



**Análise da escassez  
hídrica brasileira  
em 2014**

*Augusto José Pereira Filho*

## RESUMO

A recente diminuição das chuvas e seus reflexos nos recursos hídricos brasileiros afetaram todas as atividades produtivas, do abastecimento urbano à geração de energia elétrica. Este artigo compreende uma análise dos possíveis e plausíveis mecanismos dinâmicos e termodinâmicos associados à variabilidade e às mudanças climáticas e seus impactos no ciclo hidrológico global, em particular do ramo diretamente conectado com as chuvas sobre a América do Sul. As análises sugerem como principal fator o recente resfriamento do Polo Antártico, combinado à dinâmica climática do aquecimento e resfriamento dos oceanos Pacífico e Atlântico Sul e às alterações que esses ciclos de 4 a 11 anos causam nas circulações atmosféricas e oceânicas de grande escala.

---

**Palavras-chave:** seca brasileira de 2014; variabilidade climática; El Niño; sistema de alta pressão do Atlântico Sul.

## ABSTRACT

*The recent rainfall depletion and its consequences to the Brazilian water resources have affected all human activities, from urban water supply to hydroelectric power generation. This paper comprises an analysis of possible and plausible dynamic and thermodynamic mechanisms associated to climate variability and climate changes and their impacts in the global hydrological cycle, particularly where it is directly connected to precipitation over South America. Analysis suggest the cooling of the Antarctic Pole as a main factor coupled with the dynamics of climate with 4 to 11 year cycles of cooling and warming of the Pacific and Atlantic Oceans resulting in changes in atmospheric and oceanic large-scale circulations.*

---

**Keywords:** *Brazilian drought 2014; climate variability; El Niño; South Atlantic high pressure system.*

**A** Figura 1 mostra a distribuição de chuva anual média e anomalias nas áreas continentais da Terra no último ano, respectivamente. Notam-se anomalias negativas em todos os continentes do hemisfério sul, mais significativamente sobre a América do Sul, sobre o Brasil. A diminuição das chuvas gerou uma escassez hídrica de grande abrangência espacial e, portanto, com impactos negativos nas grandes bacias hidrográficas brasileiras que afetaram desde o abastecimento de água potável (no Sistema Cantareira, por exemplo) até a geração de energia elétrica nos sistemas produtores do Sudeste e Nordeste, com níveis de reservação da ordem de 35% no fim do período chuvoso de 2015.

A tendência para o próximo trimestre é de chuvas acima do normal no Sul e Sudeste e abaixo do normal no Norte e Nordeste, por causa do desenvolvimento de um padrão de aquecimento das águas do Pacífico Equatorial, que caracteriza o fenômeno denominado de El Niño, que começou a se desenvolver no início de 2014 e depois se dissipou. Mas as chuvas produzidas a leste de sua posição sobre a Indonésia resultaram em variações nas circulações atmosféricas com impactos sobre a América do Sul, que serão mais bem detalhados adiante.

Associado a esse padrão do El Niño, no outono e inverno em anos recentes, episódios de

intensas massas de ar polar mais frio e seco têm se deslocado da Antártica para a América do Sul, com recordes de temperaturas mínimas. Por exemplo, neveu em Curitiba em julho de 2013 após 80 anos! Esse é outro fator significativo de secagem da atmosfera e solos por meio da evaporação de solos, reservatórios de água e rios e da evapotranspiração das áreas vegetadas, o que resultou em aumento da perda de umidade para altas latitudes, como será descrito adiante.

Dados recentes sugerem que a escassez de água que se agravou desde o fim de 2013 foi causada por tais variabilidades climáticas, resultantes de interações e retroalimentações entre atmosfera, oceanos, criosfera e biosfera.

