

# Efeito de José e Noé nas Cotas do Rio São Francisco

## José and Noé Effect's of Levels in yhe São Francisco River

### RESUMO

O **Efeito do José e Noé** é observado em vários rios da América do Sul e da África; na América do Sul foi observado aumento de vazão após 1970 enquanto que na África, ocorreu o contrário. Com o auxílio das Análises de Ondeletas, objetiva-se neste trabalho identificar, na bacia hidrográfica do rio São Francisco, escalas das variabilidades temporais dominantes e suas possíveis causas climáticas e testar a hipótese do **Efeito do José e Noé** sobre variações de cotas de rios nesta bacia hidrográfica. Os dados diários de cotas de rio utilizados foram obtidos através da Agência Nacional das Águas (ANA) para o período de dados é de 1938-2010. Para o estudo, utilizou-se a Análise de Ondeletas, aplicada em alguns estudos de cotas ou vazões para entender a variabilidade de séries temporais (Nobre *et al.*, 1984; Marengo, 1995; Abreu Sá *et al.*, 1998; Trigo *et al.*, 1999). Concluiu-se que o efeito José e Noé também ocorreu na bacia hidrográfica do rio São Francisco, principalmente nas sub-bacias do ASF e MSF, não sendo tão marcantes no SMSF e BSF, as quais também sofrem intervenção de Sobradinho desde 1979.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efeito do José e Noé; Análises de Ondeletas, bacia hidrográfica do rio São Francisco.

### ABSTRACT

The José and Noé Effect's is observed in several rivers of South America and Africa, South America was an increase of flow after 1970 whereas in Africa, the opposite occurred. With the help of Wavelet Analysis this paper aims to identify the river, San Francisco basin, dominant temporal scales of variability and their possible causes climate and to test the hypothesis José and Noé Effect's in changes in level of rivers in this basin. The data daily of level of rivers used were obtained through the National Water Agency (ANA) for the data period is 1938-2010. For the study used the Wavelet analysis applied in some studies of quotas or flows to understand the variability of time series (Nobre *et al.*, 1984, Marengo, 1995; Abreu Sá *et al.*, 1998, Trigo *et al.*, 1999). Concluded that José and Noé Effect's also occurred in the basin of the São Francisco rRiver, mainly in sub-basins of the ASF and MSF, not as marked in the SMSF and BSF, which also has Sobradinho intervention since 1979.

**KEYWORDS:** José and Noé Effect's, Wavelet Analysis, river São Francisco basin.

Djane Fonseca da Silva

Meteorologista, Dr<sup>a</sup> em Rec. Hídricas, Professora Universidade Federal do Ceará (UFC) Juazeiro do Norte, CE, Brasil djane.fonseca@cariri.ufc.br

## INTRODUÇÃO

Eventos de cheias e secas dos rios prejudicam atividades econômicas e realçam os infortúnios sociais decorrentes do episódio. Os períodos de inundação alternam-se com períodos de baixa precipitação, os quais, ambos, variam em intensidade e duração do evento.

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.

Em Blumenau (Santa Catarina) desde 1852 são observadas as cotas máximas de inundação. Foram registradas todas as cotas acima de 9,0 m (cota do leito maior) desde de 1852. De 1912 a 1982 as cotas ficaram muito abaixo (< 13,0 m) das inundações que ocorreram antes e depois deste período. Este tipo de comportamento tem sido observado pelos hidrólogos ao longo do tempo e chamado de **Efeito do José e Noé** (Tucci e Braga, 2003).

Rios da América do Sul e da África já apresentaram esse comportamento, como citado por Tucci e Clarke (1980) e Collischonn et al. (2001), onde 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 apresentaram vazão média cerca de 30% superior a do período anterior. 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, em algumas regiões da África (exemplo, a Bacia do Congo e África subsaariana), passaram por período menos úmido do que 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.

Alguns estudos utilizaram a técnica das Análises de Ondeletas (AO) em dados de cotas ou vazões para entender a variabilidade dessas séries, tendo como exemplo Nobre et al. (1984) e Marengo (1995), Abreu Sá et al. (1998), Trigo et al. (1999).

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

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

Por fim, Trigo et al. (1999) ao aplicar as ondeletas no estudo da variabilidade de descargas diárias

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

Com o auxílio das Análises de Ondeletas, objetiva-se neste trabalho identificar, na bacia hidrográfica do rio São Francisco, períodos de maiores ou menores ocorrências de cotas, ciclos, variações aleatórias ou não, além das escalas das variabilidades temporais dominantes e suas possíveis causas climáticas. Testa-se, assim, a hipótese do **Efeito do José e Noé** sobre variações de cotas de rios desta bacia hidrográfica, verificando se há algum ano que seja “ponto de inversão”, como observado nos outros estudos já citados.

Pretende-se assim, trazer informações que subsidiarão grandes e pequenos agricultores, setor de geração de energia hidroelétrica, população, defesa civil e demais setores ligados aos recursos hídricos locais. O fato de o estudo ser aplicado na Bacia hidrográfica do rio São Francisco ineditamente, resalta sua importância.

