



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Previsão Climática e de Ciclos Climáticos para o Estado do Ceará

Djane Fonseca da Silva¹, Iuri Moreira Costa², Antônio Edgar Mateus² e Aline Bezerra de Sousa³

¹ Meteorologista, Dr^a em Recursos Hídricos, Prof^a Universidade Federal do Ceará (UFC/Campus Cariri), Juazeiro do Norte, CE, Brasil. e-mail: djane.fonseca@cariri.ufc.br; ²Alunos do curso de Agronomia, bolsista FUNCAP, Universidade Federal do Ceará (UFC/Campus Cariri), Juazeiro do Norte (CE), Brasil; ³ Aluna do curso de Agronomia, bolsista PIBIC, Universidade Federal do Ceará (UFC/Campus Cariri), Juazeiro do Norte (CE), Brasil.

Artigo recebido em 09/07/2013 e aceito em 27/09/2013

RESUMO

Através das Análises de Ondeletas, concluiu-se que todas as oito macrorregiões do estado do Ceará sofrem influência das variações e escalas sazonais, interanuais e decadais. Comprovou-se que sazonalidade, ENOS, Dipólo do Atlântico, Ciclo de manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico influenciam as precipitações no estado do Ceará. Assim, foi possível prever os máximos de precipitação para cada região: Região de Baturité, em 2016, 2020-2022; na Região Metropolitana de Fortaleza, em 2014 e 2024; na Região Sertão Central, em 2024; na Região Litoral Leste/Jaguaribe, em 2024 e 2027; na Região Cariri/Centro Sul, em 2018 e 2020; na Região Sertão dos Inhamuns, em 2015; na Região Litoral Oeste em 2028 e para Região Sobral/Ibiapaba, em 2030.

Palavras chaves: Oscilação Decadal do Pacífico; ENOS; Análises de Ondeletas.

Climate prediction and climate cycles for the state of Ceará

ABSTRACT

Through Wavelet analysis, was concluded that all eight geographical regions of the state of Ceará suffer influences of variations and seasonal scales, interannual and decadal. Proved that seasonality, ENSO, Atlantic dipole, cycle of sunspots and the Pacific Decadal Oscillation influence rainfall in the state of Ceará. Thus was possible to predict the maximum rainfall for each region: Region Baturite, 2016, 2020-2022, in the Metropolitan Region of Fortaleza, in 2014 and 2024, the Sertão Central Region, in 2024, in the East Coast Region / Jaguaribe in 2024 and 2027; Cariri Region/South Centre in 2018 and 2020, the Region of Sertão Inhamuns in 2015; West Coast Region in 2028 and Sobral / Ibiapaba in 2030.

Keywords: Pacific Decadal Oscillation, ENSO, Wavelet Analysis

Introdução

O Nordeste do Brasil (NEB) é conhecido por apresentar grande variabilidade da precipitação, ou seja, anos com secas severas ou com chuvas excessivas, que têm sido relacionadas aos padrões de anomalias de grande escala da circulação atmosférica

global principalmente o fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (ENOS).

As secas severas no NEB, objeto de inúmeros estudos por seus impactos sociais e econômicos, têm sido relacionadas à ocorrência do El Niño. Entretanto, a relação

* E-mail para correspondência: djane.fonseca@cariri.ufc.br

aa Silva, D. F., Costa, I. M., Mateus, A. E. Sousa, A. B. ae

entre El Niño e as secas no NEB não é unívoca (Kane; Trivedi; 1988; Kane, 1992; Kane, 1997). Por exemplo, Kane (1997) mostrou que dos 46 El Niño (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados à secas severas em Fortaleza, por exemplo.

As ocorrências simultâneas de El Niño e secas no NEB se limitam a alguns eventos específicos. Isso se deve ao fato de que a precipitação nessa região é também fortemente relacionada às anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSMs) do Atlântico tropical. Moura e Shukla (1981) mostraram que para alguns anos, os eventos de secas do NEB estão associados a um dipolo meridional de ATSMs no Atlântico tropical. A posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) são afetadas e, por sua vez, influencia a precipitação no NEB. O modo de Dipolo do Oceano Atlântico envolve variações de TSM em ambos os hemisférios, em escalas de tempo sazonal, interanual e decenal (Servain, 1991). Já Clauzet e Wainer (1999), relacionam o Dipolo do Atlântico à escala de aproximadamente 7 anos e à escala decadal; resultados também encontrados para o Nordeste do Brasil.

Kayano e Andreoli (2006) mostraram que a variabilidade de precipitação no NEB está mais fortemente relacionada com as condições do Oceano Atlântico tropical, do que com as do Pacífico tropical.

Vale lembrar que apesar da variabilidade de TSM no Oceano Pacífico ser fortemente influenciada pela variabilidade interanual associada ao ENOS, outros fenômenos de escala de tempo mais longa também atuam neste setor, como a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).

Zhang et al. (1997) separaram a variabilidade temporal do Oceano Pacífico em duas componentes: uma relacionada à escala de variabilidade interanual do ciclo ENOS, e a outra linearmente independente incluindo toda a variabilidade interdecadal. Além disso, os espectros das séries de ATSM, para os Oceanos Atlântico e Pacífico, são caracterizados por oscilações em escalas de tempo interanual e decadal, sendo a escala interanual mais pronunciada na região do Oceano Pacífico, e a decadal no Oceano Atlântico (Hastenrath e Kaczmarczyk, 1981; Sperber e Hameed, 1993; Mehta e Delworth, 1995).

Os efeitos combinados da ODP e do ENOS na precipitação da América do Sul foram estudados por Andreoli e Kayano (2005) e Da Silva et al. (2011). Estes trabalhos mostram que os efeitos do ENOS na precipitação da América do Sul podem ser acentuados ou reduzidos, dependendo se o ENOS e a ODP estão na mesma fase ou em fases opostas.

De forma independente, as multi-escalas da variabilidade temporal da série da precipitação de Fortaleza foram analisadas (Markham, 1974; Chu, 1984; Hastenrath e

Kaczmarczyk 1981; Andreoli et al. 2004). No entanto, no estado do Ceará, que enfrenta em alguns anos a problemática da escassez hídrica e de abastecimento em municípios importantes do NEB, esse tipo de estudo ainda não foi realizado. Deste modo, um trabalho mais detalhado das variações pluviométricas deste estado, reveste-se de importância quando analisados os impactos do clima em áreas de interesse sócio-econômico e ambiental. É através de estudos como o presente, que se torna possível conhecer os problemas de uma região e ao mesmo tempo tentar solucioná-los ou minimizá-los por meio de planejamento de ações nos setores social, econômico e ambiental. O presente estudo será muito útil para o desenvolvimento regional através da gestão dos recursos hídricos e naturais locais, somando-se à compreensão dos mecanismos geradores de precipitação, da sua variabilidade espaço-temporal e dos seus efeitos que, ora afetam as atividades agrícolas e conseqüentemente a população da região, que ganhará no sentido de planejar suas atividades e reduzir perdas. Ganha destaque também, esse tipo de estudo na área de Risco climático e Previsão climática.

