ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Estudos de Variabilidades Interanuais e Interdecenais da Precipitação Pluvial das Regiões Hidrográficas Tocantins-Araguaia e São Francisco no Brasil

José Nildo da Nóbrega¹, Carlos Antonio Costa dos Santos², Francisco de Assis Salviano de Sousa², Bergson Guedes Bezerra³, Geber Barbosa de Albuquerque Moura⁴ e José Ivaldo Barbosa de Brito²

¹Dr. em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UACA, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário 58.109-970 - Campina Grande, Paraíba, Brasil, (83) 987211158, nildo_nobrega@yahoo.com.br (Autor correspondente). ²Prof. Associado Dr. Carlos A. C. dos Santos, UACA/CTRN/UFCG, (83) 987318346 carlos.santos@ufcg.edu.br, <http://orcid.org/0000-0003-2414-2911>. ³Prof. Titular Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa, UACA/CTRN/UFCG, fsouza2011@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4085-0785>. ⁴Prof. Titular Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito, UACA/CTRN/UFCG, (83) 987838457, jivaldobrito@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-1845-935X>. ⁵Prof. Adjunto Dr. Bergson Guedes Bezerra, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas - DCAC, UFRN, Av Senador Salgado Filho, 3000, Bairro Lagoa Nova, 59078-970 - Natal-RN, (84) 99632-7216, bergson.bezerra@ufrn.br, <http://orcid.org/0000-0002-1566-3304>. ⁶Prof. Titular Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE, (81) 991521259, geber.moura@ufrpe.br, <http://orcid.org/0000-0001-9073-8145>.

Artigo recebido em 03/10/2020 e aceito em 19/04/2021

RESUMO

O objetivo é investigar as escalas temporais das variabilidades de precipitação pluvial das Regiões Hidrográficas do Tocantins-Araguaia e São Francisco, como, também, correlacioná-las com índices de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico, na região do Niño 3.4, utilizando a análise de transformada ondaleta. A área geográfica está localizada entre os paralelos 0,5° S a 20° S e meridianos 34,8° W a 55,4° W. Foram utilizados dados mensais de precipitação observados e de reanálise (1° x 1°), no período de 1945-2016, e de TSM de 1950-2016 provenientes de órgãos governamentais nacionais e internacionais. As Ondaletas Contínuas mostraram que as variabilidades dominantes, de precipitação total anual, nas Regiões Hidrográficas do Tocantins-Araguaia e do São Francisco são nas escalas de três a cinco anos, de 11 a 12 anos e em torno de 22 anos. Para ambas as Regiões esses períodos estão em fases, pela Transformada Ondaleta Cruzada e confirmada pela Ondaleta Coerente. Nas análises de Ondaletas Cruzada e Coerente das precipitações com os índices oceânicos se verificou que houve avanço (135°) na série do Niño 3.4 em relação as das precipitações das Regiões nas escalas de três a cinco anos, mas foram verificadas diferenças de fase nas escalas decenais da precipitação das Regiões com os índices oceânicos. Concluiu-se que as variabilidades da precipitação de ambas as Regiões estão em fase e que os eventos ENOS influenciam nas precipitações das Regiões Hidrográficas do Tocantins-Araguaia e São Francisco.

Palavras-chaves: El Niño, Bacia hidrográfica, ondaleta, variabilidade climática.

Studies of Interannual and Interdecennial Variability of Rainfall in the Tocantins-Araguaia and São Francisco Hydrographic Regions in Brazil

ABSTRACT

The objective is to investigate the temporal phases of the variability of rainfall in the Hydrographic Regions of Tocantins-Araguaia and São Francisco, as well as to correlate them with anomalies indexes of the Sea Surface Temperature (SST) of the Pacific, in the Niño 3.4 region, using wavelet transform analysis. The geographical area is located between the parallels 0.5° S to 20° S and meridians 34.8° W to 55.4° W. We used monthly data of observed and reanalysis precipitation (1° x 1°), in the period from 1945 to 2016, and from 1950 to 2016 for SST. The data are from national and international government agencies. The continuous wavelet showed that the dominant variability of total annual precipitation, in the Hydrographic Regions of Tocantins-Araguaia and São Francisco, are in the frequencies of three to five years, 11 to 12 years and about 22 years. These frequencies are in phases by the cross wavelet transform and confirmed by the coherent wavelet. In the cross and coherent wavelet analysis of the precipitation with the oceanic indices, there was an advance (135°) in the Niño 3.4 series in relation to the precipitation of the Regions in the frequency of three to five years, but phase differences were observed in the decadal frequencies

between the precipitation of the Regions and oceanic indices. We concluded that the variability of precipitation in both regions is in phase and that the ENOS events influence the rainfall in the Hydrographic Regions of Tocantins-Araguaia and São Francisco.

Keywords: *El Niño, hydrographic catchment, wavelet, climate variability.*

Introdução

As Regiões Hidrográficas Tocantins-Araguaia e São Francisco são duas das 12 regiões hidrográficas delimitadas pela Agência Nacional das Águas (ANA) no Brasil, sendo essas, localizadas no interior do País ANA (2015).

A Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA) tem uma grande parte de sua área situada na região Centro-Oeste do Brasil, desde as nascentes dos rios Araguaia, até a divisa com o estado do Pará, e o Tocantins, até a divisa com o estado do Tocantins, sendo que a partir destas divisas, pertencente à região Norte do País, exceto uma pequena área no estado do Maranhão, deságua suas águas na foz, no Oceano Atlântico, no Pará (MMA, 2006). Os principais sistemas meteorológicos atuantes nesta Região Hidrográfica, segundo Júnior (2016), são a ZCIT que atua nas latitudes mais baixas, ZCAS, Frentes Frias e Linhas de Instabilidades (Neves, 2017). O clima dessa Região é predominantemente tropical, conforme classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2014), com temperatura média anual de 26° C e períodos chuvoso (outubro a abril) e seco (maio a setembro) bem definidos durante o ano com precipitação média de 1.869 mm/ano (ANA, 2002). No tocante a vazão média da Região, é a segunda maior do Brasil com 13.624 m³/s, cerca de 9,6% do total hídrico Nacional (MMA, 2006).