## DADOS E METODOLOGIA

### Área de Estudo: Bacia hidrográfica do rio São Francisco

O rio São Francisco é um dos rios brasileiros mais extensos e sua bacia hidrográfica está situada em áreas dos Estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Distrito Federal,



Figura 1: Divisão político-administrativa da Bacia do Rio São Francisco (Fonte: ANA, 2004)

Pernambuco, Sergipe e Alagoas. A importância desse rio está no volume de água transportada por ele através da região semi-árida, na sua contribuição histórica e econômica para fixação das populações ribeirinhas e criação das cidades hoje plantadas ao longo do vale. Seu potencial hídrico é fundamental na geração de energia elétrica, com 10.000 MW de potência instalados à jusante de Barra (BA), e seu possível aproveitamento em futuros projetos de irrigação dos excelentes solos situados as suas margens (PBHSF, 2004).

A Bacia hidrográfica está dividida em quatro regiões fisiográficas (Figura 1): Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco que, por sua vez, foram subdivididas, para fins de planejamento, em 34 sub-

bacias. Adicionalmente, a bacia do rio São Francisco foi subdividida em 12.821 microbacias, com a finalidade de caracterizar, por trechos, os principais rios da região.

O rio São Francisco tem uma extensão de 2.863 km, enquanto a área de drenagem da bacia corresponde a 636.920 km<sup>2</sup> (8% do território nacional), abrange 503 municípios e sete Unidades da Federação antes descritos.

A bacia apresenta grande diversidade quanto às áreas irrigáveis, cobertura vegetal e fauna aquática. No Alto, Médio e Submédio São Francisco, predominam solos com aptidão para a agricultura irrigada, o que não se reflete no restante da bacia. Em relação à cobertura vegetal, a bacia contempla fragmentos de diversos biomas, salientando-se a Floresta

Atlântica em suas cabeceiras, o Cerrado (Alto e Médio São Francisco) e a Caatinga (Médio e Submédio São Francisco). Com relação à fauna aquática, observa-se que o rio São Francisco apresenta a maior biomassa e diversidade de peixes de água doce da região Nordeste (PBHSF, 2004).

Apesar da diversidade apresentada, observa-se que a bacia hidrográfica do rio São Francisco apresenta pequeno número de Unidades de Conservação. Além disso, também pode ser observado um quadro de crescente degradação ambiental, em que se verifica a perda da biodiversidade e a alteração dos ecossistemas aquáticos decorrentes da deficiência dos serviços de saneamento, da construção de grandes barragens e das atividades industriais e agrícolas

na bacia, com prejuízos à qualidade da água, o que indica a necessidade de ações tanto de caráter educativo e preventivo quanto de recuperação e adaptação.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco possui acentuados contrastes socioeconômicos, abrangendo áreas de acentuada riqueza e alta densidade demográfica e áreas de pobreza crítica e população bastante dispersa. A população total na bacia hidrográfica do rio São Francisco, no ano 2000, é de 12.796.082 habitantes, sendo 74,4% população urbana e 25,6% população rural. A densidade demográfica média na bacia hidrográfica é de 20,0 hab/km<sup>2</sup>. Do total de 503 municípios, 456 têm sede na bacia hidrográfica (PBHSF, 2004).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco tem como uma de suas principais características a presença de todos os tipos de usos dos recursos hídricos, o que representa um grande desafio e exige uma análise do conjunto para que se possa planejar adequadamente sua gestão (PBHSF, 2004).

Para avaliar as potencialidades, vulnerabilidades e conflitos associados aos recursos hídricos é necessária análise dos diferentes tipos de usos e demandas associadas de recursos hídricos requeridas pelas atividades econômicas que prevalecem na bacia, visando à compatibilização do uso para o abastecimento de água e diluição de efluentes, a irrigação de solos agricultáveis, a geração de energia, a navegação, a pesca e a aquicultura, as atividades turísticas e de lazer e a manutenção de ecossistemas.

O período entre 1999 e 2001 foi crítico na Bacia hidrográfica do rio São Francisco em termos de disponibilidade de água, coincidindo com a crise energética que o país enfrentou e que culminou com o racionamento de energia durante o ano de 2001. A menor descarga anual na Bacia ocorreu no ano de

2001, quando a vazão natural média anual em Xingó foi de apenas 1.400 m<sup>3</sup>/s. Por outro lado, a maior cheia ocorreu no ano de 1979, em que a vazão natural média anual em Xingó alcançou 5.089 m<sup>3</sup>/s. A disponibilidade hídrica de águas subterrâneas na bacia é de 318 m<sup>3</sup>/s (PBHSF, 2004).

### Dados Utilizados

Os dados diários de cotas de rio utilizados foram obtidos através da Agência Nacional das Águas (ANA) no sítio [www.ana.gov.br/hidroweb](http://www.ana.gov.br/hidroweb). Foram analisadas as cotas nas quatro sub-bacias: Alto São Francisco, Médio São Francisco, Submédio São Francisco e Baixo São Francisco. O período de dados é de 1938-2010.