Para tanto, as variações da precipitação no estado do Ceará serão estudadas utilizando a Análise de Ondaleta (AO), que 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, 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).

Assim, o objetivo do presente trabalho é, através da AO, estudar a variabilidade pluviométrica das oito (8) macrorregiões do estado do Ceará, examinando aspectos da variabilidade pluviométrica de cada região, bem como determinando as escalas temporais dominantes e ciclos, gerando previsão climática e de risco climático.

Material e Métodos

Área de estudo

O Estado do Ceará (Figura 1) é uma das 27 unidades federativas do Brasil. É o décimo segundo estado mais rico do país. Está situado na Região Nordeste e tem por limites o Oceano Atlântico a norte e nordeste, Rio Grande do Norte e Paraíba a leste, Pernambuco a sul e Piauí a oeste. Sua área total é de 146.348,30 km² ou 9,37% da área

do Nordeste e 1,7% da superfície do Brasil (Ceará, 2008).

A capital e maior cidade é Fortaleza, sede da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Outras cidades importantes fora da RMF são: Juazeiro do Norte e Crato na Região Metropolitana do Cariri, Sobral na região noroeste, Itapipoca na região norte, Iguatu na região centro-sul e Quixadá no sertão. Ao todo são 184 municípios.



Figura 1: Estado do Ceará destacado em relação ao Brasil. (Fonte: CEARÁ, 2008)

O estado está no domínio da Caatinga, com período chuvoso restrito a cerca de quatro meses do ano e alta biodiversidade adaptada. A sazonalidade característica desse bioma se reflete em uma fauna e flora adaptadas às condições semi-áridas. As regiões mais áridas se situam na Depressão Sertaneja, a oeste e sudeste. Próximo ao litoral, a influência dos ventos alísios propicia um clima subúmido, onde surge vegetação mais densa, com forte presença de carnaubais, os quais caracterizam trechos de mata dos cocais. O clima também se torna subúmido, com caatinga mais densa e maior

pluviosidade, nas adjacências das chapadas e serras (Ceará, 2008).

O clima do Ceará é marcado pela aridez. As secas são periódicas, e, desde que a ocupação territorial foi consolidada, a população tenta resolver o problema da escassez de água (Ceará, 2008).

Dados

Serão utilizados dados de precipitação mensal para as oito macrorregiões do estado do Ceará: 1- Região Metropolitana de Fortaleza (RMF); 2- Litoral Oeste; 3- Sobral/Ibiapaba, 4- Baturité; 5- Sertão dos Inhamuns; 6- Sertão Central; 7- Litoral Leste/Jaguaribe e 8- Cariri/Centro Sul.

Todos os dados foram obtidos através da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e seus períodos são de 1974 a 2008.

Análise de Ondaletas (AO)

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 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:

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

Em que: $\eta = t/s$, onde t é o tempo, s é a escala da ondeleta e ω_0 é uma frequência não dimensional. Todos esses parâmetros são 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:

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

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:

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

Em que: o asterisco (*) denota o complexo conjugado de phi. 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.

Será gerado um índice normalizado no intuito de extrair a variabilidade sazonal, tratar os dados "brutos" e destacar as anomalias. O índice de precipitação (Prp) para cada uma das oito macrorregiões do estado do Ceará será calculado para todo o período de 1974 a 2008 e se referem à média das estações de cada região, de suas anomalias mensais de precipitação normalizadas pelos respectivos desvios-padrão mensais, calculadas através de (Da Silva, 2009; Da Silva et al., 2010):

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

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 climatológica e o desvio padrão do mês i .

O uso de um índice de precipitação é justificado pelo fato de que a variabilidade de precipitação na região NEB tem sinal homogêneo, como mostrado e utilizado por diversos autores (Kousky e Chu, 1978; Aceituno, 1988; Andreoli et al., 2004). Os índices de precipitação acima descritos foram submetidos à análise de ondeletas.

Resultados e Discussão

Abaixo tem-se os resultados encontrados pelas análises de ondeletas. A escala sazonal foi significativa estatisticamente em todas oito regiões. (Figuras 3b, 5b, 7b, 9b, 11b, 13b, 15b, 17b). No entanto, todas as regiões apresentaram em suas séries as presenças de escalas sazonais a decadais.

As regiões de Baturité (Figuras 2, 3a e 3b), Região Metropolitana de Fortaleza (Figuras 4, 5a e 5b), Sertão Central (Figuras 6, 7a e 7b), e Litoral leste/Jaguaribe (Figuras 8, 9a e 9b) tem suas séries temporais de precipitação dominadas pela escala decadal de 20,2-22 anos, seguida pela escala de 11 anos. Isso significa que variações climáticas com

esse período de ocorrência exercem a maior influência ao longo da série.

Segundo a literatura, citados em Da Silva (2003), períodos de aproximadamente 21 anos, podem estar relacionados com ciclos de atividade solar, variações de atração gravitacional entre Terra-Lua-Sol ou variações internas do sistema Terra-oceano-atmosfera. Já os de 11 anos são associados ao ciclo de manchas solares (Kerr, 1996 e Molion, 2005).

A partir da informação que esses ciclos acima citados têm influência sobre a precipitação dessas regiões, fica mais fácil prever o comportamento de tal variável diante das do acompanhamento climático.

Na região de Baturité (Figuras 2 e 3) a escala decadal de 20,2 – 22 anos é a escala dominante na série, seguida pelas escalas de 11 anos, pelas escalas de 3 e 7 anos ligadas ao ENOS e pela escala interanual de 1-2 anos; no entanto, de acordo com Clauzet e Wainer (1999), a escala de 7 anos também está associada ao Dipolo do Atlântico. A escala sazonal apresentou a maior significância estatística (Figura 3b).

