

Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco¹

¹ *Esse texto faz parte da pesquisa desenvolvida durante o pós-doutorado da primeira autora, processo número 150410/2009-3 - CNPq.*

RESUMO

Na escala interanual a variabilidade no Oceano Pacífico é a principal fonte de influência para o clima de algumas regiões. Porém, este setor oceânico contém outra escala de variabilidade temporal, a interdecadal. Neste trabalho investigou-se a influência dessas oscilações climáticas sobre regiões da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Foram utilizados dados de precipitação mensal da Agência Nacional das Águas, de 1941-93, para oito localidades no Alto São Francisco e para treze localidades no Submédio São Francisco. No ASF não é notável uma associação entre as fases das oscilações e no SMSF, a associação das mesmas fases das oscilações promoveu diminuição nas chuvas.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Ondeleta, IAC, anomalias de precipitação, bacia do rio São Francisco.

ABSTRACT

In the interannual scale variability in the Pacific Ocean is the main source of influence on the climate of some regions. However, this sector contains another oceanic scale temporal variability, the interdecadal. In this study investigated the influence of climate oscillations over regions of the river São Francisco basin. Used monthly rainfall data from the National Water Agency, in 1941-93, for eight localities in Alto San Francisco and thirteen locations in the Submedio São Francisco. ASF is not a striking association between the phases of the oscillations and the SMSF, the association of the same phases of the oscillations caused a decrease in rainfall.

KEYWORDS: Wavelet Analysis, RAI, rainfall anomaly, basin of river São Francisco.

Djane Fonseca da Silva

Profª Drª da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Cariri, Curso de Agronomia, Juazeiro do Norte (CE).
E-mail: djane.fonseca@cariri.ufc.br

Josiclêda Domiciano Galvêncio

Profª Drª da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Curso de Geografia, Recife (PE).

Ranyeré Silva Nóbrega

Prof. Dr. da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Curso de Geografia, Recife (PE).

INTRODUÇÃO

Conhece-se o fato de que na escala interanual, a variabilidade no Oceano Pacífico é a principal fonte de influência para o clima de algumas regiões. Porém, este setor oceânico contém outra escala de variabilidade temporal. Zhang *et al.* (1997) separaram a variabilidade temporal do Oceano Pacífico em duas componentes: uma relacionada à escala interanual do ciclo de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a outra, linearmente independente incluindo toda a variabilidade interdecadal, a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

Anomalias de precipitação relacionadas ao El Niño Oscilação Sul (ENOS) em certas regiões do globo podem ser moduladas por modos climáticos de mais baixa frequência, como a variabilidade interdecadal (Gershunov e Barnett, 1998). Entre esses modos climáticos de baixa frequência, a ODP exerce um papel importante (Mantua *et al.*, 1997).

De acordo com Gershunov e Barnett (1998), a ODP e o ENOS podem ter efeitos combinados na distribuição anômala de precipitação em algumas regiões, agindo “construtivamente”, com anomalias fortes e bem definidas quando elas estão na mesma fase ou “destrutivamente”, com anomalias fracas e mal definidas quando elas estão em fases opostas (Andreoli e Kayano, 2005).

Alguns estudos como Zhang *et al.* (1997), Mantua *et al.* (1997), Gershunov e Barnett (1998) e Andreoli e Kayano (2005), relataram a influência da ODP sobre a América do Sul.

Quanto às influências de variações do clima sobre a bacia hidrográfica do rio São Francisco, Galvêncio (2000) observou que existe uma relação direta entre a precipitação e os índices de anomalias de temperatura de superfície do mar (TSM) nas diferentes áreas dos Niños, mostrando os contrastes entre o Alto São Francisco (ASF)/Médio São Francisco (MSF) e Baixo São Francisco (BSF). Em anos de El Niño, ocorrem

altas precipitações na sub-bacia do ASF, e consequentemente altas vazões, e baixas precipitações na sub-bacia do BSF. Em anos de La Niña, ocorre exatamente o contrário, ou seja, altas precipitações na sub-bacia do BSF e baixas sobre a sub-bacia do ASF.

No entanto, estudos que observavam os efeitos da ODP, sobre a bacia hidrográfica do rio São Francisco, do modo proposto no presente trabalho, ainda não foram encontrados. Assim, nesse trabalho serão investigados efeitos de ENOS em ocorrência simultânea às fases da ODP sobre a variabilidade pluviométrica em sub-bacias do rio São Francisco.

Para isso, as variações da precipitação em regiões da bacia hidrográfica do rio São Francisco serão estudadas utilizando a Análise de Ondeleta (AO), que é uma técnica apropriada para determinar as escalas de variabilidade dominantes em uma série temporal, bem como suas variações temporais. Nos últimos anos esta técnica tem sido bastante usada em meteorologia, por exemplo, Torrence e Webster (1999); Vitorino, (2003); Andreoli *et al.*, (2004); Schneider *et al.* (2005); Da Silva (2009).

Adicionalmente, utilizar-se-á o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para caracterização da variabilidade espaço-temporal da precipitação na região de estudo. A utilização deste índice tem se mostrado eficaz para estudos da variabilidade de precipitação em várias regiões do globo, incluindo o Nordeste brasileiro (NEB). As análises espaciais de dados pluviométricos em anos de ENOS e ODP utilizaram softwares de visualização gráfica.