A Região Hidrográfica São Francisco (RHSF) é considerada uma das mais importantes do Brasil (MMA, 2006). Essa Região está localizada, quase totalmente, na região Nordeste do País, sendo que a parte sul da Região Hidrográfica é situada na parte norte da região Sudeste. Os sistemas meteorológicos que atuam no regime chuvoso dessa Região são os Sistemas Frontais Kousky (1979), Molion e Bernado (2002); as ZCAS (Ferreira et al., 2004), os VCAN (Kousky e Gan, 1981) e, a ZCIT (Uvo, 1989) no setor norte da Região. O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, apresenta uma grande variabilidade espacial, pois se tem clima subtropical úmido no sul da Região Hidrográfica, passando por tropical com inverno seco, na parte central, semiárido, no centro-norte e tropical com verão seco, no litoral (Alvares et al., 2014), com

temperaturas médias anual ao longo na Região Hidrográfica como um todo em torno de 24,5° C, as precipitação e vazão média anual são de 1.036 mm/ano e 3.037 m³/s, respectivamente (MMA, 2006).

Os sistemas meteorológicos atuantes sobre os regimes chuvosos das Regiões Hidrográficas são modulados pelas Temperaturas das Superfícies do Mar (TSM), principalmente, das do Oceano Pacífico Tropical. No Pacífico Tropical, segundo Kousky et al. (1984), o comportamento das oscilações das TSM origina o fenômeno El Niño, que é caracterizado pelas anomalias positivas da TSM. Esse fenômeno altera o posicionamento da Célula de Walker ocasionando uma subsidência do ar e, conseqüentemente, inibindo a formação de nuvens convectivas, principalmente, sobre as regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Diversas metodologias são utilizadas para investigar os comportamentos dos fenômenos oceânico-atmosféricos e, suas relações com os regimes chuvosos em muitas regiões no mundo. Recentemente, a metodologia de ondaleta vem sendo explorada para analisar ciclos de precipitações pluviais, temperatura do ar e, outras variáveis. Por exemplo, Da Silva et al. (2011) utilizou a ondaleta para analisar a influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos em sub-bacias do rio São Francisco, Mendes et al. (2015) nos ciclos e períodos de eventos extremos na sub-bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe no Ceará e, Da Silva (2017) aplicou a análise de ondaleta para detecção de ciclos e extremos pluviais no Leste do Nordeste do Brasil.

Portanto, os objetivos desse estudo são, utilizando a metodologia de Ondaleta, os de investigar as variabilidades periódicas dos índices de precipitação pluvial das RHTA e RHSF, correlacionar entre elas essas variabilidades e, também, com os índices de anomalias de TSM do Niño 3.4.

Material e métodos

2.1. Material

A área de estudo (Figura 1) abrange as áreas das RHTA (0,5° S – 18,1° S e 48° W – 55,4° W) e RHSF (7,7° S – 20,9° S e 36,4° W – 47,4° W) no Brasil. Foram utilizados dados mensais

observados de precipitação de estações meteorológicas e postos pluviométricos adquiridos de diversos Órgãos Governamentais do País e, também, dados de reanálise de pontos de grade ($1^\circ \times 1^\circ$) provenientes do Global Precipitation Climatology Center, todos, para o período de 1945 a 2016. Também, usou-se dados de TSM da região do Niño 3.4 obtidos do Earth

System Research Laboratory/National Oceanic and Atmospheric Administration (1950-2016). Na área estudada as estações/postos/pontos de grade são bem distribuídos, sendo utilizado o Ano Hidrológico (outubro do ano n a setembro do ano $n+1$) para os totais anuais das séries de precipitação dessas Regiões Hidrográficas.

Figura 1: Área geográfica e distribuição espacial das estações/postos meteorológicas e pontos de grade ($1^\circ \times 1^\circ$) das RHTA e RHSF no Brasil. Fonte: Adaptada de ANA (2018).

2.3. Método

2.3.1. Transformadas ondaletas

A ondaleta (Daubechies, 1990) é utilizada para analisar séries temporais que contem energia não estacionária em muitas frequências, supondo a série temporal, x_n , com intervalos de tempos iguais δt e $n = 0, \dots, N - 1$ e, que possui uma função Ondaleta, $\psi_0(\eta)$, que é dependente do parâmetro “tempo” não dimensional η . Este trabalho utilizou a ondaleta de Morlet (Torrence e Compo, 1998) por consistir em uma onda plana de função periódica cuja amplitude é modulada por uma Gaussiana e separa a ondaleta em partes, real e imaginária (Lau e Weng, 1995).

Como o intuito dessa pesquisa é de investigar mudanças (variabilidades) de amplitude e de fase, então a escolha de uma ondaleta base (mãe), que é uma ondaleta complexa, é a de Morlet, pois ajuda a capturar o comportamento oscilatório dos dados. Então de

acordo com Torrence e Compo (1998) a ondaleta de Morlet é expressa da seguinte maneira:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\frac{\eta^2}{2}} \quad (1)$$

onde $i = \sqrt{-1}$; ω_0 é a frequência não-dimensional, ou seja, representa a localização da frequência da onda e para a ondaleta de Morlet, o valor 6 é geralmente escolhido para ω_0 para preencher a condição de admissibilidade (e daí, ter média zero e estar localizado no tempo e espaço frequência) e porque dá um bom equilíbrio entre a localização do tempo e frequência segundo Torrence e Compo (1998).

2.3.1.1. Transformada Ondaleta Contínua

Para uma Transformada Ondaleta Contínua (Lau e Weng, 1995) que fornece importantes informações em escala contínua com redundância, uma série temporal ou sequência discreta, x_n , definida como uma convolução a partir de x_n como uma versão escalonada e

deslocada da função $\psi_0(\eta)$ de acordo com Torrence e Compo (1998) e Grinsted et al. (2004) é dada por:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_n \psi^* \left[\frac{(n'-n)\delta t}{s} \right] \quad (2)$$

onde (*) indica o conjugado complexo.

