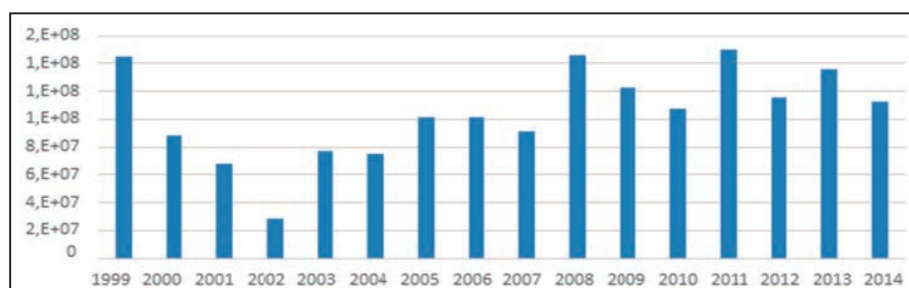
O mapa de desvios de pressão ao nível médio do mar (PNM) com relação à normal 1981-2010 para o trimestre janeiro-março de 2014 é apresentado na Figura 6 para todo Brasil. É evidente, nesse período, a dominância de uma anomalia positiva de PNM (cores de verde a vermelho) particularmente sobre o Sudeste e o Atlântico Sul excedendo 1,0 hPa. A presença dessa anomalia positiva sugere a

predominância de alta pressão na região durante o período analisado e consequente redução de movimentos convectivos capazes de converter a umidade superficial em precipitação, resultando na estiagem mapeada na Figura 5.

A seção vertical Ômega representados pela Figura 7 se refere à velocidade vertical do vento (Pa/s) da superfície até o nível de 100 hPa durante o trimestre de janeiro-março de 2014, se estendendo de 35°S a 10°N de latitude e média feita sobre a faixa longitudinal de 45°W-47,5°W, faixa que abrange o leste do continente. Valores negativos representam movimento ascendente do ar úmido (convecção) e valores positivos, movimentos descendentes de ar seco (estabilidade atmosférica). Observa-se uma faixa de movimentos ascendentes mais intensos na região equatorial, entre 0°-10°S (cores lilás/azul) se estendendo até a alta troposfera. Entre 10°S e 27°S aproximadamente, vê-se uma região de movimentos descendentes se aprofundando até 700hPa particularmente sobre o Sudeste, possivelmente associada à inversão térmica que reduz a formação de nuvens e chuva. Esse resultado está coerente com os desvios de PNM apresentados na Figura 6.

Radiação de onda longa emergente (ROLE) é uma variável indicadora de cobertura de nuvens convectivas e, consequentemente, da precipitação na região tropical. Desvios positivos (negativos) indicam maior (menor) emissão de ROLE para o espaço exterior e uma atmosfera regional, em média, com cobertura de nuvens convectivas reduzida (aumentada) e chuvas abaixo (acima) da média. De acordo com a Figura 8, toda Região Sudeste e parte do Centro Oeste apresentou desvios positivos de ROLE de até 20 W/m² (cores de azul a lilás) para o trimestre chuvoso de 2014, o que sugere precipitação abaixo da média para a região nesse período, concordando com Coelho *et al.* (2015). Convém mencionar que o pior trimestre janeiro-março nos últimos 70 anos ocorreu em 1971, com 32% de redução, enquanto o de 2014

Figura 4 “Exportação” do fluxo de umidade médio (kg/s) no período de verão austral (janeiro-março) pela fronteira sul da Amazônia no período 1999-2014.