As estações representativas escolhidas para cada sub-bacia foram:

#### Alto São Francisco – Várzea da Palma

Código – 41990000  
Bacia- Rio São Francisco  
Sub-bacia - Rio São Francisco, Rio das Velhas  
Rio- Rio das Velhas  
Município- Várzea da Palma (MG)  
Latitude -17:35:41  
Longitude -44:42:50  
Altitude (m) 464

#### Médio São Francisco – Manga

Código – 44500000  
Bacia- Rio São Francisco  
Sub-bacia - Rio São Francisco, Rio Verde Grande  
Rio- Rio São Francisco  
Município- Manga (MG)  
Latitude -14:45:26  
Longitude -43:55:56  
Altitude (m) 474

#### Submédio São Francisco – Juazeiro

Código - 48020000  
Bacia- Rio São Francisco  
Sub-bacia- Rio São Francisco, Rio Pajeú  
Rio- Rio São Francisco  
Município- Juazeiro (BA)

Latitude -9:24:23  
Longitude -40:30:13  
Altitude (m) 357,74

#### Baixo São Francisco – Pão de Açúcar

Código - 49370000  
Bacia- Rio São Francisco  
Sub-bacia- Rio São Francisco, Rio Moxotó  
Rio- Rio São Francisco  
Município- Pão de Açúcar (AL)  
Latitude -9:45:5  
Longitude -37:26:47  
Altitude (m) 8,1

### Análise de Ondeletas

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

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

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

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

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

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

A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

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

Em que:  $\eta = t/s$ , onde  $t$  é o tempo,  $s$  é a escala da ondeleta e  $\omega_0$  é uma frequência não dimensional, que tem valor 6 para o caso da ondeleta de Morlet. Todos introduzidos no "script" de programação do Software Matlab.

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

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

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

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

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

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

Será gerado um índice normalizado no intuito de destacar as anomalias, já utilizado por Kousky e Chu, (1978), Aceituno (1988) e Andreoli *et al.* (2004), Da Silva (2003; 2009), Da Silva *et al.* (2010).

O índice de cotas de rio de cada uma das quatro regiões foi calculado para todo o período de 1938 a 2010 e se referem às anomalias mensais de cotas, normalizadas pelos respectivos desvios-padrão mensais, calculadas através de (Da Silva, 2009):

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

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

## RESULTADOS

### Alto São Francisco

Como observado em outros rios já estudados (Tucci e Braga, 2003), no ASF, o rio São Francisco também apresentou períodos com variações em suas cotas. Por exemplo, baixos valores de cotas são observados em 1938, 1955, 1967, 1975, entre outros enquanto que, nos anos de 1945, 1950, 1970, 1972,

1979, 1982, entre outros, as cotas apresentaram anomalias positivas (Figura 2a). Essas variações podem ser explicadas pelas análises de ondeletas mostrada nas Figuras 2b e 2c.

Variações interanuais em rios também foram encontradas por Marengo (1995) e Trigo *et al.* (1999).

Após o ano de 1970, os maiores valores foram maiores que no período anterior a este ano, ou seja, anomalias positivas foram mais intensas após 1970 e o contrário se observa para as anomalias negativas, as quais foram menos intensas após 1970 (Figura 2a). Esses resultados corroboram com os observados por Tucci e Clarke (1980), Collischonn *et al.* (2001) e Tucci e Braga (2003).

Os períodos de menores amplitudes nos valores de cotas do ASF ocorreram de 1955 a 1975 e de 1987 a 2010, quando não foram apresentados os sinais de ocorrência de El Niño Oscilação Sul - ENOS (2 anos) e nem os sinais de ocorrência da escala decadal de 11 anos. Nesses períodos anteriormente citados houveram oscilação nas cotas do rio mas sem atingir os máximos negativos nem positivos, valores mais próximos da média. Assim, a ausência das escalas temporais ligadas ao ENOS e a decadal de 11 anos, ocasionou uma leve diminuição na cota do rio neste trecho.

Abreu Sá *et al.* (1998) também mostrou o rio Paraguai dependente das escalas anual, do ENOS e decadal.

Os máximos valores de cotas ocorreram em 1945 e 1978-79, quando em ambos os casos, ocorreu a junção das escalas sazonal, interanual, interanual curta, escala de 2 anos ligada ao ENOS, escala de 7 anos como sinal persistente de ENOS, escala decadal de 11 e 22 anos, sugerindo assim, que quando essa união de vários fenômenos meteorológicos ocorrem é favorável ao aumento do nível do rio no Alto São Francisco. A enchente de 1979 é tida como uma das maiores