Desta forma, nesse trabalho será investigado como ocorre, quais escalas e oscilações exercem influência sobre a variabilidade pluviométrica de regiões da bacia hidrográfica do rio São Francisco, uma das bacias hidrográficas mais importantes do Brasil. Em adição, será analisada a influência simultânea das variabilidades do ENOS e a ODP, ambas do Oceano Pacífico, as quais tem

escalas temporais diferentes, sobre duas sub-bacias diferentes, o Alto São Francisco e o Submédio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

De acordo com o Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia hidrográfica do rio São Francisco (PBHSF, 2004), a área da bacia hidrográfica do rio São Francisco abrange partes do território dos Estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Distrito Federal, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. A mesma está compreendida entre as latitudes de 7° 00' a 21° 00' S e longitudes de 35° 00' a 47° 40' W e, deste modo está inserida nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (Figura 1; Referência Bibliográfica: CODEVASF, 2001).

A Bacia divide-se em Alto São Francisco (ASF), Médio São Francisco (MSF), Submédio São Francisco (SMSF) e Baixo São Francisco (BSF). Serão analisados e comparados o ASF e SMSF, escolhidos justamente pelas suas diferenças regionais e climáticas. A primeira sub-bacia encontra-se na região sudeste do Brasil e a segunda, no nordeste brasileiro.

O ASF, região muito importante para todo o país e também para o NEB, vai desde suas nascentes na Serra da Canastra, município de São Roque de Minas, no Estado de Minas Gerais (MG), até a cidade de Pirapora (MG). Abrange as sub-bacias dos rios das Velhas, Pará e Indaiá, além das sub-bacias dos rios Abaeté, a oeste, e Jequitáia, a leste. Situa-se em MG, abrangendo a usina hidrelétrica de Três Marias e apresenta topografia ligeiramente acidentada, com serras e terrenos ondulados e altitudes de 600 m a 1.600 m. Tem clima tropical úmido e temperado e de altitude, quadra chuvosa de novembro a fevereiro e

precipitação média de 1100 mm a 2000 mm.

O SMSF estende-se de Remanso (BA) até Paulo Afonso (BA), abrangendo áreas dos Estados de Bahia

e Pernambuco e inclui as sub-bacias dos rios Pajeú, Tourão e Vargem, além da sub-bacia do rio Moxotó, último afluente da margem esquerda. A altitude varia de 200 m a 800 m e se

caracteriza por uma topografia ondulada com vales muito abertos. Seu clima é semi-árido, quadra chuvosa de janeiro a abril e precipitação média de 350 mm a 800 mm.



Figura 1. Território brasileiro e a bacia hidrográfica do rio São Francisco (em destaque).
Fonte: CODEVASF, 2001.

Dados e metodologia

Foram utilizados dados de precipitação mensal, de 1941 a 1993, para oito localidades no ASF (Pirapora, São João da Chapada, Vargem Bonita, Várzea da Palma, Dores do Indaiá, Três Marias, Lagoa da Prata e Lassance) e para treze localidades no SMSF (Carnaíba, Paulo Afonso, Petrolina, Remanso, Juazeiro, Salgueiro, Fátima, Petrolândia, Trindade, Viração, Quixabá, São José do Egito e Serra das Tabocas). Todos os dados foram obtidos através da Agência Nacional das Águas (ANA) através do site www.ana.gov.br/hidroweb.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

Como justificado em Da Silva (2009), neste trabalho foi escolhido o IAC para acompanhar a variabilidade

pluviométrica e não outro como o 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.

Considerado mais coerente, será usado o IAC anual desenvolvido e utilizado por Rooy

(1965) e adaptado por Freitas (2004; 2005):

$$IAC = 3 \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right], \text{ para}$$

anomalias positivas

(1)

$$IAC = -3 \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right], \text{ para}$$

anomalias negativas

(2)

Em que: N = precipitação anual atual, ou seja, do ano que será gerado o IAC (mm); \bar{N} = precipitação média anual da série histórica (mm); \bar{M} = média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); \bar{X} = média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm); e

anomalias positivas são valores acima da média e negativas, abaixo da média.

Segundo Repelli *et al.* (1998), o índice proposto parece ser apropriado para utilização em regiões semi-áridas e ou tropicais, especialmente para o Nordeste brasileiro. 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.

Freitas (2004; 2005) utilizou o IAC de algumas localidades no Estado do Ceará e observou que com esse índice é possível fazer uma comparação das condições atuais de precipitação em relação aos valores históricos, servindo ainda para avaliar a distribuição espacial do evento, consoante sua intensidade.

Estudando a variação multi-decadal da precipitação de 1901 a 1998 para identificar as concentrações mais significativas de anos úmidos e secos em regiões continentais, Mauget (2005) encontrou alta incidência de anos úmidos na América do Norte durante 1972 a 1998, com oito dos dez anos mais úmidos desde 1901. Para a região Norte da Europa, foram encontrados sete dos dez anos mais úmidos durante 1978 a 1998. Regimes secos e úmidos significantes foram encontrados nas últimas décadas do século XX.

Por fim, Gonçalves *et al.* (2006) obtiveram o IAC para 15 estações situadas no rio São Francisco e mostrou que, 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.

Da Silva *et al.* (2010) utilizando o IAC, identificou uma mudança nos padrões de precipitação na região central da bacia hidrográfica do rio Mundaú. Antes de 1974, os anos foram secos na região central da bacia hidrográfica e após 1974, foram mais úmidos, tornando esse ano um “ponto de inflexão”.

Análise de Ondeletas

Neste trabalho foi utilizada a ondeleta de Morlet (Torrence e Compo, 1998). Esta ondeleta é uma exponencial complexa modulada por uma Gaussiana:

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

Em que: t é o tempo, s é a escala da ondeleta e ω_0 é uma frequência não dimensional.

O procedimento computacional da análise de ondeleta usada aqui é a descrita por Torrence e Compo (1998). Vale mencionar que a função de ondeleta de cada escala s é normalizada por $s^{-1/2}$ para se obter energia unitária. 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).