Os autores, Torrence e Compo (1998), afirmam que se variar a escala de ondaleta s e deslocá-la ao longo do índice de tempo localizado n , pode ser construída uma imagem que é capaz de mostrar a amplitude de quaisquer características versus a escala e como essa amplitude varia no tempo.

De acordo com o teorema da convolução, a transformada em ondaleta é a transformada de Fourier inversa do produto, ou seja, ela é realizada de acordo com a expressão:

$$W_n(s) = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}_k \hat{\psi}^*(s\omega_k) e^{i\omega_k n \delta t} \quad (3)$$

onde a frequência angular é definida como:

$$\omega_k = \begin{cases} \frac{2\pi k}{N\delta t} : & k \leq \frac{N}{2} \\ -\frac{2\pi k}{N\delta t} : & K > \frac{N}{2} \end{cases} \quad (4)$$

Utilizando a condição dada em (3) e uma rotina da transformada de Fourier padrão, então se pode fazer o cálculo da transformada em ondaleta contínua (para um dado s) em todos em n simultaneamente e eficientemente.

I - Normalização das transformadas Ondaletas

O índice de Prp (índice de precipitação) é gerado a partir da normalização dos valores médios da série de precipitação das Regiões geográficas em análise. Sendo assim, as séries temporais mostram valores normalizados. Ou seja, a fim de assegurar que as transformadas em ondaletas (3) em cada escala s sejam diretamente comparáveis entre si e com as transformações das outras séries temporais, a função ondaleta em cada escala s é normalizada para ter energia unitária:

$$\hat{\psi}(s\omega_k) = \left(\frac{2\pi s}{\delta t} \right)^{1/2} \hat{\psi}_0(s\omega_k) \quad (5)$$

Um exemplo de uma função não escalada de $\hat{\psi}_0$ é definida para ser energia unitária, ou seja:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\hat{\psi}_0(\omega')|^2 d\omega' = 1 \quad (6)$$

e daí, a normalização tem a energia unitária, de acordo com Torrence e Compo (1998) e, utilizando estas normalizações, em cada escala s tem-se:

$$\sum_{k=0}^{N-1} |\hat{\psi}(s\omega_k)|^2 = N \quad (7)$$

Em que N é o número de pontos. Dessa maneira, a transformada em ondaleta é ponderada apenas pela amplitude dos coeficientes de uma Fourier $\hat{x}_k$ e não pela função ondaleta. Os Autores afirmam que, sendo utilizada a formula convolução (2), então a normalização é realizada pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned} & \psi \left[\frac{(n'-n)\delta t}{s} \right] \\ &= \left(\frac{\delta t}{s} \right)^{1/2} \psi_0 \left[\frac{(n'-n)\delta t}{s} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

onde, $\psi_0(\eta)$ é normalizado para se ter a energia unitária.

II - Espectro de potência da ondaleta

A energia da ondaleta contínua é dada por $|W_n^X|^2$. Como o resultado final da transformada ondaleta possui efeitos de bordas, por isso, há necessidade de usar o Cone de Influência (COI) para desprezar os efeitos das bordas na imagem espectral. Já a significância estatística de um pico no espectro da ondaleta, utilizando a 'hipótese nula' que considera o sinal como ruído vermelho com dado 'espectro de potência de fundo (P_k)', é dada de acordo com Allen & Smith (1996) da seguinte forma:

$$P_k = \frac{1-\alpha^2}{|1-\alpha e^{-2i\pi k}|^2} \quad (9)$$

Para o ruído vermelho em (9), $K = 0, 1, \dots, N/2$ é o índice das bandas de frequências de Fourier f_k , com $f_k = k/(ndt)$, onde dt é o intervalo da série temporal e α é determinado por (10). Dessa maneira, a confiança estatística de 95% (significância estatística de 5%) no espectro de potência da ondaleta tem que ser 3 vezes maior, aproximadamente, que o seu espectro de fundo de ruído vermelho (P_k), para ser aceita essa confiança, daí:

$$\alpha = \frac{(\alpha_1 + \sqrt{\alpha_2})}{2} \quad (10)$$

onde α_1 e α_2 são as autocorrelações da série temporal com defasagens *lag-1* e *lag-2*.

2.3.1.2. Transformada Ondaleta Cruzada

do espectro para a Transformada Ondaleta Cruzada são, $W_n^X(s)$ e $W_n^Y(s)$. Já a definição do espectro da ondaleta cruzada é dada seguinte maneira:

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s) \quad (11)$$

em que o referido $W_n^{Y*}(s)$ é o complexo conjugado de $W_n^Y(s)$. Além disso, define-se o espectro de energia cruzado das ondaletas como sendo $|W_n^{XY}(s)|$.

Os níveis de confiança para a energia da Transformada Ondaleta Cruzada pode ser derivada da raiz quadrada do produto de duas distribuições do qui-quadrado (χ^2). É dada pela seguinte expressão:

$$f_v(z) = \frac{z^{2-v}}{\Gamma^2(\frac{v}{2})} z^{v-1} K_0(z) \quad (12)$$

em que z é a variável aleatória, Γ é a função Gamma e $K_0(z)$ é a função Bessel de ordem zero. A função de distribuição cumulativa é dada pela integral $p = \int_0^{Z_v} f_v dz$, em que $Z_v(p)$ é o nível de confiança associado com a probabilidade p . Para uma probabilidade p , a integral acima pode ser invertida e, assim, encontrada o nível de confiança $Z_v(p)$, Torrence e Compo (1998).

2.3.1.3. Transformada Ondaleta Coerente

A Transformada Ondaleta Coerente, sugere o grau ou a medida da coerência entre duas séries temporais e, não necessariamente determina a covariabilidade na energia entre elas. Esta, explica quanto da variabilidade de uma variável qualquer poder explicar a variabilidade da outra. Para Torrence e Compo (1998) a coerência é outra quantidade útil da análise de Fourier e, pode ser definida como sendo o quadrado do espectro cruzado normalizado pelo espectro de potência da ondaleta individual. Assim sendo, esses valores variam de 0 a 1 conforme Grinsted et al. (2004), sendo que eles medem a correlação cruzada entre as duas séries temporais em função da frequência.

