



CICLOS, PERÍODOS DE EVENTOS EXTREMOS E ESCALAS TEMPORAIS NA PRECIPITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE (CE)

CYCLES, PERIODS OF EXTREME EVENTS AND TEMPORAL SCALES IN THE RAINFALL OF RIVER RIO JAGUARIBE BASIN (CE)

CYCLES, LES PÉRIODES D'ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES ET ÉCHELLES TEMPORELLES À SOUS LA PLUIE DU BASSIN RIO JAGUARIBE (CE)

Juliana Alcântara Costa

Mestranda em Engenharia Agrônômica- UFRBA

juliana-alcantara-costa@hotmail.com

Maria Ângela Cruz Macêdo dos Santos

Mestranda em Engenharia Agrônômica- UFRBA

angela_macedo.08@hotmail.com

Kayke Pereira Mendes

Aluno do curso de Agronomia – UFCA, Crato (CE)

kayke_pereira2@hotmail.com

Gabriel Silva

Aluno do curso de Agronomia – UFCA, Crato (CE)

gabriel_auaba@yahoo.com.br

Vanilson Gomes Miranda

Aluno do curso de Agronomia – UFCA, Crato (CE)

vanilson@agronomo.eng.br

Barbara Leandro Monteiro

Aluno do curso de Agronomia – UFCA, Crato (CE)

barby-monteiro@hotmail.com

Djane Fonseca da Silva

Profª Drª Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), UFAL,

Campus A. C. Simões, Maceió- AL,

djane.silva@icat.ufal.br

RESUMO

A interação entre escalas sazonais, ENOS, Dipolo do Atlântico, ciclo de manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) comprovadamente influenciam diretamente no clima da região Nordeste do Brasil. Diante disso, com o auxílio das Análises de Ondeletas, objetivou-se neste trabalho identificar nas séries pluviométricas da Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe, ciclos, variações aleatórias ou não, além das escalas das variabilidades temporais dominantes e suas possíveis causas climáticas. Para tanto, se utilizou de dados de precipitação obtidos através da Agência Nacional das Águas (ANA) e com período de 1974 a 2013. Foi empregada a ondeleta Morlet através do Software Matlab®. Concluiu-se que a Oscilação Decadal do Pacífico influencia diretamente nos índices negativos e positivos de precipitação, e que associada ao sinal

persistente de ENOS (7 anos) promoveram, dependendo de suas fases, tanto o aumento quanto a diminuição dos índices pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe.

PALAVRAS-CHAVE: Análises de Ondeletas; Ciclos; Anos chuvosos; Secas.

ABSTRACT

The interaction between seasonal scale, ENOS, Dipole Atlantic, sunspot cycle and Pacific Decadal Oscillation (ODP), validation directly influence the climate of the Northeast region of Brazil. Therefore with the assistance of Wavelet Analysis, the aim of this work was to identify the rainfall series of basin of the river Jaguaribe, cycles, random variations or not, beyond the scales of the dominant temporal variability and its possible causes climate. Therefore, its used rainfall data obtained through the National Water Agency (ANA) of the period from 1974 to 2013. Were used the Morlet wavelet through Software Matlab®. Concluded that the Pacific Decadal Oscillation influences directly the negative and positive rates of precipitation, and associated with a persistent signal ENSO (7 years) promoted, depending on stage with both increased as the decrease in rainfall in the basin Jaguaribe River.

KEYWORDS: Wavelet Analysis; Cycles; Years rainy; Dry.

RESUMÉ

L'interaction entre les échelles saisonnières, ENOS, cycles des taches solaires et l'oscillation décennale du Pacifique (ODP), vont influencer directement sur le climat de la région Nordeste du Brésil. Par conséquence, avec l'aide de l'Analyse en Ondelettes, le but de ce travail était d'identifier dans les séries de la zone précipitations du bassin versant du fleuve Jaguaribe, cycles, des variations aléatoires ou non, au-delà des échelles de la variabilité temporelle dominantes et ses possibles changements climatiques. Pour celà, nous avons utilisé les données pluviométriques obtenus par l'Agence nationale de l'eau (ANA) dans la période de 1974 à 2013. Il a été utilisé l'ondelette de Morlet par logiciel Matlab. Il a été conclu que l'oscillation décennale du Pacifique influe directement sur les taux négatifs et positifs de précipitations, et que associé au signal persistant ENSO (7 ans) on promu, selon chaque stade, soit une augmentation soit une diminution des précipitations dans le bassin du fleuve Jaguaribe.

MOTS-CLES: Analyse ondelettes; Cycles; Années pluvieuses; Sécheresse.

1. INTRODUÇÃO

Aumento de eventos de extremos climáticos tem indicado que a variabilidade climática atual apresenta tendência para o aquecimento global, (IPCC, 2007; IPCC, 2010; DA SILVA *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2011; IPCC, 2014). Com isso, eventos de temporais/chuvas intensas ou de estiagens severas podem tornar-se mais frequentes, aumentando a possibilidade de incidência de desastres naturais.

Segundo estudo de Marcelino (2008), a maioria dos desastres no Brasil (mais de 80%) está associada a eventos extremos e às instabilidades atmosféricas severas, que são responsáveis pelo desencadeamento de inundações, vendavais, escorregamentos, etc. Em relação à distribuição espacial, mais de 60% dos casos ocorreram nas regiões Sudeste e Sul, ficando o Nordeste do Brasil em 2º lugar nessa classificação.

Segundo Rockwood e Maddox (1988), um sistema de tempo que produz intensa precipitação sempre está relacionado à atividade convectiva e é o resultado da interação de mecanismos físicos de diferentes escalas.



Essa interação de escalas temporais pode ser observada utilizando a Análise de Ondeleta e assim, descobrir a causa do evento extremo, seja esse evento anormalmente positivo ou negativo. Os extremos pluviométricos serão detectados através da Análise de Ondeleta (AO), ineditamente para a Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe, Estado do Ceará.

Análise de Ondeleta é uma técnica apropriada para determinar as escalas de variabilidade dominantes em uma série temporal, bem como suas localizações no tempo. Nos últimos anos esta técnica tem sido bastante usada em meteorologia e hidrologia, por exemplo, nos trabalhos de Weng e Lau (1994), Torrence e Webster (1999), Abreu Sá *et al.* (1998), Vitorino (2003), Tucci e Braga (2003), Schneider *et al.* (2005), Andreoli *et al.* (2004), Andreoli e Kayano (2005), Labat *et al.* (2005), Da Silva (2009), Da Silva *et al.* (2010), dentre outros. Sua aplicabilidade na análise de sinais se deve principalmente porque permite decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então determinar, as componentes da variabilidade dominante (GU e PHILANDER, 1995; TORRENCE e COMPO, 1998; BARBOSA *et al.*, 2004, dentre outros).

