Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL REVELADAS ATRAVÉS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS

MARRAFON, Vitor Hugo – reboita@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

REBOITA, Michelle Simões – vitorhmarrafon@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

RESUMO: Este estudo apresenta as características da precipitação na América do Sul, entre 1979 a 2019, através de índices climáticos calculados com precipitação diária. Os dados utilizados no estudo provêm de análises do Climate Prediction Center (CPC-NOAA). O principal resultado do estudo é que em grande parte do Brasil, na banda que se estende da Amazônia em direção à região sudeste do país, há tendência de redução do volume sazonal e anual da precipitação e da sequência de dias úmidos e aumento da sequência de dias secos; o que indica menor disponibilidade de água no ciclo hidrológico. Por outro lado, o percentil de 95% mostra que o volume de chuva considerada como evento extremo tem aumentado. Já entre o sul do Paraguai, nordeste da Argentina, parte do sul do Brasil e Uruguai, em geral, os índices climáticos ou não mostram tendência ou indicam aumento das condições úmidas.

PALAVRAS-CHAVE: índices climáticos, precipitação, América do Sul, tendências.

PRECIPITATION FEATURES IN SOUTH AMERICA SHOWN BY CLIMATE INDICES

ABSTRACT: This study presents the features of the precipitation in South America, from 1979 to 2019, based on climate indices computed with daily precipitation. Climate Prediction Center (CPC-NOAA) provided the data used here. The main result of the study is that in a large part of Brazil, in the band that extends from the Amazon to the southeastern region of the country, there is a trend of decrease of the total seasonal and annual of precipitation, dry spells, and increase of wet spells, indicating less disponibility of water in the hydrological cycle. On the other hand, the 95% percentile shows that the volume of rain considered as an extreme event has increased. Between southern Paraguay, northeastern Argentina, part of southern Brazil and Uruguay, in general, there are areas with no increase and others with increase in the wet conditions.

KEYWORDS: climate indices, precipitation, South America, trends.

1. INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é de extrema importância tanto para o sistema climático quanto para a sociedade. Por exemplo, a distribuição sazonal da precipitação influencia diretamente atividades como a agricultura e seu excesso ou déficit pode causar inundações ou secas e consequências negativas para muitas culturas. Como a simples quantificação da precipitação pode esconder aspectos relevantes do ciclo hidrológico (Giorgi et al., 2014), têm sido elaborados índices considerados como padrões para estudos climáticos que detectam diferentes características da precipitação, como os eventos extremos. O CCl/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI; http://etccdi.pacificclimate.org/) desenvolveu 27 índices climáticos a fim de facilitar a caracterização da variabilidade e mudanças no clima e a intercomparação dos resultados quando os índices são calculados com diferentes conjuntos de dados e/ou em regiões distintas do globo. Muitos desses índices focam-se na precipitação.

Mudanças nos padrões da precipitação ocorrem de maneiras distintas como, por exemplo, alterações na duração e intensidade de períodos chuvosos (Song et al., 2011), e o uso de índices, como os desenvolvidos pelo ETCCDI, é um consenso para identificação e atribuição desses eventos extremos (Sillmann et al., 2013a-b).

A frequência, magnitude e duração dos eventos extremos chuvosos têm aumentado em décadas recentes em diversas regiões do globo e são projetados a aumentar no futuro (IPCC, 2013). Turco et al. (2015) mostram que as diferenças observadas na precipitação média anual entre 1981-2010 e 1951-1980 não possuem mesmo sinal em todo o globo, sendo que na América do Sul (AS) há diferença positiva em grande parte da bacia do Prata (formada pelo nordeste da Argentina, sul do Paraguai, Uruguai e centro-sul do Brasil) no verão e diferença negativa, em alguns setores dessa bacia, no inverno. Nessa mesma estação do ano, predomina sinal negativo em quase todo o continente sul-americano. Skansi et al. (2013) realizaram uma análise anual considerando o período de 1950 a 2010 para a precipitação total e para o número consecutivo de dias secos (CDD) na AS. Aumento da tendência do total anual de precipitação é claro na região da bacia do Prata e com oscilação de sinal no sudeste do Brasil. Com relação ao CDD, ao norte de 30^{o}S predomina tendência positiva. Soares et al. (2016) mostram a tendência do total sazonal da precipitação na AS no período de 1955 a 2004. Em todas as estações do ano, exceto no inverno, predomina tendência positiva de precipitação na bacia do Prata e negativa na Amazônia. Grande parte do centro-oeste e sudeste do Brasil também apresenta tendência negativa, exceto no inverno.

Sobre o Brasil, Salviano et al. (2016) determinaram a tendência da precipitação mensal no período de 1961 a 2011. Entre julho a setembro predominam tendências negativas no oeste do Estado do Amazonas e no Acre. Já em dezembro e março, há tendência positiva no Estado de Minas Gerais. Também em Minas Gerais, Silva (2013) obteve, no verão (DJF), predomínio de tendências positivas e estatisticamente significativas de extremos chuvosos acima do percentil de 90%. Resultado similar foi obtido por Reis et al. (2018) que analisaram o período de outubro a março e o percentil de 95%. Considerando estudos mais regionais, na região metropolitana de São Paulo (Marengo et al., 2013; 2020; Obregon et al., 2014) observaram um aumento na precipitação sazonal e anual e na frequência e intensidade dos eventos extremos de chuva.