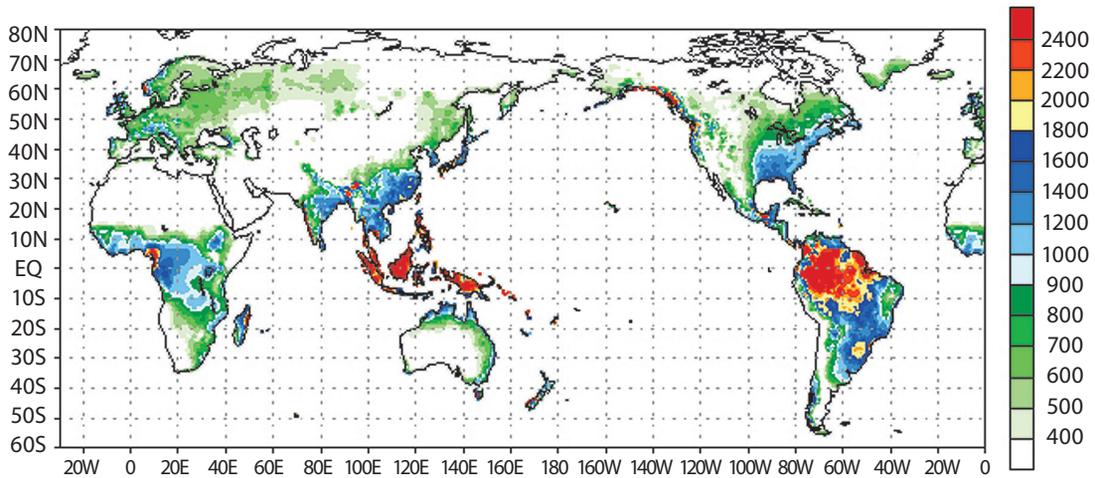
As séries de dados meteorológicos da estação meteorológica (EM) do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP dos últimos 82 anos indicam que períodos secos em São Paulo ocorrem em períodos entre 4 a 11 anos. Outras análises sugerem uma correlação negativa entre a precipitação total anual e a pressão atmosférica na superfície. Quando a pressão atmosférica aumenta, tende a chover menos, e vice-versa. Essa relação é devida à célula permanente de alta pressão do Atlântico Sul (Apas), que faz parte de um cinturão de altas e baixas pressões ao redor do globo associado a circulações solenoides denominadas de célula

---

**AUGUSTO JOSÉ PEREIRA FILHO** é professor associado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP.

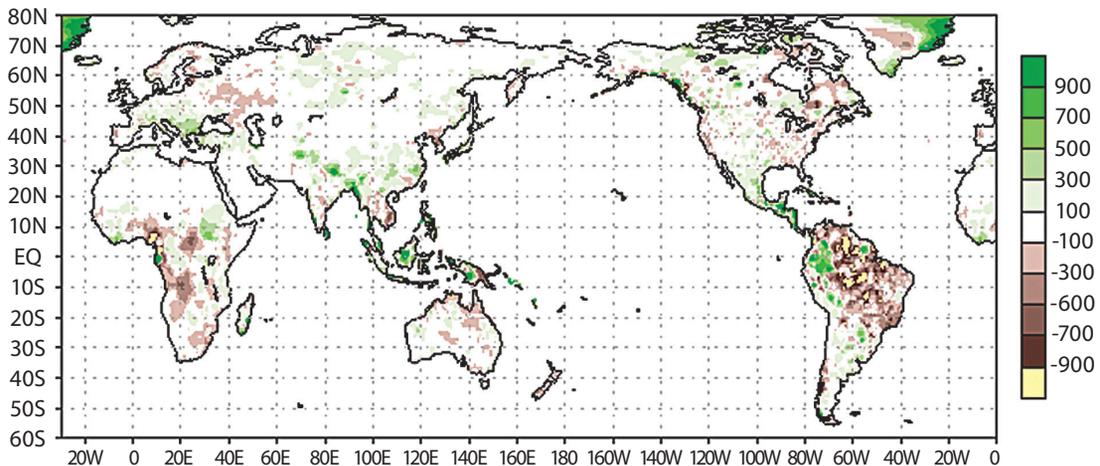
FIGURA 1

DISTRIBUIÇÃO CONTINENTAL DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA ANUAL MÉDIA (MM) NO PERÍODO ENTRE 28 DE ABRIL DE 2014 E 27 DE ABRIL DE 2015



Data source: CPC Unified (gauge-based) Precipitation Climatology (1981-2010)

ANOMALIA (MM) NO PERÍODO ENTRE 28 DE ABRIL DE 2014 E 27 DE ABRIL DE 2015



Data source: CPC Unified (gauge-based) Precipitation Climatology (1981-2010)

Coordenadas geográficas, contornos continentais e unidades estão indicados nos mapas.

Fonte: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Acessado em: 28/4/2015.

