

## INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO BAIXO PARAÍBA (PB)

Lincoln Eloi de Araújo Araújo

Djane da Silva

### RESUMO

As variações da precipitação na região do Baixo Paraíba foram estudadas utilizando o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e a Análise de Ondeleta. Estas técnicas envolvem a variação da precipitação no tempo e no espaço e a transformação de uma série unidimensional em tempo X frequência, permitindo determinar as escalas temporais da variabilidade dominante e a variação temporal e espacial da precipitação. Os resultados mostraram que a região é definida por multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo. No entanto, a variabilidade interanual ligada ao ciclo de ENOS e a variabilidade decadal das escalas de 11 e 22 anos influenciaram na variabilidade pluviométrica local. Fora isso a variabilidade espacial e temporal dos anos secos e úmidos se comportaram de forma similar ao esperado, com valores mais baixos de IAC nos anos secos e valores mais elevados nos anos úmidos.

**Palavras-chave:** IAC, Análise de Ondeletas, Variabilidade decadal, Bacia Hidrográfica do rio Paraíba.

## INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO BAIXO PARAÍBA (PB)

### ABSTRACT

Variations in precipitation in the Lower Paraíba were studied using the Rainfall Anomaly Index (RAI) and Analysis of wavelet. These techniques involve the variation of rainfall in time and space and the transformation of a series dimensional frequency-time X, to determine the dominant time scales of variability and spatial and temporal variation in rainfall. The results showed that the region is defined by multi-time scales located in certain intervals of time. However, the interannual variability linked to the ENOS cycle and decadal variability of the scales of 11 and 22 years influenced the local rainfall variability. Other than that the spatial and temporal variability of wet years secfos and they behaved similarly to expected, with lower values of RAI in dry years and higher values in wet years.

**Key-words:** RAI, Wavelet Analysis, Decadal Variability, Basin Hydrografic of the river Paraíba.

### INTRODUÇÃO

Com chuvas intensas e secas severas, o Nordeste brasileiro se destaca em suas características marcantes e peculiares, que têm sido relacionados aos padrões anômalos de grande escala da circulação atmosférica global, associados ao fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (ENOS). Entretanto, a relação entre El Niño e as secas no NEB

---

Recebido em 05/10/2009  
Aprovado para publicação em 18/02/2011

não é unívoca (KANE E TRIVEDI, 1988; KANE, 1992; KANE, 1997). Kane (1997) mostrou que dos 46 El Niño (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados a secas severas em Fortaleza, por exemplo.

Haja vista que as análises espectrais das séries de anomalias de temperatura de superfície do mar (ATSM) para os Oceanos Atlântico e Pacífico são caracterizadas por oscilações em escalas de tempo interanual e decadal, sendo a escala interanual mais pronunciada na região do Pacífico e a decadal, no Atlântico (HASTENRATH e KACZMARCZYK, 1981; SPERBER e HAMEED, 1993; MEHTA e DELWORTH, 1995), pretende-se neste trabalho verificar quais escalas exercem influência sobre a variabilidade pluviométrica da região do Baixo Paraíba (BP) no estado da Paraíba, situada na região Nordeste do Brasil.

Deste modo, as variações espaço-temporal da precipitação na região do Baixo Paraíba serão estudadas utilizando a Análise de Ondeleta (AO). Este método envolve transformação de uma série unidimensional em um espaço de tempo e frequência, o que permite determinar as escalas de variabilidade dominantes e suas variações temporais.

Sabe-se que a precipitação pluviométrica no NEB é resultante do acoplamento de vários sistemas atmosféricos de várias escalas quase periódicos, como a Zona de Convergência Intertropical (Uvo, 1989), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (Kousky e Gan, 1981), os Sistemas Frontais (Kousky, 1979), e os Distúrbios de Leste (Espinoza, 1996), que podem ser modificados pelas características fisiográficas da região e por anomalias atmosféricas de escala planetária, destacam-se o dipolo do Atlântico e o ENSO, que modificam a frequência, distribuição espacial e intensidade desses sistemas (Araújo, 2006); deste modo, faz-se também necessário estudar a variabilidade interanual com ênfase na quadra chuvosa do Baixo Paraíba.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Índice de anomalia de chuva (IAC)**

No NEB a previsão e o monitoramento de períodos de secas ou chuvosos são particularmente úteis devido aos seguintes aspectos:

- a existência de inúmeros projetos de irrigação implantados e a serem implantados ao longo dos principais rios;
- o abastecimento d'água das grandes cidades é, em sua maioria, dependente direto do escoamento dos rios, ou indiretamente do volume acumulado nas barragens;
- a maioria das culturas agrícolas dependem exclusivamente da regularidade das chuvas e;
- a possibilidade de uso de água subterrânea é pequena quando comparada ao da água superficial (Freitas, 2004 e 2005).

Deste modo, o monitoramento desses períodos pode ser efetuado através do emprego de índices. Com base neles, pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos de seca ou chuvosos, assim como as diferenciadas medidas a serem efetivadas de acordo com os valores atingidos por tais parâmetros.

Mauget (2005) ao estudar a variação multi-decadal da precipitação de 1901 a 1998 para identificar as concentrações mais significativas de anos úmidos e secos dentro da série, em regiões continentais, encontrou alta incidência de anos úmidos na América do Norte durante 1972 a 1998, com oito dos dez anos mais úmidos desde 1901, ou seja, oito eventos aconteceram durante esse último período de 27 anos.

Gonçalves *et al.* (2006) obtiveram o IAC para 15 estações situadas no rio São Francisco, fato o qual mostrou que a incidência de anos secos é substancialmente maior na região estudada. Através da aplicação do índice em áreas situadas à jusante da hidrelétrica de Sobradinho, pode-se explicar a ocorrência de cheias e inundações ocorridas no sertão pernambucano.

Araújo *et al.* (2008) e Da Silva *et al.* (2009), verificou que o IAC pode ser utilizado como uma ferramenta para o acompanhamento climático de uma localidade, nesse caso uma bacia hidrográfica, além de ser utilizado para regionalização, podendo também, através desse monitoramento gerar prognósticos e diagnósticos da climatologia local.