Enquanto as tendências observadas na temperatura sobre o globo mostram um sinal claro de aumento e em todas as estações do ano, isso não ocorre com a precipitação (IPCC, 2013) e, consequentemente, com o ciclo hidrológico. Sabe-se que uma atmosfera mais quente implica em maior pressão de vapor de saturação (como descreve a equação de Clausius-Clapeyron) e, consequentemente, em mais vapor no ar (Palazzi e Provenzale, 2016). Como o vapor d'água é um gás de efeito estufa, contribui para aumentar ainda mais a temperatura do ar e gera um efeito positivo de retroalimentação: aumenta a temperatura, aumenta a evaporação. Isso deveria contribuir para o aumento de chuva sobre toda a superfície do globo. Entretanto, a atmosfera não é estática e os ventos, por exemplo, contribuem para o transporte de umidade de uma região a outra. Fato que pode explicar, em parte, porque a precipitação não aumenta em todo o globo da mesma forma que ocorre em relação à temperatura.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Uma maneira de detectar a intensidade do ciclo hidrológico sobre as diferentes porções do globo é através do índice de intensidade hidroclimática (hydroclimatic intensity - HY-INT; Giorgi et al., 2011). Esse índice integra métricas da intensidade da precipitação com a da duração dos períodos secos: HY-INT = INT × DSL, onde INT é a média da intensidade da precipitação (total da precipitação num dado período dividido pelo número de dias com chuva) e DSL é a média da duração (em dias) dos períodos secos. Portanto, se o HY-INT for calculado para um período longo, fornecerá um valor médio das características hidroclimáticas de uma região e permitirá identificar estações ou anos anômalos. Como em grande parte da AS a estação chuvosa ocorre principalmente no verão, é de interesse o cálculo do HY-INT para esse período.

Como na AS há maior número de estudos locais/regionais e muito poucos que trazem uma visão em escala continental das características da precipitação em termos de índices climáticos esse é, portanto, o objetivo do presente estudo. Assim, esse estudo tem como finalidade apresentar o valor sazonal e anual de índices de precipitação na AS bem como a tendência desses no período de 1979 a 2019. Com as análises que são apresentadas é possível identificar mudanças no clima da AS.

2. METODOLOGIA

Nesse estudo são utilizadas as análises de precipitação diária do *Climate Prediction Center* (CPC, https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.cpc.globalprecip.html) no período de 1979 a 2019. Esses dados cobrem o globo com resolução horizontal de 0,5^{o} e são gerados através da interpolação de informações medidas por pluviômetros (Chen et al., 2008).

Os índices climáticos apresentados (Tabela 1) focam nas características da variável precipitação e são calculados para as estações do ano (verão: DJF, outono: MAM, inverno: JJA e primavera: SON) e para o período anual; exceto o HY-INT, que é computado apenas para o verão. Como o período de estudo é de 1979 a 2019, há 41 estações do ano (por exemplo, 41 verões). Então a precipitação diária, dentro de cada uma das 41 estações, é utilizada no cálculo dos índices (Tabela 1), o que fornece uma série temporal para cada índice.

A média da série temporal de cada índice é apresentada em mapa e, sobre ela, as regiões com tendência positiva do índice e estatisticamente significativa (cor azul) são indicadas com hachurado. O mesmo é feito para a tendência negativa (cor vermelha). A tendência é calculada com o método de regressão linear simples, enquanto a significância estatística, com o teste t de Student (Stevenson, 2001) e considerando α =0,05 (confiança de 95%).

Como os índices climáticos do ETCCDI são amplamente descritos na literatura, aqui só é apresentada em detalhes a metodologia do HY-INT (Giorgi et al., 2011). As etapas para obtenção desse índice são:

a) define-se o período de estudo. Por exemplo, 1979 a 2019. Assim, i=1979...2019
b) definir se a análise será anual ou sazonal (DJF, MAM, JJA e SON)
c) calcular a média da precipitação dos dias úmidos (precipitação diária > 1 mm) para cada estação ou ano do período de estudo (no caso em estudo se tem uma série de 41 dados)

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

d) calcular a média climatológica do item (c):$\overline{INT}$
e) identificar a duração de cada período seco consecutivo dentro da estação ou ano e calcular a média (no caso em estudo se tem uma série de 41 dados)
f) calcular a média climatológica do item (e): $\overline{DSL}$
g) $HY - INT_i = \frac{INT_i}{\overline{INT}} \; \frac{DSL_i}{\overline{DSL}}$. Esse índice tem valores positivos e é adimensional

Tabela 1 - Descrição dos índices climáticos computados.

Sigla	Nome do Índice	Definição do Índice	Unidade	Período que é aplicado
PRCTOT	Total de precipitação	Acumulado de precipitação	mm	Sazonal Anual
R95p	Percentil de 95%	Pr é a precipitação diária de um dia úmido (Pr ≥ 1 mm). Considere um determinado período, inicialmente são selecionados os dias com Pr ≥ 1 mm. Após, é computado o percentil de 95% e, na sequência, pode ser identificado o número de dias com Pr acima do valor do percentil. Com isso, obtêm-se a intensidade e frequência dos eventos extremos	mm	Sazonal Anual
RX5day	Precipitação máxima em 5 dias	Máximo valor do total de precipitação(acumulado) dentro de um intervalo de 5 dias consecutivos. O intervalo de 5 dias é móvel* (ex., soma do dia 1 a 5, 2 a 6 etc.). De acordo com Frich et al. (2002), esse índice é usado para descrever mudanças no risco de inundações devido a condições de chuva forte numa sequência de dias. *https://www.rdocumentation.org/packages/climdex.pcic/versions/0.7-4/topics/climdex.rx5day%2C%20climdex.rx1day	mm	Sazonal Anual
CDD	Dias secos consecutivos	Maior número de dias consecutivos com Pr < 1 mm. De acordo com Sillmann et al. (2013b), esse índice é um indicador de secas.	dias	Sazonal Anual
CWD	Dias úmidos consecutivos	Maior número de dias consecutivos com Pr ≥ 1 mm.	dias	Sazonal Anual
HY-INT	Intensidade hidroclimática	Integra métricas da intensidade da precipitação com a da duração dos períodos secos.	Adimensio-nal	Verão