Os dados de precipitação foram sujeitas à análise de ondeleta para todo o período com a intenção de identificar tendências, ciclos ou oscilações no âmbito da região, e ao mesmo tempo verificar as escalas temporais dominantes.

Os índices de precipitação que foram submetidos à análise de ondeleta foram obtidos das anomalias de precipitação calculadas a partir da climatologia mensal e normalizados pelos respectivos desvios-padrão mensais:

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i) / \sigma_i \quad (4)$$

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

O uso da série de anomalias de precipitação para o ASF e SMSF como índice de precipitação seguiu a metodologia aplicada em Kousky e Chu (1978), Andreoli *et al.* (2004) e Da Silva

(2009) devido à homogeneidade espacial das anomalias em cada uma das regiões.

Desde a década de 90 que a aplicação de ondeletas 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). A partir dessas pode-se detectar oscilações e gerar uma medida quantitativa (frequência) de mudanças ao longo do tempo e determinar o período total dessas mudanças.

Segundo Barbosa *et al.* (2004), basicamente, a idéia central da análise de ondeletas (AO), no contexto de análises de sinais, consiste em decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então determinar, as componentes da variabilidade dominante.

Esta técnica é útil para detectar, analisar e caracterizar as escalas de tempo que afetam os sistemas atmosféricos sobre a América do Sul e oceanos adjacentes (Farge, 1992), sendo possível revelar 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 *et al.*, 1998; Schneider *et al.*, 2005).

Torrence e Compo (1998), através de ondeletas, mostraram que a variância do ENOS mais intensa ocorre nas escalas de tempo interdecadal de 1880-1920 e 1960-1990, com um período de baixa variância entre 1920 a 1960. Estes períodos estiveram relacionados com maior variância nas escalas de tempo de 2 a 8 anos.

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 e verificou que a variabilidade dominante na escala anual manteve-se estacionária e observou-se que outra variabilidade

marcante, no intervalo de escalas de 10 a 11 anos, aproximadamente, se mostrou persistente. Resultados semelhantes foram encontrados em Labat *et al.* (2005).

Andreoli e Kayano (2004) estudaram a variabilidade da TSM no Atlântico Tropical usando a transformada ondeleta e encontraram escalas dominantes de 9,8 anos e 12,7 anos para os índices do Atlântico Tropical Norte e Sul, respectivamente, e uma escala não significativa de 12,7 anos para o índice do Atlântico Equatorial.

Andreoli *et al.* (2004) utilizaram ondeletas 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.

Eventos associados de ENOS e ODP

A partir das anomalias normalizadas de precipitação também foram gerados mapas (Figuras 8a a 9d) para visualização espacial através do software Surfer 9.0 no intuito de verificar sua distribuição espacial durante a ocorrência simultânea de ENOS e ODP.

Os anos de eventos de ENOS e ODP foram escolhidos através da metodologia e critérios utilizados por Andreoli e Kayano (2005). Os anos escolhidos foram: 1972 (El Niño e ODP fria), 1975 (La Niña e ODP fria), 1982 (El Niño e ODP quente) e 1988 (La Niña e ODP quente).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise climatológica e Índice de Anomalia de Chuva

A climatologia do ASF (Figura 2) mostra que sua quadra chuvosa se estende de novembro a fevereiro, devido à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e sua quadra seca é de maio a agosto, período no qual há diminuição da disponibilidade energética na região.

Já no SMSF (Figura 3), que se encontra no nordeste brasileiro, a quadra chuvosa ocorre de janeiro a abril, verão no hemisfério sul, devido à energia disponível e convecção atmosférica, além da aproximação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A quadra seca, vai desde agosto a novembro.

Assim, a quadra chuvosa do ASF ocorre de novembro a fevereiro devido à atuação da ZCAS, enquanto que, no SMSF ocorrem de janeiro a abril, mas devido a outro sistema meteorológico, a ZCIT que se aproxima da área nesta época, além de ser período de grande disponibilidade energética no Nordeste brasileiro.

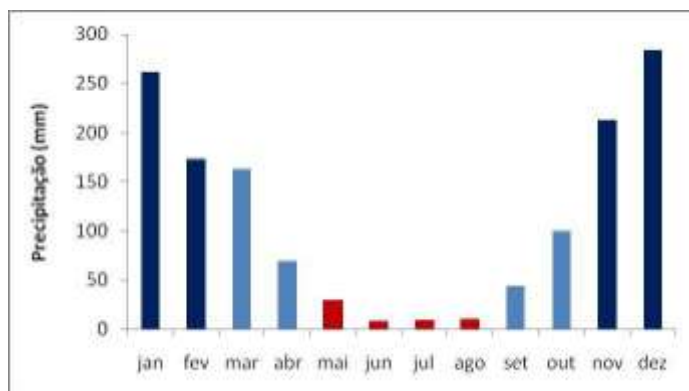


Figura 2: Média histórica da precipitação (mm) no ASF de 1941-1993.

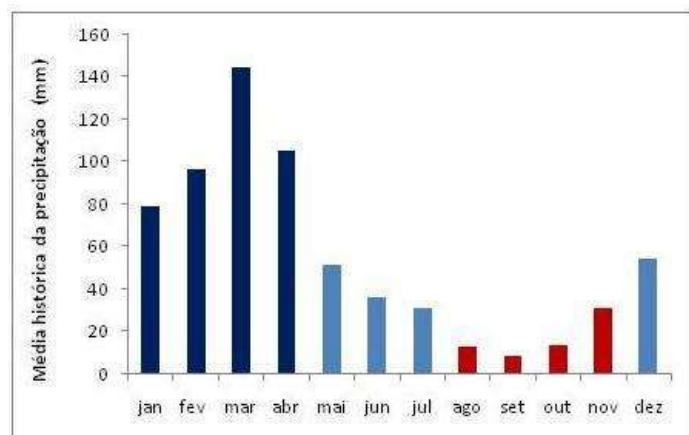


Figura 3: Média histórica da precipitação (mm) no SMSF de 1941-1993.