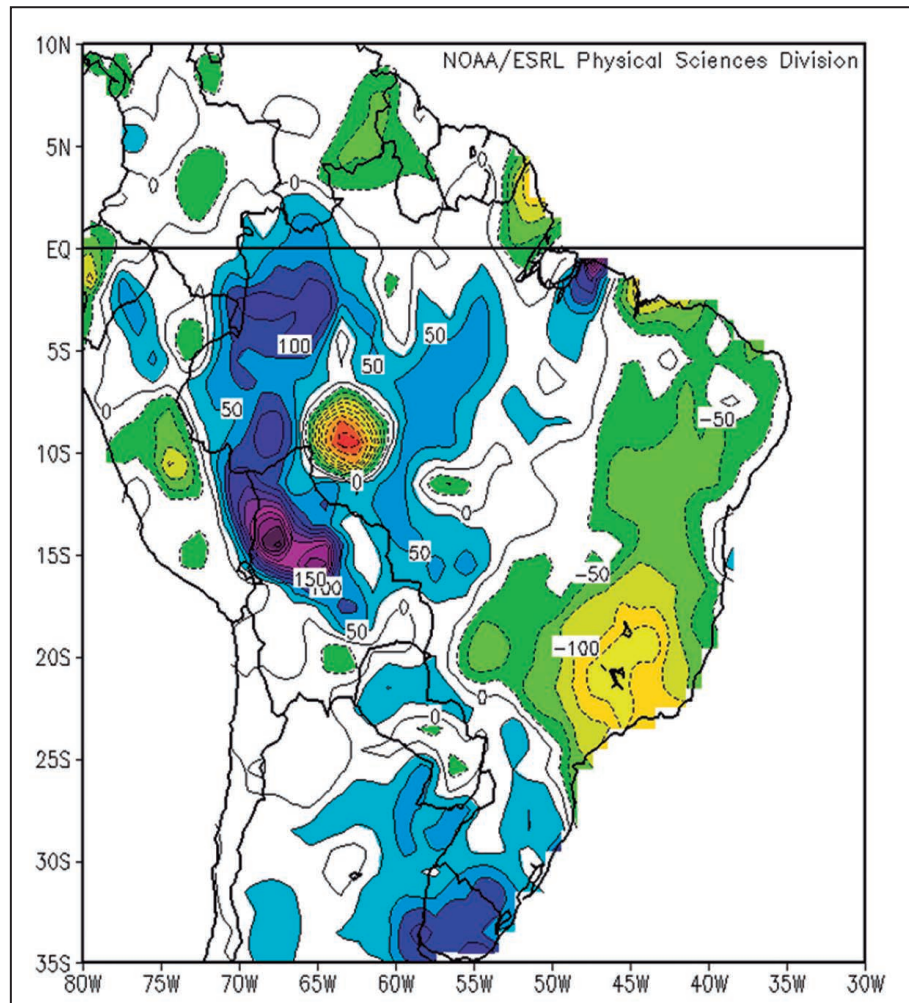


Figura 5 Desvios de precipitação (mm/mês) para o período de janeiro-março de 2014 com relação à normal 1981-2010 para o Brasil. Intervalos de cores representativos dos tons de amarelo e verde caracterizam desvios negativos e, em tons de azul e lilás, desvios positivos; Fonte de dados: GPCC Precipitation V6 Combined, ESRL/PSD/NOAA.