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3. RESULTADOS

A Figura 1 mostra a climatologia do total sazonal e anual da precipitação na AS. Os maiores volumes de chuva ocorrem entre a Amazônia e o sudeste do Brasil (região da Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS) no verão (Figura 1b) e decrescem até serem expressivos somente no extremo norte da AS e sul do Brasil no inverno (Figura 1d). Na primavera, os totais de precipitação voltam a aumentar. A variabilidade sazonal da precipitação ao norte de 25°S está associada ao sistema de monção da AS (Reboita et al., 2010; Marengo et al., 2012; Ashfaq et al., 2020). Como aqui o objetivo não é explicar as causas da variabilidade sazonal e espacial da precipitação, deixa-se como referência sobre o assunto o estudo de Reboita et al. (2010). Em termos de tendência dos volumes de precipitação (Figura 1), na maior parte da AS há tendência negativa e estatisticamente significativa (hachurado vermelho), o que indica que os volumes de precipitação sazonal e anual estão diminuindo ao longo dos anos. Resultado que concorda com estudos regionalizados, como o de Debortoli et al. (2015), que mostram o decréscimo nos totais de precipitação durante a estação chuvosa no sul do Amazonas e nos Estados de Mato Grosso e Rondônia. Tendências positivas (hachurado azul) considerando o período anual ocorrem no noroeste da AS e em parte da bacia do Prata; sazonalmente as tendências seguem o padrão da anual, mas com menores áreas com significância estatística no inverno. Esses resultados se assemelham aos de Soares et al. (2016), que analisaram a AS no período de 1955 a 2004, Araújo e Brito (2011) para o Estado da Bahia e Ávila et al. (2019) para os Andes colombianos.

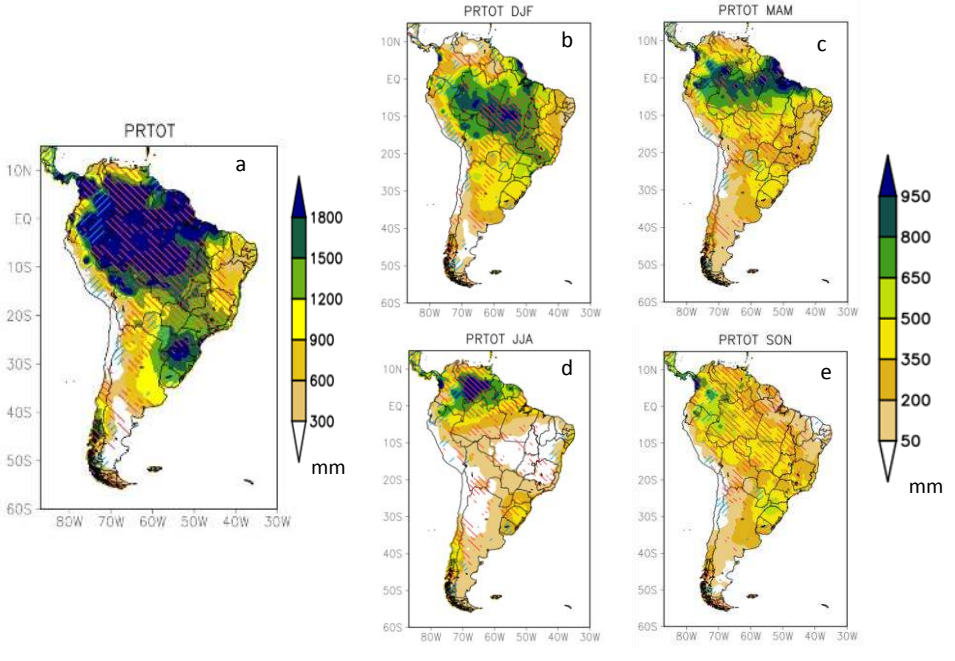


Figura 1 - Média anual e sazonal do total da precipitação (mm) no período de 1979 a 2019 e regiões com tendência positiva (azul) e negativa (vermelho) da precipitação com significância estatística (α =0,05) destacadas em hachurado.