A união das escalas sazonal, interanual, escalas de 3 e 7 anos ligadas ao ENOS e escalas decadais, no ano de 2000, por exemplo, ocasionou o aumento na precipitação local (Figuras 2 e 3a). Um ciclo de 20,2-22 anos foi encontrado na série do índice de Prp (Figura 2) e um ciclo menor de 12 anos. O ciclo maior iniciou em 1980 com final em 2000-2002; sendo esses anos

marcados por grandes eventos de chuva. Esse ciclo é resultado da escala dominante de 20,2-22 anos associada à escala decadal da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e o ciclo de aproximadamente 12 anos é resultante da escala de 11 anos ligada ao ciclo

de manchas solares. Desta forma, eventos de mesma intensidade, de acordo com as análises de ondeletas, ocorrerão nos anos de 2016 (ciclo de 12 anos) e nos anos de 2020 e 2022 (ciclo de 20,2-22 anos).

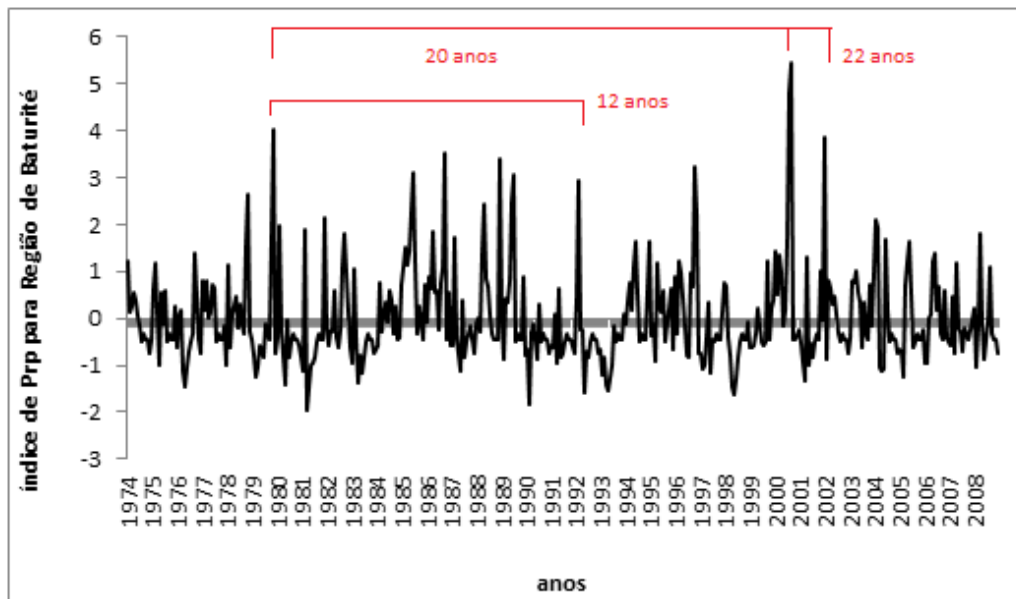


Figura 2: Índice de precipitação (Prp) para Região de Baturité normalizado pelo desvio padrão.

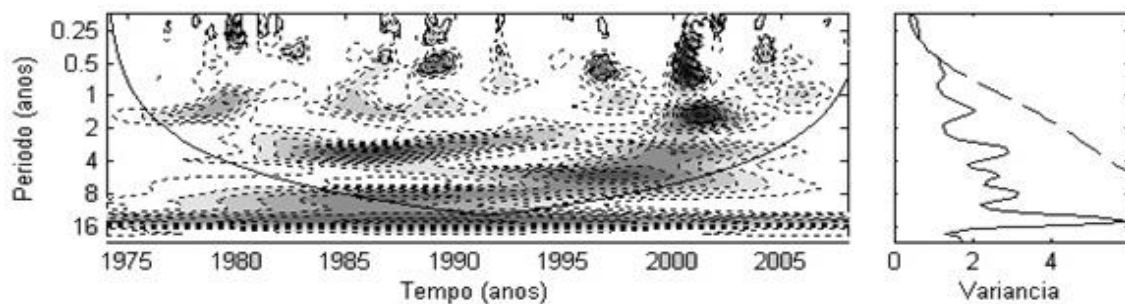


Figura 3: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região de Baturité. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Para a Região Metropolitana de Fortaleza (Figuras 4 e 5) a escala decadal de 20,2 – 22 anos também é a escala dominante na série, seguida pelas escalas de 11 e 7 anos ligadas ao ciclo de manchas solares e ao ENOS, respectivamente (Figura 5a e 5b). A escala sazonal também apresentou a maior significância estatística (Figura 5b). A união das escalas sazonal, interanual, escala de 7 anos ligada ao ENOS e escalas decadais, nos

anos de 1986 e 2000, ocasionaram aumento na precipitação local (Figuras 4 e 5a). O ciclo de aproximadamente 20 anos ocorreu de 1984-2004 e o menor ciclo de 10 anos, de 1984 a 1994, resultantes das escalas decadais dominantes sobre a precipitação. É possível prever, a partir das análises de ondeletas, que em 2014 e 2024, na RMF, ocorram anos chuvosos e aumento no índice de Prp.

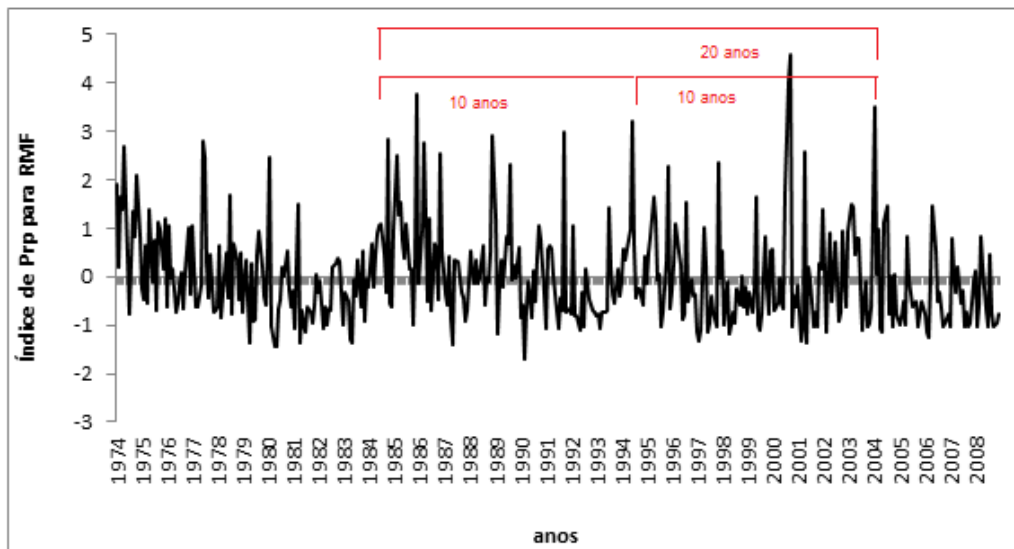


Figura 4: Índice de precipitação (Prp) para Região Metropolitana de Fortaleza normalizado pelo desvio padrão.