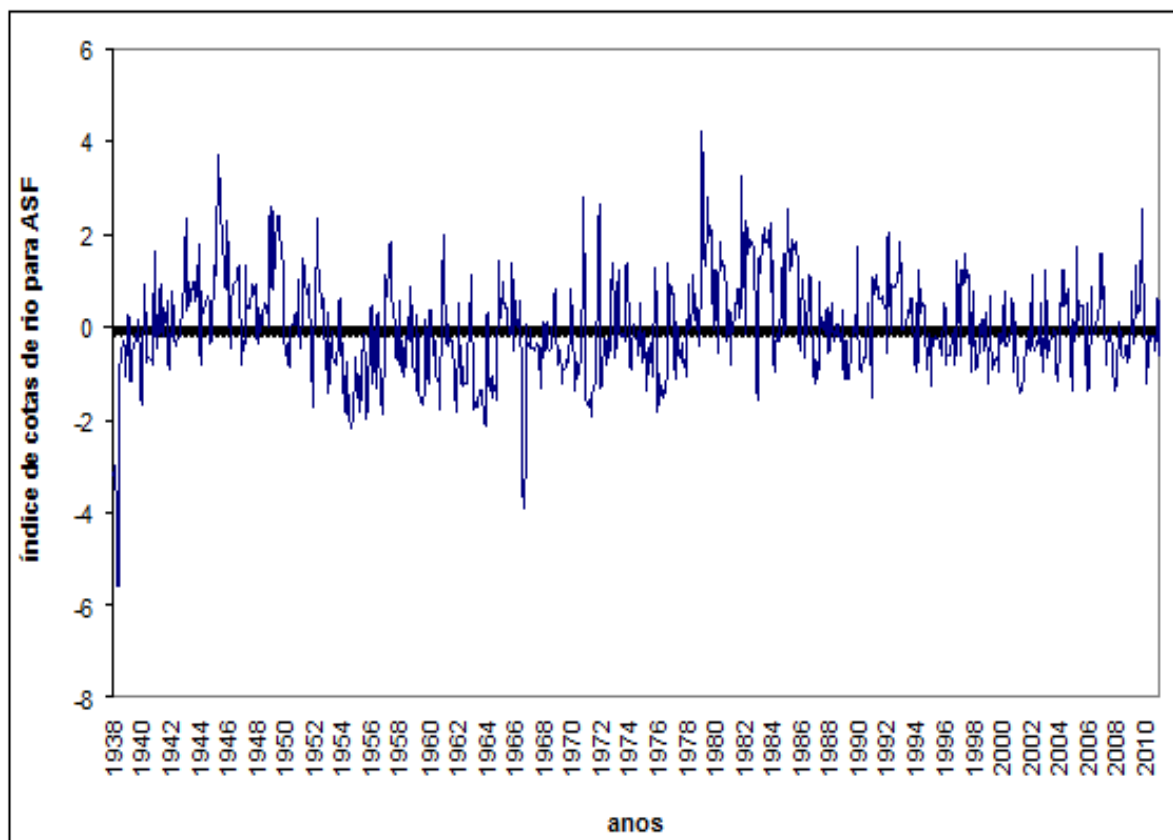


Figura 2a - Índice de cotas do ASF

ocorridas; teve destaque por suas consequências trágicas sociais e econômicas, tendo inclusive resultado na formação de uma Comissão Interministerial para estudar o assunto (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004). No mesmo ano foi implantada a barragem de Sobradinho, que regularizou a vazão do rio a partir do MSF.

Após 1979, nas Figuras 2a e 2b, podem-se observar menores amplitudes nas cotas do rio, o que nessa parte do rio não em relação com Sobradinho e sim com os fenômenos meteorológicos atuantes e os ausentes.

A escala decadal de 22 anos, segundo a literatura específica (Mantua *et al.*, 1997), está relacionada à Oscilação Decadal do

Pacífico e a escala de 11 anos (Kerr, 1996) ao ciclo de manchas solares.

Nas Figuras 2b e 2c, é visível que a escala decadal de 22 anos é dominante ao longo da série, seguida pelas escalas de 11 anos e posteriormente a de 7 anos.

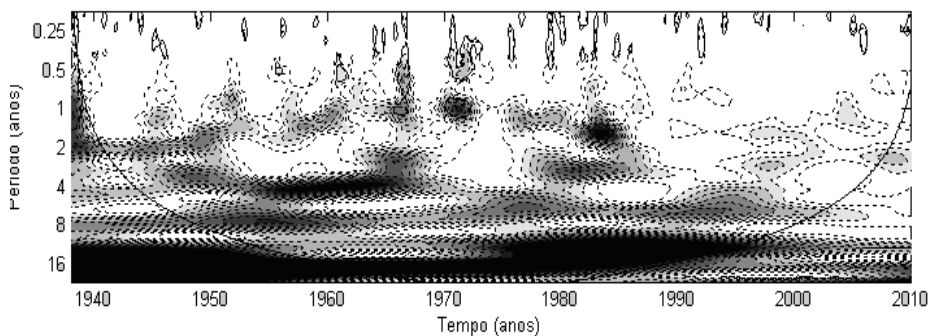


Figura 2b - Espectro de Potência de Ondeleta(EPO)

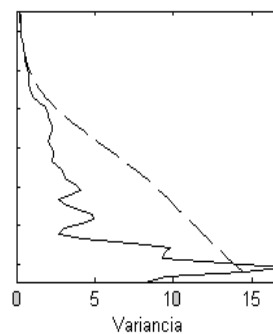


Figura 2c - Espectro de Potência Global(EPG)