Através do IAC, observaram-se tanto no ASF (Figura 4) quanto no SMSF (Figura 5), alta variabilidade entre anos secos e chuvosos. No ASF (Figura 4) foram contabilizados 24 anos chuvosos e 29 anos secos. Já no SMSF (Figura 5) foram 27 anos chuvosos e 26 anos secos. Em comum, tem-se os períodos de 1946-1949, 1962-1967 com anos chuvosos e de 1941-1945, 1950-1957, 1979-1988 com anos secos.

O IAC do ASF (Figura 4) variou entre -3 e +3, com máximos nos anos de 1966 (El Niño), 1974 (La Niña), 1990 (normal para El Niño) e mínimos em 1961 (normal), 1980 (normal) e 1986 (normal para El Niño).

No SMSF (Figura 5), o IAC apresentou a amplitude um pouco maior, de -3,55 a +3. Seus máximos ocorreram em 1950 (La Niña), 1957 (El Niño), 1969 (El Niño) e 1991 (El Niño), e mínimos nos anos de 1972 (El Niño),

1980 (normal) e 1985 (La Niña). Alguns anos próximos aos anos do ASF.

Os anos de 1980 (normal) e 1985 (La Niña para normal) foram secos em ambas sub-bacias. No entanto, comparando os máximos e mínimos de IAC, parece que a variabilidade interanual do ENOS propicia anos mais chuvosos no ASF, e quando há anos neutros ou normais, há mínimos de chuvas.

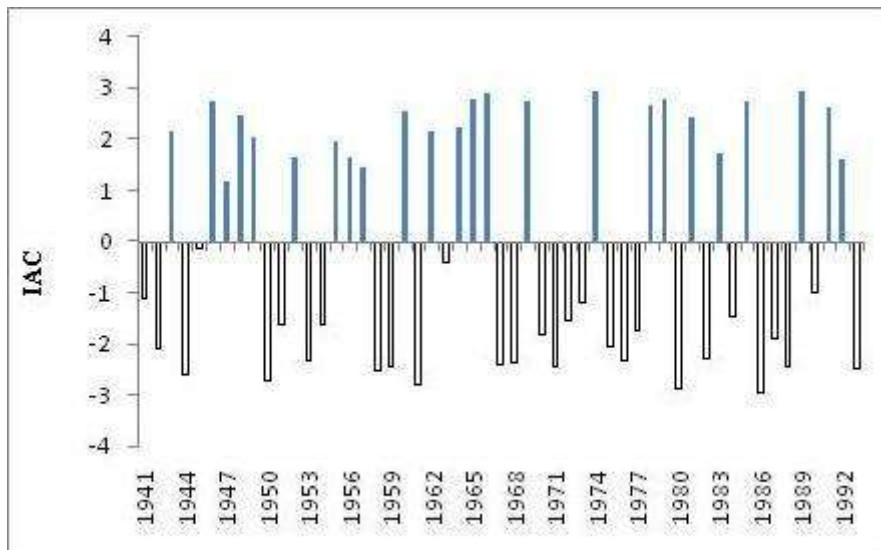


Figura 4: IAC do ASF de 1941 a 1993

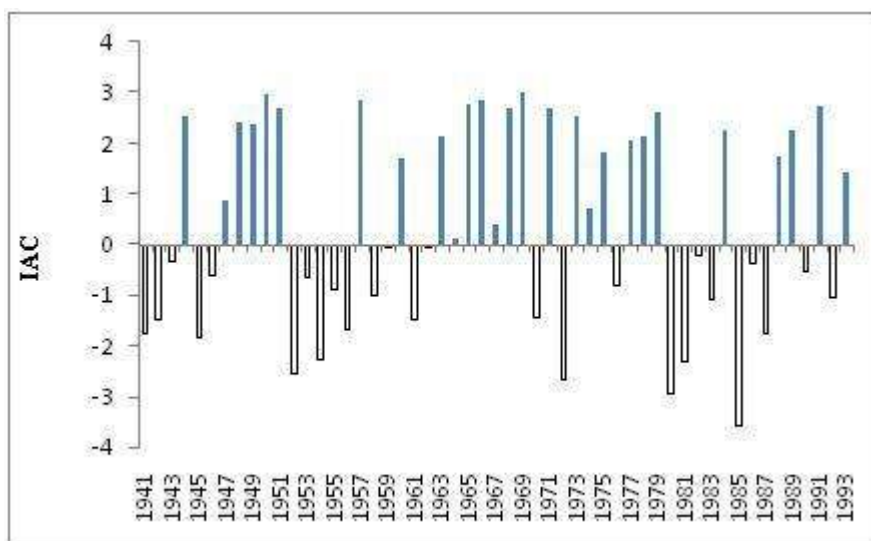


Figura 5: IAC do SMSF de 1941 a 1993.

Análise de ondeletas

No intuito de detalhar as escalas temporais dominantes ao longo da série, visualizam-se as análises de ondeletas. Observa-se que em grande parte da série do ASF (Figura 6a) atuava uma variabilidade multidecenal com pico estatisticamente significativo de 20,2 - 22 anos (Figura 6b), em adição ao pico secundário de 11 anos. Além

disso, é notável que a maior variabilidade nas escalas menores de tempo (de 2 meses a um ano) ocorreram em vários períodos ao longo de toda a série. Assim, ao menos para o período de 1942-1957, pode-se dizer que a variabilidade na escala decenal modulou a atuação de sistemas de escalas temporais menores, aumentando a variabilidade pluviométrica local nesses anos.