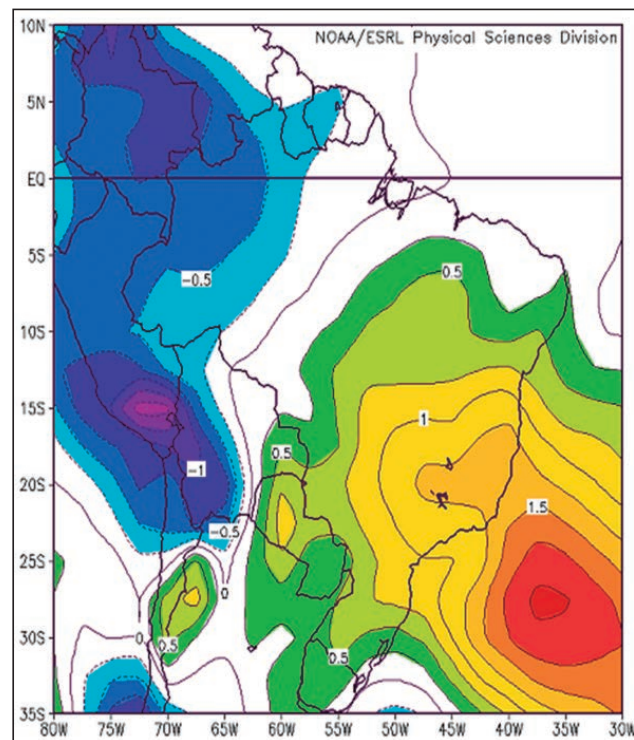


Figura 6 Desvios de pressão ao nível médio do mar (hPa), janeiro-março de 2014, com relação ao período 1981-2010. Intervalos de cores representativo aos tons de verde a vermelho caracterizam desvios de pressão positivos, e em tons de azul e lilás, desvios de pressão negativos; Fonte de dados: ESRL/PSD/NOAA.

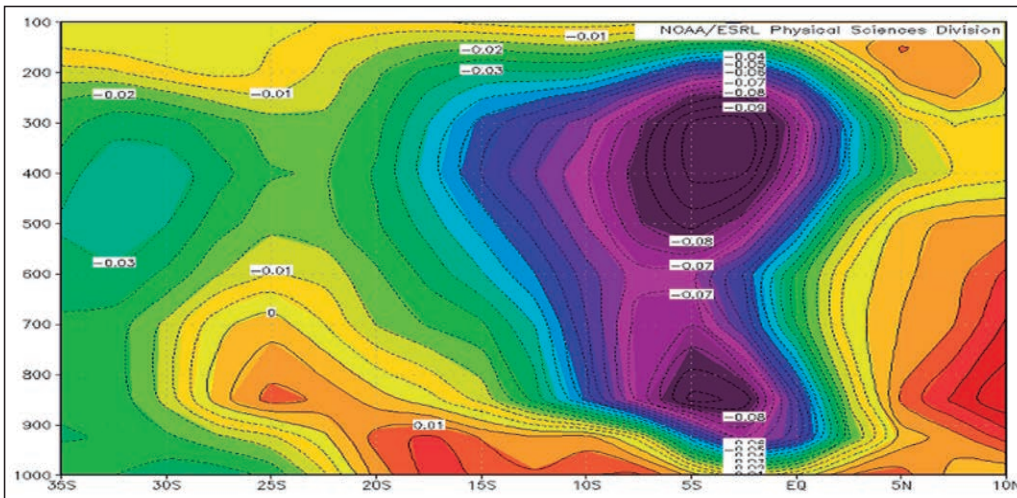


Figura 7 Seção de velocidade vertical Ômega (Pa/s) para o trimestre janeiro – março 2014. Valores positivos em tons de vermelho (negativos em tons de azul e lilás) indicam movimentos de subsidência (ascendência) de ar; Fonte de dados: ESRL/PSD/NOAA.

apresentou 29% de redução com relação à média de todo o período. Anomalias negativas de ROLE são notadas sobre a Região Sul do país. Em particular, nota-se um núcleo mais forte sobre a Bolívia e o extremo oeste do Brasil, região do rio Madeira, que apresentou valores negativos superiores a 30 W/m^2 (cores de verde a vermelho), indicando cobertura de nuvens convectivas e chuvas acima da média para o trimestre (Germano *et al.*, 2015). Os resultados de ROLE corroboram os das figuras anteriores.