Segundo Repelli *et al.* (1998), o índice proposto parece ser apropriado para utilização em regiões semi-áridas e ou tropicais, especialmente para o NEB. A facilidade de acesso aos dados de precipitação mensais em tempo real é um fator importante e faz do índice uma potencial ferramenta para aplicações de monitoramento durante a estação chuvosa.

### **Análise wavelet**

Desde a década de 90 que a aplicação da Transformada em Ondeletas (TO) vem sendo utilizada em diversas áreas da ciência e da técnica, desde as ciências médicas às ciências exatas, da eletrônica à ótica aplicada (Vitorino, 2003). Assim, para se analisar variações decadais nas séries pode-se utilizar a TO. A partir dessas pode-se detectar oscilações de 12 anos como de 3-7 anos (Tucci e Braga, 2003) e gerar uma medida quantitativa (frequência) de mudanças ao longo do tempo e determinar o período total dessas mudanças.

Na meteorologia, houve grande quantidade de trabalhos aplicando a AO ao sinal turbulento (FARGE, 1992). No que se refere à climatologia e à dinâmica atmosférica, poucos estudos utilizaram até o momento a AO. A grande maioria dos trabalhos desenvolvidos na dinâmica atmosférica enfocam as escalas climáticas, desde a sua variabilidade interdecadal a intrasazonal. Em geral, estes trabalhos buscam uma metodologia eficaz na localização de fenômenos transientes e que atuem simultaneamente em várias escalas de tempo, proporcionando novas perspectivas e abordagens de análises, impossíveis de se efetuarem através dos métodos tradicionais.

Este método é útil para detectar, analisar e caracterizar as escalas de tempo que afetam os sistemas atmosféricos sobre a América do Sul e oceanos adjacentes. Esta ferramenta revela a estrutura temporal das séries temporais não-estacionárias. O reconhecimento que a AO possui propriedades matemáticas capazes de quantificar as relações tempo-escala em meteorologia, estimula muitas pesquisas em mesoescala e na escala sinótica (REPELLI, 1998; SCHNEIDER *et al.*, 2005).

Torrence e Webster (1999) estudaram a mudança interdecadal no sistema monção-ENOS, aplicando à TO de Morlet e analisando a coerência de ondeleta no que se refere aos índices da TSM-Niño3, do IOS e da precipitação sobre a Índia, para o período de 1871 a 1998. Os resultados mostram mudanças interdecadais de variância de 2-7 anos com intervalos de alta (1875-1920 e 1960-1990) e baixa variância (1920-1960). A variância monção-ENOS também apresenta uma modulação de amplitudes na escala de tempo de 12-20 anos, entre a monção-ENOS.

Alguns estudos relacionam oscilações atmosféricas e climáticas aos sinais encontrados nas séries temporais.

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. A ondeleta de

Morlet foi utilizada por ser a mais adequada para captar variações nas periodicidades do sinal geofísico, de maneira contínua ao longo das escalas. Após as análises, 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. Resultados semelhantes foram encontrados por Labat *et al.*, 2005.

Alguns autores associam eventos na escala interdecadal ao ciclo de manchas solares. Eles relataram muitos fenômenos geofísicos que também apresentam periodicidades desta ordem e tentaram estabelecer uma relação destes com o ciclo solar de 10-11 anos.

Todavia, tal explicação foi duramente contestada por autores, tais como Mann *et al.* (1995), para os quais tal variabilidade climática, pelo menos no Hemisfério Norte, deva ser atribuída à interação entre o Oceano Atlântico e a atmosfera, ponto de vista que é parcialmente endossado por Allen e Smith (1994). Todavia, Kerr (1996) discute novas evidências a partir das quais a conexão sol-clima deve ser considerada seriamente, particularmente no que se refere às flutuações de temperatura dos oceanos tropicais e subtropicais.

Andreoli *et al.* (2004) utilizaram a TO para analisar as variações da precipitação em Fortaleza e da TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico para o período de 1856 a 1991 e foi identificado um pico dominante de 12,7 anos na série. Confirmou-se ainda uma alta coerência entre a variabilidade de precipitação no norte do NEB e o gradiente inter-hemisférico de ATSM no Atlântico na escala decadal.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do rio Paraíba (Figura 1), localiza-se na parte sudeste do estado da Paraíba, entre 6° 51' 15" e 8° 17' 57" sul de latitude e 34° 48' 05" e 37° 21' 08" oeste de longitude, é caracterizada em termos de clima, segundo a classificação de Köppen, como do tipo BSw'h', isto é, semi-árido quente. Na parte leste o clima é do tipo Asi, caracterizado como semi-úmido, o qual predomina no Baixo Paraíba, região de estudo do trabalho.

Os dados pluviométricos da região do Baixo Paraíba, indicam que a região apresenta precipitação média anual que varia entre 350 a 1.800 mm, com valores mais elevados temporalmente na quadra chuvosa (de abril a julho), e valores amenos de setembro a dezembro (Figura 2), e com variação espacial decrescente de leste para oeste.

Foram utilizados neste trabalho dados de precipitação mensal da região do Baixo Paraíba (BP), no período de 1960 a 2002. Os dados foram obtidos pela Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA).

Com a série de precipitação serão feitos gráficos climatológicos da região, por município, e da série temporal e espacial de precipitação, do índice de anomalia de chuva e análise de ondeletas.

### **IAC**

De acordo com a justificativa de Da Silva (2009), o IAC pode ser escolhido para acompanhar a variabilidade pluviométrica e não o índice de Palmer (Palmer Drought Severity Index-PDSI), porque este último, por exemplo, é calculado com base em dados de evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial eventual etc. e expressa uma medida para a diferença acumulada entre a precipitação normal e a precipitação necessária à evapotranspiração (HAVENS, 1969; STEILA, 1971; ALLEY,

1984 E 1985; GUTTMAN, 1991). Já o IAC só necessita de dados de precipitação, é simples de ser calculado e visa tornar o desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação.