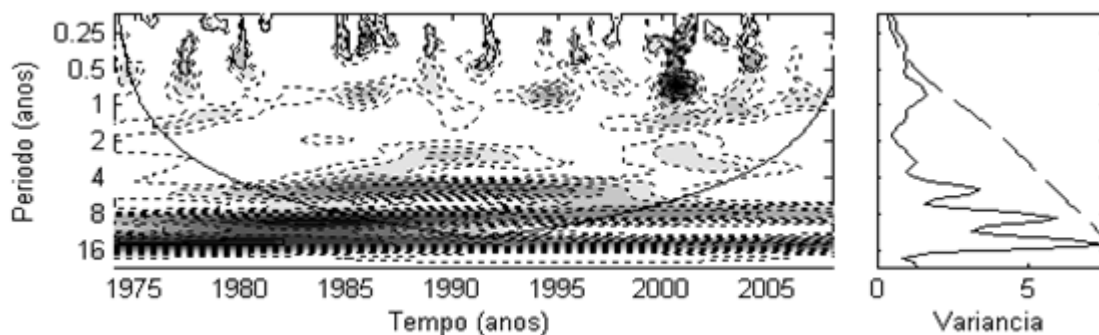


Figura 5: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Metropolitana de Fortaleza. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de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

No Sertão Central (Figuras 6, 7a e 7b), as escalas dominantes decadais, a influência da escala sazonal e a junção da ocorrência de sistemas e fenômenos meteorológicos de escalas diferentes interferem sobre a precipitação em 1980, 1985 e 2001 e

aumentam os valores de Prp nesses anos. De acordo com ciclos e escalas dominantes encontrados na AO, os eventos extremos podem repetir-se em 2024 nessa região (22 anos após 2002).

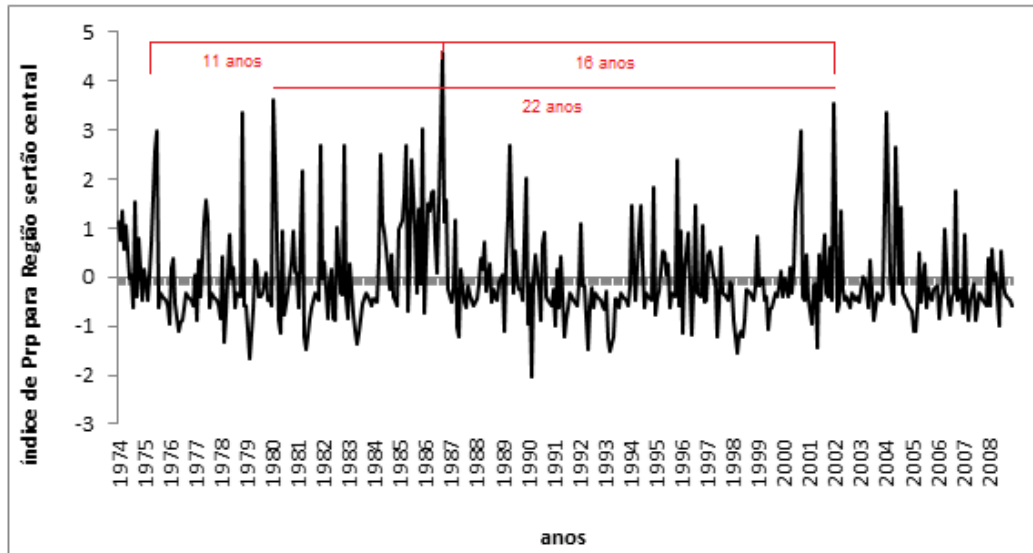


Figura 6: Índice de precipitação (Prp) para Região Sertão Central normalizado pelo desvio padrão.

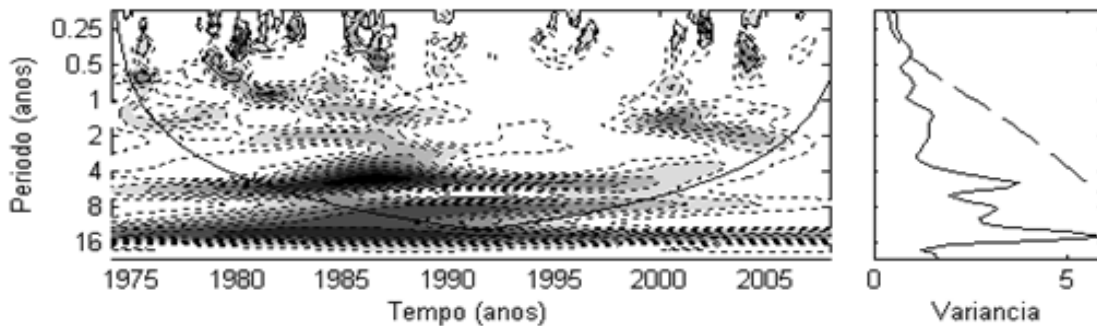


Figura 7: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Sertão Central. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global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

Por fim, sob a mesma influência das escalas decadais associadas e com significativa

influência da escala sazonal, a Região do Litoral Leste/Jaguaribe (Figuras 8, 9a e 9b)

também apresentou o mesmo comportamento das Regiões do Sertão Central, Baturité e Região Metropolitana de Fortaleza. A associação das distintas escalas temporais ocorreu visivelmente nos anos de 1977 e 2002 (marcados por linha vermelha). O ciclo de 20,2 – 22 anos observado nas três regiões anteriores apresentou resposta na série de precipitação, um ciclo de 25 anos e com

menor ocorrência de máximos de Prp no decorrer do ciclo. Um ciclo secundário de 16 anos foi verificado dentro do ciclo de 25 anos. O ciclo de 16 anos também foi visualizado no EPG e na série de Prp, com máxima significância estatística. Desse modo, máximos de Prp são esperados para 2024- ciclo de 16 anos e 2027- ciclo de 25 anos.