Na Transformada Ondaleta Cruzada pode ser observada a covariabilidade da energia e a relação de fase entre duas séries temporais. Para Torrence e Compo (1998), duas séries temporais X e Y , com suas respectivas Transformadas Ondaletas Contínuas, a definição

2.3.1.4. Fase das ondaletas cruzadas e de coerência

Segundo Barbosa e Blitzkow (2008) há muitas possibilidades para se representar os vetores de fases, entre duas séries temporais, que podem mostrar interações entre duas grandezas físicas e, também, a forma das oscilações entre as séries. Dessa maneira, empregou-se, de acordo com a sugestão de Liu (1994) e, exposta por Torrence e Compo (1998), a fase entre as séries aqui analisadas da seguinte forma:

$$\phi_n(s) = \tan^{-1}[\Im\{W_n^{XY}(s)/\Re_s^{XY}(s)\}] \quad (13)$$

Para enxergar a diferença de fase entre duas séries temporais analisadas foi utilizado o diagrama de fase que pode ser encontrada em Barbosa e Blitzkow (2008).

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise da Ondaleta Contínua de precipitação das Regiões Hidrográficas Tocantins-Araguaia e São Francisco

Para uma análise rápida sobre as observações, com respeito às séries temporais normalizadas de precipitação, utilizou-se uma escolha de 11 anos mais secos e 11 mais chuvosos, que corresponde a 15% dos anos totais da série em análise, como indica Pinkayan (1966), que classificou os 15% de anos mais chuvosos como muito chuvoso e 15% de anos mais secos como muito seco. Caso o leitor tenha interesse sobre esse conceito utilizado, pelo o Autor, poderá fazer busca rápida na internet. Esta classificação tem sido utilizada em muitos estudos, como, por exemplo, Xavier (1999), Santos et al. (2016), Gouvea et al. (2018) e Alvalá et al. (2019).

As Figuras 2 e 3 apresentam os gráficos de Ondaleta Contínua cujas visualizações apresentam os Índices de Prp que são os valores normalizados dos valores médios de precipitação pluvial das Regiões Hidrográficas nas Figuras 2a e 3a, o Espectro de Potência de Ondaleta que mostra a energia de uma onda ao longo de uma

mesma faixa de frequência na série analisada (Figuras 2b e 3b) e o Espectro Global de Ondaleta (Figuras 2c e 3c) que mostra a significância estatística ao longo da mesma faixa de energia na EPO para os valores médios de precipitação nas RHTA e RGSF, respectivamente.

Então, analisando a série dos Índices de Prp, calculados a partir dos valores médios das precipitações pluviiais das RHTA (Figura 2a) e RHSF (Figura 3a), verifica-se que ao longo de toda série (1945-2016) dos 11 anos (~ 15% da

série) mais chuvosos (1945, 1957, 1964, 1974, 1980, 1982, 1985, 1986, 2000, 2006 e 2009) da RHTA seis são coincidentes e cinco são não coincidentes com os 11 mais chuvosos (1945, 1947, 1957, 1960, 1964, 1974, 1978, 1979, 1980, 1985 e 1997) da RHSF. Enquanto, para os 11 anos mais secos (1951, 1953, 1954, 1962, 1963, 1971, 1983, 1992, 1993, 1998 e 2016) na RHTA quatro coincidem e sete não coincidem com os 11 anos mais secos (1959, 1962, 1976, 1993, 1998, 1999, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016) na RHSF.

Figura 2: Gráfico de Ondaleta Contínua mostra (a) Índice normalizado de precipitação, (b) Espectro de Potência de Ondaleta e, (c) Espectro Global de Ondaleta para a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Figura 3: Gráfico de Ondaleta Contínua mostra (a) Índice normalizado de precipitação, (b) Espectro de Potência de Ondaleta e, (c) Espectro Global de Ondaleta para a Região Hidrográfica São Francisco.

É possível verificar também que, na RHSF o período chuvoso com percentual de índices, máximos positivos precipitados, ocorreu na primeira metade da série histórica analisada. Enquanto que, o maior percentual de índices de mínimos negativos precipitados ocorreu na segunda metade da série, sendo predominante, nos últimos cinco anos da série estudada. Já na RHTA, mesmo sendo vizinha a RHSF, os índices positivos são maiores (aproximadamente o dobro) e, os índices negativos são quase o triplo.

Essa diferença nos máximos e mínimos precipitados, nessas duas Regiões Hidrográficas, se dá pela atuação dos sistemas meteorológicos sobre as Regiões em análises.

É oportuno mencionar que, por um lado, os principais sistemas responsáveis pela precipitação pluvial nas RHTA e RHSF, em geral, são os mesmos. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais na parte sul de ambos as Regiões (Reboita et al., 2010, Cavalcanti, 2012, Silva et al., 2019) e, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na parte norte (Cavalcanti, 2012, Reboita e Santos, 2014, Shimizu et al., 2016). Além destes sistemas também são observadas às atuações de VCAN na RHSF (Cavalcanti, 2012, Reboita et al., 2017) de novembro a abril e, o aquecimento radiativo da superfície durante o verão na RHTA, que contribui para o desenvolvimento de atividade convectiva (Reboita et al., 2010) e consequentemente precipitação devido ao conteúdo de umidade da Amazônia (Drumond et al., 2014). Por outro lado, também são verificados que eventos de escala interanuais como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) tem influência na variabilidade interanual em toda extensão de ambas as Regiões Hidrográficas (Cavalcanti, 2012, Reboita e Santos, 2014, Kayano et al., 2019), bem como pelas anomalias de TSM do Atlântico Tropical na parte norte das Regiões Hidrográficas (Cavalcanti, 2012, Shimizu et al., 2016). Entretanto, os resultados mostram que, em aproximadamente 50% dos anos, os sistemas precipitantes atuam de forma diferentes em cada uma das Regiões Hidrográficas, uma vez que os anos mais secos e os mais chuvosos em cada uma destas Regiões são não coincidentes. De certa forma esta observação está condizente com classificação de áreas com determinados regimes de precipitação elaborada por Reboita et al (2010), que mostra que, em geral, as áreas ocupadas por estas regiões hidrográficas

apresentam regimes de precipitação pluvial diferentes. A exceção é do extremo sul da RHSF que apresenta o mesmo regime de precipitação pluvial da RHTA. De um modo geral, a precipitação em toda área da RHSF na média anual é apenas 45% da precipitação na RHTA. Isto é decorrente da posição geográfica de ambas, que facilita ao desenvolvimento dos sistemas precipitantes na RHTA e inibe em grandes áreas da RHSF.