Já no SMSF, a associação das escalas interanuais (ligada ao ENOS) e decenais são observadas mais nitidamente após 1960, mais especificamente de 1963 a 1993 (Figura 7a). Também após 1960 há a presença de mecanismos de escala entre 2 meses a 2 anos. O pico dominante, de acordo com o EPG (Figura 7b), ocorre para a escala de 11 anos, encontrado como secundário no ASF.

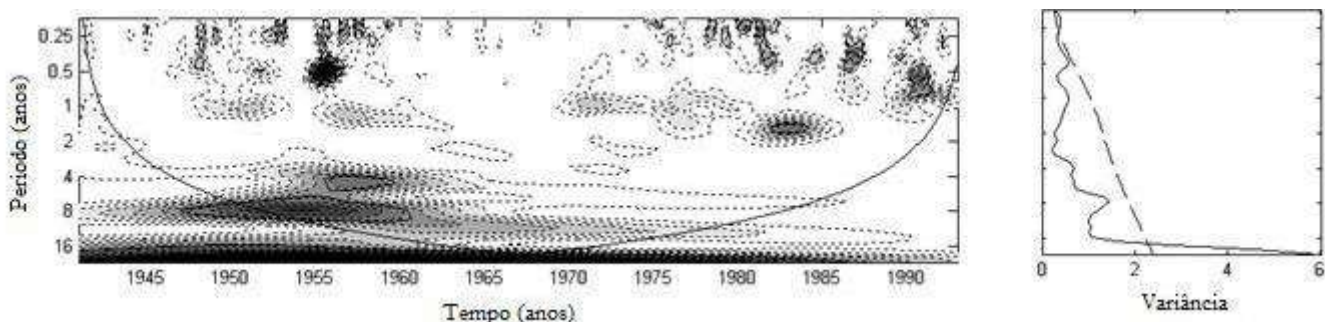


Figura 6: a) Espectro de Potência da Ondeleta para precipitação do ASF durante 1941 a 1993. Contornos tracejados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos sombreados correspondem a variâncias significativas ao nível de confiança de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de Potência global, o contorno tracejado indica que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

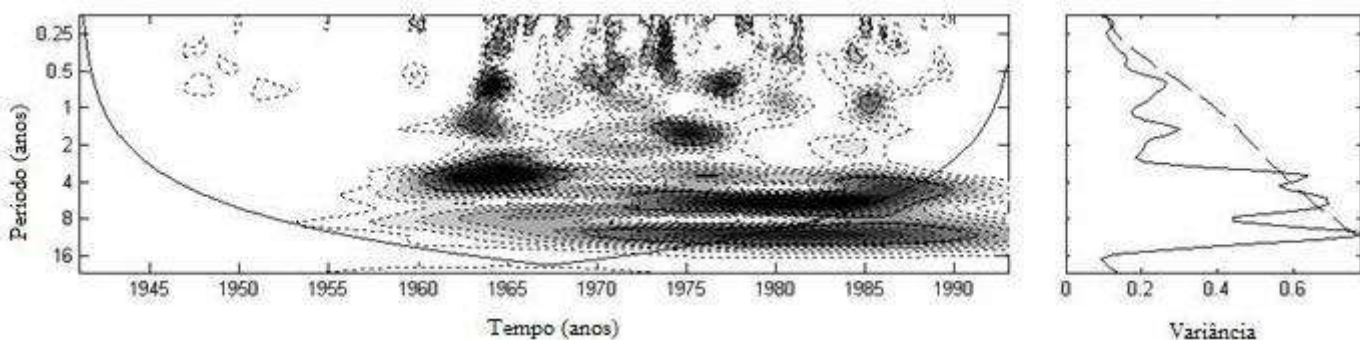


Figura 7: a) Espectro de Potência da Ondeleta para precipitação do SMSF de 1941 a 1993. Contornos tracejados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos sombreados correspondem a variâncias significativas ao nível de confiança de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de Potência global, o contorno tracejado indica que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

De acordo com a literatura, como citado em Da Silva (2003), períodos de aproximadamente 21 anos podem estar relacionados com ciclos de atividade solar, variações da atração gravitacional entre Terra-Sol-Lua ou variações internas do sistema. Já os ciclos de 11 anos foram associados ao ciclo de manchas solares, segundo Kerr

(1996). No entanto, essas variabilidades de escalas temporais de décadas já foram associadas à ODP (Mantua *et al.*, 1997; Xavier e Xavier, 2004; Molion, 2005). Assim, nessas duas sub-bacias, vê-se que uma fase da ODP dominou a variabilidade no ASF e a fase após atuou visivelmente sobre o SMSF. As regiões sofrem influência da ODP, mas

de intensidades e tempos distintos, o que será reforçado no item seguinte.

