



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## TENDÊNCIAS NO NÍVEL DO RIO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO CEARÁ E SUAS CAUSAS CLIMÁTICAS

Maria Ângela Cruz Macêdo dos Santos<sup>1</sup>, Iuri Moreira Costa<sup>1</sup>, Juliana Alcântara Costa<sup>1</sup>, Antônio Edgar Mateus<sup>1</sup>, Rosângela Felesmino de Sousa<sup>1</sup>, Witalo da Silva Sales<sup>1</sup>, Jackson Teixeira Lobo<sup>1</sup>, Gabriel Silva<sup>1</sup>, Vanilson Gomes Miranda<sup>1</sup>, Nayara Barbosa da Cruz Moreno<sup>1</sup>, Ana Carolina Alves de Caldas, Barbara Leandro Monteiro<sup>1</sup>, Djane Fonseca da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alunos, graduandos da UFCa, CCBA, Campus Crato, Curso de Agronomia. Endereço: Rua Tenente Raimundo Rocha, s/n, Bairro Universitário, CEP: 63.040-310, Juazeiro do Norte (CE), Brasil. <sup>2</sup>Meteorologista, Prof. Dr.ª. Da UFCa, CCBA, Campus Crato, Curso de Agronomia, Autor correspondente: e-mail: [djane.fonseca@cariri.ufc.br](mailto:djane.fonseca@cariri.ufc.br). Endereço: Rua Tenente Raimundo Rocha, s/n, Bairro Universitário, CEP: 63.040-310, Juazeiro do Norte (CE)

Artigo recebido em 02/07/2014 e aceito em 25/09/2014

### RESUMO

Utilizando o teste de Mann-Kendall, objetivou-se nesse trabalho, analisar as tendências nas séries de cotas dos rios principais das bacias hidrográficas do Estado do Ceará. As bacias hidrográficas do Ceará estudadas aqui foram: Bacia do Médio, Alto, Baixo Jaguaribe, Bacia do Salgado, Bacia Acaraú, Bacia Curú, Bacia de Ibiapaba, Bacia do Banabuiú, Bacia Coreaú, Bacia do Litoral. Foram utilizados os dados de cotas dos rios principais dessas bacias hidrográficas, cujos nomes das bacias hidrográficas são os mesmos desses rios cearenses. Os dados foram obtidos por meio da Agência Nacional das Águas para o período de 1973 a 2013. Para identificar as possíveis causas climáticas, utilizou-se a Análise de Ondeleta, a qual identifica as escalas temporais dominantes dos fenômenos e sistemas meteorológicos. Duas dessas bacias hidrográficas mostraram tendência de diminuição na cota de seus rios principais, enquanto outras duas apresentaram tendência de aumento. Verificou-se que a escala decadal domina sobre as variações de cotas, sugerindo que a Oscilação Decadal do Pacífico tem influência direta sobre o nível dos rios e, associada ao sinal persistente de El Niño Oscilação Sul (7 anos), promoveram aumento e diminuição das cotas, dependendo de suas fases. Desse modo, com acompanhamento hidroclimático, os gestores de recursos hídricos e setores da economia e sociedade podem tirar proveito dessas importantes informações com previsão antecipada.

**Palavras-chave:** Teste de Mann-Kendall, Gestão de Recursos Hídricos, Efeito de José e Noé, Análises de Ondeletas.

## TRENDS IN LEVEL RIVER OF BASIN HYDROGRAPHIC OF THE CEARÁ STATE AND ITS CAUSES CLIMATE

### ABSTRACT

Using the Mann-Kendall test, this study aimed to analyze the trends in the shares of the major rivers of the watershed of the State of Ceará series. Basin hydrographics of Ceará studied here were: Médio, Alto, Baixo Jaguaribe Basin, Salgado Basin, Acaraú Basin, Bacia Curú, Ibiapaba Basin, Banabuiú Basin, Coreaú Basin, Litoral Basin. Its used data level of the main rivers of these Basin hydrographics, river basins whose names are the same cearenses these rivers. Data were obtained through the National Water Agency for the period 1973 to 2013 to identify possible causes climate, we used the wavelet analysis, which identifies the dominant temporal scales phenomena and weather systems. Two of these river basins showed declining trend in share of its major rivers, while two others showed a tendency to increase. Check that the decadal-scale variations dominates over quota, suggesting that the Pacific Decadal Oscillation has a direct influence on the level rivers and associated with a persistent signal of El Niño Southern Oscillation (7 years), caused an increase and decrease in quotas, depending on their stages. Thus, with climate monitoring water resource managers and sectors of the economy and society can benefit from this important information with advance forecast.

**Keywords:** Mann-Kendall test, Water Resources Management, José and Noé effect, Wavelet analysis.

## 1. Introdução

Alterações nos níveis dos rios causam eventos de cheias e secas em seu leito, prejudicando as atividades econômicas e realçando os infortúnios sociais decorrentes desses episódios. Os períodos de inundação alternam-se com períodos de baixa precipitação, e ambos variam em intensidade e duração.

Tucci (1993) defende que a variação de cotas ou de vazões de rios depende de características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica, sendo as distribuições temporal e espacial da precipitação muito importantes neste contexto. Esta afirmativa foi endossada por Tucci e Braga (2003), os quais defendem que o conhecimento do comportamento climático tem sido avaliado com base em séries de dados hidrológicos. Por exemplo, em Blumenau, Santa Catarina, desde 1852 foram observadas as cotas máximas de inundação acima de 9,0 m (cota do leito maior)(Tucci e Braga, 2003). De 1912 a 1982 as cotas ficaram muito abaixo das inundações que ocorreram antes e depois deste período. Este tipo de comportamento de variações nos rios tem sido observado pelos hidrólogos ao longo do tempo e chamado de “Efeito de José e Noé” (Tucci e Braga, 2003; Da Silva, 2013).