Na Amazônia Ocidental ocorre à junção da ZCIT e ZCAS, o que produz um máximo de precipitação naquela área e em sua vizinhança. Como a ZCAS induz divergência ao nordeste de sua posição e a ZCIT ao sul de sua posição. Isto leva a um aumento da divergência na área ao nordeste da ZCAS e sul da ZCIT, ou seja, em uma grande área da RHSF. Além disso, em alguns anos ocorrem VCANs com o seu centro, área de movimento descendente e consequentemente divergência na superfície, na parte central da RHSF.

Dos 11 anos mais chuvosos na RHTA cinco ocorreram na primeira metade da série (1945-1980) e seis na segunda metade (1981-2016), enquanto, dos 11 anos mais secos seis ficaram na primeira metade e cinco na segunda. Para a RHSF dos 11 anos mais chuvosos nove ocorreram na primeira metade (1945-1980) e dois na segunda (1981-2016), neste íterim, dos 11 anos mais secos três ocorreram na primeira metade e oito na segunda. Nesse cenário observa-se que RHSF foi mais chuvosa na primeira metade da série analisada que a segunda, enquanto que, para a RHTA foi mais chuvosa na segunda metade da série e, mais seca na primeira, mesmo que a diferença seja pouca entre anos mais chuvosos e anos secos, com respeito aos 11 anos mais chuvosos e os 11 anos mais secos da série, de ambas as Regiões.

É importante enfatizar, que, considerando a anomalia de TSM da região do Niño 3.4, dos 11 anos mais chuvosos na RHTA quatro coincide com anos de La Niña e sete com anos neutros, enquanto, nos 11 anos mais secos, quatro aconteceram em anos de El Niño, quatro com anos neutros e três em anos de La Niña. Para RHSF dos 11 anos mais chuvosos, quatro são coincidentes com anos de La Niña e sete com anos neutros, e nos 11 anos mais secos, quatro aconteceram em anos de El Niño, cinco em anos neutros e dois em anos de La Niña. Portanto, nos anos de evento El Niño a probabilidade de

ocorrência de anos muito chuvosos em ambas as Regiões Hidrográficas são quase nulas, o que corrobora com as observações de Reboita et al. (2010) e Cavalcanti (2012). Com relação aos anos muito secos os mesmos podem ocorrer em anos de El Niño, neutros e de La Niña, ou seja, é possível conjecturar que os anos muito secos em ambas as Regiões Hidrográficas estão mais associados com os processos de escala regional ou com oscilações intrassazonal do que com o ENOS. Isto é válido até mesmo para a RHSF que apresenta uma possibilidade duas vezes maior de ocorrência de anos muito secos em anos de El Niño que de La Niña.

Nas análises de Ondaletas Contínuas dos índices padronizados de precipitação pluviométrica das RHTA e RHSF (Figuras 2 e 3), cujos períodos chuvosos ocorrem de maneira mais intensa nos meses de novembro a março, se observam oscilações com frequências em torno de cinco anos na RHTA e de aproximadamente quatro anos na RHSF.

As oscilações de quatro anos e de cinco anos encontradas nas duas Regiões Hidrográficas apresentam 95% de confiança estatística, conforme aplicação do teste estatístico de Monte Carlo, verificadas através dos picos de variâncias, que são os Espectros Globais de Ondaletas - EGO (Figuras 2c e 3c), bem intensos respectivamente. Vale lembrar que o EGO corresponde à energia potencial total acumulada ao longo de um mesmo período de uma oscilação do Espectro Potencial de Ondaleta - EPO ao longo de todo o período de estudo, ou seja, da série.

É observado que a variância (EGO) com picos mais intensos e com confiança estatística (95%) correspondente a periodicidade em torno de três até cinco anos são induzidas, predominantemente, pelos núcleos (Figuras 2b e 3b) centrados de energias (EPO) nos períodos de 1996-2004 na RHTA (oscilação de três anos), 1969-1976/1985-2000 na RHTA (oscilação de quatro-cinco anos), 1957-1962 na RHSF (oscilação de três a quatro anos) e 1974-1985 na RHSF (oscilação de cinco anos). Possivelmente, estas oscilações estão associadas às variabilidades interanuais das anomalias de TSM do Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical que apresenta oscilações de três a sete anos (Veigas et al., 2019 e Alves et al., 2014).

Na escala decenal se observam oscilações com períodos de aproximadamente 11 a 12 anos dos índices de precipitação de ambas as Regiões Hidrográficas. Em escala multidecenal verifica-

se oscilação com períodos de 22 a 26 anos nos estudos das duas Regiões Hidrográficas.

As oscilações com períodos de 11 a 12 anos e 22 a 26 anos não apresentam confianças estatísticas, conforme o teste estatístico, pois os picos nos EGO (Figuras 2c e 3c) ficam abaixo da linha limitante para $p_{\text{valor}} \leq 0,05$ (significância estatística de 5%), como indica a estatística de Monte Carlo (Torrence e Compo, 1998).

Os períodos de 11 a 12 anos (decenais) corroboram com os estudos de Da Silva et al. (2011), que estudaram sobre a influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco e, concluíram que a escala dominante na região do Submédio São Francisco é a escala decenal. Também, em outras localidades no Brasil, foram encontrados esses períodos, como Costa et al. (2016) na bacia hidrográfica Jaguaribe no estado do Ceará e, Mendes et al. (2015) no Alto Jaguaribe (sub-bacia do Jaguaribe) no Ceará.

As oscilações em escala multidecenal, com períodos de aproximadamente 22 anos, são corroboradas com os resultados encontradas por Da Silva (2017) e com os resultados de Mendes et al. (2015).