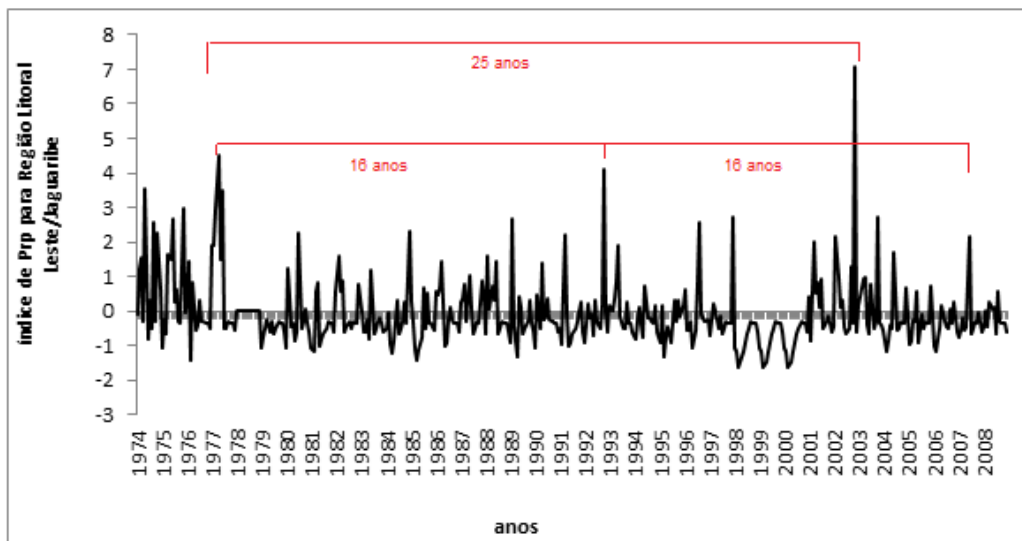


Figura 8: Índice de precipitação (Prp) para Região Litoral Leste/Jaguaribe normalizado pelo desvio padrão.

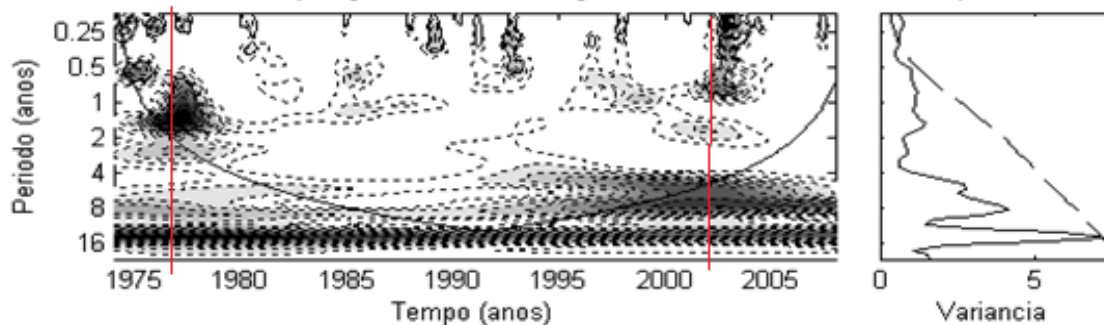


Figura 9: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Litoral Leste /Jaguaribe. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

As regiões Cariri/Centro Sul e Sertão dos Inhamuns apresentaram em comum as

escalas dominantes de 7 e 11 anos (Figuras 11a, 11b, 13a e 13b). Como citado

anteriormente a escala de 7 anos é ainda sinal persistente de ENOS e ligada ao Dipolo do Atlântico, e a escala de 11 anos está ligada ao ciclo de manchas solares.

A região Cariri/Centro Sul (Figuras 11a e 11b) mostrou ocorrência de escala de 22

anos, sem significância estatística e de escala sazonal, com maior significância estatística. A união das escalas temporais com períodos diferentes resultaram em altos índices de Prp na região nos anos de 1977, 1994-95, 2000 e 2002 (Figura 10).

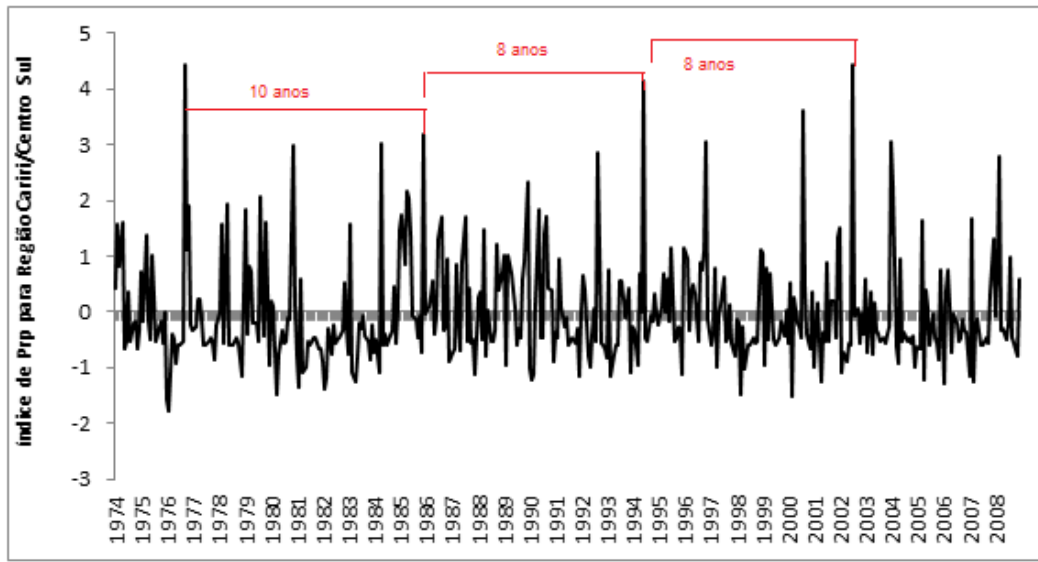


Figura 10: Índice de precipitação (Prp) para Região do Cariri/Centro Sul normalizado pelo desvio padrão.