O “Efeito de José e Noé” se refere a variações de períodos alternados de cotas/vazões mínimas (efeito de José) e cotas/vazões máximas (efeito de Noé) dentro de uma série hidrológica (Da Silva, 2013). Rios da América do Sul e da África já apresentaram esse comportamento, como citado por Tucci e Clarke (1980) e Collischonn et al. (2001), que relataram que na América do Sul foi observado aumento de vazão após 1970, enquanto que na África ocorreu o contrário.

Tucci e Braga (2003) citaram que desde 1970 as regiões centro-oeste, sul e sudeste do Brasil apresentaram vazão média cerca de 30% superior a do período anterior a esse ano. Segundo os autores, o aumento de vazões ocorre, pelo menos parcialmente, como consequência de um aumento simultâneo, mas menos intenso, das precipitações da mesma região do Brasil. Simultaneamente, algumas regiões da África (exemplo, a Bacia do Congo e África subsaariana) passaram por um período menos úmido do que os períodos anteriores, o que ocasionou redução de vazões e cotas de rios (Tucci e Braga, 2003).

Já Tucci (2011), dá como exemplo as diferentes variações observadas no rio Paraguai e no Lago Vitória. A série de Ladário no rio Paraguai apresentou cotas máximas anuais de 1900 a 1960, quando flutuou perto de 4,0 m, enquanto que no período de 1960 a 1973, chegou um pouco acima de 2,0 m. Depois de 1974 a 2000 atingiu cerca de 5,0 m. No lago Vitória, na África, o período de níveis foi o oposto ao do rio Paraguai, cheia entre 1960 e 1973 e níveis muito abaixo no restante.

Da Silva (2013), analisando o “Efeito de José e Noé” no rio São Francisco, concluiu que tanto a sub-

bacia do Alto São Francisco, quanto à sub-bacia do Médio São Francisco, apresentaram comportamento semelhante ao Efeito de José e Noé, com períodos de máximas cotas e outro período de mínimas cotas. Por fim, Da Silva (2014, *in prelo*) afirmou que no Brasil há rios com comportamento do *Efeito de José e Noé*, como encontrado no Alto São Francisco, anomalias positivas de cotas mais intensas após 1970 (Da Silva, 2013), e já o rio Mundaú, em Alagoas (Da Silva, 2014, *in prelo*), também situado no Nordeste do Brasil, apresentou diminuição das cotas após esse ano.

O estado do Ceará é composto por regiões assoladas por eventos adversos que proporcionam eventos de secas ou enchentes e ainda não tem um estudo detalhado sobre as variações e tendências das cotas dos principais rios das bacias hidrográficas cearenses. Essas informações serão de extrema importância para gestão dos recursos hídricos, aplicação e criação de políticas públicas locais, agricultura e outros setores ligados aos recursos hídricos, principalmente por ser um estado dominado pela alta evapotranspiração, déficit hídrico e baixa recarga subterrânea.

Utilizando o teste de Mann-Kendall, que é um teste estatístico recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para analisar tendências em séries de dados ambientais, objetivou-se nesse trabalho, Utilizando o teste de Mann-Kendall, objetivou-se nesse trabalho, analisar as tendências nas séries de cotas dos rios principais das bacias hidrográficas do Estado do Ceará. Para identificar as possíveis causas climáticas, utilizou-se a Análise de Ondeleta, a qual identifica as escalas temporais dominantes dos fenômenos e sistemas meteorológicos.

## Material E Métodos

### Área de estudo

O Estado do Ceará localiza-se no domínio norte da região nordeste do Brasil (NEB), entre as coordenadas 2,5°S e 10°S e 34°W e 42°W; com área de 148.825,6 km<sup>2</sup>, que corresponde a 9,58% do Nordeste brasileiro e 1,75% do território nacional. Possui uma linha costeira de 573,0 km, corresponde a 17,33% do litoral do Nordeste e 7,78% da costa brasileira. Fazendo fronteira ao norte com Oceano Atlântico, ao sul o Estado de Pernambuco, leste Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e oeste com Estado do Piauí (IPECE, 2006).

Os solos cearenses predominantes são os Neossolos representando 36,32% da área total, Argissolos com 24,92%, Luvisolos com 16,89%, Planossolos com 11,40%, Latossolos com 5,48% e outros em menor extensão. As quatro primeiras classes de solos correspondem a 89,53% de toda a área do território do Ceará. O solo é componente determinante na capacidade de absorção e retenção de água de origem pluvial. Com isso, de acordo com as classes de solos predominantes no Estado, tem-se que 75% do território se caracterizam por apresentar natureza

cristalina, marcada por reterem mínimas quantidades de precipitação nos períodos chuvosos. Com isso, quase toda precipitação é escoada para o oceano, e desta forma, com a junção de solos rasos e o alto grau de evaporação característico no Estado é que os rios cearenses permanecem secos na maior parte do ano (IPECE, 2006).

As Bacias hidrográficas do Ceará estão na Figura 1. A maior Bacia hidrográfica do estado é a do rio Jaguaribe que compreende mais de 50% do estado. O rio principal tem o mesmo nome da Bacia hidrográfica e extensão de 610 km. Os dois maiores reservatórios de água do Ceará são barragens que represam o Jaguaribe: Açude Orós e Açude Castanhão,

com as respectivas capacidades de armazenamento de 2,1 e 6,7 bilhões de metros cúbicos. Os afluentes mais importantes do rio Jaguaribe são os rios Salgado e Banabuiú. A Bacia do rio Acaraú, com um dos maiores reservatórios do estado, o açude Araras com capacidade para 1 bilhão de metros cúbicos; Bacia do rio Coreau; Bacia do rio Curu; Bacia do litoral, que drena boa parte do litoral norte oeste onde os principais rios são Aracatiaçu, Aracatimirim, Mundaú e Trairi; Bacia da região metropolitana onde os principais rios são Ceará, Cocó, Pacoti e Choró. O estado encontra-se com 92,99% de seu território dentro do polígono das secas, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2014).