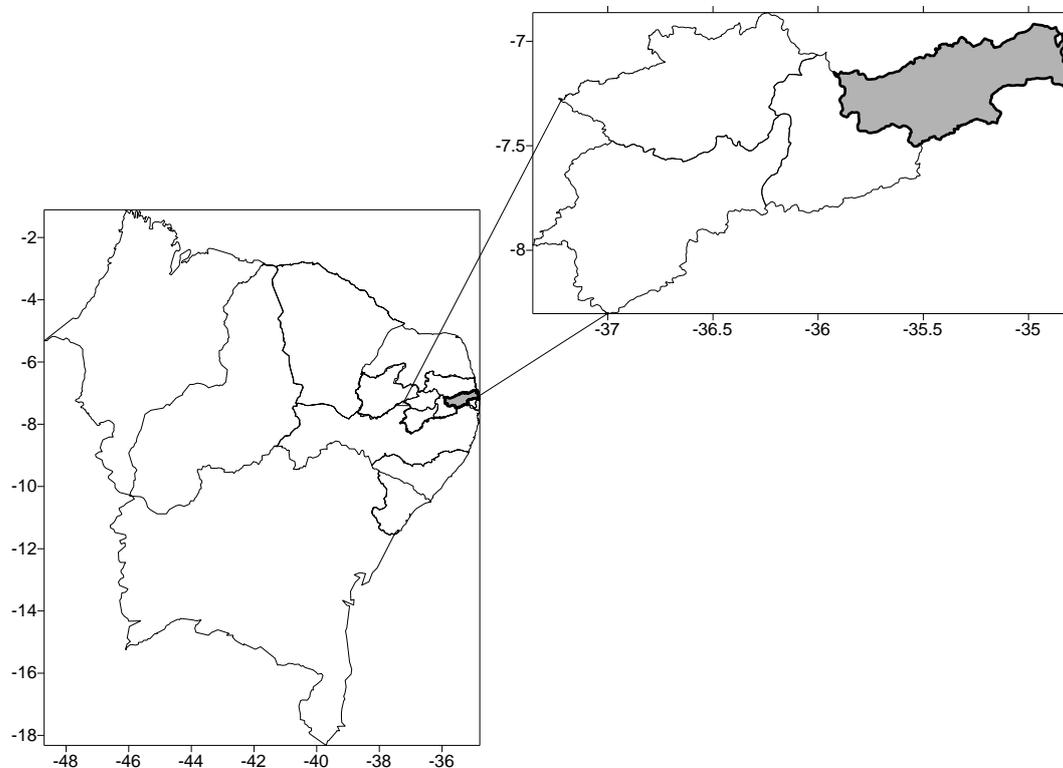


Figura 1: Localização da bacia do rio Paraíba em destaque a região do Baixo Paraíba em relação ao nordeste brasileiro

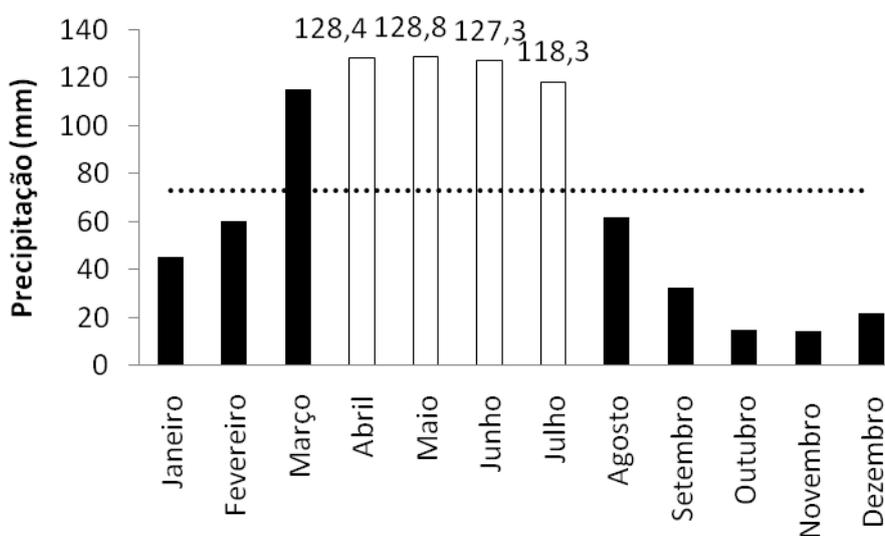


Figura 2 - Climatologia do Baixo Paraíba

## Dados e metodologia

Considerado mais coerente, será usado o Rainfall Anomaly Index (RAI) ou Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido e utilizado por Rooy (1965) e adaptado por Freitas (2004 e 2005).

$$IAC = 3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias positivas; } \quad (1)$$

$$IAC = -3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias negativas, } \quad (2)$$

Sendo:

$N$  = precipitação mensal atual, ou seja, do mês que será gerado o IAC (mm);  $\bar{N}$  = precipitação média mensal da série histórica (mm);  $\bar{M}$  = média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm);  $\bar{X}$  = média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm); e anomalias positivas são valores acima da média e negativas, abaixo da média.

## Análise wavelet

Os dados observados serão investigados a fim de identificar possíveis tendências, variações sazonais e interanuais, períodos cíclicos e variações aleatórias, utilizando as ondeletas.

Serão sujeitas a AO todos os índices climáticos e da precipitação para todo o período de dados, com a intenção de identificar tendências, ciclos ou oscilações no âmbito da bacia durante as diferentes configurações atmosféricas de grande escala e para proceder comparações. Estas análises preliminares de ondeletas poderão fornecer uma indicação mais clara de qual oscilação ou índice teria maior influência sobre a bacia e qual a escala temporal dominante em cada ao longo do tempo da série.

O índice de precipitação que será submetido à transformada wavelet, primeiramente são tratados. Os mesmos são anomalias das variáveis calculadas a partir da climatologia mensal e normalização através dos respectivos desvio padrões, como mostrado abaixo:

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i) / \sigma_i \quad (3)$$

Em que:  $AVar_{i,j}$  é a anomalia da variável, no ano  $j = 1, 2, 3, \dots, N$  e mês  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ ;  $Var_{i,j}$  é a variável no ano  $j = 1, 2, 3, \dots, N$  e mês  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ , o qual será calculado sua anomalia;  $\overline{Var}_i$  é a média climatológica do mês a ser calculado a anomalia e  $\sigma_i$  é o desvio padrão utilizado para cada mês  $i$  específico.