Nobre *et al.* (1984) encontraram diferenças entre o comportamento do rio Negro (em Manaus) antes de 1950 e após esse ano. Já Marengo (1995) identificou marcantes variações interanuais na vazão de importantes rios da América do Sul.

Abreu Sá *et al.* (1998) utilizaram a ondeleta de Morlet para estudar as escalas em que o nível do rio Paraguai em Ladário (MS) apresenta maior variabilidade. Verificou-se variabilidade dominante na escala anual, a qual se manteve estacionária; detectou-se variabilidade importante num intervalo de escalas de 2 a 5 anos, a qual não se mostrou persistente; observou-se outra variabilidade marcante no intervalo de escalas de 10 a 11 anos, aproximadamente, a qual se mostrou persistente.

Por fim, Trigo *et al.* (1999) ao aplicar as ondeletas no estudo da variabilidade de descargas diárias em bacias portuguesas e brasileiras, determinaram para o rio Mondego, localizado na região centro-oeste da Península Ibérica, máximos do espectro de potência em torno das escalas de 64 a 128 dias, correspondente ao período semi-anual e da escala de 2 a 16 dias, referente a fenômenos meteorológicos de escala sinótica. O rio Piancó (situado no Estado da Paraíba) apresentou em vários anos, e de forma irregular, uma forte variabilidade nas escalas compreendidas entre 256 e 1024 dias, associada à frequência irregular dos episódios do El Niño.

Com o auxílio das Análises de Ondeletas, objetivou-se neste trabalho identificar nas séries pluviométricas da Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe (incluindo suas sub-bacias), ciclos, variações aleatórias ou não, além das escalas das variabilidades temporais dominantes e suas possíveis causas climáticas.

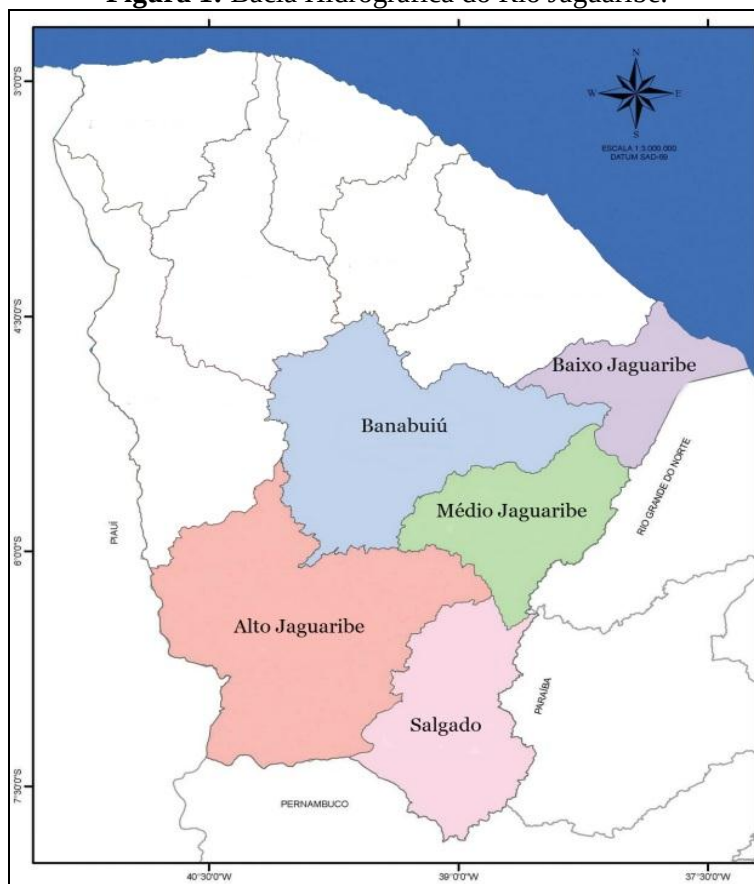
2. DADOS E METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O Rio Jaguaribe (*jaguar-y-pe*, que vem do tupi-guarani e significa Rio das onças) é o maior curso d'água do território cearense com 610 km de extensão e é também o principal rio da Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe, que ocupa cerca de 51,9 % da área total do Estado com cerca de 75.669 de km². Essa bacia fica entre as coordenadas 4°30' e 7°45' de latitude sul e 37°30' e 41°00' de longitude oeste (SOUSA, 2013).

A Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe (Figura 1) possui baixa perspectiva em reserva de águas subterrâneas, pois a quase totalidade de sua área situa-se em rochas cristalinas de baixo potencial hídrico. A exceção são os aquíferos da Chapada do Araripe, que formam sistemas livres, com potencial relativamente alto. A rede de drenagem possui um nítido controle estrutural, com cursos retinizados, marcantes mudanças de cursos, devido à influência de fraturamentos e falhamentos (GATTO, 1999 *Apud* SOUSA, 2013). Fazem parte desta Bacia Hidrográfica, as sub-bacias do Alto, Médio Baixo Jaguaribe, Banabuiú e Salgado (Figura 1).

Figura 1: Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Dados

Neste trabalho foram utilizados dados de precipitação de toda Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe, obtidos através da Agência Nacional das Águas (ANA) e com período de 1974 a 2013.

Esses dados foram obtidos no formato de bloco de notas, posteriormente convertidos para serem utilizados em planilha eletrônica Microsoft Excel[®]. O preenchimento das falhas da série temporal foi feito com base nas melhores correlações com estações vizinhas ou por médias climatológicas da variável.

2.3 Análises de Ondeletas

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatações (a) e translações (b) de uma função simples $\psi(t)$ de variável real t , algumas vezes chamada de ondeleta-mãe. As funções derivadas da ondeleta-mãe são denominadas ondeletas filhas, ou simplesmente ondeletas (WENG e LAU, 1994; TORRENCE e COMPO, 1998). Esta função deve ser quadraticamente integrável dentro de um intervalo real, ou espaço $[L^2(\mathbb{R})]$, ou seja, deve apresentar energia finita. Define-se matematicamente a função ondeleta numa escala a e posição b , onde a e b são valores reais, e $a > 0$, como sendo:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(t - b/a\right) \quad (1)$$

A transformada em ondeletas contínua da função (t) f é definida pela seguinte equação:

$$(W\psi f)(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(t - b/a\right) dt \quad (2)$$

Em que: $f(t)$ é a função que constitui a série de dados a ser analisada. O termo $1/a$ é utilizado para normalizar a energia de cada ondeleta.