Figura 1. Bacias hidrográficas do Ceará (Fonte: IPECE, 2012).

**Dados**

Neste trabalho foram utilizados dados diários e mensais de cotas, obtidos junto à Agência Nacional das Águas (ANA), para o período de 1973 a 2013 (40

anos). Esses dados foram obtidos no formato de arquivos binários, posteriormente convertidos em arquivos .txt, para serem utilizados em planilha eletrônica e o preenchimento das falhas da série

temporal foi feito com base das médias climatológicas da variável e por correlação com estações vizinhas.

Para a aplicação das Análises de Ondeletas foram utilizados dados diários e mensais de precipitação, para o período de 1973 a 2010 (dados disponíveis), no intuito de identificar possíveis causas climáticas das variações dos níveis dos rios. Esses dados de chuva também foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas (ANA).

### 2.3 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall, sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais, é um teste não paramétrico proposto por Mann (1945) e melhorado por Kendall (1975).

A estatística do teste é a seguinte (SILVA *et al.*, 2010):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

Em que:  $x_j$  são os dados estimados da sequência de valores,  $n$  é o comprimento da série temporal e o sinal  $(x_i - x_j)$  é igual a -1 para  $(x_i - x_j) < 0$ , 0 para  $(x_i - x_j) = 0$ , e 1 para  $(x_i - x_j) > 0$ .

Kendall (1975) mostrou que  $S$  é normalmente distribuída com média  $E(S)$  e variância  $\text{Var}(S)$ , para

ou decrescente no nível de significância de  $p$ , hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de  $Z$  for maior que  $Z_{1-p/2}$ , utilizando-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão (Silva *et al.*, 2010).

Os níveis de significância de  $P = 0,01$  e  $0,05$  foram aplicados neste estudo. Uma estimativa não paramétrica para o valor da inclinação da tendência é obtida de acordo com Silva *et al.*, (2010):

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \text{ para } i < j \quad (5)$$

Em que:  $x_j$  e  $x_i$  são os pontos dados medidos no tempo  $j$  e  $i$ , respectivamente.

### 2.4 Teste de significância de T-Student

Tal teste foi usado nesse trabalho para considerar significativas ou não, os valores das tendências resultantes do teste de Mann-Kendall. Para amostras de tamanho  $N > 30$ , denominadas grandes amostras, as distribuições amostrais de várias estatísticas são aproximadamente normais e melhores como o crescimento de  $N$ . Para amostras de tamanho  $N < 30$ , denominadas pequenas amostras, essa aproximação não é boa e torna-se pior com o decréscimo de  $N$ , de modo que devem ser introduzidas as modificações convenientes. Um dos testes de significância mais utilizados é a "T-Student", o qual é bastante utilizada nos estudos de meteorologia (Kousky e Kayano, 1994; Kayano e Kousky, 1996; Figueroa, 1997; Castro, 2002; Da Silva, 2009), e pode ser calculado da seguinte forma:

uma situação na qual pode haver valores iguais de  $x$ , são calculadas pelas equações:

$$E[S] = 0 \quad (2)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

Em que:  $(t_p)$  é número de dados com valores iguais num certo grupo  $(pth)$  e  $q$  é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo  $p$ . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado ( $Z_{MK}$ ) é computado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{para } S > 0; \\ 0 & \text{para } S = 0; \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa e avaliada usando o valor de  $Z$ . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência existe. Um valor positivo de  $Z_{MK}$  indica um aumento da tendência, quando negativa indica uma tendência decrescente. Para testar a tendência crescente

$$t_c = \frac{t}{\sqrt{n-2}} + t^2 \quad (6)$$

Em que:  $t_c$  = valor do percentil e  $c$  é o grau de liberdade. Foi usado  $p = 0,95$  ou 95%;  $t$  = valor do percentil tabelado de acordo com  $\nu$  ( $n-1$ );  $n$  é o número de dados.

### 2.5 Análises de Ondeletas (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).

A ondeleta Morlet é complexa e possui características semelhantes às de sinais meteorológicos, 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; Moretton, 1999).

A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-\eta^2/2} \quad (7)$$

Em que:  $\eta = t/s$ , onde  $t$  é o tempo,  $s$  é a escala da ondeleta e  $\omega_0$  é uma frequência não dimensional. Todos esses parâmetros são introduzidos no "script" de programação do Software Matlab.

Foi 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 bacia hidrográfica foi calculado e se referem à média das estações de cada bacia, de suas anomalias mensais de precipitação normalizadas pelos respectivos desvios-padrão mensais, calculadas por meio da equação (Da Silva, 2009; Da Silva et al., 2010):

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i) / \sigma_i \quad (8)$$

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  $\sigma_i$  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

### Tendências das cotas de rio nas Bacias hidrográficas

As análises de tendências (Tabela 1) realizadas, utilizando o teste de Mann-Kendall, indicaram que nos 40 anos de estudo as Bacias hidrográficas do Acaraú, Salgado, Banabuiú, Ibiapaba, Coreaú tiveram aumento nas cotas dos rios e as Bacias hidrográficas do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, Curú, Metropolitana e do Litoral, apresentaram tendência de diminuição.

Já as tendências das Bacias Acaraú, Banabuiú e Metropolitana apresentaram significância estatística para a amostra e as demais bacias, sem significância estatística; o que não quer dizer que não houve aumento ou diminuição (fato comprovado nos dados apresentados).