Como ocorrido e justificado em Da Silva (2009), será usada a série de anomalias de precipitação do Alto Mundaú como índice de precipitação na aplicação da análise de ondeletas, pelo fato de que a variabilidade de precipitação na região nordeste do Brasil têm sinal homogêneo. Essa metodologia também foi aplicada por Kousky e Chu (1978), Aceituno (1988), Andreoli *et al.* (2004).

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).

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:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(t - b/a\right) \quad (4)$$

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

$$(W\Psi f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(t - b/a\right) dt \quad (5)$$

onde  $f(t)$  é a função que constitui a série de dados a ser analisada. O termo  $1/\sqrt{a}$  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 que representa uma onda modulada por um envelope Gaussiano é dada pela seguinte expressão:

$$\Psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (6)$$

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:

$$\psi\left[\frac{(n' - n)\delta t}{s}\right] = \left(\frac{\delta t}{s}\right)^{1/2} \psi_0\left[\frac{(n' - n)\delta t}{s}\right] \quad (7)$$

onde  $s$  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:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi^*\left[\frac{(n' - n)\delta t}{s}\right] \quad (8)$$

onde 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 Wavelet.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A quadra chuvosa do BP se estende de abril a julho, como visto na Figura 3, em destaque em branco, com valores médios acima de 100 mm e os meses mais secos ocorreram de setembro a dezembro, com valores médios abaixo de 60 mm.

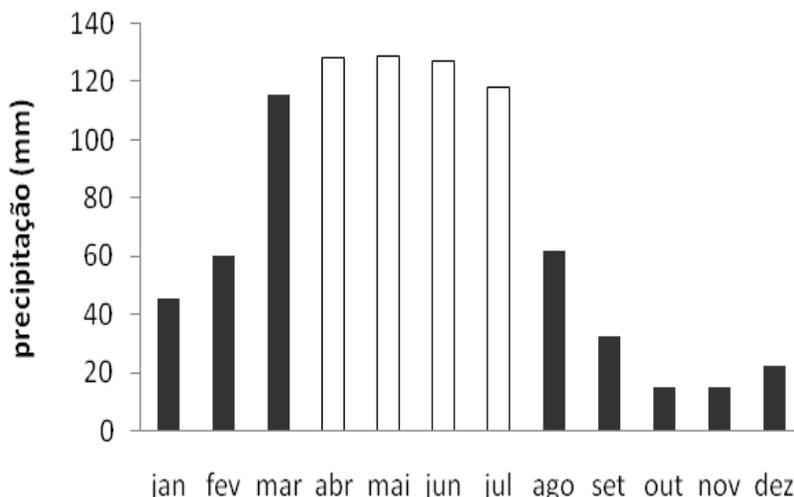


Figura 3: Médias Climatológicas da precipitação no Baixo Paraíba.

Do total de anos da série, aproximadamente mais da metade são anos secos, e é observada a alternância entre anos secos e úmidos, ao longo da série, não ficando tão evidente a intensidade do período seco da década de 1960 (Figura 4).

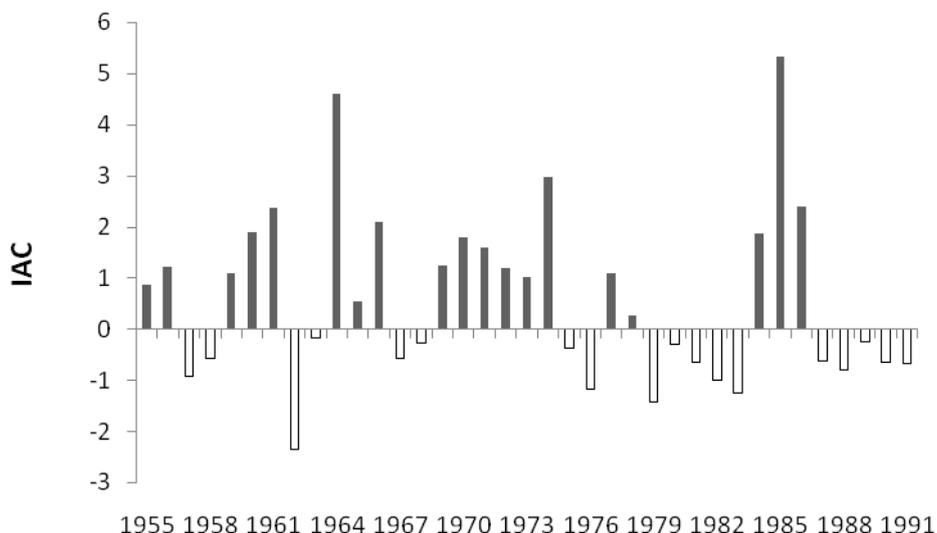


Figura 4: IAC anual para o Baixo Paraíba.

Verificou-se que nos anos secos de 1962 e 1979 da região do Baixo Paraíba, não apresentou um padrão de distribuição de chuvas ao longo do ano, mesmo em sua quadra chuvosa (Figura 5).

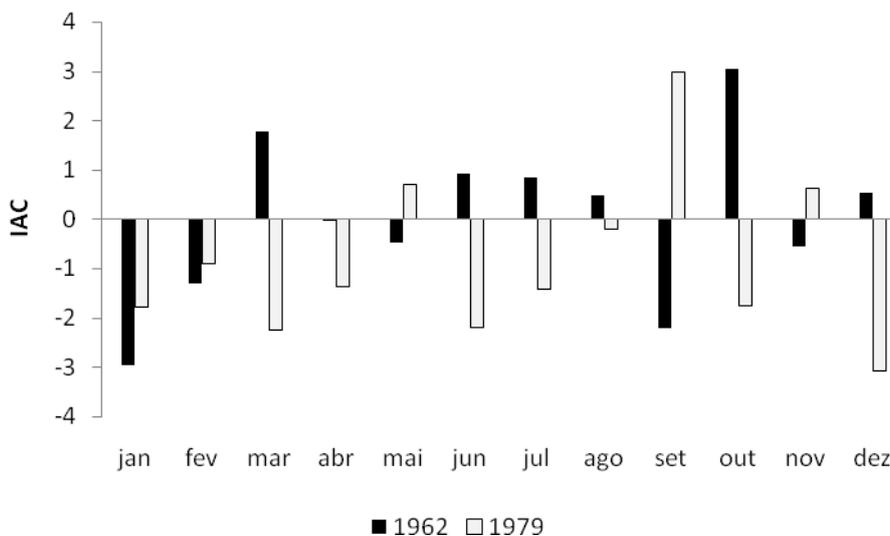


Figura 5: IAC mensal de anos secos (conforme IAC anual) para o Baixo Paraíba.