A ondeleta Morlet é complexa e possui características semelhantes às de sinais hidro/meteorológicos, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave. Segundo a literatura, este é um critério para escolha da função ondeleta (WENG e LAU, 1994; MORETTIN, 1999).

A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (3)$$

Em que: $\eta = t/s$, onde t é o tempo, s é a escala da ondeleta e ω_0 é uma frequência não dimensional, que tem valor 6 para o caso da ondeleta de Morlet. Todos introduzidos no “script” de programação do Software Matlab.

Pode-se então variar a “escala” da ondeleta mudando sua largura. Esta é a vantagem real da AO. Ondas Morlet apresentam alta frequência enquanto gaussianas apresentam baixa frequência. Para a determinação de ciclos curtos ou longos modifica-se o tipo da onda para Morlet ou Gaussiana, respectivamente.

A maneira de mudar o tamanho total das ondeletas em relação ao tempo, as chamadas “as ondeletas escaladas” é representada como:

$$\varphi[(n' - n)\delta t / s] = (\delta t / s)^{1/2} \varphi_0[(n' - n)\delta t / s] \quad (4)$$

Em que: s é o parâmetro de “dilatação” usado para mudar a escala, e n é o parâmetro de transformação no tempo. O fator de $s^{-1/2}$ é uma normalização para manter a energia total da Wavelet. A transformação do conjunto da onda é dada por:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \varphi^*[(n' - n)\delta t / s] \quad (5)$$

Em que: o asterisco (*) denota o complexo conjugado de φ . A integral acima pode ser utilizada para valores de escalas (desde alta frequência até a mais baixa). Um retrato bidimensional da variabilidade pode então ser construído traçando a amplitude e a fase da Ondeleta.

Foi gerado um índice normalizado no intuito de destacar as anomalias, já utilizado por Kousky e Chu, (1978), Aceituno (1988) e Andreoli *et al.* (2004), Da Silva (2009), Da Silva *et al.* (2010). Esse índice de precipitação (Prp) pode ser calculado pela Equação (6), para todo o período e se referem às anomalias mensais de precipitação, normalizadas pelos respectivos desvios-padrão mensais, obtido através de (DA SILVA, 2009):



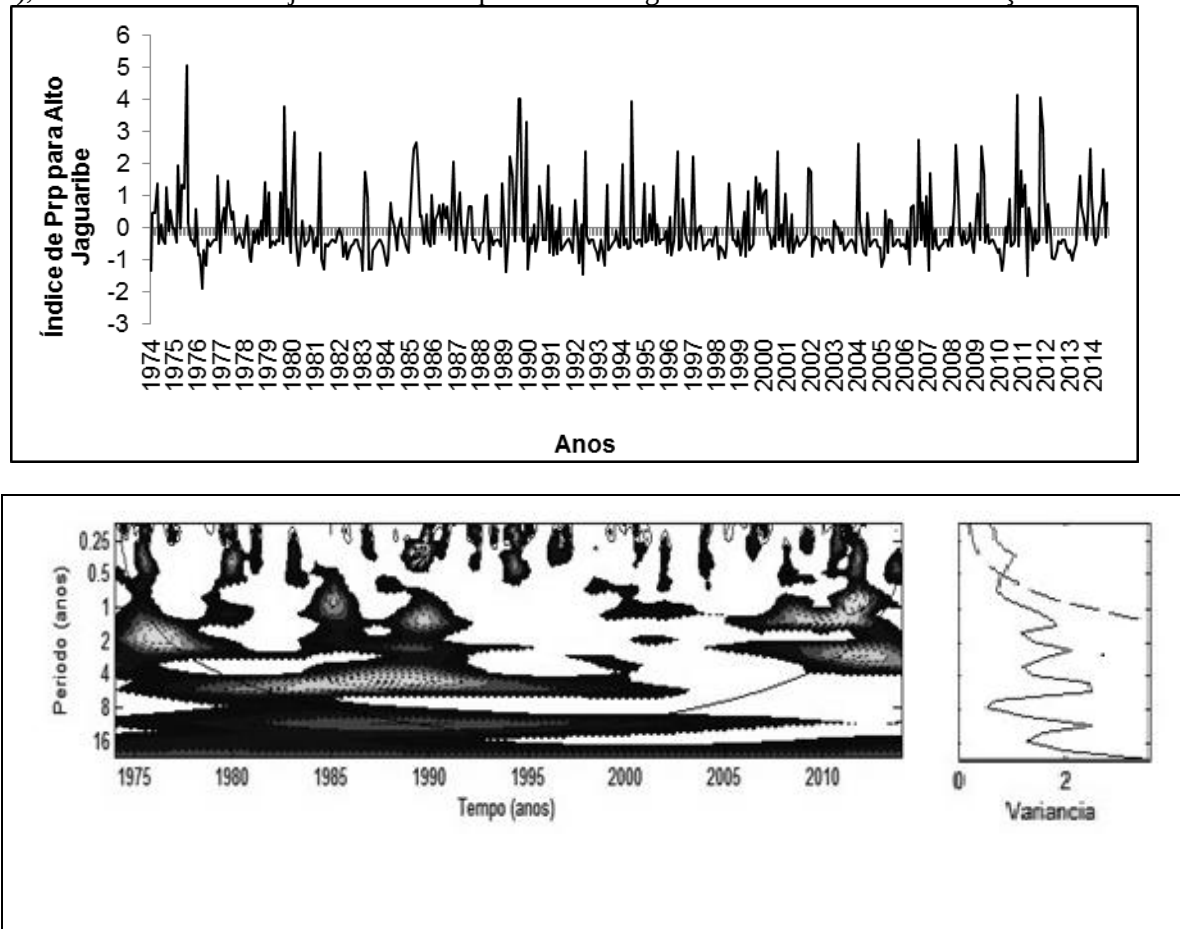
$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var_i}) / \sigma_i \quad (6)$$

Em que: $AVar_{i,j}$ é a anomalia normalizada da precipitação no ano $j = 1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i = 1, 2, 3, \dots, 12$; $Var_{i,j}$ é a precipitação no ano $j = 1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i = 1, 2, 3, \dots, 12$; $\overline{Var_i}$ e σ_i são a média histórica e o desvio padrão do mês i .