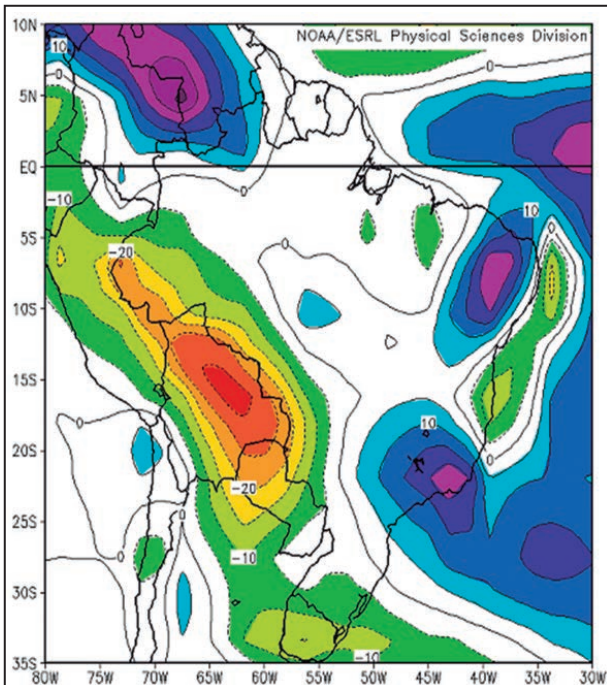


Figura 8 Mapa de anomalias de radiação de onda longa emergente (W/m^2) para o trimestre janeiro-março de 2014 relativos à normal 1981-2010. Valores positivos (negativos) indicam maior (menor) emissão de radiação infravermelha para o espaço exterior e estão associados a chuvas abaixo (acima) da média na região tropical; Fonte de dados: ESRL/PSD/NOAA.

4 Conclusão

A análise da convergência do fluxo de umidade médio na Amazônia, com objetivo de compreender o período de estiagem ocorrido na região Sudeste nos anos 2013 e 2014 e com foco no verão austral, indicou que esses anos foram os anos em que houve maior “exportação” do fluxo de umidade da Amazônia durante o período de estudo 1999-2014. Portanto, a afirmação veiculada na mídia que o desmatamento da Região Amazônica estaria reduzindo o fluxo de umidade “exportado” da região e originando as secas da Região Sudeste não tem base científica. Essa análise revelou, ainda, que a convergência média anual do fluxo de umidade na Amazônia é apenas cerca de 20% do fluxo que adentra na região. Ou seja, o fluxo de umidade que é transportado pela fronteira sul é equivalente a 80% do fluxo de entrada na Amazônia proveniente do Oceano Atlântico Tropical, sendo esta sua principal fonte de umidade. Análises das variáveis PNM, OMEGA e ROLE para o trimestre janeiro-março de 2013 e 2014 mostraram a presença, em média, de um sistema de alta pressão anômalo que dominou a Região Sudeste nesse período. Esse sistema esteve associado a movimentos de ar descendente (subsidência) sobre a região que reduziram a formação de nuvens e chuva e bloqueou a penetração de sistema frontais provenientes do sul do país, causando estiagem sobre a região.

Portanto, a seca da Região Sudeste em 2013/2014 não foi causada pela falta do transporte de umidade proveniente da Amazônia, mas sim pela ausência de mecanismos dinâmicos de escala sinótica capazes de converter a umidade em chuva.

5 Referências

- Coelho, C.S.; Oliveira, C.; Ambrizzi, T.; Reboita, M.; Carpenedo, C.; Campos, J.; Tomaziello, A.; Pampuch, L.; Custodio, M.S.; Dutra, L.; Da Rocha, R. & Rehbein, A. 2015. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*, 45: 1-16.
- Espinoza, J.C.; Marengo, J.A.; Ronchail, J.; Molina, J.; Noriega, L. & 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.
- Germano, A.O.; Castillo, A.; Cândido, M. & Reis, F. 2015. A cheia de 2014 do rio Madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, Brasília, *Anais*, Disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15049/PAP020740.pdf?sequence=1>.
- Globo, G1. 2014. <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2014/10/novo-estudo-liga-desmatamento-da-amazonia-seca-no-pais.html>. Acesso em 15 ago 2017.
- Marengo, J.A.; Soares, W.R.; Saulo, C. & Nicolini, M. 2004. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses. Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, 17(12): 2261-2280.
- Satyamurty, P. & Arraut, J.M. 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.
- Satyamurty, P.; Wanzeler da Costa, C.P. & Manzi, A.O. 2012. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. *Theoretical and Applied Climatology*, 111: 195-209.