Nos meses de janeiro a março, a região está sujeita à atuação de VCANs e intensificação da instabilidade atmosférica, devido ao aquecimento da superfície no verão, nos anos secos somente um mês no ano de 1962 respondeu à variabilidade sazonal, ou seja, obteve IAC positivo no mês de março (Figura 5).

De acordo com a Figura 6, a qual demonstra a espacialização do IAC da região do Baixo Paraíba para o ano de 1962, a região mais a leste da região do Baixo Paraíba obteve valores de IAC positivos do que a região a oeste, com valores em sua maioria negativos, ou seja, maior parte da região de estudo, obteve valores negativos, como observado na Figura 5.

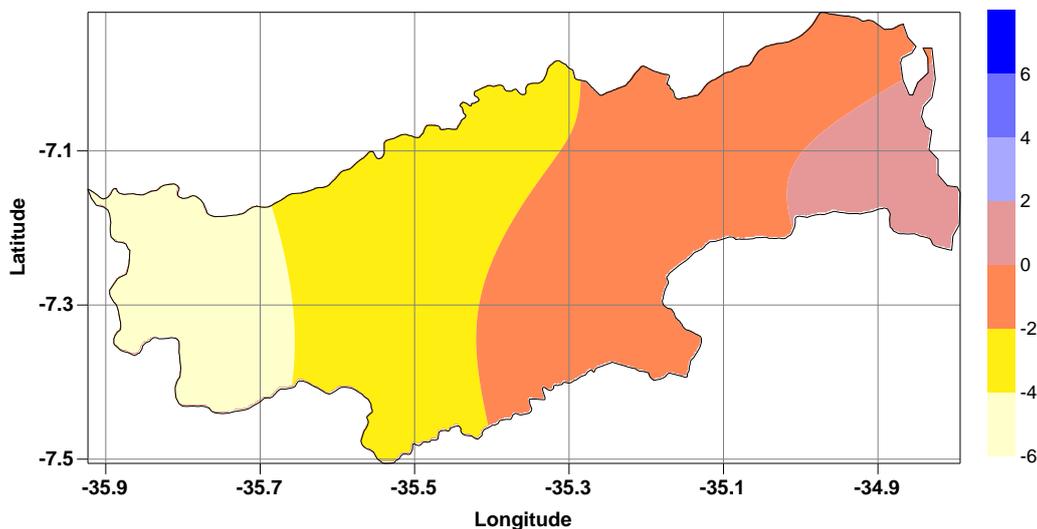


Figura 6: Espacialização do IAC para o ano de 1962.

Similarmente ao ano de 1962, o ano de 1979, foi severamente seco, demonstrando índices mais intensos e com maior espacialização negativa em toda região do Baixo Paraíba (Figura 7), a qual apresenta IAC negativo para toda a região de estudo.

Já para os anos úmidos de 1964 e 1985 da região do Baixo Paraíba (Figura 8), observou-se chuvas acima da média climática, com IAC positivo em quase todos os meses dos anos, com ocorrência de IAC negativo só no trimestre seco.

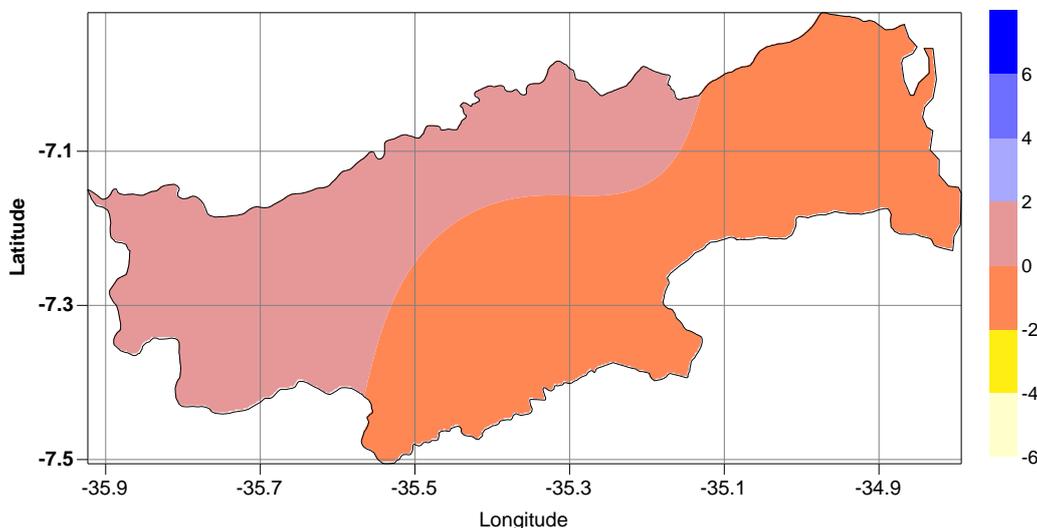


Figura 7: Espacialização do IAC para o ano de 1979.