3. RESULTADOS

Na Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe a escala decadal de 22 anos mostrou-se persistente em todo o período, porém sem apresentar significância estatística (Figura 2b). A escala temporal de 7 anos, ligada ao ENOS (El Niño Oscilação Sul) e Dipolo do Atlântico (CLAUZET e WAINER, 1999), se pronuncia por quase todo o período, entre os anos de 1974 a 2004, a escala de 11 anos, ligada aos ciclos de manchas solares (KERR, 1996; MOLION, 2005), também é observada nos anos de 1974 a 2011. A escala sazonal, 0,25-0,5 anos, foi à única que apresentou significância estatística (Figura 2c). Nos anos de 1975, 1980, 1990 e 1994 observou-se um alto índice de precipitação, caracterizado pela união da escala sazonal de 0,25-0,5 anos, escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao dipolo do Atlântico, escala de 11 anos ligada ao ciclo das manchas solares e escala decadal de 22 anos ligada à ODP (Oscilação Decadal do Pacífico) (Figura 2a). Nos anos de 2010 e 2011 também se observou altos índices de precipitação ocorrendo a presença de todas as escalas menos a de 7 anos ligada ao ENOS e Dipolo do Atlântico. A junção das diferentes escalas influenciou para o aumento no índice de Prp, resultados semelhantes foram encontrados por Hastenrath e Heller (1977), Rockwood e Maddox (1988) e Da Silva (2009).

Figura 2: a) Índice de Prp para o Alto Jaguaribe; b) Espectro de potência de ondeleta (EPO). Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.



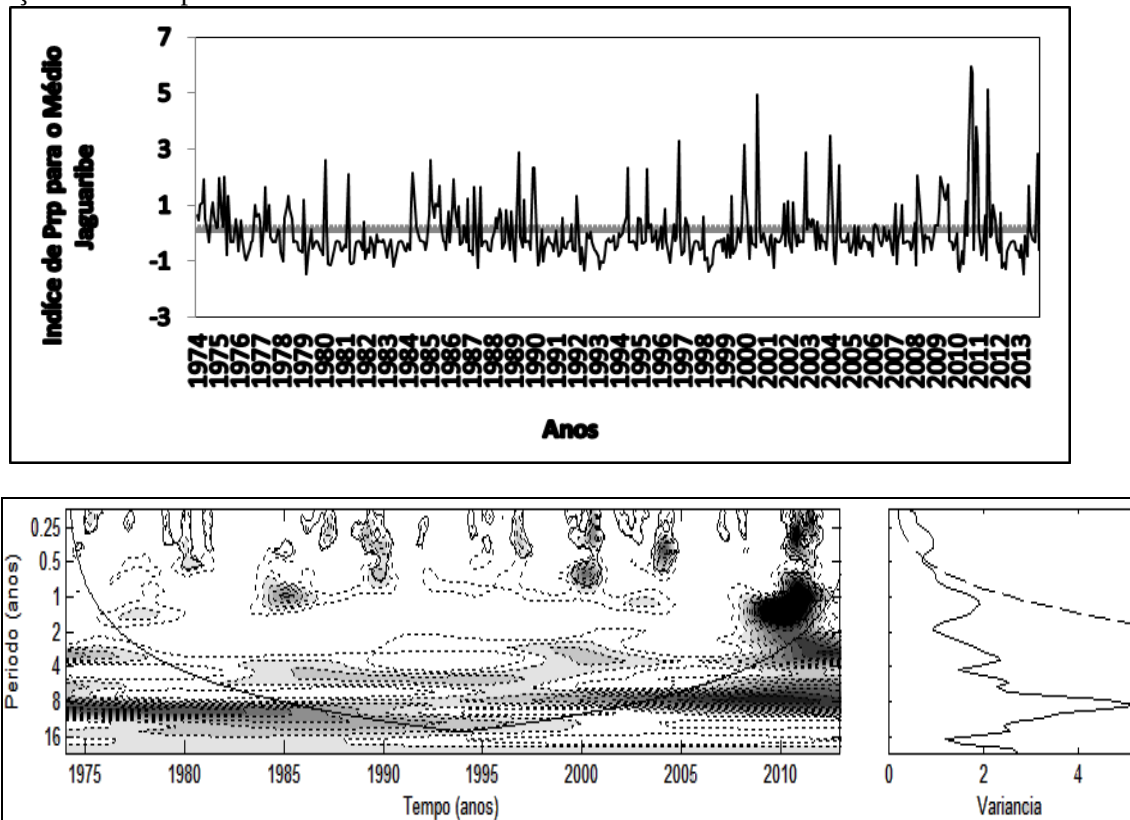
Fonte: Elaborado pelos autores.

Já os anos de 1976, 1989, 1992, 2005 e 2007 (Figura 2a), foram os mais secos do período, onde não houve associação de escalas favoráveis à precipitação na região. A falta de associação das distintas escalas temporais pode contribuir para a ocorrência de secas nos próximos anos, como também o comportamento dos fenômenos ODP e ENOS que são os responsáveis pelas escalas temporais dominante e secundária, respectivamente. Desta forma, a partir do ano seco de 2012, estima-se que os anos de 2032 e 2034 sejam também anos com Prp negativos devido ODP e ENOS. Com o acompanhamento climático dos eventos, quando não se observar a junção das escalas temporais de diferentes períodos, prevê-se que o ano será seco.

A Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe, estação de Tabuleiro do Norte, mostrou escala decadal de 22 anos (associada à Oscilação Decadal do Pacífico) existente ao longo da série, porém, sem significância estatística (Figura 3b). Associada ao ENOS e Dipolo do Atlântico (CLAUZET e WAINER, 1999), a escala temporal de 7 anos apresentou-se persistente ao longo da série, porém

sem apresentar significância estatística, a escala de 11 anos, ligada ao ciclo de manchas solares também foi vista. A escala de 1-2 anos apresenta maior evidência entre os anos de 2009 e 2012, já a escala sazonal, 0,25-0,5 anos, ocorreu ao longo do período com significância estatística (Figura 3c). Os anos de 2000, 2011 e 2012 apresentaram picos de precipitação, períodos estes onde ocorreu a associação de todas as escalas temporais (Figura 3a). Como já observado para o Alto Jaguaribe, essa associação entre as escalas resulta nos altos índices de precipitação presentes.