Ocorrência simultânea de fases de ENOS e ODP

Comparam-se a seguir as distribuições espaciais de anomalias de precipitação durante as fases da ODP

em associação às fases do ENOS. Durante o El Niño na fase positiva da ODP (Figura 8b), fica evidente um aumento nas precipitações no sudoeste do ASF e diminuição no nordeste do ASF (Figura 8b). Durante o El Niño na fase negativa da ODP (Figura 8a), a maior parte do ASF mostra anomalias negativas de precipitação, em particular no centro-oeste do ASF. Portanto, a

Para o SMSF, ficou claro que a associação de El Niño com a fase quente da ODP promoveu diminuição nas chuvas do SMSF, pois só foram registradas anomalias negativas (Figura 9b). Em eventos de El Niño é esperado chuvas abaixo da média no NEB, mas quando este ocorre ao mesmo tempo que a fase quente da ODP, formando uma junção de sinais positivos dos dois eventos, as anomalias negativas de chuva são mais bem definidas e fortes (negativas), ao contrário do El Niño + ODP negativa (Figura 9a).

mudança de fase da ODP influencia tanto no deslocamento dos núcleos de máximos e mínimos valores como na amplitude das anomalias. Durante o La Niña, tanto na fase negativa (Figura 8c) como positiva (Figura 8d) da ODP, a maior parte do ASF mostra anomalias negativas de precipitação. No entanto, a amplitude destas anomalias é maior (0,52) no caso de La Niña na fase fria da

Nas fases de La Niña e ODP negativa, ano de 1975, tais eventos contribuíram para anomalias positivas em todo o SMSF (Figura 9c). Em anos de La Niña espera-se para o NEB chuvas acima da média, mas verificou-se que sinais ou fases iguais dos eventos ENOS e ODP promoveram também anomalias mais fortes (positivas) e definidas. O mesmo não foi observado para La Niña + ODP positiva (Figura 9d).

Então, quando a ODP e o ENOS encontram-se em fases contrárias, como nas Figuras 9a e 9d, pode-se notar tanto anomalias positivas quanto negativas. A mudança de fase da ODP

ODP (Figura 8c). Portanto, quando a mudança de fase da ODP é observada em associação com o La Niña, o deslocamento das anomalias negativas é visível e anos menos secos ocorrem (Figura 8d). Ainda assim, não se nota para a região do ASF uma associação clara entre as fases do ENOS e ODP e sua influência sobre as precipitações.

também promoveu deslocamento dos núcleos de mínimos valores de anomalias. Nas duas fases negativas da ODP (Figuras 9a e 9c) os mínimos valores encontram-se aproximadamente no centro do SMSF, enquanto que nas fases positivas (Figuras 9b e 9d) os mesmos estão presentes no extremo leste da região. Parece que regiões no NEB são sensíveis à associação do ENOS e ODP e respondem muito bem às variações do clima, pois o mesmo também foi encontrado para outras regiões do Nordeste brasileiro por Andreoli e Kayano (2005).

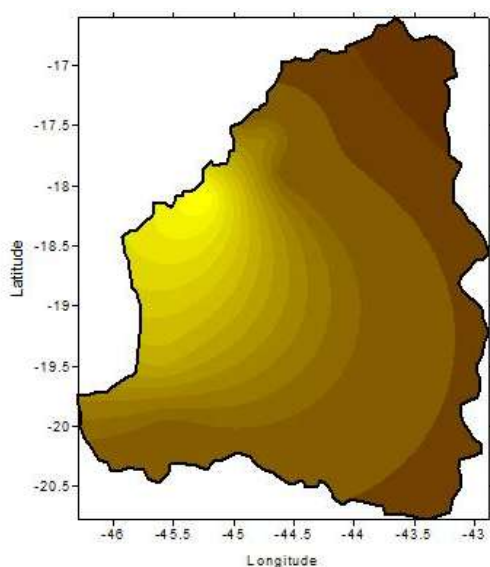


Figura 8a: Anomalias normalizadas de precipitação no ASF no ano de 1972 (ano de El Niño e ODP negativa).

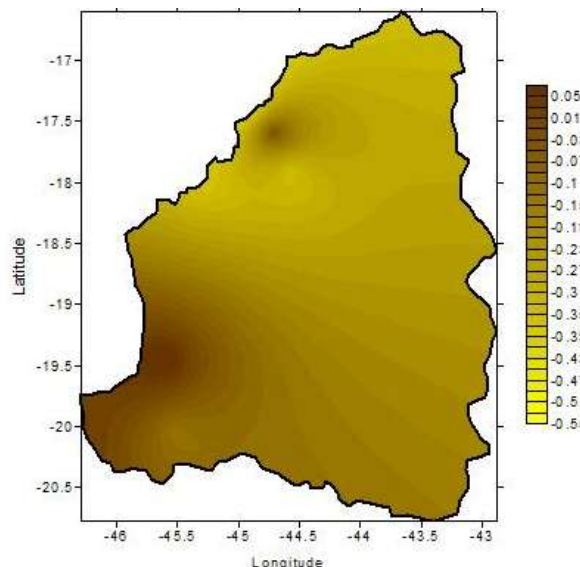


Figura 8b: Anomalias normalizadas de precipitação no ASF no ano de 1982 (ano de El Niño e ODP positiva).

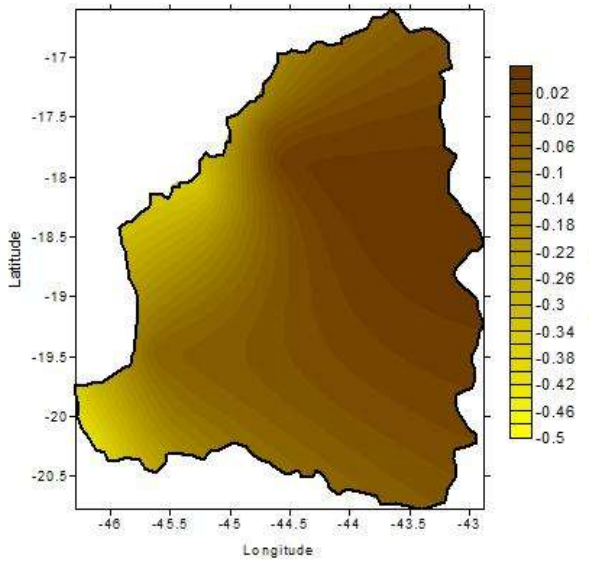


Figura 8c: Anomalias normalizadas de precipitação no ASF no ano de 1975 (ano de La Niña e ODP negativa).