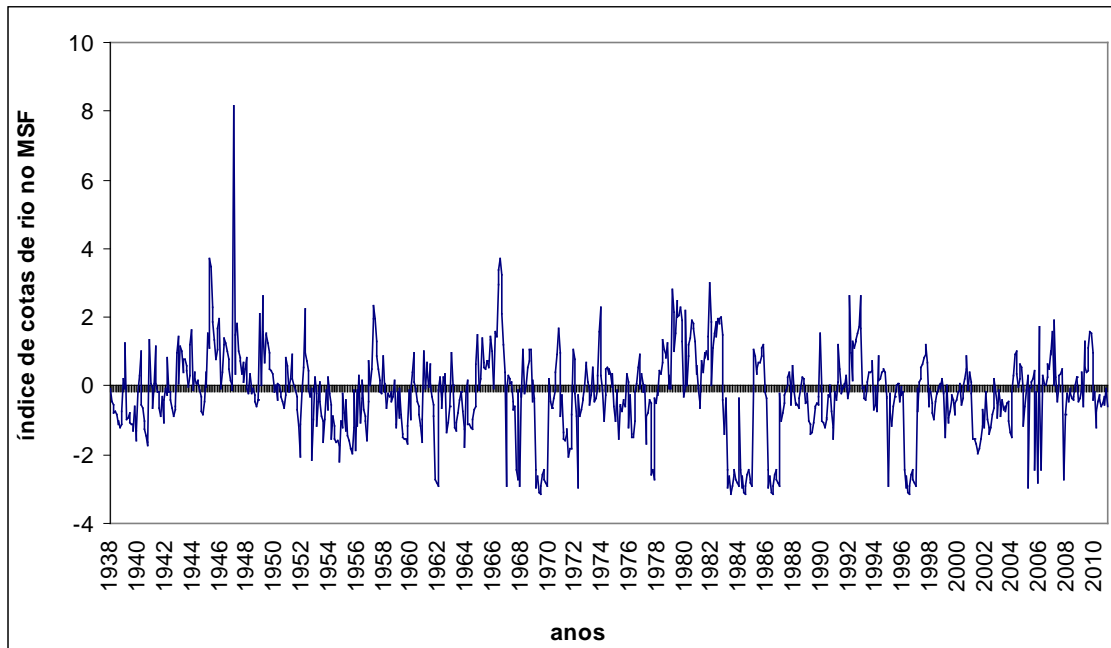


Figura 3ª - Índice de cotas do MSF

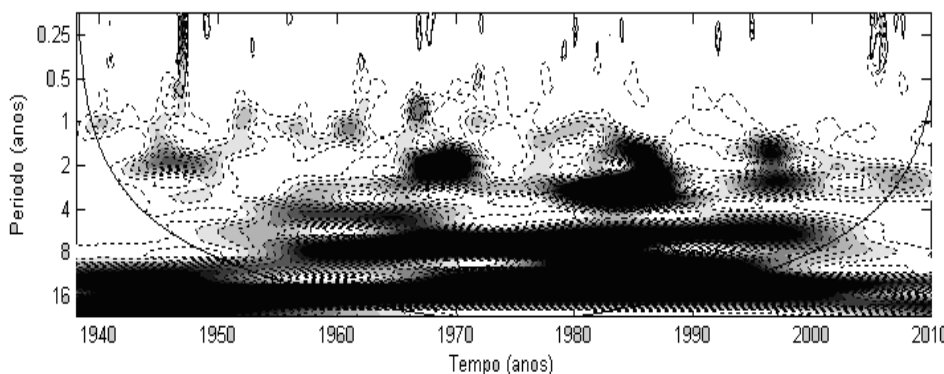


Figura 3b - Espectro de Potência de Ondeleta(EPO)

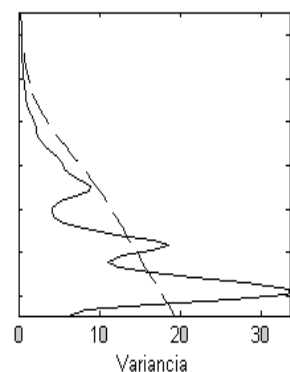


Figura 3c - Espectro de Potência Global(EPG)

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; 2c) Espectro de Potência global, o contorno tracejado indica que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

### Médio São Francisco

O maior aumento ocorrido na série de índice de cotas no MSF foi em 1947 (Figura 3a), devido

associação de vários sistemas meteorológicos com escalas temporais distintas (sazonal + interanual + ENOS + escala decadal de 11 e 22 anos). Nos anos de 1966, 1970, 1980, 1985, 1990, também houve associação dessas escalas, mas com menor intensidade, gerando menores cotas (Figura 3b).

Após 1966 (2º maior índice de cotas), os máximos valores foram menores que o período anterior e pode-se observar diminuição nas cotas no MSF, contrário ao observado no ASF, onde após 1970 as cotas aumentaram.

