

# PERIODICIDADES, TENDÊNCIAS E PREVISÃO A PARTIR DA ANÁLISE ESPECTRAL DINÂMICA DA SÉRIE DOS NÍVEIS DO RIO PARAGUAI, EM LADÁRIO (1900/1995)<sup>1</sup>

DANIEL JEAN ROGER NORDEMANN<sup>2</sup>

**RESUMO** - As séries das médias mensais e anuais dos valores do nível do rio Paraguai, em Ladário (1900/1995), foram estudadas por vários métodos numéricos que incluem: análise de Fourier, periodograma, análise espectral dinâmica e regressão iterativa. A finalidade do trabalho é identificar as grandes características do regime do rio e, através das principais periodicidades embutidas na série, as possíveis causas ou os fatores que podem intervir em suas variações. O regime do rio não é estacionário, porém, tentou-se utilizar apenas as oito periodicidades maiores para prever o comportamento do rio numa escala de tempo de algumas décadas.

Termos para indexação: análise de Fourier, hidrologia, inundação.

## PERIODICITIES, TENDENCIES AND PREVISION BASED ON DYNAMIC SPECTRAL ANALYSIS OF THE PARAGUAY RIVER LEVEL SERIES IN LADÁRIO COUNTY (1900/1995)

**ABSTRACT** - Mean values of monthly and annual level of Paraguay River in Ladário County (1900/1995) were studied by several numerical methods which include: Fourier analysis, periodogram, dynamic spectral analysis and iterative regression. This work intended to identify the main characteristics of the river flow and to use the main periodicities embedded in the series to evidence possible causes or factors which may influence its variations. The river flow is not stationary; however, an attempt was done to use only the eight main periods to predict the river behavior at a time scale of a few decades.

Index terms: Fourier analysis, hydrology, inundation.

## INTRODUÇÃO

O nível de um rio é um indicador de duas de suas características mais importantes: vazão e tamanho do seu leito, incluindo as áreas alagadas. Existem registros antigos de níveis de rio que fornecem também preciosos dados sobre as variações climáticas (Peixoto & Oort, 1992) e os fenômenos geofísicos associados no passado. Uma análise matemática adequada pode também, dentro de certas hipóteses e de certos limites, ser usada para uma previsão do futuro próximo. As variações do nível do rio Paraguai em Ladário, perto de Corumbá (Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil), de janeiro de 1900 até abril de 1995 (médias mensais obtidas a

partir das leituras diárias) foram estudadas visando a obter resultados sobre clima, meio ambiente e relações com fenômenos geofísicos.

Estas variações mostram, claramente, um comportamento complexo com longos períodos de estiagem e de alta vazão. As periodicidades, possivelmente embutidas neste sinal, não aparecem a primeira vista e, no intervalo analisado, o regime é nitidamente não estacionário (Departamento de Obras e Saneamento, 1974; Nordemann, 1995a, 1995b). Por estas razões, os dados foram analisados por vários métodos matemáticos de análise: análise de Fourier, periodograma, análise espectral dinâmica. Diante dos resultados e apesar de o regime do rio não apresentar condições de estacionaridade, tentar-se-á uma seleção das periodicidades que representem contribuições maiores e significativas nas variações do nível do rio no passado e usá-las na tentativa de prever o comportamento do rio em futuro próximo.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 3 de março de 1998.

<sup>2</sup> Físico, Dr. Sc., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/DGE), Av. dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515, CEP 12201-970 São José dos Campos, SP. E-mail: nordeman@dge.inpe.br

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise numérica das séries temporais geofísicas, recomenda-se utilizar os métodos matemáticos disponíveis mais adequados e escolher dentro de um leque de "softwares" ou ferramentas computacionais compatíveis com o hardware e o tempo de processamento necessário para processar os dados (Dettinger et al., 1995). Vários algoritmos próprios foram desenvolvidos no ambiente do Mathematica for Windows (Wolfram, 1991; Nordemann, 1994). Os tratamentos foram realizados em máquina 486DX4 100 MHz, com 16 MB de RAM e disco rígido de 500 Mb.