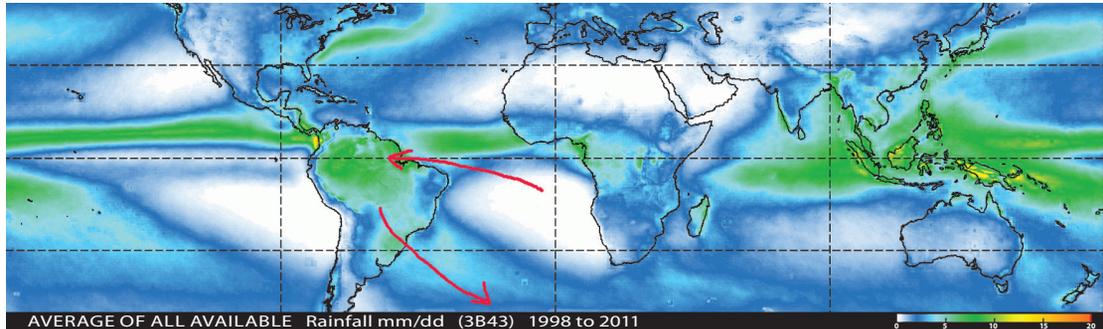
de Hadley, que geram movimentos descendentes (alta pressão) e ascendentes (baixa pressão) na circulação de Hadley, com simetria hemisférica na qual o ar ascende próximo da região equatorial e desce sobre latitudes tropicais em ambos os hemisférios sul e norte.

A Figura 2 mostra a distribuição espacial da chuva média diária (mm/dia) obtida de esti-

mativas com o satélite Tropical Rainfall Measurement Missing (TRMM) entre 1998 e 2011. Notam-se áreas de precipitação extensas ao norte e ao longo da linha do equador, denominadas de Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, e na América do Sul uma região de precipitação orientada na direção noroeste-sudeste, que se estende da Amazônia até altas latitudes.

FIGURA 2

PRECIPITAÇÃO ACUMULADA ANUAL MÉDIA (MM/DIA)  
ESTIMADA COM O SATÉLITE TRRM ENTRE 1998 E 2011



Transporte de umidade na baixa atmosfera na América do Sul indicado pelas setas em vermelho. Contornos continentais e unidades estão indicados no mapa. Fonte: adaptação de <http://trmm.gsfc.nasa.gov>. Acessado em: 28/4/2015.

Notam-se também áreas de pouca ou nenhuma precipitação sobre as regiões onde a circulação de Hadley desce aquece e inibe a formação de nuvens. Sobre o Oceânico Atlântico Sul, nota-se o efeito da Apas, que se estende do sul do continente africano até o Nordeste brasileiro, o que explica a aridez semipermanente no Nordeste brasileiro, exceto nas regiões costeiras, onde há circulação da brisa marinha e chuvas.

O sentido da circulação de vapor de água na baixa atmosfera, mais ou menos até 2 km de altitude na região entre a África e a América do Sul, está indicado na Figura 2 pela linha vermelha. O vapor de água que produz precipitação na Amazônia tem origem no Oceano Atlântico Sul e também é transportado para a ZCIT no período de outono e inverno do hemisfério sul, inclusive com contribuição da evaporação de água no Nordeste para a América Central.

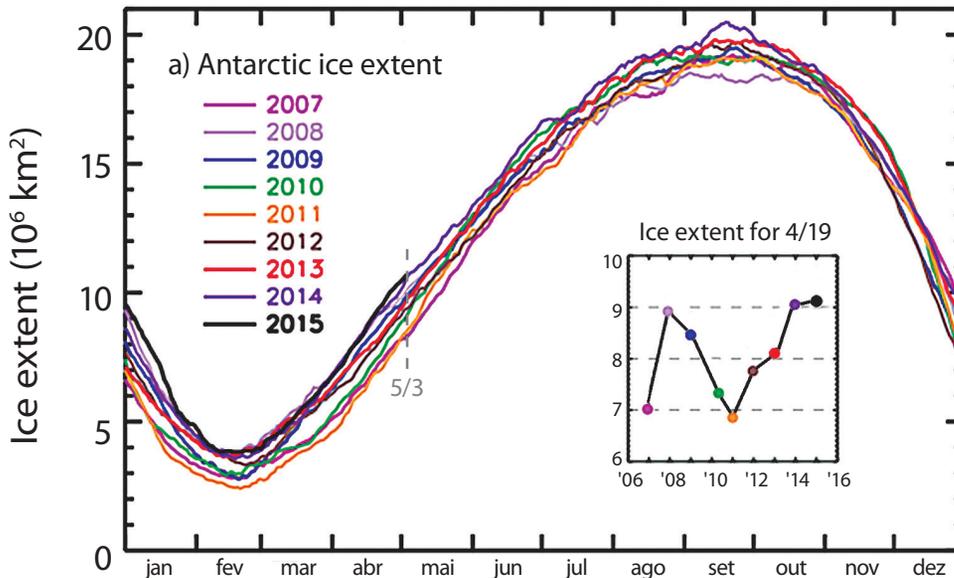
A precipitação, normalmente abundante na Amazônia (Figura 1), foi reduzida em 2014 por causa da diminuição do transporte de vapor de água oceânico, numa situação também de intensificação e ampliação da abrangência espacial da Apas. Em janeiro e fevereiro de 2014, a área de menor precipitação abrangeu da região leste da Amazônia até o norte da Argentina. Nesse episódio, as chuvas se concentraram no oeste da Bacia Amazônica, com enchentes recordes no Acre (Figura 1) e intensa seca no Sudeste, onde estão as cabeceiras das principais bacias hidrográficas com aproveitamento hidroelétrico.