Figura 3: a) Índice de Prp para o Médio Jaguaribe (Tabuleiro do Norte); b) Espectro de potência de ondeleta (EPO). Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95% de probabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

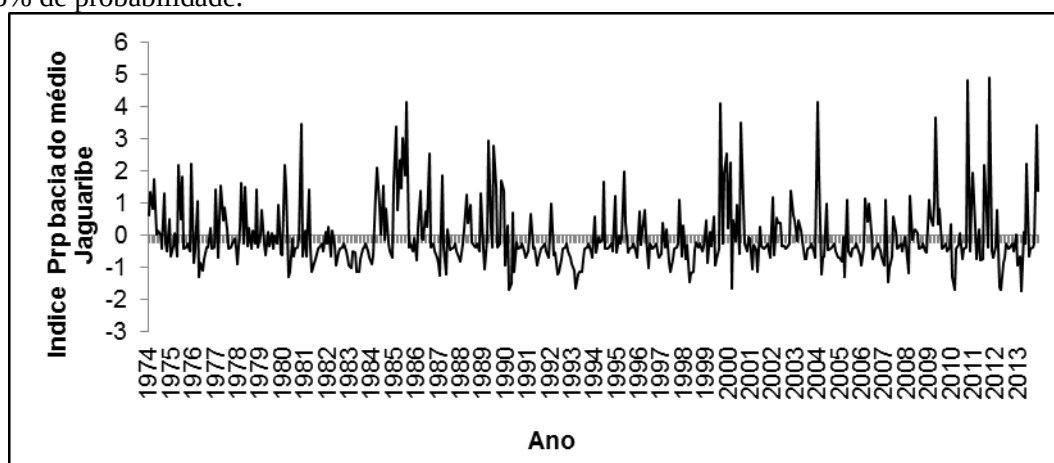
Os períodos mais secos ocorreram nos anos de 1979, 1987, 1992, 1998 e 2010 (Figura 3a), que pode ser explicado tanto pela falta de associação entre as escalas, como no ano de 1987, como também pelo comportamento tomado pelas escalas dominantes de ODP e ENOS, por exemplo, estando bem explícitas no ano de 2010 e este concomitantemente apresentando índices negativos de Prp. Possíveis índices de Prp negativos poderão ocorrer nos anos de 2030 e 2032.

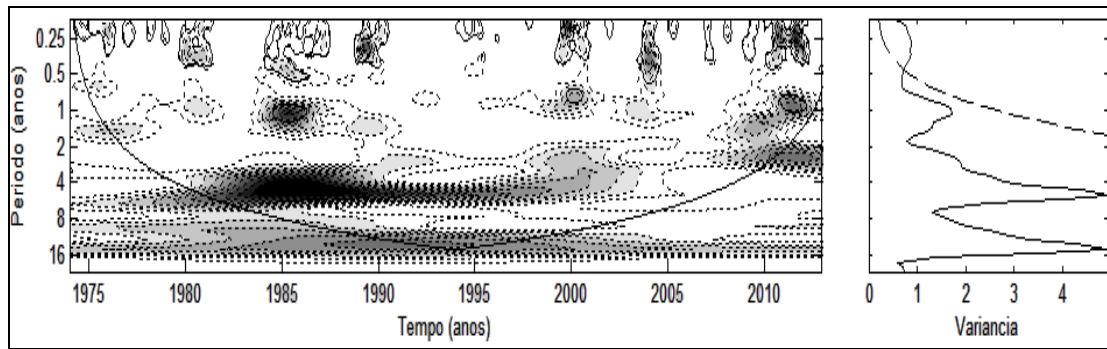
Para a Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe, estação de Alto Santo, as escalas que se mostraram persistentes em todo o período foi a de 07 e a de 22 anos, a primeira relacionada ao

ENOS e ao Dipolo do Atlântico, e a segunda estando relacionada à ODP (Figura 4b), porém sem significância estatística. A escala sazonal foi a única com significância estatística (Figura 4c). Pode-se observar que a união de diferentes escalas promoveu um alto índice de precipitação, tendo como exemplo o ano de 1985 quando se associaram escala sazonal de 0,25-0,5 anos, escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipolo do Atlântico e escala decadal de 22 anos ligada à ODP (Figura 4a). Outros altos valores de Prp são visualizados em 2000, 2010 e 2011. Esse aumento no índice de Prp é devido à junção citada anteriormente, a qual também foi encontrada por Hastenrath e Heller (1977), Rockwood e Maddox (1988) e Da Silva (2009), corroborando com os resultados encontrados aqui.

Já os anos de 1981, 1991, 2001, 2010, 2012 e 2013 (Figura 4a), onde não se verificou associações de escalas favoráveis à precipitação na região, foram os anos mais secos do período. Os próximos anos secos podem ocorrer em decorrência da falta de associação de escalas temporais distintas como mostrado anteriormente ou a partir do comportamento dos fenômenos ODP e ENOS que são os responsáveis pelas escalas temporais dominantes e secundárias. Desta forma, a partir do ano seco de 2013, estima-se que os anos de 2033 e 2035 sejam também anos com Prp negativos.

Figura 4: a) Índice de Prp para o Médio Jaguaribe (Alto Santo); b) Espectro de potência de ondeleta (EPO). Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95% de probabilidade.