No MSF, a escala temporal de 11 - 22 anos (Figura 3c) foi a escala

dominante e esteve presente e toda a série. A escala sazonal apresentou seu sinal em alguns anos específicos (1947, 1967, 1968, 1980, 1984, 1991, 1995, 2005, 2006, 2008). A escala temporal do ENOS pronunciou-se de 1944 a 1952, de 1967 a 1972, de 1979 a 1989 (longa fase de ENOS, ocasionando grande enchente de 1979 no rio São Francisco) e de 1995 a 1999. A escala de 5-7 anos, ligada ainda ao ENOS, esteve presente na série do MSF de 1955 a 2000. As escalas temporais persistentes no MSF são também encontradas no estudo de Abreu Sá *et al.* (1988), no rio Paraguai.

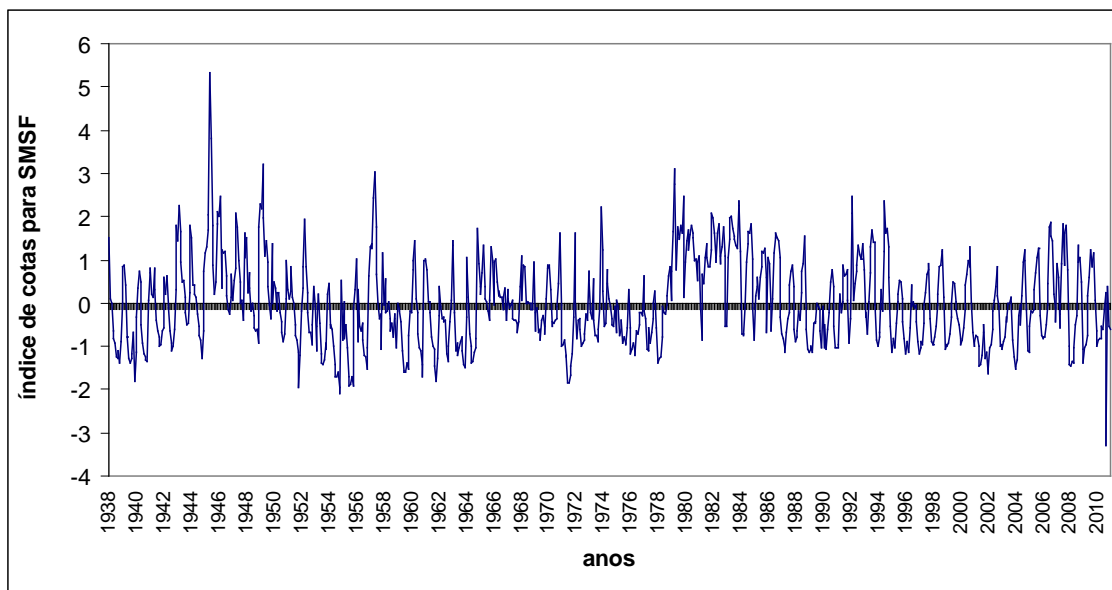


Figura 4a - Índice de cotas do SMSF

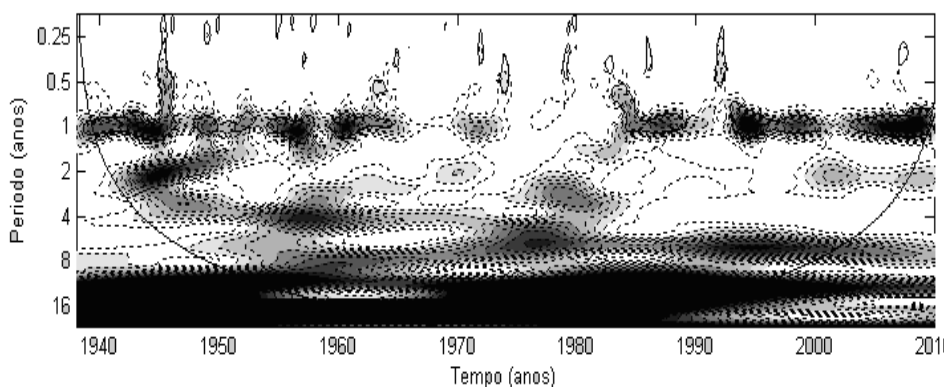


Figura 4b - Espectro de Potência de Ondeleta(EPO)

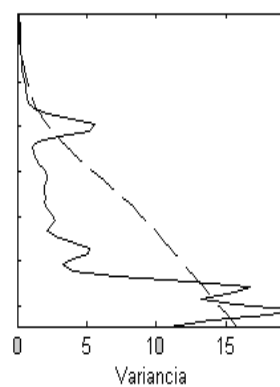


Figura 4c - Espectro de Potência Global(EPG)

Mesmo em vários rios da América do Sul terem apresentado aumento de cotas e vazão após 1970 (Tucci e Clarke, 1980; Collischonn *et al.* 2001; Tucci e Braga, 2003), em Ladário, no rio Paraguai, de 1960 a 1973 foram observadas menores cotas (Tucci, 2011). Assim, acredita-se que o ASF segue o comportamento de rios da América do Sul ((Tucci e Clarke, 1980; Collischonn *et al.* 2001; Tucci e Braga, 2003), e ao mesmo tempo, o MSF tem seu comportamento contrário e semelhante ao rio Paraguai (Tucci, 2011). Entretanto, tanto a sub-bacia do ASF quanto à do MSF, ambas apresentaram comportamento semelhante ao **efeito José e Noé**, com períodos de

máximas cotas e períodos de mínimas cotas.