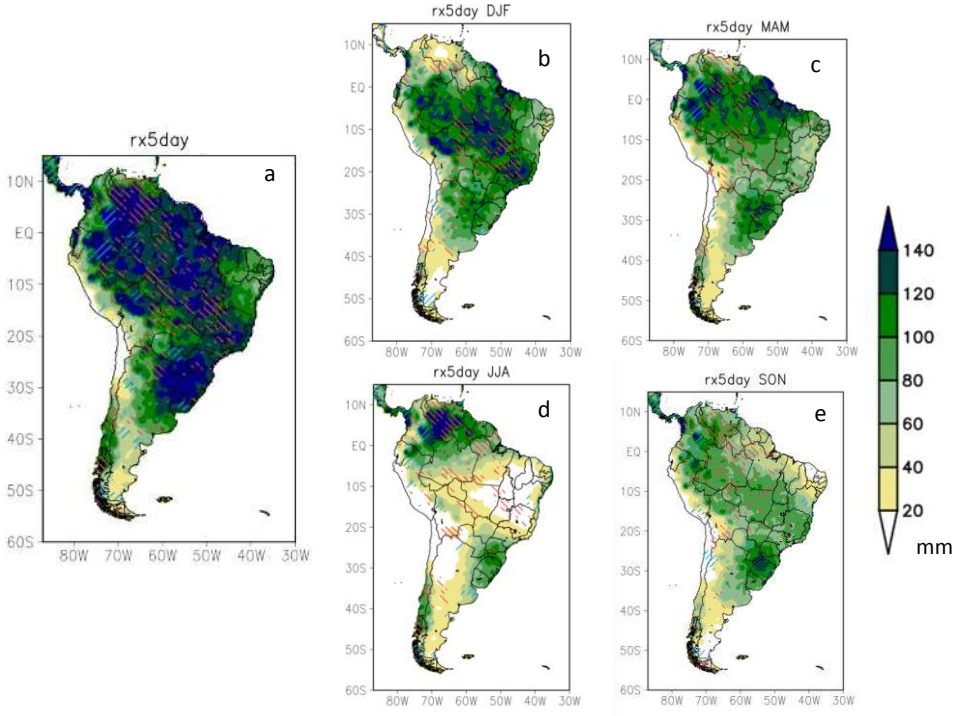


Figura 2 - Média anual e sazonal do maior acumulado de precipitação em 5 dias consecutivos (mm) no período de 1979 a 2019 e regiões com tendência positiva (azul) e negativa (vermelho) com significância estatística (α =0,05) destacadas em hachurado.

O padrão espacial do maior volume de precipitação acumulado em 5 dias em termos sazonais e anual (Figura 2) é muito similar ao da climatologia da precipitação total (Figura 1). No verão, na região da ZCAS, os valores máximos apresentam tendência negativa e significativa. Nas demais estações, na mesma região da ZCAS, também há sinais de tendência negativa, bem como no norte da AS (Figura 2). Esses sinais da tendência se assemelham aos do estudo de Skansi et al. (2013). Por outro lado, numa escala mais regional, Santos et al. (2012) mostraram tendência positiva do acumulado de chuva em 5 dias em Manaus no período de 1971 a 2007. Resultado que também é obtido na Figura 2a.

Associado ao decréscimo dos totais sazonais e anual da precipitação (Figura 1) também há, em quase todo o continente sul americano, tendência negativa significativa da ocorrência de dias úmidos consecutivos (Figura 3) e tendência positiva significativa da ocorrência de dias secos consecutivos (Figura 4), mas esta se concentrando na região da ZCAS no verão e primavera. As informações apresentadas nas Figuras 3 e 4 são obtidas da seguinte forma: em cada ano (estação) é identificada a maior sequência de dias consecutivos úmidos (precipitação diária maior ou igual a 1 mm) e secos (precipitação diária menor do que 1 mm); com isso é obtida uma série temporal sobre a qual é calculada a sua média e tendência. Em termos de valores médios, no verão e outono, a maior sequência de dias úmidos ocorre entre o litoral do Pará e Amapá (mais de 28 dias) - (Figura 3b-c). No verão, na região da ZCAS também ocorrem períodos com duração média entre 21-28 dias. No inverno, a sequência de dias úmidos decresce na maior parte do continente, sendo os maiores períodos encontrados no extremo norte da AS (Figura 3d). Embora predomine

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

tendência negativa na duração da sequência de dias chuvosos (isso é, menos dias chuvosos) sobre o continente, no centro da Colômbia, sul do Peru e no Paraguai predominam tendências positivas ao longo do ano (Figura 3).

A média da sequência de dias secos é maior no inverno (mais do que 50 dias consecutivos) e ocorre sobre as regiões centro-oeste, sudeste e nordeste do Brasil, ao longo dos Andes e no centro norte da Argentina (Figura 4d). Na primavera, o número de dias secos consecutivos decresce e os maiores valores são registrados na região nordeste do Brasil e nos Andes (Figura 4e). No verão, entre as latitudes de 30°S e o equador, a sequência de dias secos é menor do que 10 dias. Em termos de tendência, no centro da Colômbia e sul do Peru, regiões onde o número de dias úmidos consecutivos mostraram tendência de aumento, também são locais de tendência significativa da redução do número de dias secos consecutivos. Tendência positiva da sequência de dias secos ocorre na região da ZCAS no verão e primavera, oeste da Amazônia no outono e norte da AS no inverno (Figura 4). Esses resultados concordam com os de Skansi et al. (2013). Além disso, a Figura 4 mostra que na Bahia há estações do ano com tendência de aumento do número de dias secos consecutivos e a Figura 3 que há tendência de decréscimo dos dias úmidos consecutivos, o que concorda com Araújo e Brito (2011). Esses sinais da tendência também são obtidos no Estado do Pará, concordando com Santos e Oliveira (2017), e em grande parte das regiões norte e nordeste do Brasil, de forma similar ao estudo de da Silva et al. (2019).