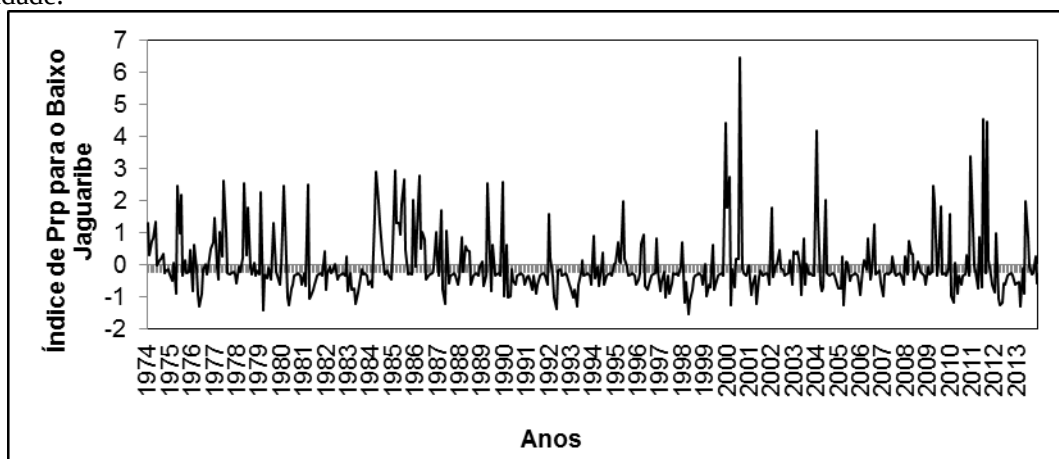


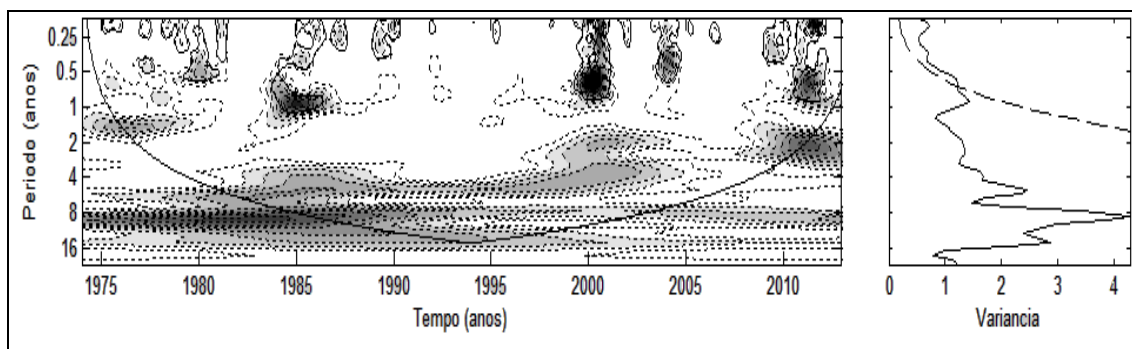
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe a escala de 7 anos referente aos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico mostraram-se persistentes em todo o período (Figura 5b), porém sem significância estatística. A escala Sazonal foi a única que demonstrou significância estatística (Figura 5c). Observou-se que a escala decadal de 22 anos ligada a Oscilação Decadal do Pacífico manteve-se ausente durante o período de 1983 a 1999. Pode-se ver que nos anos de 2000, 2004 e 2011 ocorreu a junção de diferentes escalas, promovendo um alto índice de precipitação (HASTENRATH e HELLER, 1977; ROCKWOOD e MADDOX, 1988; DA SILVA, 2009).

Porém nos anos de 1979, 1992-1993, 1998, 2012-2013 (Figura 5a) não ocorreu a interação entre fenômenos de diversas escalas, assim favorecendo assim, a ocorrência de secas. Como mencionado anteriormente, a falta de associação entre as escalas sazonal (0,25 - 0,5 anos), Enos e Dipolo do Atlântico (7 anos) e ODP (22 anos) pode contribuir para o acontecimento de uma futura seca, esta também pode vir em decorrência do comportamento do fenômeno ENOS por ser a escala de maior dominância.

Figura 5: a) Índice de Prp para o Baixo Jaguaribe; b) Espectro de potência de ondeleta (EPO). Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95% de probabilidade.





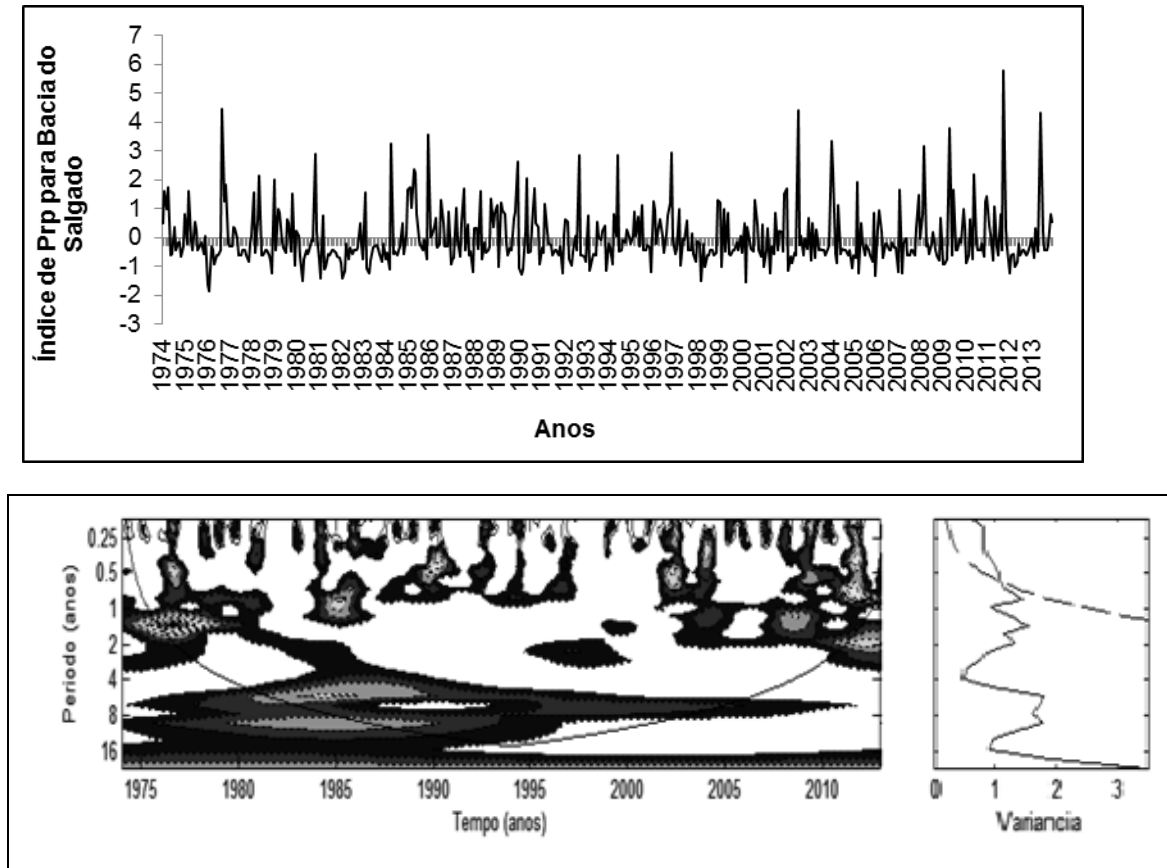
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Salgado a escala decadal de 22 anos mostrou-se persistente em todo o período (Figura 6b), porém sem significância estatística. A escala temporal de 7 anos, ligada ao ENOS e ao Dipólo do Atlântico (CLAUZET e WAINER, 1999), se pronuncia por quase todo o período excetuando-se os anos de 1974, 2012 e 2013. A escala sazonal foi a única com significância estatística (Figura 6c). Pode-se observar que a união de diferentes escalas promoveu um alto índice de precipitação, tendo como exemplo o ano de 1985 quando se associaram a escala sazonal de 0,25-0,5 anos, escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipolo do Atlântico e escala decadal de 22 anos ligada à ODP (Figura 6a). Nos anos 1977, 2002 e 2011 também houve altos índices de Chuvas. Hastenrath e Heller (1977), Rockwood e Maddox (1988) e Da Silva (2009) também observaram essa mesma correlação.