Deve ter atenção os valores de aumento e diminuição ocorridos no período. As cotas do rio Curú apresentaram diminuição de 125 cm; as do Coreaú aumento, de 190 cm; as do Litoral, diminuição de 92 cm e as do Acaraú, aumento de 98 cm; sendo os maiores aumentos e diminuições observados em 40 anos de dados. Esse variação espacial de cotas com comportamento oposto também é atribuído aos eventos de José e Noé em séries hidrológicas, como também encontrado por Da Silva (2013) e Da Silva (*in prelo*, 2014) em séries hidrológicas de Bacias hidrográficas também do Nordeste do Brasil.

**Tabela 1:** Tendências encontradas para as cotas das bacias hidrográficas estudadas.

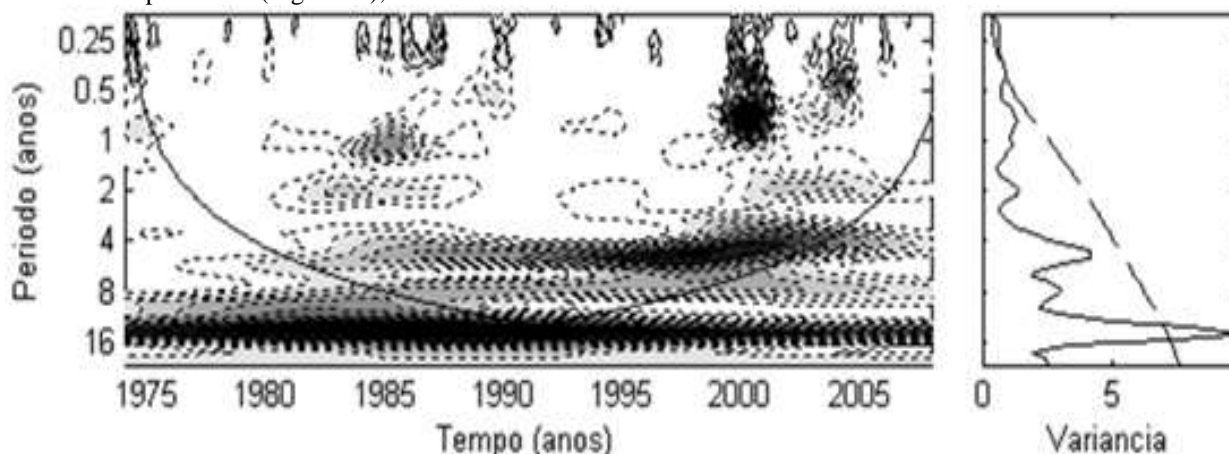
Bacia hidrográfica	Tendência Anual (cm)	Tendência em 40 anos	Status da tendência	Teste T-Student
<b>Acaraú</b>	2,455539	+ 98,21 cm em todo período	Aumento	<b>Com</b> significância estatística
<b>Salgado</b>	0,626127	+ 25,04508 cm em todo período	Aumento	Sem significância estatística
<b>Médio Jaguaribe</b>	-1,659070644	- 66,3628 cm em todo período	Diminuição	Sem significância estatística
<b>Curú</b>	-3,134837525	- 125,393 cm em todo período	Diminuição	Sem significância estatística
<b>Alto Jaguaribe</b>	0,445	- 17,8 cm em todo período	Diminuição	Sem significância estatística
<b>Baixo Jaguaribe</b>	1,65	- 66,00 cm em todo período	Diminuição	Sem significância estatística
<b>Banabuiú</b>	1,68	+ 67,2 cm em todo período	Aumento	<b>Com</b> significância estatística
<b>Ibiapaba</b>	0,43	+ 7,2 cm em todo período	Aumento	Sem significância estatística
<b>Coreaú</b>	4,7629	+ 190,5 cm = 1,9 m em todo	Aumento	Sem significância

		período		estatística
<b>Metropolitana</b>	0,3459	- 13,836 cm em todo período	Diminuição	<b>Com</b> significância estatística
<b>Litoral</b>	2,3177	- 92,708 cm em todo período	Diminuição	<b>Sem</b> significância estatística

### Análises de Ondeletas: Explicação das Causas climáticas

Na Bacia hidrográfica do rio Acaraú a escala decadal de 22 anos mostrou-se dominante conforme resultado da programação do Matlab, com significância estatística e persistente (Figura 2a e 2b). A partir do ano de 1983 a escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipólo do Atlântico se pronuncia (Figura 2a), influenciando na

maior variabilidade pluviométrica da série a partir desse ano. A escala sazonal também mostrou-se significativa (Figura 2b). Por fim, a união de diferentes escalas promoveram altos índices de precipitação (Prp) (Figura 2a), 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.



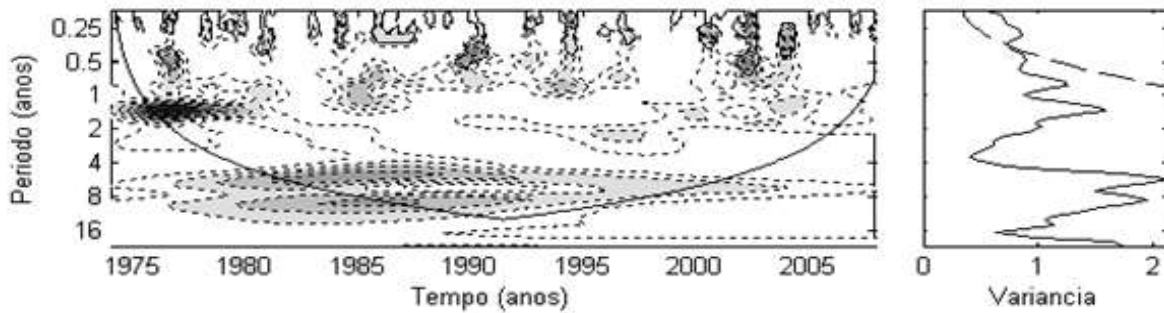
**Figura 2:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica do rio Acaraú. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro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

A Bacia hidrográfica do rio Salgado apresentou escala dominante de 7 e 11 anos (Clauzet e Wainer, 1999) (Figura 3a e 3b). 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 (Kerr, 1996 e Molion, 2005).