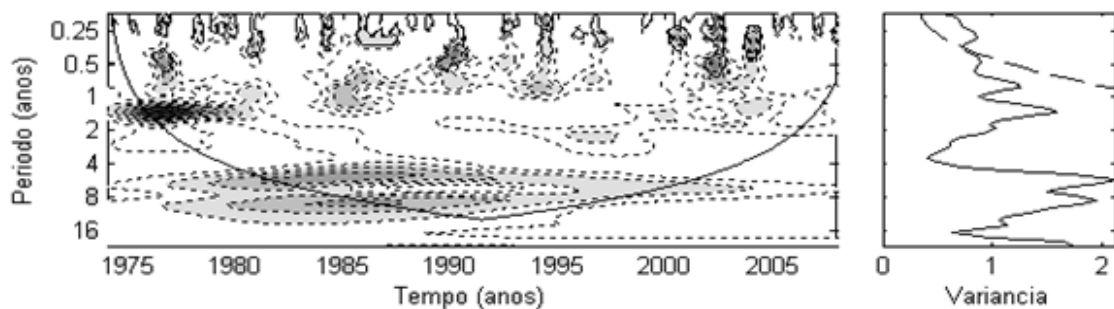


Figura 11: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região do Cariri/Centro Sul. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Percebe-se que em decorrência das escalas dominantes de 7 e 11 anos (Figura 11b), altos índices de Prp ocorreram em ciclos ou intervalos de 8 e 10 anos como observado

na Figura 10a)- de 1976 a 1986, intervalo de 10 anos; de 1986 a 1994, intervalo de 8 anos e de 1994 a 2002, outro intervalo de 8 anos; sendo todos esses anos marcados por fortes

chuvas. O último ciclo que iniciou em 2002 teria seu fim em 2010, ano realmente chuvoso no Nordeste do Brasil. Os próximos máximos de Prp segundo as análises de ondeletas, serão em 2018 e 2020.

Já na região do Sertão dos Inhamuns (Figuras 13a e 13b) escala decadal influenciou a série

de precipitação e a escala interanual de 1-2 anos foi vista (Figuras 11a e 11b).

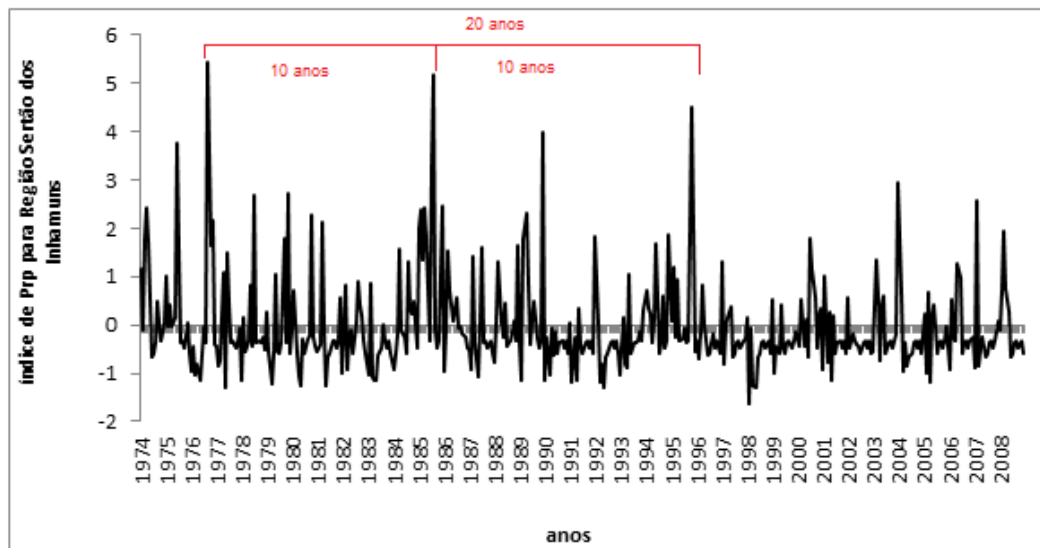


Figura 12: Índice de precipitação (Prp) para Região Sertão dos Inhamuns normalizado pelo desvio padrão.

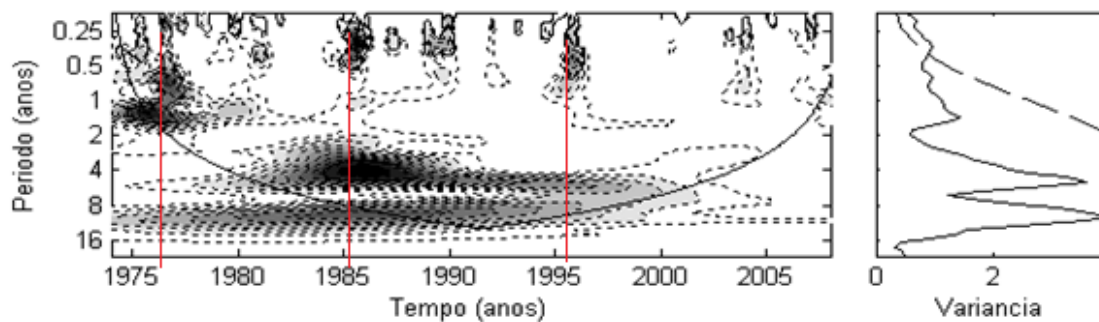


Figura 13: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Sertão dos Inhamuns. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

A escala sazonal também apresentou a maior significância estatística. Nessa região, a união das escalas temporais com períodos diferentes (Figura 13a) resultaram em altos

índices de Prp nos anos de 1976, 1985, 1990, 1996 e 2004 (Figura 12). Diante dos ciclos identificados pelas AO, prevê-se que outro máximo de Prp ocorrerá em 2015 na região

do Sertão dos Inhamuns, já que o fim do ciclo de 20 anos inicia em 1995.

Na região Litoral Oeste a escala decadal de 22 nos foi a escala dominante, visível em toda a série e com a maior significância (Figuras 15a e 15b). Assim, o Litoral Oeste sofre a influência da Oscilação Decadal do Pacífico e com seu acopanhamento, é possível prever variações pluviométricas. Na Região Litoral Oeste, a escala temporal de 7 anos

mostrou-se no período de 1980 a 1990, e a escala sazonal em alguns anos ao longo da série. Eventos de aumento na precipitação ocorridos em 1975, 1985, 1987, 1990, 1996, 1998, 2000, 2004 e 2008 ocorreram em decorrência da associação da escala sazonal com as demais (Figura 14). É esperado máximo de precipitação (Prp) em 2028.