Em contrapartida, ocorreram intensas chuvas no Sul do Brasil no período de outono de 2014, com vazões recorde na Foz do Iguaçu por causa do aumento do transporte de vapor de água evapotranspirada do oeste da Amazônia. Também ocorreu aumento da evaporação e evapotranspiração continental, em particular no período de outono e inverno, com transporte de energia e água para as regiões polares do hemisfério sul. A linha vermelha com seta no sentido da Antártica indica o transporte de umidade da baixa atmosfera na América do Sul para altas latitudes. Esse transporte de umidade (Figura 2) e energia é proporcional ao contraste térmico entre as regiões equatoriais e polares.

A Figura 3 mostra a evolução temporal da cobertura de gelo na Antártica entre 2007 e 2015 obtida pela Nasa. Nota-se que a área de cobertura de gelo tem aumentado continuamente nos últimos anos, atingindo recorde em setembro de 2014. Esse importante resultado sugere que a Antártica esteja mais fria e assim também a atmosfera adjacente a ela. Desse modo, as massas de ar polar ficam mais frias e mais intensas, o que confere com os episódios de frio extremo no Sul e Sudeste brasileiros em anos recentes.

Nessas condições, com ar relativamente mais quente e úmido nas regiões equatoriais e tropicais, e relativamente mais frio e seco em altas latitudes e na Antártica, aumenta-se o transporte meridional de calor e umidade para altas latitudes, em especial no período de outono e inverno.

FIGURA 3

EVOLUÇÃO TEMPORAL DA EXTENSÃO DE GELO ( $10^6 \text{ KM}^2$ )

As cores indicam o ano. A extensão do gelo para 19 de abril de 2006 a 2015 está indicada no detalhe

Fonte: adaptação de <http://neptune.gsfc.nasa.gov/csb>. Acessado em: 28/4/2015

Esse maior contraste térmico aumenta a diferença de pressão (relativamente mais alta nos polos e mais baixa na região equatorial), o que induz a um aumento nas circulações e também no transporte de calor e umidade para a Antártica.

Os três invernos que antecederam a seca no Sudeste foram mais frios. Essas massas de ar frio e seco provenientes da Antártica substituíram o ar relativamente quente e úmido de latitudes tropicais por ar relativamente seco e frio de altas latitudes. Portanto, houve uma mais intensa transferência de massa e energia entre as regiões de latitudes baixas para a Antártica no período de outono e inverno. Esse processo, associado às frentes frias e quentes, removeu a umidade das latitudes tropicais e equatoriais e a transportou para latitudes altas, contribuindo para a secagem mais rápida da baixa atmosfera do Sudeste e mesmo da Amazônia, onde a umidade se concentra.

Nos meses de transição de primavera e outono, com frequência, o setor quente desse corredor de umidade (Figura 2) se intensifica e se desloca mais para oeste, transportando grande quantidade de vapor de água para oeste e o Sul do Brasil.

Associado a esse fenômeno – denominado de jato de baixos níveis –, ventos intensos sobre os Andes formam sistemas convectivos profundos a sotavento das montanhas e chegam a percorrer mais de 3.000 km até o Oceano Atlântico. Dessa forma, enquanto parte da Amazônia, Nordeste e Sudeste secou, a Região Sul se beneficiou da umidade da Amazônia, com recordes de vazão na Foz do Iguaçu no outono de 2014.