Já nos anos de 1976, 1981-83, 1998, 2000 e 2012 (Figura 6a), onde não se registrou a associação de escalas favoráveis à precipitação na região, foram os anos mais secos do período. Os próximos anos secos podem ocorrer em decorrência da falta de associação de escalas temporais distintas como mostrado anteriormente ou a partir do comportamento dos fenômenos ODP e ENOS que são os responsáveis pelas escalas temporais. Desta forma, a partir do ano seco de 2012, estima-se que os anos de 2032 e 2034 sejam também anos com Prp negativos devido ODP e ENOS, mas não se deve esquecer que com o acompanhamento climático desses fenômenos, quando observar-se que não está havendo “junção” de escalas temporais com períodos diferentes, prevê-se que o ano era seco.



Figura 6: a) Índice de Prp para a Bacia do Salgado; b) Espectro de potência de ondeleta (EPO). Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95% de probabilidade.

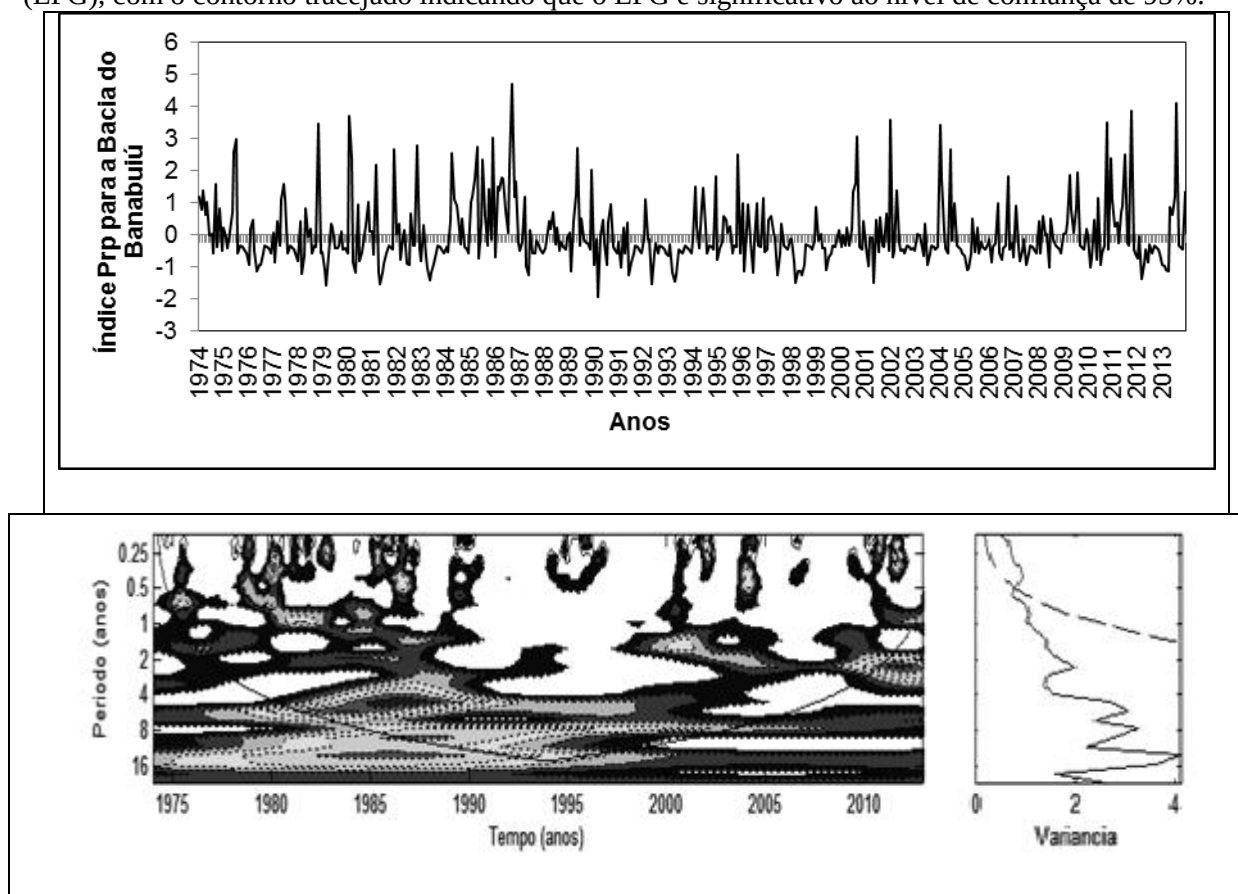


Na Bacia hidrográfica do Banabuiú a escala dominante foi a decadal (20 - 22 anos) ligada a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), também com a presença da escala sazonal e a escala temporal de 7 anos, ligada ao sinal persistente de ENOS e ao Dipolo do Atlântico. Entretanto, a única escala com significância estatística foi a sazonal, assim como para a Bacia do Salgado (Figura 7b). Pode-se observar que a ocorrência de sistemas e fenômenos meteorológicos de escalas diferentes (sazonal de 0,25-0,5 anos, escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipolo do Atlântico e escala decadal de 22 anos ligada à ODP), assim como para as Bacias citadas anteriormente, influenciou a precipitação no período de 1984 a 1987 e no ano de 2013, aumentando os valores de Prp nesses anos.