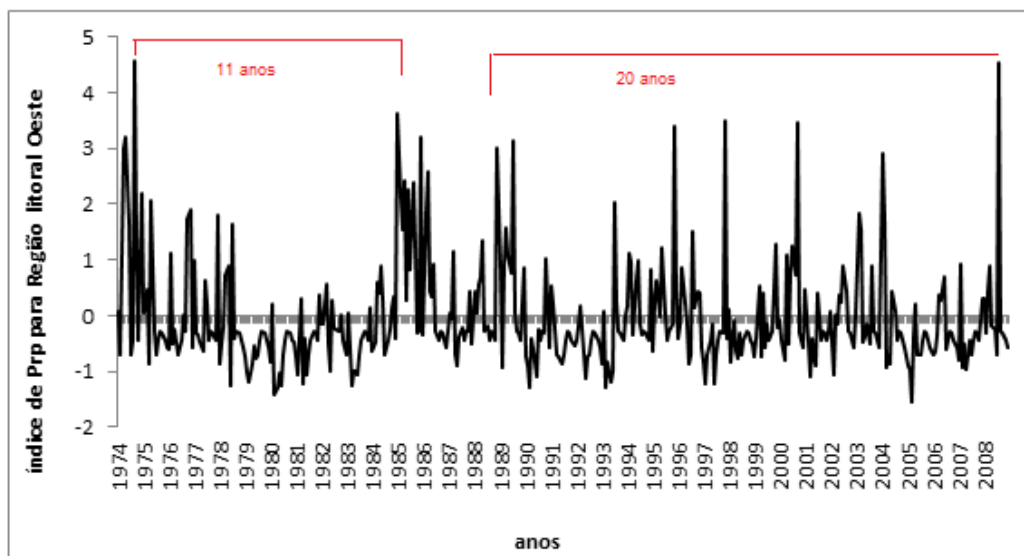


Figura 14: Índice de precipitação (Prp) para Região Litoral Oeste normalizado pelo desvio padrão.

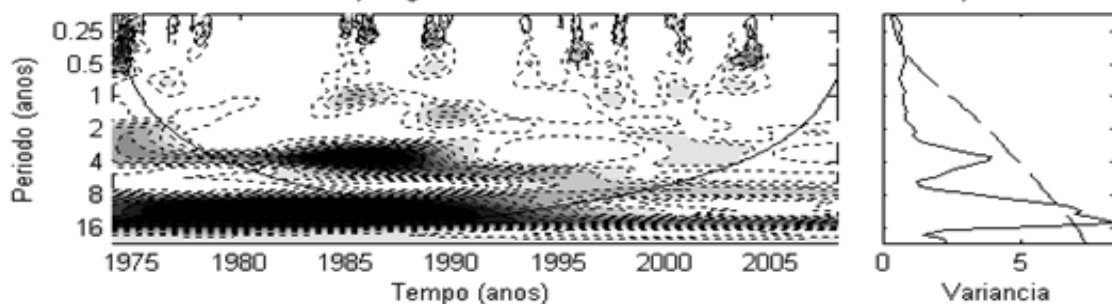


Figura 15: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Litoral Oeste. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Na região de Sobral/Ibiapaba a escala decadal de 22 anos também mostrou-se

dominante, com significância estatística e persistente (Figura 17a e 17b). A partir do ano

de 1983 a escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipólo do Atlântico se pronuncia (Figura 17a) , o que influencia na maior variabilidade

pluviométrica da série a partir desse ano (Figura 16).

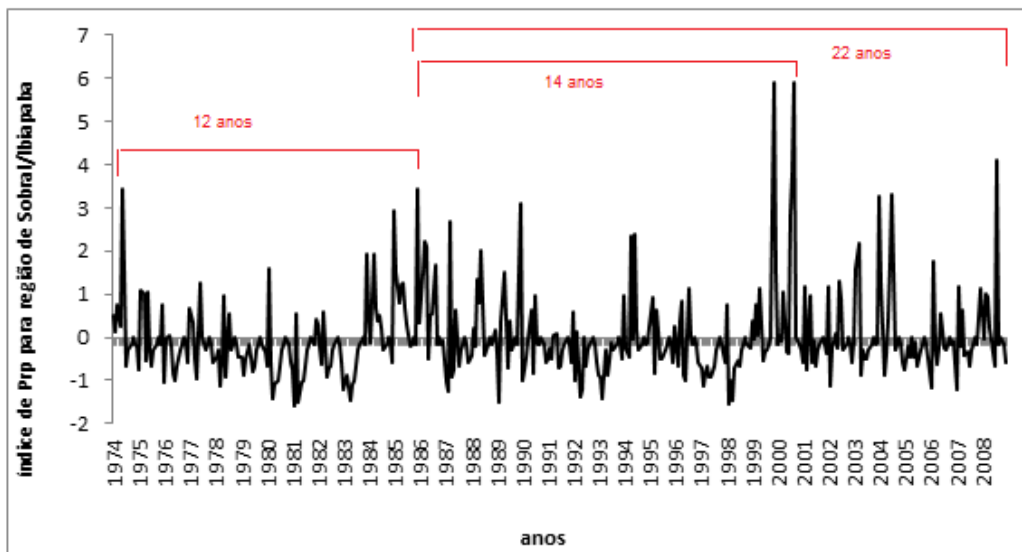


Figura 16: Índice de precipitação (Prp) para Região Sobral /Ibiapaba normalizado pelo desvio padrão.

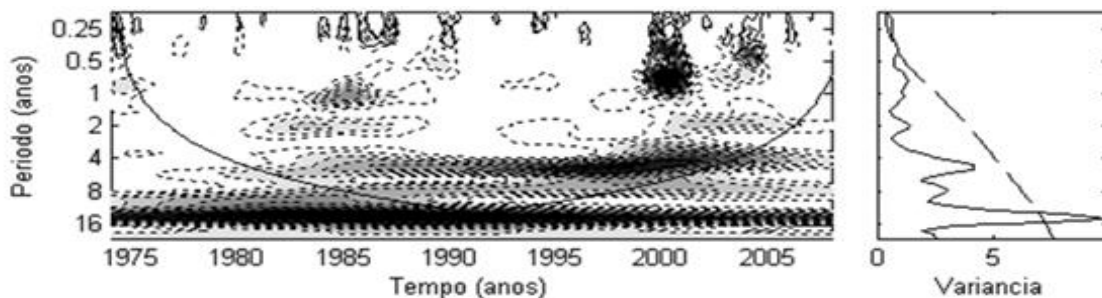


Figura 17: a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Sobral /Ibiapaba. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

A escala sazonal também mostrou-se significativa (Figura 17b). Por fim, a união de diferentes escalas promoveram altos índices de Prp (Figura 16), tendo como exemplo o ano de 2000, quando associaram-se escala sazonal de 0,25-0,5 anos, escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipólo do Atlântico e escala decadal de 22 anos ligada à ODP.

Como a escala dominante na variabilidade pluviométrica na região é de 22 anos, espera-se que em 2030 haja altos valores de Prp.