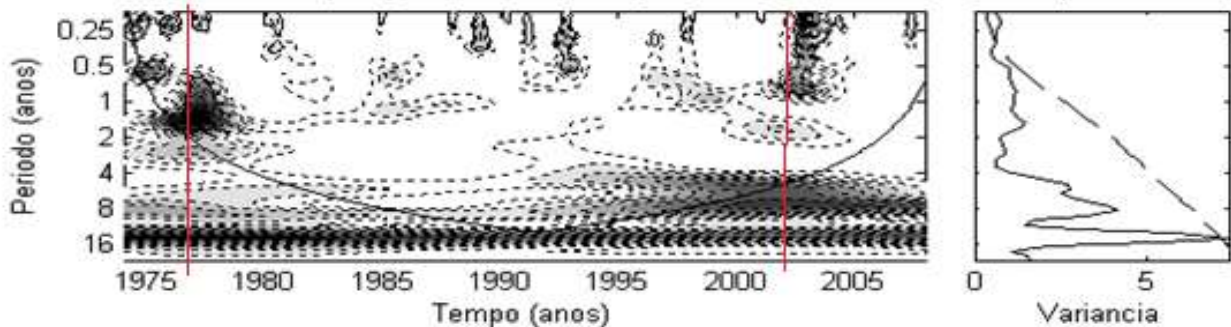
A Bacia hidrográfica do rio Salgado mostrou ocorrência de escala dominante de 22 anos (Figura 3a), sem significância estatística e de escala sazonal, com maior significância estatística (Figura 3b). A união das escalas temporais com períodos diferentes resultaram em altos índices de Prp na região nos anos de 1977, 1994-95, 2000 e 2002. Mais uma vez, a Oscilação

Decadal do Pacífico – ODP- influencia as precipitações e consequentemente no nível do rio.

Sob a influência das escalas decadais associadas e com significativa influência da escala sazonal, a Bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe (Figuras 4a e 4b) apresentou a associação de distintas escalas temporais, as quais ocorreram visivelmente nos anos de 1977 e 2002. O ciclo de 20,2 – 22 anos apresentou resposta na série de precipitação. Um ciclo secundário de 16 anos foi verificado dentro ciclo maior decadal. O ciclo de 16 anos também foi visualizado no EPG, com máxima significância estatística.



**Figura 3:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica do rio Salgado. 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%.

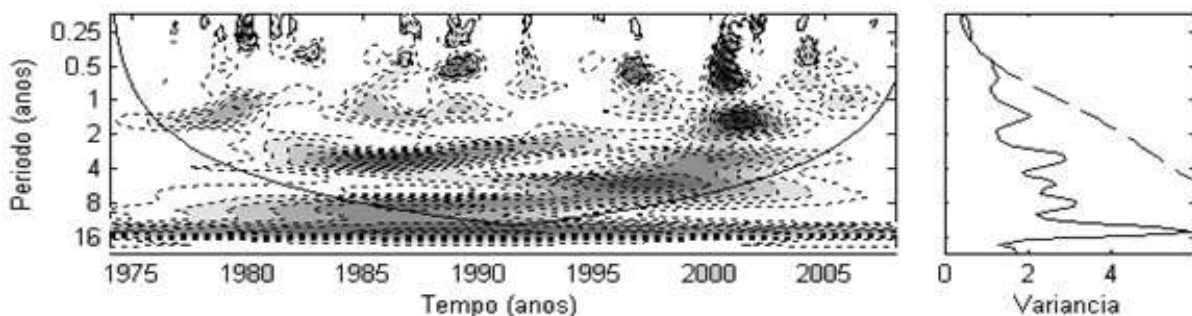


**Figura 4:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) Prp da Bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro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

A Bacia hidrográfica do rio Curútem sua série temporal de precipitação dominada pela escala decadal de 20,2-22 anos, seguida pela escala de 11 anos (Figura 5). 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, além da relação com Oscilação Decadal do Pacífico. Já os de 11 anos são associados ao ciclo de manchas solares (Kerr, 1996 e Molion, 2005).



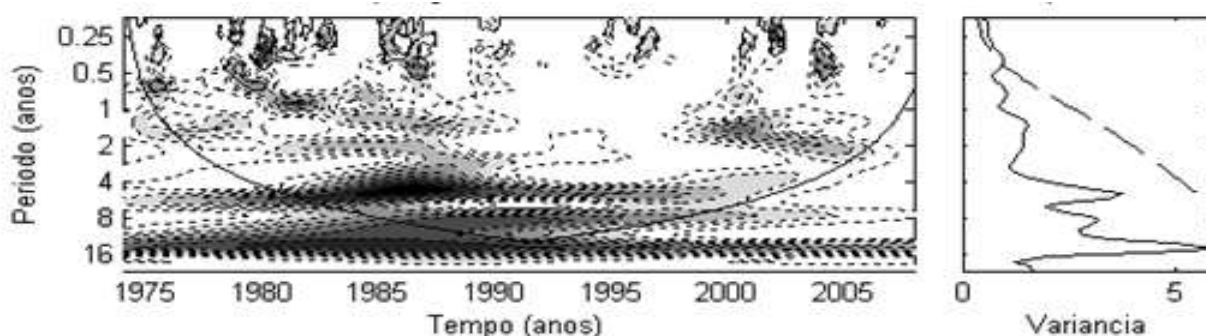
**Figura 5:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica do rio Curú. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro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

A partir da informação que esses ciclos têm influência sobre as precipitações das Bacias hidrográficas, fica mais fácil prever o comportamento de tal variável e melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos. Também foram observadas nas Bacias hidrográficas as escalas temporais 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 e ao sinal persistente do ENOS e a escala interanual curta é em decorrência da variabilidade pluviométrica interanual.