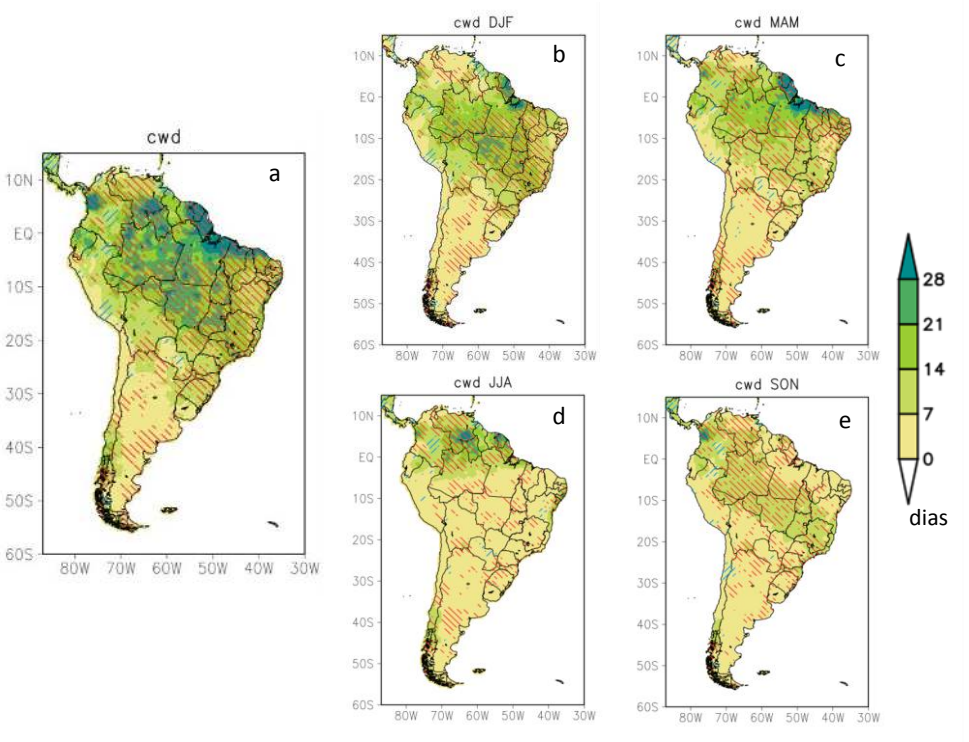


Figura 3 - Similar à Figura 2, mas para os dias consecutivos úmidos.

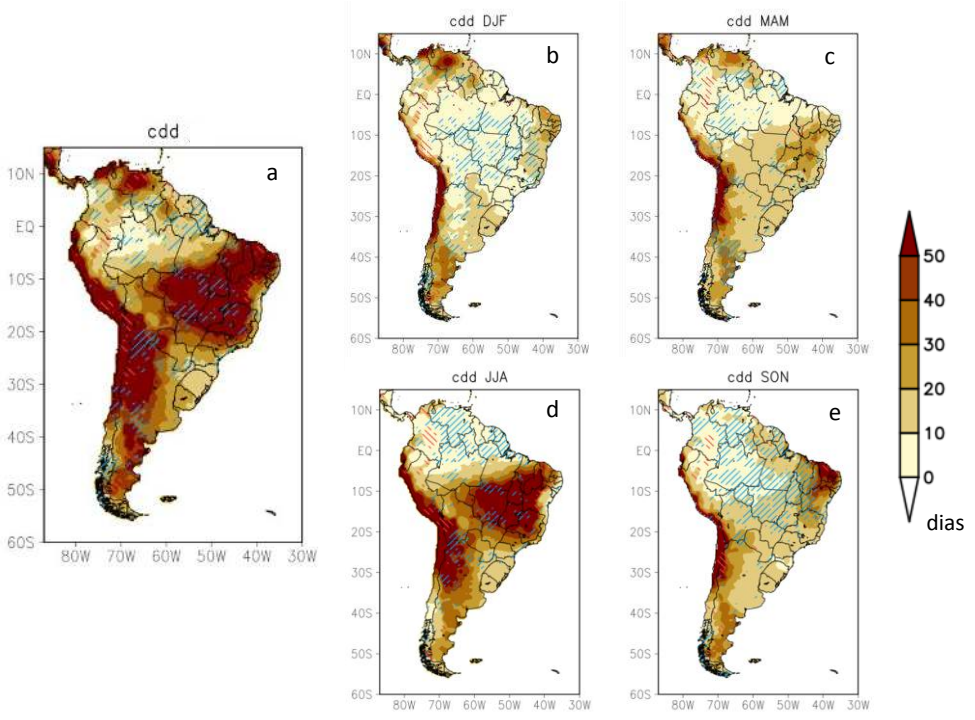


Figura 4 - Similar à Figura 2, mas para os dias consecutivos secos.

Uma maneira de identificar eventos extremos de chuva diária é através do cômputo de percentis em uma dada série temporal. Para a elaboração da Figura 5, o percentil de 95% foi identificado em cada período de verão, formando uma série temporal de 41 tempos (o mesmo foi realizado para as demais estações do ano e para o período anual). Na figura é mostrada a média do percentil no período de 1979 a 2019 e a tendência dos acumulados de chuva identificados pelo percentil. Embora a região da ZCAS mostre precipitação de 35 a 55 mm como percentil de 95% no verão, os maiores limiares são obtidos na região da bacia do Prata, sendo superiores a 55 mm (Figura 5b). No outono, os elevados valores do percentil de 95% cobrem a maior área da bacia do Prata, comparados às demais estações do ano. Já, no inverno, há redução dos valores na maior parte do continente e os máximos ocorrem no norte da AS. Solman e Blázquez (2019) determinaram o percentil de 95% para a precipitação na AS com os mesmos dados utilizados no presente estudo (CPC), mas no período de outubro a março de 1979-2005. Embora, se tenha diferenças em período e definição de estação, ambos os estudos mostram o mesmo padrão espacial do percentil de 95% e com similaridades nos valores (é importante lembrar que a Figura 5 mostra a média do percentil obtido em cada ano).