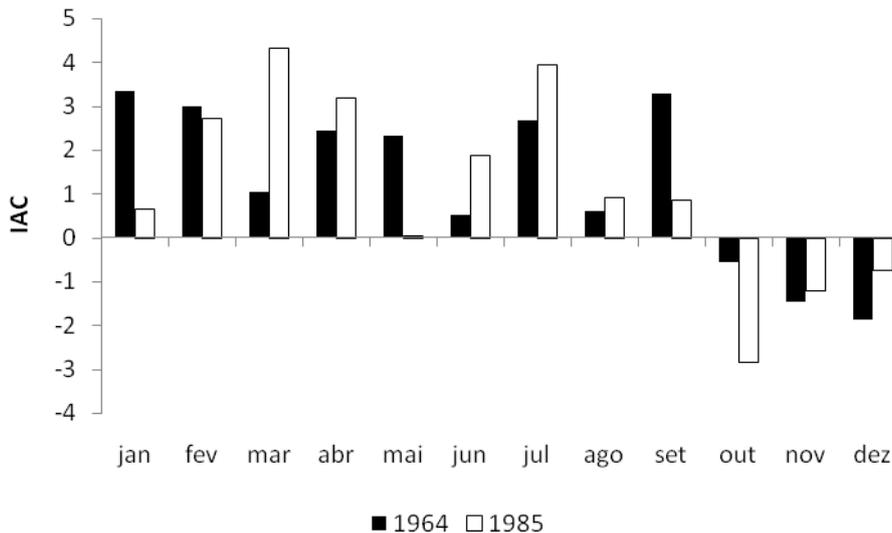


Figura 8: IAC mensal de anos úmidos (conforme IAC anual) para o Baixo Paraíba.

Para o ano de 1964 (Figura 9), observa-se uma variação espacial do IAC totalmente positiva para toda a região do Baixo Paraíba, com valores mais elevados na região centro-sul.

Já para o caso do ano de 1985 (Figura 10), os valores positivos de IAC são também verificados em toda a região, mas com maior intensificação do índice na parte norte.

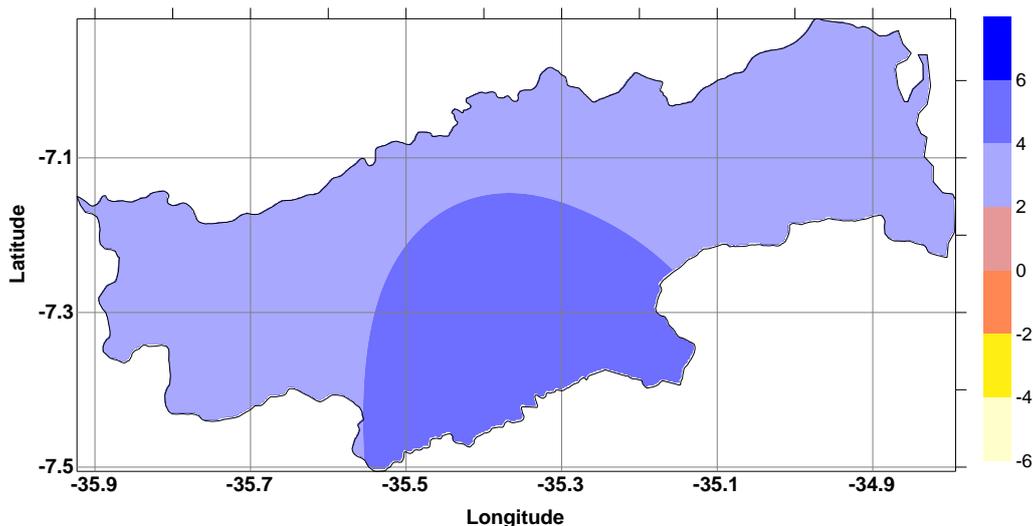


Figura 9: Espacialização do IAC para o ano de 1964.

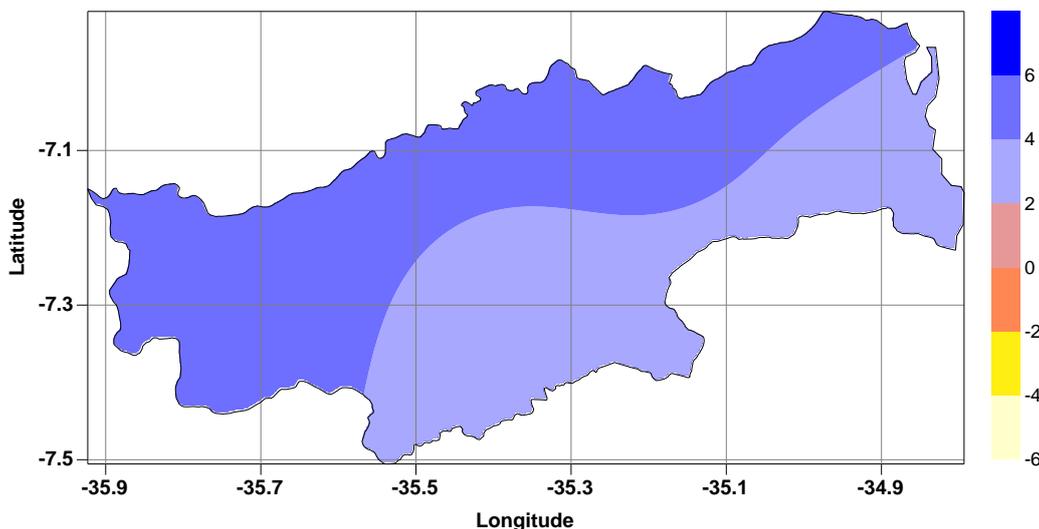


Figura 10: Espacialização do IAC para o ano de 1985.

A Figura 11 representa a distribuição espacial do IAC mensal em relação aos anos de ocorrência de El Niño e La Nina, observados no período de 1930 a 2004, na sub-bacia do Baixo Paraíba. Constatou-se grande variabilidade interanual das chuvas, com alternância de anos com IAC positivos e negativos durante todo o período estudado, evidenciando um padrão indefinido no comportamento mensal do índice. A exceção para a década de 90, indicando a atuação de dois episódios intensos do fenômeno EL Niño, comprometendo as reservas de água da região, especialmente nos anos de 1993 e 1997/1998, anos estes com intensidade forte do El Niño.

As Figuras 12 (a) e (b) mostram a análise de ondeleta para a região do BP. O pico dominante para o BP é da escala temporal de 5 anos. Todavia, no Espectro Global de Wavelet (EPG), (Figura 11b) visualizam-se picos significativos referentes às escalas de 4,6 anos; 14,2 – 15,5 anos e 20,2 anos. Picos não significativos ocorrem na escala interanual e interanual curta ao longo da série.