A fim de analisar as diversas periodicidades embutidas na série temporal das médias mensais do nível do rio Paraguai em Corumbá, de janeiro de 1900 até abril de 1995, foi calculado o espectro de Fourier e o ciclograma das amplitudes das funções senoidais embutidas na série em função de sua frequência, para a totalidade da série. A regressão iterativa (Wolberg, 1967) foi aplicada através da varredura das periodicidades detectadas no ciclograma em ordem decrescente de amplitude. Esta regressão iterativa foi aplicada a cada vez sobre a série inicial menos a série artificial reconstituída a partir das periodicidades até então determinadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os parâmetros das mais importantes periodicidades detectadas. Evidentemente, a mais importante periodicidade achada na série estudada é a de um ano devido à revolução orbital da Terra. Pode ser visto também que a amplitude da função senoidal que corresponde ao período de um ano representa apenas uma fração pequena da amplitude total das variações do nível do rio. Devido a este fato, as demais periodicidades têm um papel importante. Pode ser visto também que a soma das amplitudes mostradas na Tabela 1 é da ordem de 400 cm, o que significa que, no caso tratado neste trabalho, estas amplitudes podem descrever de maneira aproximada – porém, suficiente – as variações observadas entre os valores extremos (da ordem de 700 cm, isto é, duas vezes 350 cm). Com a metodologia empregada, detectaram-se aproximadamente 50 periodicidades com amplitude superior a seu desvio-padrão. Isto significa que, ao lado das

nove citadas, outras podem ser significativas e características de outros ciclos naturais que podem influenciar as variações da altura do rio.

Para evidenciar as tendências presentes na série estudada, uma análise espectral dinâmica foi realizada, na maneira "clássica", com amostras de comprimento constante, e também usando a metodologia das ondeletas com amostras de comprimento igual a um número constante de períodos. Este estudo mostrou claramente a evolução das periodicidades entre 2 e 5 anos (ENSO-QBO), aparentemente mais forte de 1900 a 1950 do que no resto da série. Entre os traços mais importantes das tendências observadas, o período de 28,4 anos aparece com um amplitude maior durante as últimas décadas da série.

O período de 28,4 anos encontra-se dentro do intervalo de periodicidades entre 28 e 32 anos das variações de temperatura do ar nos dois hemisférios, claramente evidenciados por Kane & Teixeira (1990), enquanto as demais periodicidades, 5-6 anos, 10-11 anos, 15 anos, 20 anos e 55-80 anos detectadas por estes autores, não aparecem ou só aparecem como sinais fracos na série do rio Paraguai de 1900 a 1995.

**TABELA 1.** Parâmetros das mais importantes periodicidades detectadas na série dos níveis do rio Paraguai, em Ladário (1900-1995).

Período (anos)	Amplitude ± desvio (cm)	Observação
1,0000 ± 0,0002	130,0 ± 5,2	Revolução orbital
28,4 ± 0,77	77,0 ± 13,7	
14,6 ± 0,34	44,5 ± 12,0	
8,9 ± 0,16	33,7 ± 11,4	
7,8 ± 0,14	33,6 ± 12,8	
6,6 ± 0,12	20,7 ± 10,2	
3,8 ± 0,03	32,6 ± 10,9	QBO/ENSO
4,8 ± 0,06	23,9 ± 10,7	
2,8 ± 0,02	22,7 ± 10,5	
2,3 ± 0,02	17,3 ± 10,1	

Para reconstrução e previsão na escala de anos até décadas, a metodologia descrita acima foi aplicada às médias anuais dos anos hidrológicos. Este procedimento explica as diferenças observadas entre os resultados obtidos anteriormente sobre as médias mensais e os obtidos sobre as médias anuais. Estes últimos levam a efetuar a reconstituição ano hidrológico por ano hidrológico a partir das seguintes periodicidades:

período 28,4 anos ( $77,0 \sin[0,221 t + 1,91]$ )

período 7,8 anos ( $33,6 \sin[0,807 t + 3,79]$ )

período 14,6 anos ( $44,5 \sin[0,432 t + 6,27]$ )

período 8,9 anos ( $33,7 \sin[0,709 t + 3,99]$ )

período 4,8 anos ( $23,1 \sin[1,32 t + 4,44]$ )

período 2,8 anos ( $22,7 \sin[2,25 t + 4,78]$ )

período 2,3 anos ( $18,9 \sin[2,75 t + 4,54]$ )

período 3,2 anos ( $13,6 \sin[1,95 t + 5,68]$ )

Os resultados são apresentados na Fig. 1. Observa-se que neste modelo algumas enchentes (antes de 1920) ou estiagens (1963 até 1974) de grande amplitude não são descritas com fidelidade, o que caracteriza sua excepcionalidade em relação à hipótese da estacionaridade. Entretanto, o modelo prevê uma estiagem de grande amplitude para o futuro próximo até o ano 2000 aproximadamente, seguida por uma alternância de períodos de enchente e de nível próximo do nível médio. Evidentemente, uma condição suplementar necessária para a realização desta previsão reside, entre outros fatores, na ausência de interferência humana de grande amplitude em condições climáticas regionais e globais.