Vale salientar que também são observadas oscilações com períodos em torno de 11 anos e de 22 anos nas anomalias de TSM do Pacífico Equatorial e do Atlântico tropical. Ressalta-se que muitos pesquisadores, como, por exemplo, Haam e Thuang, 2012 e Zhou et al., 2010 descrevem a relação em atividade solar, ou seja, ciclo solar e a variabilidade da TSM, ou até mesmo da influencia dos ciclos solares no clima (Gray et al., 2010). A propósito os ciclos de manchas solares apresentam algumas oscilações com períodos bem definidos, como a de 11 anos, também conhecida como ciclo de Schwabe. São necessários dois ciclos solares para o Sol retornar ao mesmo estado de polaridade original, resultando num período de 22 anos que é conhecido como ciclo de Hale (Echer et al., 2003).

3.2. Análise da Transformada Ondaleta Cruzada e Coerente

As Figuras 4 e 5 mostram as configurações das ondaletas cruzada (XWT) e de coerência (WTC), respectivamente, entre as precipitações anuais das RHTA e RHSF. Observa-se na Figura 4, oscilações com frequência entre três a cinco anos, aproximadamente, nos diversos núcleos ao longo

do período temporal (1945-2016), onde as precipitações pluviiais correlacionadas pela XWT entre as duas Regiões Hidrográficas (Tocantins-Araguaia e São Francisco) se mantiveram em fase, pois as orientações dos vetores mostraram o ângulo de fase igual a zero (0°) e, essa configuração, indica que as oscilações periódicas (três a cinco anos) dos máximos e/ou mínimos de precipitados ocorreram simultaneamente entres essas Regiões Hidrográficas nessa faixa de frequência oscilatória. Ou seja, quando um

máximo/mínimo precipitado ocorreu na RHTA, também, ocorreu na RHSF. Essa configuração apresenta confiança estatística (95%) e covariabilidade fortemente correlacionada. Isso é confirmado na Transformada Ondaleta Coerente (Figura 5), pois as energias associadas às correlações são fortes, estando entre 0,8 e 1 na escala, mostrando que os máximos/mínimos precipitados ocorreram simultaneamente nas duas Regiões.

Figura 4: Imagem espectral de precipitação da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia versus a da Região Hidrográfica São Francisco para a Transformada Ondaleta Cruzada.

Também, em um período oscilatório mais baixo, na faixa de 11 a 12 anos, com energia mais intensa entre 1953 e 1990, se observam nas XWT núcleos em que a série de precipitação pluvial da RHSF está em fase com a série da RHTA. Da

mesma maneira, essa configuração é confirmada nas WTC com forte correlação e covariabilidade (0,8-1) associada aos máximos/mínimos precipitados nas Regiões em análises.

Figura 5: Imagem espectral de precipitação da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia versus a da Região Hidrográfica São Francisco para a Transformada Ondaleta de Coerência.

Na faixa periódica de 22 a 26 anos, durante o período de 1945 a 1975, na XWT os vetores estão orientados a 45°, isso mostra que os máximos/mínimos de precipitação da RHSF estiveram avançados em relação aos da RHTA, respondendo a 1/8 do período, ou, um a dois anos avançados. Isso mostra que os picos de

Vale também ressaltar que os eventos de escalas interanuais do El Niño Oscilação Sul (ENOS) tem influência sobre as variabilidades interanuais de ambas as Regiões Hidrográficas (Cavalcanti, 2012, Reboita e Santos, 2014, Kayano et al., 2019). Assim, como, as anomalias de TSM do Atlântico Tropical nos setores nortes das duas Regiões Hidrográficas (Cavalcanti, 2012, Shimizu et al., 2016). Isso fica mais evidente, como mostrados anteriormente que, aproximadamente, na metade dos anos os sistemas meteorológicos atuaram de maneira diferente nas Regiões Hidrográficas, visto que, os anos mais secos e mais chuvosos em cada uma delas são não coincidentes. Já no decorrer das séries os máximos/mínimos dos eventos precipitados estiveram em fase nessa faixa periódica. Também, confirmado na WTC.

3.3. Transformada Ondaleta de Precipitação das Regiões Hidrográficas com os Índices de Anomalias de TSM do Niño 3.4

a) Análise das Transformadas Ondaletas Cruzadas

As Figuras 6 e 7 apresentam as configurações das ondaletas cruzadas (XWT) da anomalia de TSM da área do Niño 3.4 e os índices de precipitação da RHTA e RHSF, respectivamente. Percebeu-se que houve no período de 1970-1975 uma defasagem de 90° da série do Niño 3.4 em relação à série de precipitação na RHTA, de 1957-1960 e 1993-2000 um avanço de 45° e 90° em relação à série da RHSF, isso é observado através dos núcleos de oscilação de três a quatro anos nos períodos, em análises. No período oscilatório de três a seis anos houve um avanço de 135° do Niño 3.4 em relação à precipitação das duas Regiões variando durante o período de 1980 a 2000, aproximadamente.

precipitação na RHSF durante o período (1945-1975) ocorreram primeiro que os da RHTA.

Esse avanço nos máximos/mínimos das precipitações da RHSF em relação aos da RHTA poderá ter ocorrido devido aos sistemas meteorológicos atuantes na RHSF de novembro a abril, que não atuam na RHTA, como é o caso dos VCAN (Cavalcante, Reboita et al., 2017).

Para as oscilações com períodos mais baixas, em torno de 11 a 12 anos, se observa que, a partir do ano de 1975 até o final da série, as variabilidades oscilatórias do Niño 3.4 estão em fase completamente oposta com as variabilidades oscilatórias da RHTA, mostrando assim, que os eventos de máximos/mínimos nas precipitações dessa Região Hidrográfica ocorrem em oposição aos máximos/mínimos dos eventos de anomalias de TSM no Niño 3.4 na periodicidade entre 11 a 12 anos. Isso indica que os máximos/mínimos de precipitação, nesta Região Hidrográfica, ocorrem quando ocorrem os mínimos/máximos no Niño 3.4. Ressalta-se que, apenas as observações que estão dentro do cone de influência (configuração na forma da letra U, no gráfico), apresentam confianças estatísticas de 95%, segundo Torrence e Compo (1998).