Os picos significativos são resultantes no Espectro de Energia (EPW), (Figura 12a) de 1979-99 para escala de 20,2 anos, em 1983-97 para as escalas de 14-15 anos e de 1940-45, 1955-60 e 1960-65 para as variâncias significativas da escala de 5 anos

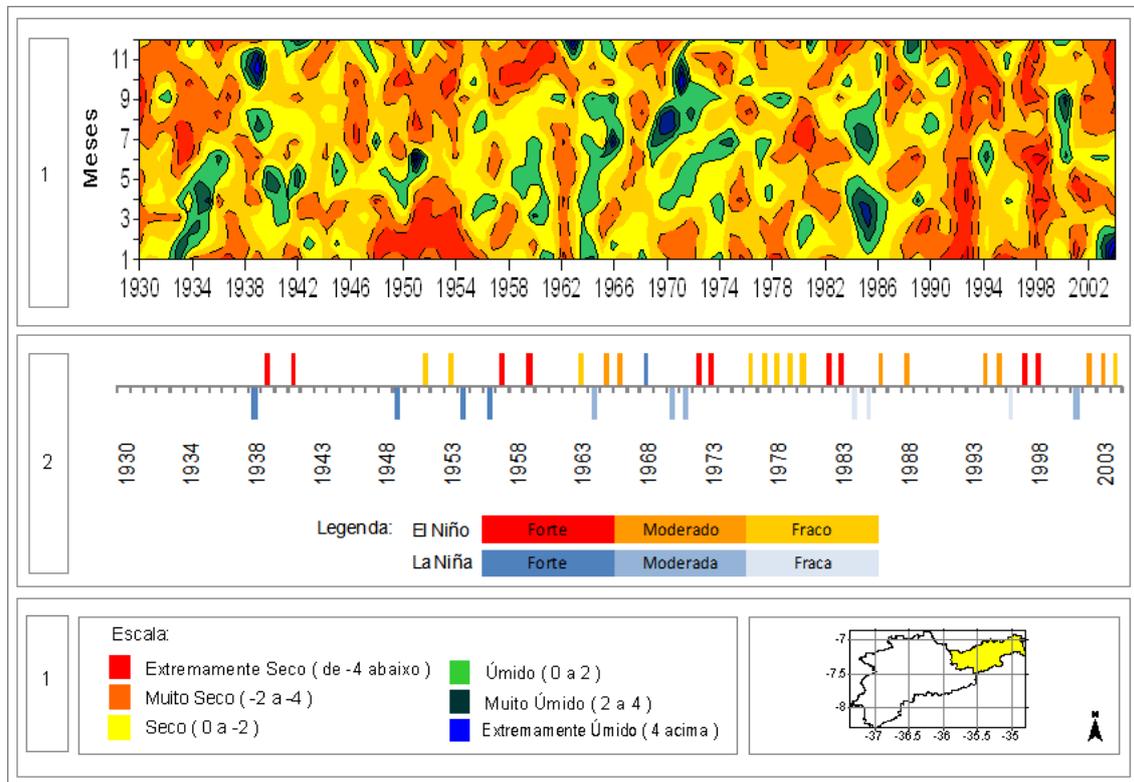


Figura 11: IAC mensal da sub-bacia do Baixo Paraíba em relação ao El Niño e La Niña.

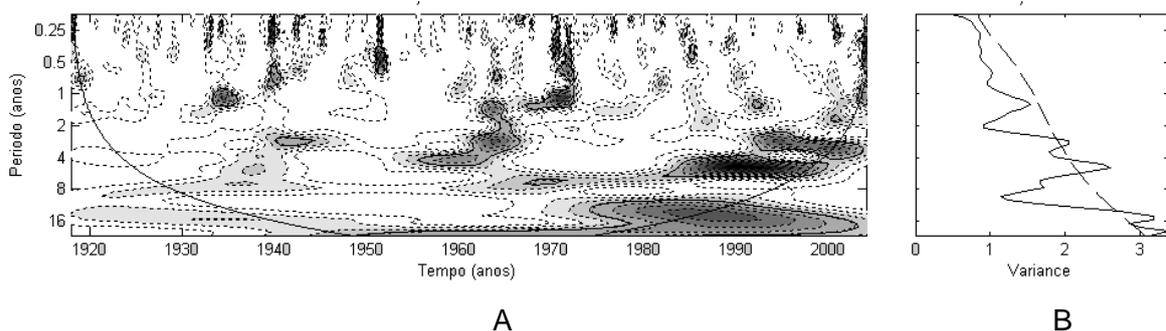


Figura 12: a) Espectro de energia local para anomalias de precipitação da sub-bacia do baixo Paraíba normalizadas pelo desvio padrão. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representado o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; b) Espectro global de wavelet, o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

Ao longo da série ocorreram eventos nas escalas interanual e interanual curta que contribuíram para as chuvas da região. No período após 1977, mesmo com a fase quente de ODP e com diminuição de La Niñas, verificaram-se eventos marcantes das maiores escalas de tempo (Figuras 12 a e b).

Para a região estudada, as escalas médias e interanual contribuem positivamente para as precipitações locais. Esses resultados indicam que a variabilidade de precipitação na bacia é definida por multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo.

Verificou-se também, que a variabilidade interanual ligada ao ciclo de ENOS e a variabilidade decadal influenciam na variabilidade pluviométrica local. Esses resultados encontram-se de acordo com os observados por Andreoli *et al.* (2004), Markham (1974), Chu (1984) e Hastenrath e Kaczmarczyk (1981), todos para Fortaleza e Da Silva *et al.* (2009) para o Baixo Mundaú, também no NEB.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pela utilização do IAC para a região do Baixo Paraíba refletiram primeiramente o sinal da variabilidade interanual, a qual domina os menores sistemas meteorológicos de ocorrência de escalas sazonais. Independente dos mecanismos que causam chuva na região, a distribuição das mesmas depende se o ano é seco ou úmido.

Os anos secos de 1962 e 1979 não obtiveram um padrão uniforme em sua distribuição, seja essa temporal ou espacial, com valores mensais diferenciados em cada ano e em cada localidade da região do Baixo Paraíba, principalmente na região oeste. Já para os anos úmidos de 1964 e 1985, esse padrão é visivelmente observado, com valores positivos e uniformes no tempo e no espaço, demonstrando que esses anos foram intensamente chuvosos em toda área de estudo.