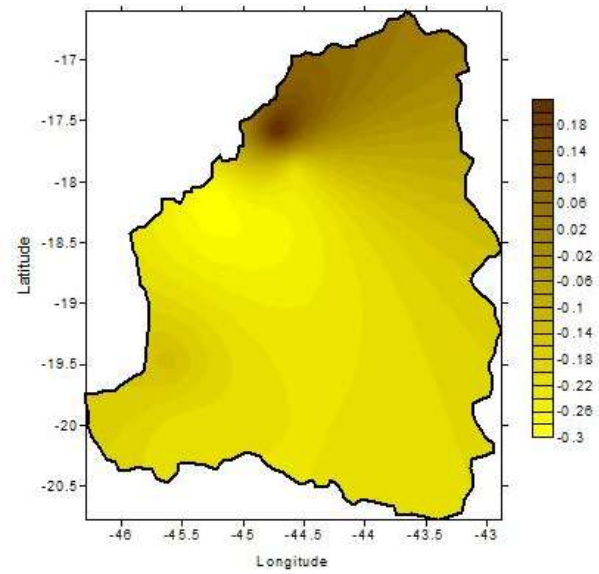


Figura 8d: Anomalias normalizadas de precipitação no ASF no ano de 1988 (ano de La Niña e ODP positiva).

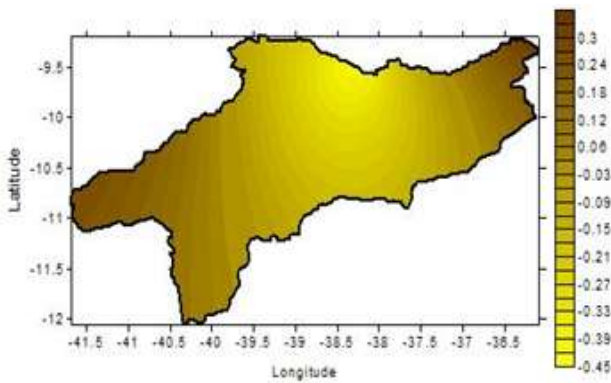


Figura 9a: Anomalias de precipitação no ano de 1972 (ano de El Niño e ODP negativa).

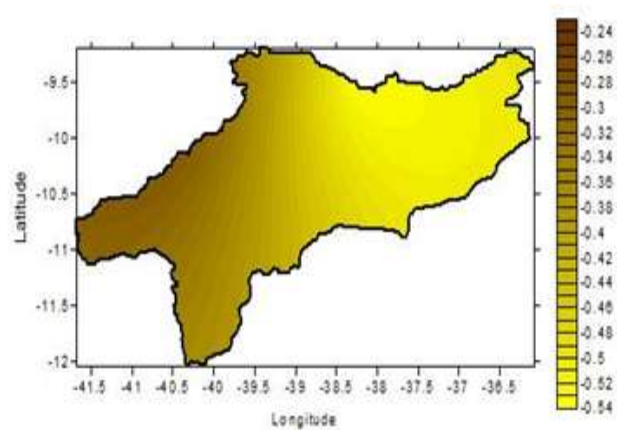


Figura 9b: Anomalias de precipitação no ano de 1982 (ano de El Niño e ODP positiva).

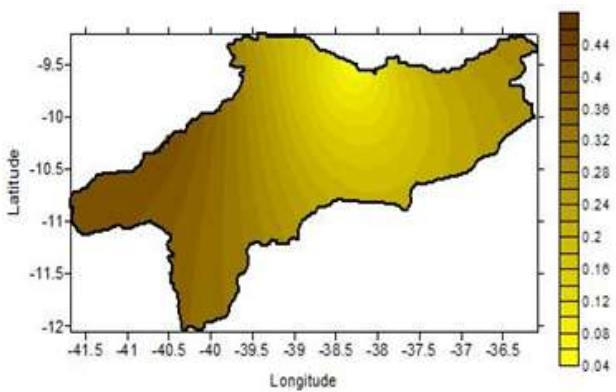


Figura 9c: Anomalias de precipitação no ano de 1975 (ano de La Niña e ODP negativa).

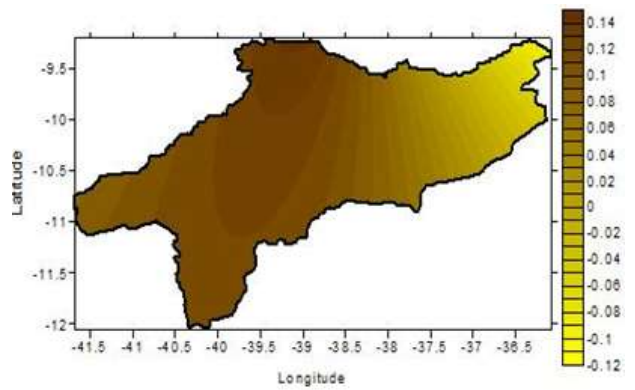


Figura 9d: Anomalias de precipitação no ano de 1988 (ano de La Niña e ODP positiva).

CONCLUSÕES

1- Índice de anomalia de chuva: Os anos secos e úmidos no Alto São Francisco e Submédio São Francisco distribuem-se muito variavelmente, mas com maior ocorrência de anos secos no Alto São Francisco. Já no Submédio São Francisco foram 27 anos úmidos e 26 anos secos ao longo da série. No entanto, comparando os máximos e mínimos do índice de anomalia de chuva, parece que a variabilidade interanual do El Niño Oscilação Sul propicia, mais evidentemente, anos mais chuvosos no Alto São Francisco, e quando há anos neutros ou normais, há mínimos de chuvas.