Essas configurações podem ser conjecturadas às atuações dos próprios sistemas meteorológicos que são influenciados pelo El Niño/La Niña, como também, sofrem influências de outros sistemas, como por exemplo, o aquecimento/resfriamento da TSM no Atlântico Tropical Norte que influencia na atuação da ZCIT na para norte das duas Regiões Hidrográficas (Cavalcanti, 2012, Reboita e Santos, 2014, Shimizu et al., 2016), outros como ZCAS e Sistemas Frontais na parte sul de ambas as Regiões Hidrográficas e, VCAN (Cavalcanti, 2012, Reboita et al., 2017) na parte central da RHSF, como já citado anteriormente. Isso pode ter interferido causando essas diferenças (avanço/defasagem) nos máximos/mínimos de precipitações pluviométricas das Regiões Hidrográficas em decorrência dos máximos/mínimos de Niño 3.4

XWT: Precipitação do Tocantins-Araguaia versus índices de anomalias de TSM do Niño 3.4.

Figura 6: Imagem espectral da Transformada Ondaleta Cruzada da precipitação da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia versus índices de anomalias de TSM do Niño 3.4.

XWT: Precipitação do São Francisco versus índices de anomalias de TSM do Niño 3.4.

Figura 7: Imagem espectral da Transformada Ondaleta Cruzada da precipitação da Região Hidrográfica São Francisco versus índices de anomalias TSM do Niño 3.4.

b) Análise das Transformadas Ondaletas Coerentes

Nas Figuras 8 e 9 são mostradas as configurações das ondaletas de coerências (WTC) das anomalias de TSM da área do Niño 3.4 e as precipitações das RHTA e RHSF. Verifica-se que as observações apontadas nas XWT são confirmadas nas WTC dos índices do Niño 3.4 e das precipitações da RHTA e da RHSF. Isso mostra que entre 80% e 100% as variabilidades ocorridas no Pacífico, influenciaram as variabilidades dos índices de precipitação dessas duas Regiões Hidrográficas no Brasil.

Conjectura-se, assim, que as variabilidades nas precipitações que ocorrem nas Regiões Hidrográficas, em estudo, são influenciadas por esse fenômeno oceanográfico, que na sua interação com a atmosfera, gera condições de variabilidades, induzindo variabilidades interanuais e interdecenais sobre as precipitações, tanto da RHTA, quanto, da RHSF.

Como as Transformadas Ondaletas Coerentes confirmam as ocorrências dos fenômenos periódicos dos máximos/mínimos de precipitação das Regiões Hidrográficas e dos índices de TSM do Niño 3.4, então, as discussões podem ser as mesmas já feitas no item anterior (a).

WTC: Precipitação do Tocantins-Araguaia versus índices de anomalias de TSM do Niño 3.4.

Figura 8: Imagem espectral da Transformada Ondaleta de Coerência da precipitação da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia versus índices de anomalias de TSM do Niño 3.4.

WTC: Precipitação do São Francisco versus índices de anomalias de TSM do Niño 3.4.

Figura 9: Imagem espectral da Transformada Ondaleta de Coerência da precipitação da Região Hidrográfica São Francisco versus índices de anomalias TSM do Niño 3.4.

Conclusão

As precipitações pluviais das Regiões Hidrográficas, Tocantins-Araguaia e São Francisco no Brasil, apresentam variabilidades oscilatórias interanual e interdecenal. Essas variabilidades oscilatórias são em fase, quando, correlacionadas (XWT e WTC) às séries de precipitações pluviométricas de ambas as Regiões Hidrográficas, ou seja, são em fase nas periodicidades de três a cinco anos e nas periodicidades mais baixas, na faixa de 11 a 12 anos, aproximadamente, e, também, são estatisticamente confiáveis (95%). Também, se conclui que os eventos de máximos e mínimos precipitados nas Regiões Hidrográficas ocorrem de maneira simultânea.

É possível concluir também que os eventos ENOS, influenciam na precipitação das Regiões Hidrográficas, simultaneamente, sendo que, esses eventos (máximos/mínimos de Niño 3.4) ocorrem antes que os eventos de máximos e mínimos nas precipitações das Regiões Hidrográficas do Tocantins-Araguaia e do São Francisco.

Finalmente, é possível conjecturar categoricamente que o total médio anual da precipitação pluvial da Região Hidrográfica do São Francisco é em torno de 45% do total médio anual da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, porque uma grande área da Região Hidrográfica do São Francisco encontra-se ao nordeste da posição média da ZCAS e ao sul da posição da ZCIT, ou seja, encontra-se em uma

área de intensos movimentos descentes, que inibe os processos de precipitação.

5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece incondicionalmente a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo financiamento através de bolsa de estudos durante o Doutorado, ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG pela aprovação do projeto de pesquisa, ao Professor/Orientador Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito pela orientação durante o curso e aos membros da Banca, Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos, Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa, Dr. Bergson Guedes Bezerra e Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura, pelas valiosas e importantes sugestões.