Em anos em que a Apas se estende mais para leste, o Sudeste fica numa situação similar à do Nordeste por causa dessa circulação mais intensa e do movimento descendente que aquece a atmosfera e a torna mais estável. Nessa condição, as nuvens não se formam e, assim, também há menor reflexão de energia solar para o espaço sideral. É quando as bacias hidrográficas têm maior saldo de energia, com maior evaporação dos reservatórios e evapotranspiração da vegetação.

Houve redução da precipitação, aumento da evaporação e evapotranspiração e remoção de umidade dos solos e da vegetação. Como os mananciais da região, tais como o do sistema Cantareira, também retiram água para o abaste-



cimento urbano, a menor precipitação, somada à maior evaporação e também ao maior consumo, por causa do aumento da temperatura do ar, levou ao rápido crescimento do déficit hídrico e à crise de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A Apas voltou ao seu padrão de extensão e intensidade no período chuvoso de 2015, mas deixou os solos com alto déficit hídrico da Amazônia ao Sudeste, onde a seca foi mais intensa (Figura 1). Com menos umidade, mesmo na Amazônia oriental, o transporte de umidade foi reduzido no início da estação chuvosa de 2014-15.

Atribuiu-se a seca ao aquecimento global, mas o aquecimento da atmosfera induz um aumento de umidade e mais chuvas. Mas as temperaturas bateram recordes em virtude do aumento da irradiância solar na ausência de nuvens. Também se atribuiu a seca ao desmatamento da Floresta Amazônia, mas choveu muito menos em boa parte da Amazônia mesmo nas áreas onde a floresta está mais preservada (Figura 1), embora o desmatamento também tenha contribuído secundária ou terciariamente para agravar a seca.

A Floresta Amazônica recebe umidade do Oceano Atlântico (Figura 2). A precipitação sobre a Bacia Amazônica é armazenada nos solos e depois flui pelos sistemas de drenagem de volta ao Oceano Atlântico. A água armazenada nos solos é evaporada e evapotranspirada e transportada para latitudes mais altas. Quando há redução do transporte de vapor de água do Oceano Atlântico para a Amazônia, ela mesma sofre seca (em 2005, por exemplo) por causa da variação dos padrões de circulação (célula de Hadley).

Sugere-se que a crise hídrica mais acentuada no Sudeste tenha sido causada por variabilidade climática, com tendência de resfriamento da Antártica, e também por fenômenos de grande escala, tais como El Niño e ciclo de manchas solares (menor), com grandes impactos nas regiões tropicais da Terra. Cabe ressaltar que as anomalias negativas de chuva na África, América do Sul e Oceania (Figura 1) são consistentes com o aumento da extensão de gelo na Antártica (Figura 3).

Desde o início de 2014, houve um aumento da área e da extensão das chuvas sobre o Oceano Pacífico Sul equatorial em razão da

formação de um El Niño fraco, que depois se dissipou (mas deve se intensificar a partir do outono de 2015). Essa é uma área de levantamento e intensas precipitações, que geraram anomalias de subsidência ao seu redor com alteração dos padrões de circulações de altas e baixas pressões ao redor do planeta (Figura 2). Isso reforça os aspectos de variabilidade climática global induzida pelo maior oceano do planeta com impactos na Indonésia, Austrália, Brasil, África do Sul, EUA, entre outros países.

No Sudeste do Brasil, a intensificação da Apas, da circulação geral atmosférica, com redução de fluxo de umidade oceânico, resultou em uma extensa área de seca de norte a sul do Brasil. Na RMSP e outras regiões densamente urbanizadas, o impacto foi muito mais severo

em razão do aumento do consumo de água em situação de escassez hídrica (recorrente), agravada pelo aumento do consumo *per capita* na última década de maior prosperidade econômica e incremento da produção aquém da demanda. Nessas situações, o Sudeste sofre estiagens similares às do Nordeste.

Por último, cerca de 70% da energia elétrica do Brasil provém da geração por meio de hidroelétricas, o que sofreu drástica redução pela estiagem. Sugere-se ao setor elétrico brasileiro investir mais em sistemas de monitoramento e previsão do tempo e do clima para haver melhor planejamento e gestão de recursos hídricos, para além dos modelos tradicionais fundamentados na hidrologia superficial clássica e métodos estatísticos e estocásticos.