Em grande parte da AS, predomina tendência positiva e significativa do percentil de 95%, o que indica que os totais de chuva considerados como eventos extremos estão aumentando ao longo do período analisado. Resultados similares foram obtidos por Marengo et al. (2009) no período de 1961 a 1990. Em estudos mais regionalizados, Santos et al. (2012) identificaram tendência positiva do percentil de 95% em Manaus, o que também é registrado na Figura 5. Já o norte do Pará (Figura 5) mostra tendência negativa do percentil de 95% concordando com o estudo de Santos e Oliveira (2017). Em alguns setores da

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

região da ZCAS, como entre o sul do Tocantis, norte de Goiás e noroeste de Minas Gerais, também há tendência negativa do percentil de 95%. No centro-sul do Brasil, são registradas tendências positivas e que estão em acordo com os estudos de em Zilli et al. (2017) e Zandonadi et al. (2015). Com relação ao Estado de São Paulo, há predomínio de tendência positiva significativa no sul do Estado (Figura 5). Embora tal registro não apareça tanto na capital paulista (talvez devido à escala do mapa), Marengo et al. (2020) mostra aumento dos limiares de chuva considerados extremos.

A informação do percentil médio, mostrado em colorido na Figura 5, foi utilizada como limiar para identificar os dias em que o acumulado diário de chuva é superior ao do percentil. Isso foi realizado para cada estação do ano e período anual, obtendo para cada uma série temporal de 41 tempos. Dessa forma, a média do número de dias considerados como dias de eventos extremos e a tendência são apresentados na Figura 6.

O padrão espacial da média dos dias considerados eventos extremos se assemelha ao padrão da climatologia do total de precipitação (Figura 1), indicando que os extremos ocorrem nos locais onde em determinada época do ano é esperado valores elevados de precipitação. De forma geral, o sinal da tendência dos dias considerados eventos extremos chuvosos corresponde ao da tendência do percentil de 95% (Figura 5). Algumas regiões com tendência positiva são: noroeste da AS, Paraguai, Uruguai e litoral do nordeste do Brasil. No verão, há sinais de tendência positiva na Amazônia, sul do Brasil e São Paulo (Figura 6b).

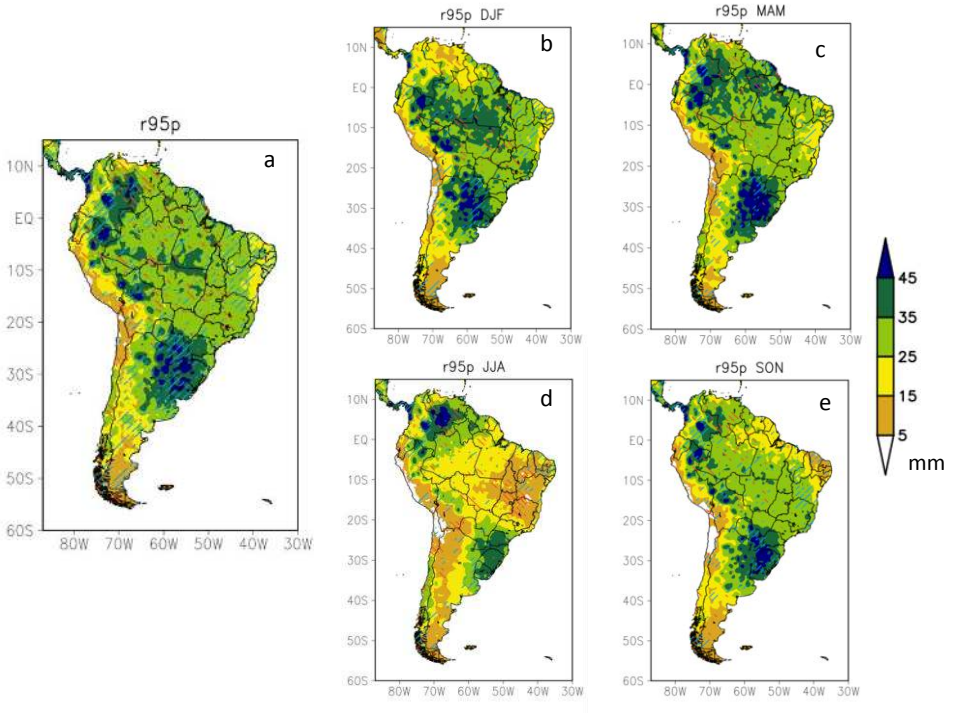


Figura 5 - Similar à Figura 2, mas para o percentil de 95%.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