Referências

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Estado das Águas no Brasil 2002: em busca do equilíbrio. Brasília: 2002, 506p.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília, 2015.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Regiões Hidrográficas Brasileiras. Disponível em <http://www3.ana.gov.br/>. Acessado em 09/02/2018.
- Allen, M. R.; Smith, L. A.; Monte Carlo, S. S. A. Detecting irregular oscillations in the presence of colored noise, *Journal of Climate*, 9, 3383-3404, 1996.
- Alvalá, R. C. S.; Cunha, A. P. M. A.; Brito, S. S. B.; Seluchi, M. E.; Marengo, J. A.; Moraes, O. L. L.; Carvalho, M. A. (2019). Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 91(Supl. 1): e20170209 (<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>).
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711–728.
- Alves, J. M. B.; Chaves, R. R.; Servain, J.; Souza, E. B.; Silva, E. M.; Santos, A. C. S.; Barbosa, A. C. B.; Oliveira, C. J.; Sombra, S. S.; Costa, A. A.; Pinheiro, F. G. M. 2014. Modelos acoplados do IPCC-AR4 e o gradiente meridional de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical: relações com a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.4, 568 - 578, (<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130605>).
- Barbosa, A. C. B.; Blitzkow, D. 2008. *Ondaletas: Histórico e Aplicação*. São Paulo: IAG/USP, 39p.
- Bezerra, B. G.; Silva, L. L.; Silva, C. M. S.; Carvalho, G. G. 2019. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 135, p. 565-576, (<https://doi.org/10.1007/s00704-018-2396-6>).
- Cavalcanti, I. F. A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research*, 118, 27-40.
- Costa, J., A.; Santos, M., A., C., M.; Mende, K., P.; Silva, G.; Miranda, V., G.; Monteiro, B., L.; Da Silva, D. F. 2016. Ciclos, períodos de eventos extremos e escalas temporais na precipitação da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe (CE). *Revista Geonordeste*, São Cristóvão, Ano XXVII, 05-23, ISSN: 2318-2695.
- Daubechies, I. 1990. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. *IEEE Transactions on Information Theory*, 36, 961–1004.
- Grinsted, A.; Moore, J. C.; Jevrejeva, S. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes Geophysics*, 11, 561–566.
- Drumond, A.; Marengo, J. A.; Ambrizzi, T.; Nieto, R.; Moreira, L.; Gimeno, L. 2014. The role of the Amazon Basin moisture in the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2577–2598, 2014 (doi:10.5194/hess-18-2577-2014).
- Echer, E.; Rigozo, N. R.; Nordemann, D. J. R.; Vieira, L. E. A.; Prestes, A.; De Faria, H. H. O. 2003. Número de Manchas Solares, Índice da Atividade do Sol. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25, 157.
- Ferreira, N. J.; Sanches, M.; Silva Dias, M.A.F. 2004. *Composição da Zona de Convergência*

- do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19, 89-98.
- Gouvea, R. L.; Campos, C. C.; Menezes, J. T.; Moreira, G. F. 2018. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a Bacia Do Rio Itajaí. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22, 309-323.
- Gray, L. J.; Beer, J.; Geller, M.; Haigh, J. D.; Lockwood, M.; Matthes, K.; Luterbacher, J. 2010. Solar influences on climate. *Reviews of Geophysics*, 48, (DOI: 10.1029/2009RG000282).
- Haam, E.; Tung, K. K. 2012. Statistics of solar cycle–La Nina connection: Correlation of two autocorrelated time series. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 69, 2934-2939, (DOI: 10.1175/JAS-D-12-0101.1).
- Junior, J. L. C. S. 2016. Relato Técnico-Científico: Avaliação parcial das condições pluviométricas no Estado do Tocantins. Palmas – TO.
- Kousky, V. E. 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107, 1140-1153.
- Kousky, V. E.; Gan, M. A. 1981. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 33, 538-551.
- Kousky, V. E.; Cavalcanti, I. F. A.; Kayano, M. T. 1984. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, 490-504.
- Kayano, M. T.; Andreoli, R. V.; Souza, R. A. F. 2019. Pacific and Atlantic multidecadal variability relations to the El Niño events and their effects on the South American rainfall. *Int J Climatol*. 1–18. (DOI: 10.1002/joc.6326).
- Lau, K.M., Weng, H. 1995. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bulletin American Meteorological Society*, 76, 2391–2402.
- Liu, P. C. 1994. Wavelet spectrum analysis and ocean wind waves. IN: Efi Foufoula-Georgiou, E.; Kumar, P. *Wavelets in Geophysics*, v. 4, p. 151–166, (<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-052087-2.50012-8>).
- Mendes, K. P.; Silva, G.; Da Silva, D. F. 2015. Ciclos e períodos de eventos extremos na Sub-Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe (CE). Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'. Fortaleza – CE.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2006. Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Brasília, 132p
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2006,. Caderno da Região Hidrográfica São Francisco. Brasília, 148p.
- Molion, L. C. B.; Bernardo, S. O. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17, 1-10.
- Neves, G. Z. F.; Specioan, V.; Rocha, T.; Vecchia, A. S. 2017. Síntese dos estudos climáticos e a distribuição da rede meteorológica no estado de Goiás e Distrito Federal. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, I Congresso Nacional de Geografia de Física, Campinas – SP.
- Pinkayan, S. 1966. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, (Hidrology Papers, 12).
- Reboita, M. S. R.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25, 185-204.
- Reboita, M. S.; Santos, I. A. 2014. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no Norte e Nordeste do Brasil. 15, 28-48.
- Reboita, M. S.; Campos, B.; Santos, T.; A.; Carvalho, V. S. B. 2017. Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 41-59.
- Sala de Situação - São Francisco, 2018. <https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sao-francisco/sao-francisco-saiba-mais/14/04/2020>
- Santos, A. P. P.; Aragão, M. R. S.; Correia, M. F.; Santos, S. R. Q.; Silva, F. D. S.; Araújo, H. A. 2016. Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31, 454-467, (DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631231420150048>).
- Shimizu, M. H.; Ambrizzi, T.; Liebmann, B. 2016. Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America. *International Journal of Climatology*, (DOI: 10.1002/joc.4893).
- Da Silva, D. F.; Galvêncio, J. D.; Nóbrega, R. S. 2011. Influência da variabilidade climática e

- da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. sf, 46-56.
- Da SILVA, D. F. 2017. Aplicação de Análises de Ondaletas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 187-198.
- Silva, J. P. R.; Reboita, M. S.; Escobar, G. C. J. 2019. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25, 355-377,
- Torrence, C.; Compo, G. P. 1998. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 61-78.
- Uvo, C. R. B. 1989. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 82p.
- Viegas, J.; Andreoli, R. V. ; Kayano, M. T. ; Candido, L. A.; Souza, R. A. F.; Hall, D. H.; Souza, A. C.; Garcia, S. R.; Temoteo, G.G.; Valentin, W. I. D. 2019. Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34, 43-67.
- Xavier, T. M. B. S. 1999. Caracterização de Períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 14, . 63-78,
- Zhou, J.; Tung, K. K. 2010. Solar cycles in 150 years of global sea surface temperature data. *Journal of Climate*, 23, 3234-3248, (DOI: 10.1175/2010JCLI3232.1).