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; 3c) Espectro de Potência global, o contorno tracejado indica que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

### Submédio São Francisco

No SMSF a escala decadal (11-22 anos) é dominante, seguida pela

escala interanual (1-2 anos) (Figuras 4b e 4c). Também no SMSF observa-se o máximo valor de cota em 1947, mas com valor menor do visualizado no MSF (Figura 4a).

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; 4c) Espectro de Potência global, o contorno tracejado indica que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

No SMSF as cotas apresentaram poucas variações mais



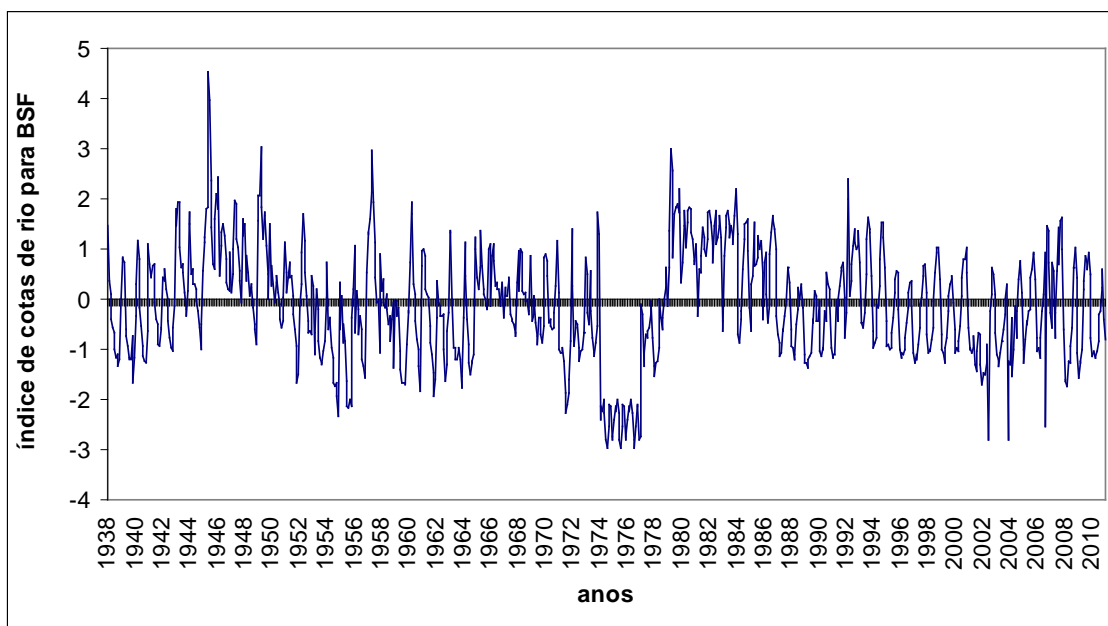


Figura 5a - Índice de cotas do BSF

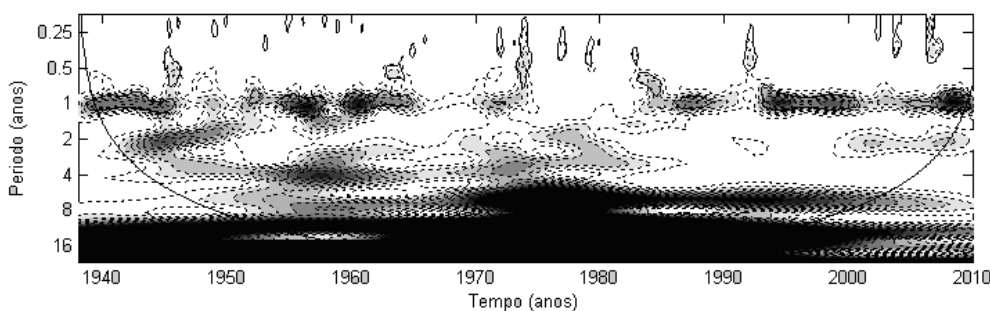


Figura 5b - Espectro de Potência de Ondeleta(EPO)

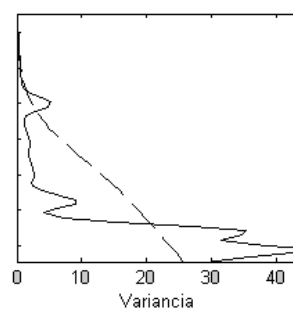


Figura 5c - Espectro de Potência Global(EPG)

acentuadas (exemplo os anos de 1950, 1953, 1957, 1974, 1979). Já após o ano de 1979, fica mais clara a influência de Sobradinho na série de cotas do SMSF, deixando as cotas mais próximas da média, principalmente as cotas negativas (Figura 4a).