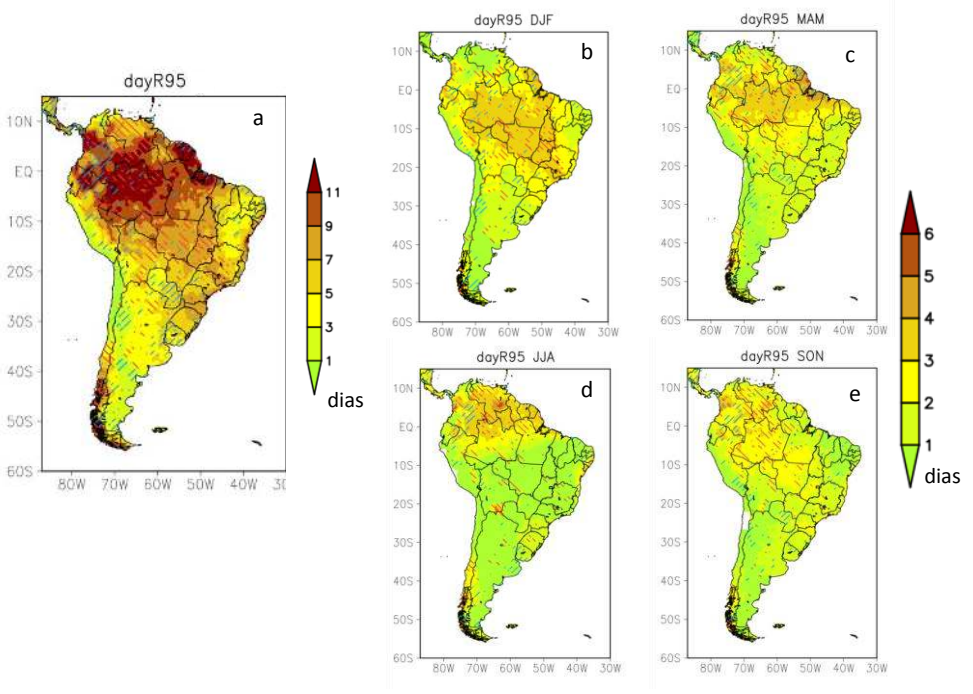


Figura 6 - Similar à Figura 2, mas para o número de dias com precipitação maior do que a do percentil de 95%.

Considerando que o verão é a estação mais chuvosa na maior parte da AS, calculou-se para esta estação do ano o HY-INT (Figura 7). No Brasil, os menores valores desse índice são encontrados nas regiões norte e centro-oeste do país e em parte da região sudeste, entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo, o que indica uma redução de disponibilidade de água no ciclo hidrológico e, nessas mesmas regiões, há tendência negativa do índice. Ao sul de 25°S, o índice mostra maiores valores e com tendência positiva. A interpretação do índice pode ser feita da seguinte forma: na região da ZCAS, por exemplo, os outros índices calculados indicaram decréscimo dos totais sazonais e anual de chuva, redução dos dias úmidos consecutivos e aumento dos dias secos consecutivos, o que gera um valor baixo para o HY-INT. Por outro lado, ao sul de 25°S, foram registradas menores áreas com tendências significativas: não há muitas áreas com tendência significativa nos totais sazonais e anual de precipitação, nem de dias consecutivos úmidos e secos, mas há um aumento no limiar do percentil de 95% e, em alguns setores, até tendência positiva do aumento de dias com extremos chuvosos. Portanto, essas características levam a maior disponibilidade de água no ciclo hidrológico.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

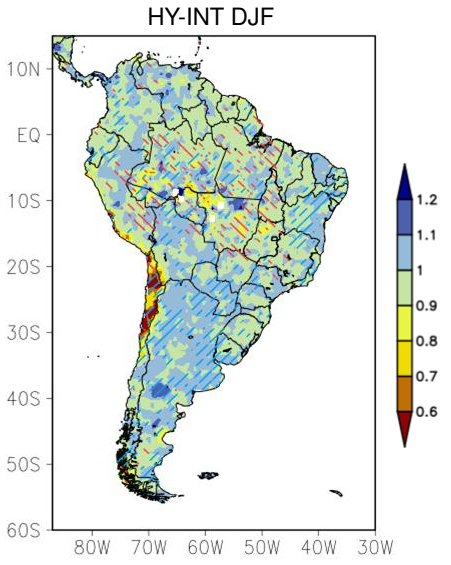


Figura 7 - HY-INT calculado para o verão. Regiões com tendência positiva estão destacadas com hachurado azul, e negativa, com hachurado vermelho.

4. CONCLUSÕES

Este estudo fornece uma visão em escala continental das características da precipitação, no período de 1979 a 2019, reveladas através de índices climáticos. De maneira geral, há tendência com significância estatística do decréscimo dos totais sazonais e anual da precipitação, dos acumulados de 5 dias e de dias úmidos consecutivos e do aumento dos dias secos consecutivos no norte da AS e na região da ZCAS. Já na região da bacia da Prata há tendências mais expressivas no aumento do percentil de 95% e no número de eventos que ultrapassam esse limiar.

Os resultados obtidos deixam evidente que há redução da distribuição temporal da chuva, sendo os eventos de precipitação mais concentrados. Por exemplo, o número de dias consecutivos secos está aumentando e o de dias consecutivos úmidos diminuindo, enquanto o limiar de chuva considerado extremo está aumentando. Isso pode causar grandes problemas sociais como inundações, alagamentos e deslizamento de terras.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, código financeiro 001, CNPq e FAPEMIG pelo auxílio financeiro e ao CPC-NOAA pelos dados de precipitação utilizados no estudo.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W.S.; BRITO, J.I.B. Indices of trends of climatic changes for the states of the Bahia and Sergipe by means of daily precipitacion indices and its relation with SST's of the Pacific and Atlantic. Revista Brasileira de Meteorologia, 26(4):541-554, 2011.

AVILA, A.; GUERRERO, F. C.; ESCOBAR, Y.C. ; JUSTINO, F. Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. Water, 11(2), 379 - 401, 2019.