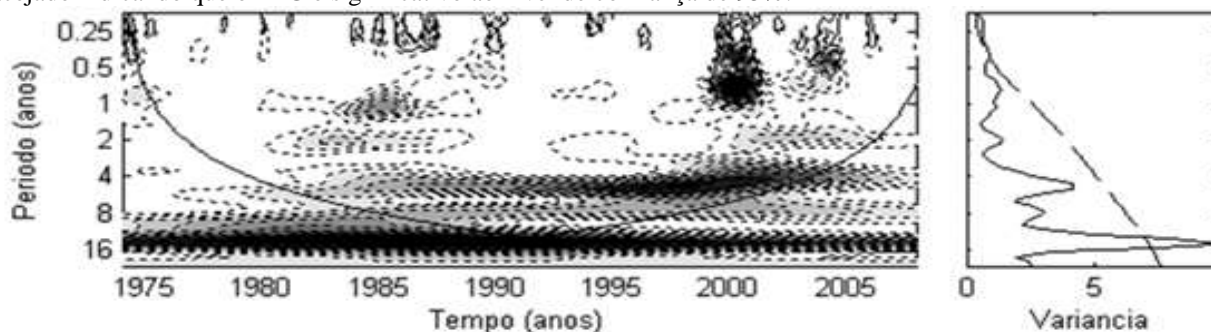
Na Bacia hidrográfica do Banabuíu a escala dominante foi a decadal (20,2-22 anos), também com a presença da escala sazonal e a escala temporal de 7 anos, ligada ao sinal persistente de ENOS. A junção da ocorrência de sistemas e fenômenos meteorológicos de

escalas diferentes influenciou a precipitação em 1980, 1985 e 2001 e aumentando 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 (Figura 6).

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, além da relação com Oscilação Decadal do Pacífico. Já os de 11 anos são associados ao ciclo de manchas solares (Kerr, 1996 e Molion, 2005). De acordo com Clauzet e Wainer (1999) a escala de 7 anos também está associada ao Dipolo do Atlântico e ao sinal persistente do ENOS.



**Figura 6:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica do Banabuíu. 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%.



**Figura 7:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica de 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%.

Na Bacia hidrográfica Ibiapaba (Figura 7a) a escala decadal de 22 anos (ligada à Oscilação Decadal do Pacífico) mostrou-se dominante, com significância estatística e persistente. A partir do ano de 1983 a escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipolo do Atlântico se pronuncia, o que influencia na maior variabilidade pluviométrica da série a partir desse ano. A escala sazonal também mostrou-se significativa (Figura 7b). Por fim, a união de diferentes escalas promoveram

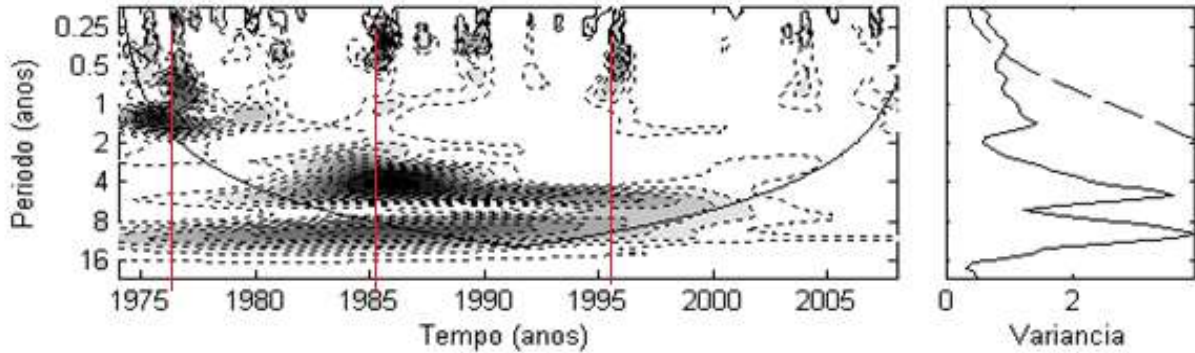
altos índices de Prp, tendo como exemplo o ano de 2000, quando associaram-se escala sazonal de 0,25-0,5 anos, escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipolo do Atlântico e escala decadal de 22 anos ligada à ODP.

Na Bacia hidrográfica de Alto Jaguaribe (Figura 8) escala decadal influenciou a série de precipitação e a escala interanual de 1-2 anos foi vista. A escala sazonal também apresentou a maior significância estatística (Figura 8b). Nessa região, a



união das escalas temporais com períodos diferentes resultaram em altos índices de Prp nos anos de 1976,

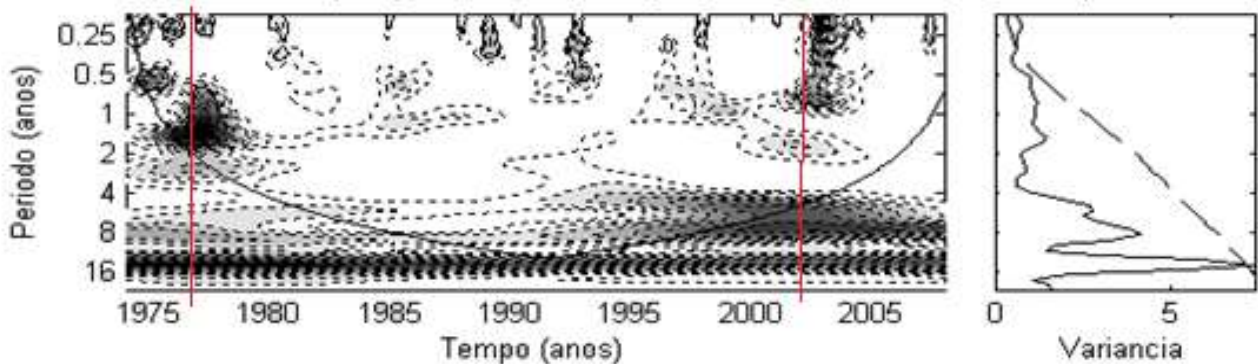
1985, 1990, 1996 e 2004.