Conclusões

Concluiu-se que todas as oito macrorregiões do estado do Ceará sofrem

influencia das variações e escalas sazonais, interanuais e decadais sob suas precipitações.

É fato comprovado que sazonalidade, ENOS, Dipólo do Atlântico, ciclo de manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico influenciam as precipitações no estado do Ceará, desta forma, com a informação de quais fenômenos climáticos ou sistemas meteorológicos influenciam diretamente cada uma das macrorregiões do Ceará, com o acompanhamento climático dos mesmos, é possível conhecer mais profundamente as variações pluviométricas de cada região, e ao mesmo tempo usar a informação para previsão climática, de risco climático e seus produtos.

Com a análise de ondeletas foi possível prever os máximos de precipitação para cada região: Região de Baturité, em 2016, 2020-2022; na Região Metropolitana de Fortaleza, em 2014 e 2024; na Região Sertão Central, em 2024; na Região Litoral Leste/Jaguaribe, em 2024 e 2027; na Região Cariri/Centro Sul, em 2018 e 2020; na Região Sertão dos Inhamuns, em 2015; na Região Litoral Oeste em 2028 e para Região Sobral/Ibiapaba, em 2030.

Assim, prejuízos econômicos e de vidas humanas podem ser evitadas, ao mesmo tempo que os setores de gestão de recursos hídricos, risco climático, gestão agrícola entre outros setores, podem programar ações e aproveitar as informações antecipadamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa (FUNCAP - CE) pelo auxílio financeiro através de projeto aprovado no Edital BPI 05-2012 e pela concessão de bolsas e à Universidade Federal do Ceará (UFC) pelo apoio institucional.

Referências

Abreu Sá, L.D.; Sambatti, S.B.M.; Galvão, G.P. 1998. 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.

Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: surface climate, Mon. Wea. Rev., v.116, p.505-524.

Andreoli, R. V.; Kayano, M. T.; Guedes, R. L.; Oyama, M. D.; Alves, M. A. S. A. 2004. 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, p.337-344.

Andreoli, R. V.; Kayano, M. T. 2005. ENSO-Related Anomalies in South America and Associated Circulation Features During Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation

Regimes. *Inter. J. Climatology*, v.25, 2017-2030.

Barbosa, E.B.M.; Rosa, M.M.; Vijaykumar, N.L.; Bolzan, M.J.A.; Tomasella, J. 2004. Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares na Micro-bacia Amazônica, INPE, São José dos Campos.

CEARÁ. 2008. Assembléia Legislativa do Estado do Ceará / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembléia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 174p. : il. – (Coleção Pacto das Águas)

Chu, P. S. 1984. Time and space variability of rainfall and surface circulation in the north-east Brazil- Tropical Atlantic sector, *J. Meteor. Soc. Japan*, v.26, n.2, p.363-369.

Da Silva, D. F. 2003. Influência da Variabilidade Climática Interanual na Hidrologia da Bacia do rio São Francisco, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia), Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

Da Silva, D. F. 2009. 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.

Da Silva, D. F.; Kayano, M. T.; Sousa, F. De A. S. 2010. Uso de ferramentas estatísticas para acompanhamento climático e prevenção de riscos na bacia hidrográfica do rio Mundaú (Brasil). *Revista territorium (Portugal)*, v. 17, p. 17-26.

Da Silva, D. F.; Galvíncio, 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 – Número 19 – Março de*.

Chu, P. S. 1984. Time and space variability of rainfall and surface circulation in the northeast Brazil – Tropical Atlantic sector, *J. Meteor. Soc. Japan*, v.26, n.2, p.363-369.

GU, D.; Philander, G.H. 1995. Secular changes of annual and interannual variability in the Tropics during the past century. *Journal of Climate*, 8, 864-876.

Hastenrath, S., Kaczmarczyk, E. B. 1981. On spectra and coherence of tropical climate anomalies, *Tellus*, v.33, n.5, p.453-462.

Kane, R. P.; Trivedi, N. B. 1988. Spectral characteristics of the annual rainfall series for northeast Brazil, *Climate Change*, v.13,p.317-336.

- Kane, R. P. 1992. El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil, *Revista Brasileira de Geofísica*, v.10,n.2,p.49-59.
- Kane,R. P. 1997. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities, *Internacional Journal of Climatology*, v.17, p.655-665.
- Kayano, M. T; Andreoli R. V. Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and El Niño-Southern Oscillation. *Jornal of Geophysical Research*, v.111, D13102, DOI: 10.1029/2005JD006142, 2006.
- Kerr, R.A. A now dawn for sun-climate links? *Science*, Washington, DC, v.271, n°5254, p.1360-1361, 1996.
- 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. 2005. Recent advances in Wavelet analyses, part 2- Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability. *Journal of Hidrology*, p.1-23.
- Markham, C. G. 1974.Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brasil, *J. App. Meteor*, v.13, p.176-179.
- Mehta, V.; Delworth, T. 1995 Decenal variability of the Tropical Atlantic ocean surface temperature in shipboard measurements and in a global ocean-atmosphere model, *Journal of Climate*,v.8, n.3, p. 172-190..
- Molion, L. C. B. 2005. Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico, *Revista Climanálise*.
- Morettin, P. A. Ondas e Ondaletas: Da análise de Fourier à Análise de Ondaletas, EDUSP, 1999.
- Moura, A. D.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*,v.38, p.2653-2675,1981.
- Schneider, M.; Vitorino, I.; Silva Dias, P.L. 2005. Monitoramento da Intrasazonalidade por meio da Transformada em Ondaletas, *Simpósio Internacional de Climatologia, Anais...*, Fortaleza.
- Servain, J. 1991; Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications, *Geophys Res*, 96, 15137-15146.
- Sperber, K. R.; Hameed, S. 1993. Phase Locking of Nordeste precipitation with sea surface temperatures, *Geophysical Resource Letter*, v. 20, n.2, p.113-116.

- Torrence, C.; Compo, G. P.: 1998. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, v.79, p.61-78.
- Torrence, C.; Webster, P. J. 1999. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. J. Climate, 12, 2679-2690.
- Tucci, C. E. M; Braga, B. 2003. Clima e Recursos Hídricos no Brasil, Coleção ABRH, p. 348.
- Vitorino, M. I. 2003. Análise das Oscilações Intrazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes Utilizando a Análise de Ondeletas, Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos.
- Weng, H.; Lau, K. M. 1994. 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.
- Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Battisti, D. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93, Journal of Climate, v.10, p.1004-1020.