ASHFAQ, M.; CAVAZOS, T.; REBOITA, M.S.; TORRES-ALAVEZ, J.A.; IM, E. ; OLUSEGUN, C. F.; ALVES, L.; KEY, K.; ADENIYI, M.O.; TALL, M.; SYLLA, M.B.; MEHMOOD, S.; ZAFAR, Q.; DAS, S.; DIALLO, I.; COPPOLA, E.; GIORGI, F. Robust Late 21st Century Shift in Regional Monsoons in RegCM-CORDEX Simulations. Submetido ao Climate Dynamics, 2020.

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; SILVA, V.B.S.; KOUSKY, V.E.; HIGGINS, R.W.; JANOWIAK, J.E. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. Journal of Geophysical Research, 113(D4): 1-13, 2008.

DA SILVA, P.E.; SILVA, C. M. S.; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L.M.B. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. International Journal of Climatology, 39(2): 579-595, 2019.

DEBORTOLI, N. S.; DUBREUIL, V.; FUNATSU, B.; DELAHAYE, F.; OLIVEIRA, C. H.; RODRIGUES-FILHO, S.; SAITO, C. H.; FETTER, R. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971 - 2010). Climatic Change, 132(2): 251-264, 2015.

FRICH, P.; ALEXANDER, L.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the twentieth century. Climate Research, 19: 193–212, 2002.

GIORGI, F.; COPPOLA, E.; RAFFAELE, F. A consistent picture of the hydroclimatic response to global warming from multiple indices: Models and observations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 119(20): 695-708, 2014.

GIORGI, F.; IM, E.-S.; COPPOLA, E.; DIFFENBAUGH, N.S.; GAO, X.J.; MARIOTTI, L.; SHI, Y. Higher Hydroclimatic Intensity with Global Warming. Journal of Climate, 24(20): 5309-5324, 2011.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; YOUNG, A.; BARRETO, N. J. C.; RAMOS A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. Annals of the New York Academy of Sciences, Special Issue, 2020.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. International Journal of Climatology, 29(15): 2241-2255, 2009.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V.; DIAS, P. L. S.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, C.; SAULO, C.; NOGUES-PAUGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M.

Review recent developments on the South American monsoon system. International Journal of Climatology, v. 32, p. 1-21, 2012.

MARENGO, J., OBREGON, G., RAMIREZ, V. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. Climate Research, 57(1): 61-72, 2013.

OBREGON, G.O.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Rainfall and climate variability: long-term trends in the MEtropolitan Area of São Paulo in the 20th century. Climate research, 61: 93-1071, 2014.

PALAZZI, E.; PROVENZALE, A. WATER IN THE CLIMATE SYSTEM. IN: PROVENZALE, A.; PALAZZI, E.; FRAEDRICH, K. (EDS) The Fluid Dynamics of Climate. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol 564. Springer, Vienna, 2016.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, 25:185-204, 2010.

REIS, A. L., SILVA, M. S.; REGIS, M. V.; SILVEIRA, W. W.; SOUZA, A. C.; REBOITA, M. S.; CARVALHO, V. S. B. Climatology and extreme rainfall events in the state of Minas Gerais. Revista Brasileira de Geografia Física, 11(2):652-660, 2018.

SALVIANO, M. F.; GROPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, 31(1):64-73, 2016.

SANTOS, C. A. C. D., SATYAMURTY, P.;SANTOS, E. M. D. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. Acta Amazonica, 42(3): 329-336, 2012.

SANTOS, C. A.; OLIVEIRA, V. G. Trends in Extreme Climate Indices for Pará State, Brazil. Revista Brasileira de Meteorologia, 32(1): 13-24, 2017.

SILVA, E. D. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais – MG. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 70f. 2013.

SILLMANN, J.; KHARIN, V. V.; ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. Journal of Geophysical Research, 118: 1-18, 2013a.

SILLMANN, J.; KHARIN, V. V.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 2: Future climate projections. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118 (6) :2473-2493, 2013b.

SKANSI, M. D. L. M.; BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E.; ANDRÉS, J.; GROENING, A.; BENTACUR, O. J.; ROSA, Y.; GEIER, C.; LEONOR, R.; AMAYA, C.; JÁCOME, H.; MALHEIROS, A.; ORIA, C.; MAX, A.; SALLONS, S.; VILLAROEL, C.; MARTÍNEZ, R.; ALEXANDER, L. V.; JONES, P. D. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. Global and Planetary Change, 100:295–307, 2013.

SOARES, D. B.; LEE, H.; LOIKITH, P. C.; BARKHORDARIAN, A.; MECHOSO, C.R. Can significant trends be detected in surface air temperature and precipitation over South America in recent decades? International Journal of Climatology, 37(3): 1483 - 1493, 2016.

SOLMAN, S. A.; BLÁZQUEZ, J. Multiscale precipitation variability over South America: analysis of the added value of CORDEX RCM simulations. Climate Dynamics, 53, 1547–1565, 2019.

SONG Y.; ACHBERGER, C.; LINDERHOLM, H.W. Rain-season trends in precipitation and their effect in different climate regions of China during 1961−2008. Environmental Research Letters, 6(3) : 1-8, 2011.

STEVENSON, W. J. Estatística Aplicada à Administração. Harbra, 2001.

TURCO, M.; PALAZZI, E.; VON HARDENBERG, J.; PROVENZALE, A. Observed climate change hotspots, Geophysical Research Letters, 42(9): 3521-3528, 2015.

ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J.A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). Theoretical and applied climatology, 123(3-4), 741-756, 2015.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M. V; LIEBMANN, B.; SILVA, M. A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. International Journal of Climatology, 37: 2269-2279, 2017