**Figura 8:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica do Alto 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%.

A Bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe (Figuras 9a e 9b) também mostrou-se influenciada pelas escalas decadais associadas (escala de 11 anos + escala de 20,02 anos) e com significativa influência da

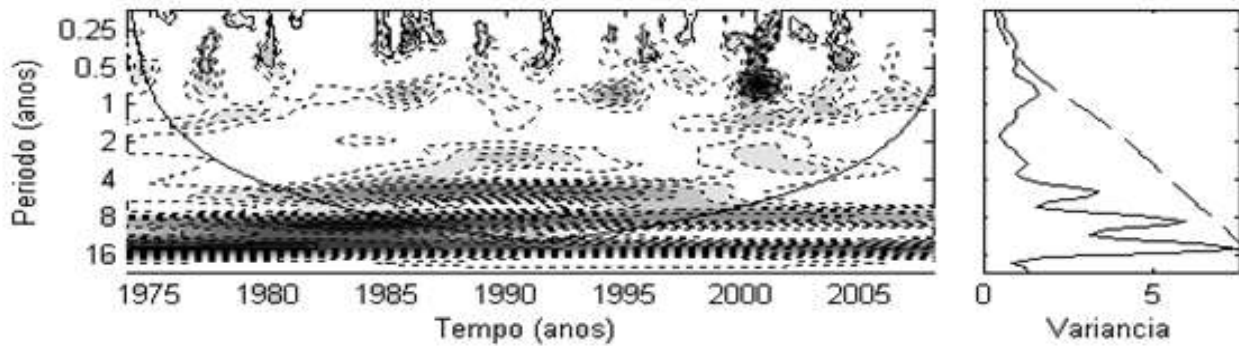
escala sazonal. A associação das distintas escalas temporais ocorreu visivelmente nos anos de 1977 e 2002.



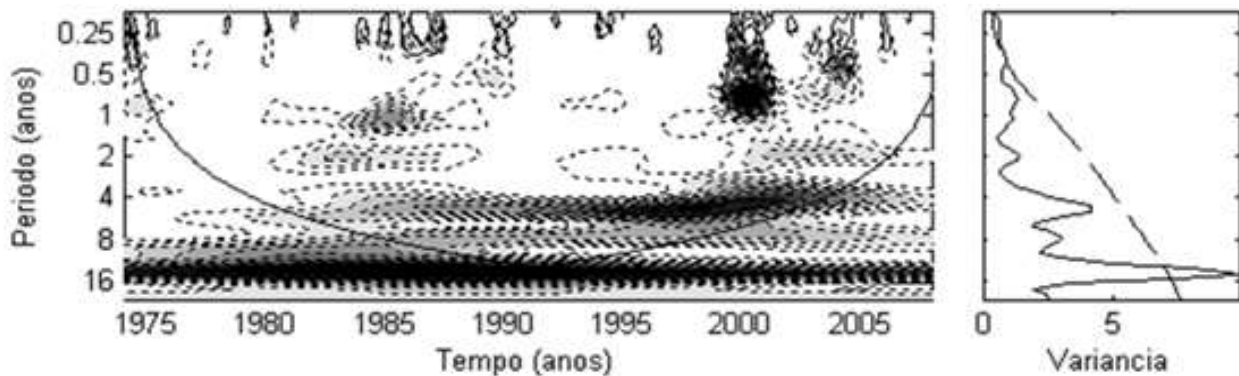
**Figura 9:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp Bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro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

Para a Bacia hidrográfica Metropolitana (Figura 10) a escala decadal de 20,2 – 22 anos (ligada à Oscilação Decadal do Pacífico) é a escala dominante na série, seguida pelas escalas de 11 e 7 anos ligadas ao ciclo de manchas solares e ao ENOS, respectivamente. A escala sazonal também apresentou a maior significância estatística (Figura 10b). 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. 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 10:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica Metropolitana. 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%.

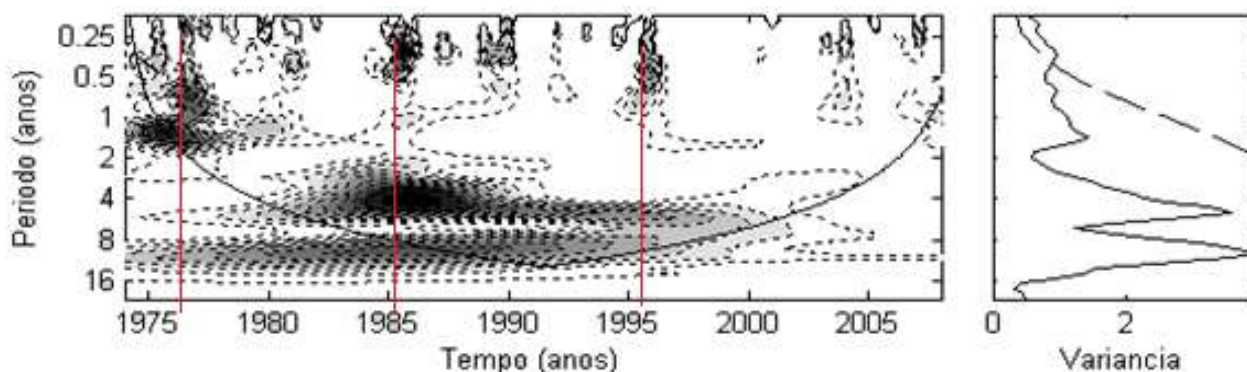


**Figura 11:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica do Coreaú. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de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

Na Bacia hidrográfica de Coreaú (Figuras 11a e 11b) a escala decadal de 22 anos (ligada à ODP) mostrou-se dominante, com significância estatística e persistente. A partir do ano de 1983 a escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipólo do Atlântico se pronuncia, o que influencia na maior variabilidade pluviométrica da série a partir desse ano.