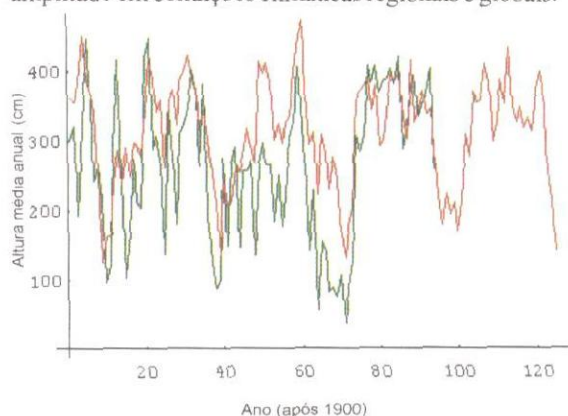


FIG 1. Altura anual do rio Paraguai em Corumbá de 1900 a 1994 (curva verde) e reconstrução com previsão pelas principais periodicidades até 2030 (curva vermelha).

## CONCLUSÕES

1. O regime do rio Paraguai é complexo e não é estacionário. Ao lado da periodicidade anual predominante, existem outras periodicidades de amplitudes menores cujas contribuições são, entretanto, da maior importância para as variações de altura do rio. Entre os componentes de período superior a um ano, destaca-se um grupo de componentes de período de 28,6 anos e de períodos da ordem de 2 a 4 anos (na faixa da Oscilação Sul/El Niño ENSO ou Oscilação Quase Bianual QBO) com amplitudes entre 13 cm e 33,3 cm.

2. De maneira global, a aplicação de diversos métodos matemáticos de análise de séries temporais ao estudo das variações de altura do rio Paraguai em Corumbá revela-se proveitosa e deveria ser estendida a um número maior de registros observacionais ou naturais, para se ter um conhecimento melhor do meio ambiente no passado em relação com os fenômenos geofísicos envolvidos.

3. O modelo prevê uma estiagem de grande amplitude para o futuro próximo até o ano 2000, seguida por uma alternância de períodos de enchente e de nível próximo do nível médio.

## REFERÊNCIAS

- DETTINGER, M.D.; GHIL, M.; STRONG, C.M.; WEIBEL, W.; YOU, P. Software expedited singular-spectrum analysis of noisy time series. *Eos*, v.76, n.2, p.12-21, Jan. 1995.
- DEPARTAMENTO DE OBRAS DE SANEAMENTO. **Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai:** Relatório técnico. [S.l.]: UNESCO-PNUD, 1974. v.1.
- KANE, R.P.; TEIXEIRA, N.R. Power spectrum analysis of the time-series of annual mean surface air temperatures. *Climatic Change*, v.17, p.121-130, 1990.
- NORDEMANN, D.J.R. Periodicidades e tendências nas médias mensais do nível do rio Paraguai em Corumbá de 1900 a 1995. In: ENCONTRO SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ESTUDOS NO PANTANAL. **Livro de resumos...**, Corumbá: INPE-Embrapa, 1995a. p.73-75.
- NORDEMANN, D.J.R. Previsão baseada no estudo do nível do rio Paraguai em Corumbá de 1900 a 1995. In: ENCONTRO SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ESTUDOS NO PANTANAL. **Livro de resumos...**, Corumbá: INPE-Embrapa, 1995b. p.69-71.

- NORDEMANN, D.J.R. *Introdução ao Mathematica for Windows*. São José dos Campos: Transtec, 1994. 171p.
- PEIXOTO, J.P.; OORT, A.H. *Physics of Climate*. New York: AIP, 1992. 520p.
- WOLBERG, J.R. *Prediction analysis*. Princeton: Van Nostrand, 1967. 291p.
- WOLFRAM, S. *Mathematica: a system for doing mathematics by computer*. Reading, MA: Addison-Wesley Pub., 1991. 961p.