Os anos que não estavam dentro dessa faixa de junção de diferentes escalas demonstraram mais baixos índices pluviométricos, tendo como exemplo o ano de 1989, onde podemos observar através da ondeleta um vácuo na escala sazonal (Figura 7a). Dessa forma, torna-se necessário o

monitoramento da ODP, de escala dominante, assim como dos demais, cuja falta de associação pode acarretar em secas.

Figura 7: a) Índice de Prp para a Bacia do Banabuiú; b) Espectro de potência de ondeleta (EPO). Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.



4. CONCLUSÕES

Constatou-se, através das análises de ondeletas, que a escala decadal domina sobre as variações de precipitação, deste modo, pode-se inferir que a Oscilação Decadal do Pacífico influencia diretamente nos índices negativos e positivos de precipitação, e que associada ao sinal persistente de ENOS (7 anos) promoveram, dependendo de suas fases, tanto o aumento quanto a diminuição dos índices pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe.

Desse modo, assim como o monitoramento para a previsão do comportamento dos fenômenos de diferentes escalas temporais, torna-se importante o acompanhamento da ODP e ENOS, por exemplo, a fim de prever eventos de Prp extremos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU SÁ, L.D.; SAMBATTI, S.B.M.; GALVÃO, G.P. **Ondeleta de Morlet aplicada ao estudo da variabilidade do Nível do rio Paraguai em Ladário, MS**; Número Especial, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol.33, p.1775-1785, out. 1998.
- ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: surface climate, **Mon. Wea. Rev.**, v.116, p.505-524, 1988.
- ANDREOLI, R.V., KAYANO, M.T., GUEDES, R.L., OYAMA, M.D., ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 337-344, 2004.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Enso-Related Rainfall Anomalies in South America and Associated Circulation Features During Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes, *International Journal of Climatology*. **Internacional Journal Climatology**, 25: 2017–2030, 2005.
- BARBOSA, E.B.M.; ROSA, M.M.; VIJAYKUMAR, N.L.; BOLZAN, M.J.A.; TOMASELLA, J. **Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares na Micro-bacia Amazônica**, INPE, São José dos Campos, 2004.
- CLAUZET, G.; WAINER, I. Identificação da variabilidade de baixa frequência em algumas regiões da costa sudeste-nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Oceanografia**. v.47, n.1, p. 69-78, 1999.
- DA SILVA, D. F. **Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroeconômicos e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)**. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, 174p. UFCG (PB), março 2009.
- DA SILVA, D. F. COSTA, I. M.; MATEUS, A. E. Escalas temporais e tendências observadas nas temperaturas máximas no Estado do Ceará. **Revista Ambientia**. Guarapuava (PR) v.10 n.2 p. 465 - 487 Maio/Ago 2014.
- DA SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 324-332, 2010.
- GU, D.; PHILANDER, G.H. Secular changes of annual and interannual variability in the Tropics during the past century. **Journal of Climate**, 8, 864-876, 1995.
- HASTENRATH, S., HELLER, L: Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quart. J. R. Meteor. Soc.**, 110, 411-425, 1977.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Working Group III – **Mitigation of Climate Change**. Chapter 8: Transport. Acesso em 03/12/2014. Disponível em: http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final_draft_postplenary_chapter8.pdf
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2010. Clean Development Mechanism, **Emission factor for the Brazilian South-Southeast-Midwest interconnected grid**. Acesso em 03-12-2014. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/>.
- IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate Change 2007 – **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 11, n. 1 e 2, p. 06 -17, Jun. 1996.

- KERR, R. A. (1996). A now dawn for sunclimate links? **Science**, Washington, DC, v.271, nº 5254, p. 1360- 1361.
- KOUSKY, V. E.; CHU, P.S. Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil, **J. Meteor. Soc. Japan**, v. 56, p. 457-466, 1978.
- LABAT, D; RONCHAIL, J.; GUYOT, J.L. Recent advances in Wavelet analyses, part 2-Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability. **Journal of Hidrology**, p. 1-23, 2005.
- MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. INPE, São José dos Campos, 2008. Disponível em <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>. Acesso em 01-12-2014.
- MARENGO, J.A. Variations and Change in South American streamflow. **Climate Change**, Dordrecht, v.31, nº1, p.99-117, 1995.
- MOLION, L.C.B. Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico, **Revista Climanalise**. Ano 3, n.1, 2005.
- MORETTIN, P.A. **Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas**, edusp, 193 p., 1999.
- NOBRE, C.; PAIÃO, L.B.F.C.; AMENDOLA, M. Análise espectral das cotas do rio Negro em Manaus. São José dos Campos, INPE, **Relatório técnico INPE**, 16p., 1984.
- ROCKWOOD, A. A.; MADDOX, R. A. Mesoscale and synoptic scale interactions leading to intense convection: The case of 7 June 1982. **Weather and Forecasting**, v. 3, n.1, p. 51-68, 1988.
- SANTOS, C.A.C.; NEALE, C.M.U.; RAO, T.V.R.; SILVA, B.B. 2011. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. **International Journal of Climatology**, 31: 1813- 1822 (2011), DOI: 10.1002/joc.2205, 2011.
- SCHNEIDER M., VITORINO, I., SILVA DIAS, P.L. Monitoramento da Intrasazonalidade por meio da Transformada em Ondeletas, Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...**, Fortaleza-2005.
- SOUSA, A. B.; DA SILVA, D. F. Causas climáticas da variabilidade pluviométrica e tendências climáticas na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe (CE). **Caminhos de Geografia** (UFU), v. 14, p. 101, N.46-117, 2013.
- TORRENCE, C.; COMPO, G.P.: A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, p.61-78, 1998.
- TORRENCE, C.; WEBSTER, P.J. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. **Journal of Climate**, 12, 2679-2690, 1999.
- TRIGO, R. M.; GALVÃO, C. O.; TRIGO, I. F. **Aplicação de Wavelets ao estudo da variabilidade de caudais diários: uma comparação entre algumas bacias portuguesas e brasileiras**. In: IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 1999, Coimbra. APRH, 1999. p. 1-15.
- TUCCI, C. E. M; BRAGA, B. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**, Coleção ABRH, 348 p., 2003.
- VITORINO, M.I. **Análise das Oscilações Intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes Utilizando a Análise de Ondeletas**, Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos, 2003.



WENG, H. LAU, K-M. Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the Tropical Western Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.51, n.17, p.2523-2541, 1994.

Recebido em 08 de outubro de 2015
Aprovado em 13 de setembro de 2016