A escala sazonal também mostrou-se significativa. Por fim, a união de diferentes escalas promoveram altos índices de Prp, 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.

Na Bacia hidrográfica do Litoral (Figura 12) a escala decadal de 22 anos foi a escala dominante, visível em toda a série e com a maior significância. Assim, a bacia hidrográfica sofre a influência da Oscilação Decadal do Pacífico e com seu acompanhamento, é possível prever variações pluviométricas. 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 12:** a) Espectro de potência de ondeleta (EPO) para Prp da Bacia hidrográfica do Litoral. 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 partir da informação que esses ciclos acima citados têm influência sobre a precipitação das Bacias

### Conclusão

Foram observadas tendências de diminuição de cotas em algumas bacias hidrográficas e em outras, tendências de aumento. Assim, ficou claro que o *Efeito de José e Noé* também está presente no comportamento das Bacias hidrográficas do estado do Ceará.

A tendência de diminuição nas cotas dessas bacias é preocupante já por ser na região Nordeste do Brasil, e quando somado ao fato de o rio ainda ceder água para várias atividades econômicas nas bacias e por ser assolado por eventos extremos de seca e inundações, verifica-se que os gestores devem tomar medidas mitigadoras desses impactos e tomar decisões para controlar a diminuição do nível do rio. Atenção especial deve ser dada à Bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe, a qual encontra-se em alto processo de degradação e assoreamento.

Através das análises de ondeletas verificou-se que a escala decadal, domina sobre as variações de cotas, sugerindo que a Oscilação Decadal do Pacífico tem influência direta sobre o nível dos rios e, associada ao sinal persistente de ENOS (7 anos), promoveram aumento e diminuição das cotas, dependendo de suas fases.

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, e consequentemente, nas cotas dos rios estudados. Desta forma, com a informação de quais fenômenos climáticos ou sistemas meteorológicos influenciam diretamente cada uma das bacias hidrográficas, com o acompanhamento climático dos mesmos, é possível conhecer mais profundamente as variações pluviométricas e fluviométricas, e ao mesmo tempo, usar a informação para previsão climática, de risco climático e seus produtos.

hidrográficas, fica mais fácil prever o comportamento de tal variável diante do acompanhamento climático.

Desse modo, com acompanhamento hidroclimático, os gestores de recursos hídricos e setores da economia e sociedade podem tirar proveito dessas importantes informações com previsão antecipada.

### Referências

- Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: surfaceclimate, *Mon. Wea. Rev.*, v.116, p.505-524.
- Andreoli, R.V., Kayano, M.T., Guedes, R.L., Oyama, M.D., Alves, M.A.S. 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, 337-344.
- Castro, C. A. C. 2002. Interações Trópicos-Extratrópicos na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.
- Collischonn, W.; Tucci, C.E.M.; Clarke, R.T. 2001. Further evidence of change in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of Climate Change? *Journal of Hydrology*, 245, 218-238.
- Da Silva, D. F. 2009. Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroecômicos e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE). Tese de Doutorado em Recursos Naturais, 174p. UFCG (PB).
- Da Silva, D. F.; Sousa, F. A. S.; Kayano, M. T. 2010. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 3, p. 324-332.

- Da Silva, D.F. 2013. Efeito de José e Noé nas Cotas do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, Número 28 – 66-76.
- Da Silva, D. F. 2014. Escalas Temporais e Tendências no nível do Rio Mundaú (AL): Auxílio na Gestão dos Recursos Hídricos locais, *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, *in prelo*.
- FAO, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. 2014. Acesso em 23-05-2014. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/008/ad772s/AD772S05.htm>.
- Figueroa, S.N. 1997. Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos. Tese de Doutorado do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-7121-TDI/672). São José dos Campos.
- IPECE, Instituto de pesquisa e estratégia econômica do Ceará. Perfil municípios do Ceará, Acesso em 23-05-2014, Disponível em: [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/PBM2006.htm](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/PBM2006.htm)
- Kayano, M. T.; Kousky, V. E. 1996. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 11, n. 1 e 2, p. 06 -17.
- Kendall, M. G. 1975. Rankcorrelationmeasures. Charles Griffin: London, U.K, p.220.
- Kousky, V.E.; Chu, P.S. 1978. Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil, *J. Meteor. Soc. Japan*, v.56, p.457-466.
- Kousky, V. E.; Kayano, M.T. 1994. Principal modes of outgoing long wave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *Journal of Climate*, 7, p.1131-1143.
- Mann, H. B. 1945. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259.
- Morettin, P. A. 1999. Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas, EDUSP, 193 p.
- Silva, R. A.; Silva, V. P. R; Cavalcanti, E. P.; Santos, D. N. 2010. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n.5, p. 501-509.
- Torrence, C.; Compo, G.P. 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.79, p.61-78.
- Tucci, C. E. M; Braga, B. 2003. Clima e Recursos Hídricos no Brasil, Coleção ABRH, 348 p.
- Tucci, C. E. M.; Clarke, R.T. A. 1980. daptive forecasting with a conceptual rainfall-runoff model. *Hydrological Forecasting. Proc. Oxford Symp., IAHS n.129*, pp 425-454.
- Tucci, C. E. M. 2011. Estacionalidade e Variabilidade climática. (blog do Tucci). Acesso em 20/11/2011. Disponível em <http://rhama.net/wordpress/?p=199>
- Tucci, C. E. M. 1993. Hidrologia: Ciência e aplicação. Editora UFRGS, EDUSP, ABRH, 952 p.
- 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.