2- Análises de ondeletas: A partir das ondeletas foram encontradas na série de precipitação do Alto São Francisco e Submédio São Francisco, variabilidades em multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo. Para o período de 1942-1957, a escala multidecadal modulou a atuação da variabilidade interanual ligada ao ciclo de El Niño Oscilação Sul no Alto São Francisco. No Submédio São Francisco, a escala decenal também foi dominante sobre a interanual, influenciando na variabilidade pluviométrica local, principalmente de 1963 a 1993, logo após que ocorrido no Alto São Francisco. No Alto São Francisco a escala temporal dominante foi de 20,2-22 anos e secundária de 11 anos. A última foi a escala dominante no Submédio São Francisco.

3 – Associação de eventos de El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico: No Alto São Francisco não é notável uma associação entre as fases do El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico, como notado em outras regiões do Nordeste do Brasil. No Submédio São Francisco, ficou claro que a associação das mesmas fases de El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico promoveram diminuição nas chuvas, quando estão na fase quente dos dois eventos, e aumento nas chuvas, quando na fase fria dos dois eventos. A mudança de fase da Oscilação Decadal do Pacífico

também promoveu deslocamento dos núcleos de mínimos valores de anomalias do Submédio São Francisco. Parece que as áreas do Nordeste do Brasil são mais sensíveis à associação do El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico, pois o mesmo também foi encontrado para outros estudos também do Nordeste do Brasil.

4 – Conclusões Gerais: Diante disto, pode-se planejar o armazenamento e aproveitamento das águas de chuva, além de prevenir a população ribeirinha e agricultores para eventos extremos. Essas escalas temporais que dominam sobre escalas de eventos meteorológicos atuantes são contribuintes para aumento do total pluviométrico e assim, pode-se máximar o aproveitamento de água de chuva na gestão agrícola, pesqueira, social e energética, dentre outras.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq/CT-Hidro pela concessão de bolsa de Pós-doutorado à Djane Fonseca da Silva, desenvolvido no Departamento de Ciências Geográficas na UFPE.

REFERÊNCIAS

ABREU SÁ, L. D.; SABBATTI, 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.

ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions, **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 23, p.1100-1109, 1984.

ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought, **Water Resources Bulletin**, 21, v. 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.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the Tropical Atlantic, **Journal of Geophysical Research**, 109, C05009, 2004.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Enso-Related Rainfall Anomalies in South America and Associated Circulation Features During Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes, **International Journal of Climatology. Internacional Journal Climatology**, v.25: 2017–2030, 2005.

BARBOSA, E. B. M.; ROSA, M. M.; VIJAYKUMAR, N. L.; BOLZAN, M. J. A.; TOMASELLA, J. **Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares na Micro-bacia Amazônica**, INPE, São José dos Campos, 2004.

CODEVASF **Almanaque Vale do São Francisco**, edição 1, CODEVASF, 412 p., 2001.

DA SILVA, D. F. **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, 2003.

DA SILVA, D. F. **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), março, 2009.

DA SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 324-332, 2010.

- 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 Parnaíba 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.
- GALVÍNCIO, J. D. **Impactos dos eventos El Niño na precipitação da Bacia do rio São Francisco**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Campina Grande. Universidade Federal da Paraíba (PB), 117p, 2000.
- GERSHUNOV A, BARNETT, T. P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. **Bull. Amer. Meteorol. Soc.**, v.79: 2715–2725, 1998.
- 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 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.
- HAVENS, A. V. Economic Impact of Drought on Water Systems in Passaic River Basin, **Journal New Brunswick**, New Jersey Agricultural Experiment Station, 1969.
- 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, **Journal of Meteorological Society of Japan**, v.56, p.457-466,1978.
- LABAT, D; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L. Recent advances in Wavelet analyses, part 2-Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability. **Journal of Hidrology**, p.1-23, 2005.
- MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J .M.; FRANCIS, R. C. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production, **Bull. Amer. Meteorol. Soc.**, v. 78, pp. 1069-1079, 1997.
- MAUGET, S.U.M. Índice Padronizado de Precipitação (SPI); C. **Springer Science**, V.1, p.90, 2005.
- MORETTIN, P.A. **Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas**, Editora EDUSP, 1999.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico, **Revista Climanálise**, 2005.
- PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO ANA/GEF/PNUMA/OEA. Subprojeto 4.5C – **Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco** -PBHSF (2004-2013), 2004.
- ROOY, M. P. VAN. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space**, Notes, 14, 43, 1965.
- SCHNEIDER M., VITORINO, I., SILVA DIAS, P.L. Monitoramento da Intrasazonalidade por meio da Transformada em Ondeletas, **Anais I Simpósio Internacional de Climatologia**, Fortaleza, 2005.
- STEILA, D. **Drought Analysis in Four Southern States by a New Index**, PhD Diss., Athens, Ga., The University of Georgia, 1971.
- REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, C. A. 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.
- TORRENCE, C.; COMPO, G.P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, p.61-78, 1998.
- TORRENCE, C.; WEBSTER, P.J. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. **Journal of Climate**, 12, 2679-2690, 1999.
- 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.
- ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; BATTISTI, D. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93, **Journal of Climate**, v.10, p.1004-1020, 1997.
- XAVIER, T. M. B.; XAVIER, A. F. S A ODP-“Oscilação Decadal do Pacífico” (PDO – “Pacific Decadal Oscillation”) e eventos no Atlântico intertropical e no Nordeste Setentrional do Brasil, **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Fortaleza-CE, 2004.