Nessa sub-bacia a escala interanual é mais pronunciada que nas sub-bacias anteriores.

### Baixo São Francisco

No BSF, a escala interanual também se mostrou decisiva sobre a variação das cotas de rio, como também observado no SMSF, ambas sub-bacias no Nordeste do Brasil.

As escalas decadais de 11-22 anos também foram as escalas dominantes na série do BSF (Figura 5c). O máximo de cota de rio

ocorrido em 1947, também é observado no BSF, como no SMSF, em decorrência do mesmo motivo, associação de fenômenos meteorológicos com escalas temporais distintas.

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; 5c) Espectro de Potência global, o contorno tracejado indica que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

A “normalização” das cotas após 1979 também é verificada da mesma forma que no SMSF, ou seja, as variações das duas sub-bacias

SMSF e BSF são semelhantes e distintas das outras duas sub-bacias (ASF e MSF).

### CONCLUSÕES

No ASF foram observadas variações interanuais, tendo como exemplo os anos de 1938, 1955, 1967, 1975, com baixos valores de cotas, e os anos de 1945, 1950, 1970, 1972, 1979, 1982, com anomalias positivas, corroborando com Marengo (1995) e Trigo *et al.* (1999). Ainda no ASF, anomalias positivas de cotas foram mais intensas após 1970, endossando os estudos de Tucci e Clarke (1980), Collischonn *et al.* (2001) e Tucci e Braga (2003). No ASF, a escala decadal de 22 anos é dominante, seguida pelas escalas de 11 anos e posteriormente a de 7 anos.

No MSF, após 1970, as cotas foram menores do que as observadas no ASF. Como na sub-bacia anterior, a escala decadal foi a dominante no MSF, seguida pela escala temporal de 7 anos. Tanto a sub-bacia do ASF quanto a do MSF, ambas apresentaram comportamento semelhante ao **efeito José e Noé**, com períodos de máximas cotas e períodos de mínimas cotas.

Já nas sub-bacias do SMSF e BSF, a escala decadal (11-22 anos) é dominante, seguida pela escala interanual (1-2 anos), escala a qual não se apresentava em destaque nas sub-bacias anteriores, sugerindo que as sub-bacias situadas no Nordeste recebiam maior influência da escala interanual.

Nessas sub-bacias fica mais clara a influência de Sobradinho na série de cotas do SMSF, deixando as cotas mais próximas da média, principalmente as cotas negativas.

Concluiu-se também que o efeito José e Noé também ocorreu na bacia hidrográfica do rio São Francisco, principalmente nas sub-bacias do ASF e MSF, não sendo tão marcantes no SMSF e BSF, as quais também sofrem intervenção de Sobradinho desde 1979.

## REFERÊNCIAS

- ABREU SÁ, L.D.; SAMBATTI, S.B.M.; GALVÃO, G.P. **Ondeleta de Morlet aplicada ao estudo da variabilidade do Nível do rio Paraguai em Ladário, MS**; Número Especial, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol.33, p.1775-1785, out. 1998.
- ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: surface climate, **Mon. Wea. Rev.**, v.116, p.505-524, 1988.
- ANDREOLI, R.V., KAYANO, M.T., GUEDES, R.L., OYAMA, M.D., ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 337-344, 2004.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Further evidence of change in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of Climate Change? **Journal of Hydrology**, 245(2001), 218-238, 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, agroecômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL E PE)**, 212 p., Tese de Doutorado em Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande (PB), 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.
- 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.
- MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production, **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 78, pp. 1069-1079, 1997.
- MARENGO, J.A. Variations and Change in South American streamflow. **Climate Change**, Dordrecht, v.31, nº1, p.99-117, 1995.
- MORETTIN, P.A. **Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas**, edusp, 193 p., 1999.
- NOBRE, C.; PAIÃO, L.B.F.C.; AMENDOLA, M. Análise espectral das cotas do rio Negro em Manaus. São José dos Campos, INPE, **Relatório técnico INPE**, 16p., 1984.
- PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004. Subprojeto 4.5C – **Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - PBHSF (2004-2013)**.
- TORRENCE, C.; COMPO, G.P.: A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, p.61-78, 1998.
- TRIGO, R. M. ; GALVÃO, C. O. ; TRIGO, I. F. . **Aplicação de Wavelets ao estudo da variabilidade de caudais diários: uma comparação entre algumas bacias portuguesas e brasileiras**. In: IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 1999, Coimbra. APRH, 1999. p. 1-15.
- TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Adaptive forecasting with a conceptual rainfall-runoff model. **Hydrological Forecasting. Proc. Oxford Symp.**, IAHS n.129, pp 425-454, 1980.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Editora UFRGS, EDUSP, ABRH, 952 p., 1993.
- TUCCI, C.E.M; BRAGA, B. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**, Coleção ABRH, 348 p., 2003.
- TUCCI, C.E.M. **Estacionalidade e Variabilidade climática**. (blog do tucci, 2011. Acesso em 20/11/2011.

Ddisponível em  
<http://rhama.net/wordpress/?p=199>

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

Recebido em: ago/2012  
Aprovado em: dez/2013