Constatou-se grande variabilidade interanual das chuvas, com alternância de anos com IAC positivos e negativos durante todo o período estudado, evidenciando um padrão indefinido no comportamento mensal do índice em relação aos anos de ocorrência de El Niño e La Nina.

A partir das ondeletas obtiveram-se resultados os quais indicaram que a variabilidade de precipitação na região é definida por multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo. Principalmente a variabilidade interanual ligada ao ciclo de ENOS e a variabilidade decadal das escalas 11 e 22 anos influenciaram na variabilidade pluviométrica local.

Concluiu-se que ambas ferramentas estatísticas, IAC e Análise de Ondeletas, são de extrema utilidade para o conhecimento da climatologia e as mesmas mostram quais os possíveis eventos da variabilidade climática que exerce maior influência sobre a pluviometria local.

## 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, p.1775-1785, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol.33, 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.

ALLEN, M.R.; SMITH, L.A. Investigating the origins and significance of low frequency modes of climate variability. Geophysical Research Letters, Washington, v.21, n.10, p.883-886, 1994.

- ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1100-1109, 1984.
- ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought, *Water Resources Bulletin*, 21 (1), 105-114, 1985.
- 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.
- ARAÚJO, L. E. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. Dissertação de mestrado. UFCG. 2006.
- ARAÚJO, L. E.; DA SILVA, D. F.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do rio Paraíba usando IAC. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, p. 162-169, 2008.
- CHU, P. S. 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, 1984.
- DA SILVA, D.F.; BORBA, J.C.C.; ALMEIDA, H.R.R.C.; LOPES, Z.F. Influência do Clima na Variabilidade Espaço-Temporal da bacia do rio Mundaú (localidades de Pernambuco). I Simpósio Internacional de Climatologia, Fortaleza-Brasil, Outubro de 2005.
- DA SILVA, D.F.; SOUSA, F.A.S.; KAYANO, M.T. Análise da Influência das Multi-Escalas Temporais na Precipitação da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú Através do IAC e Ondeletas: Baixo Mundaú. *Revista Unopar Científica*, nº2, 2009 (*in prelo*).
- 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, março 2009, UFCG (PB).
- DA SILVA, D. F. ; KAYANO, M. T. ; SOUSA, F. de A. S. de ; ARAÚJO, L. E. Análise da Variabilidade Espaço-Temporal da precipitação na Bacia hidrográfica do rio Mundaú usando IAC. *Revista Unopar Científica*, v. 7, p. 12-29, 2009.
- ESPINOZA, E. S. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1996.
- FARGE, M.: Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Ann.Rev.Fluid Mech.*, 24, 395-457, 1992.
- FREITAS, M. A. S. A Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Paraíba no Nordeste do Brasil. In: Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses, 2004, Puerto Iguazú. *Anais do Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses*. Puerto Iguazú: CACIER, v. 1. p. 1-1. 2004.
- FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005.
- GONÇALVES, W.A.; CORREIA, M.F.; ARAÚJO, L.E.; DA SILVA, D.F.; ARAÚJO, H.A. Vulnerabilidade Climática do Nordeste Brasileiro: Uma análise de eventos extremos na Zona Semi-árida da bacia hidrográfica do São Francisco, *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Florianópolis, 2006.
- GUTTMAN, N.B. A Sensitivity Analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index, *Water Resources Bulletin*, 27(5), 797-807, 1991.

- HASTENRATH, S., KACZMARCZYK, E. B. On spectra and coherence of tropical climate anomalies, *Tellus*, v.33, n.5, p.453-462, 1981.
- HAVENS, A.V. Economic Impact of Drought on Water Systems in Passaic River Basin, New Brunswick, J. New Jersey Agricultural Experiment Station, 1969.
- KANE, R. P.; TRIVEDI, N. B. Spectral characteristics of the annual rainfall series for northeast Brazil, *Clim. Change*, v.13, p.317-336, 1988.
- KANE, R. P. El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil, *Rev. Bras. Geofís.*, v.10, n.2, p.49-59, 1992.
- KANE, R. P. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities, *Inter. J. Climatol.*, v.17, p.655-665, 1997.
- KERR, R.A. A now dawn for sun-climate links? *Science*, Washington, DC, v.271, nº5254, 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.
- KOUSKY, V. E.; Frontal influences on northeast Brazil, *Monthly Weather Review*, v.107, nº 9, p. 1140-1153, 1979.
- KOUSKY, V. E.; GAN M.A. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical south atlantic. *Tellus*, 33: 538-551. 1981.
- 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 Hydrology*, 1-23, 2005.
- MANN, M.E.; LALL, U.; SALTZMANN, B. Decadal-to-centennial-scale climate variability: insights into the rise and fall of the great salt lake. *Geophysical Research Letters*, Washington, DC, v.22, n.8, p.937-940, apr.1995.
- MARKHAM, C. G. Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil, *J. App. Meteor.*, v.13, p.176-179, 1974.
- MAUGET, S.U.M. Índice Padronizado de Precipitação (SPI); C. Springer Science, 2005.
- MEHTA,V.; DELWORTH, T. Decadal variability of the Tropical Atlantic ocean surface temperature in shipboard measurements and in a global ocean-atmosphere model, *J. Clim.*, v.8, n.3, p.172-190, 1995.
- MORETTIN, P.A. Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas, edusp, 1999.
- REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, Carlos Afonso. Índice de anomalia de precipitação para o Estado do Ceará. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA E VIII CONGRESSO DA FLISMET, 1998, Brasília DF. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, 1998.
- ROOY, M.P. VAN. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, *Notes*, 14, 43, 1965.
- SPERBER, K. R.; HAMEED, S. Phase Locking of Nordeste precipitation with sea surface temperatures, *Geophys. Res. Lett.*, v.20, n.2, p.113-116, 1993.
- STEILA, D. Drought Analysis in Four Southern States by a New Index, PhD Diss., Athens, Ga., The University of Georgia, 1971.

SCHNEIDER M., VITORINO, I., SILVA DIAS, P. L. Monitoramento da Intrasazonalidade por meio da Transformada em Ondeletas, Simpósio Internacional de Climatologia, Anais..., Fortaleza-CE, out. 2005.

UVO, C. R. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos, 1989.

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.