

ESTUDO DA PERIODICIDADE NA VAZÃO ANUAL DO RIO SÃO FRANCISCO

por

J. KELMAN¹

RESUMO-- Apresenta-se um breve estudo estatístico para a série de vazões anuais no Rio São Francisco em Juazeiro que sugere a possível existência de um ciclo com período de dezessete anos.

INTRODUÇÃO

É crescente no Brasil o interesse na utilização de modelos e previsão de secas com antecipação de alguns anos. Por exemplo, as séries de precipitação anual do Nordeste, e em particular, a correspondente à cidade de Fortaleza (130 anos de registro) foram analisadas por diversos autores que detectaram uma periodicidade e aproximadamente 13 anos (Markham (1974), Strang (1979), Teixeira et al. (1980) e Damázio e Kelman (1981)). Estes últimos autores compararam quatro modelos estocásticos ajustados para a série de Fortaleza e concluíram que o modelo de dois ciclos (13 e 6 anos) parecia ser muito mais verossímil do que, por exemplo, o modelo que considera o processo estocástico como estacionário e estatório.

É importante ressaltar que estas evidências de ciclicidade basearam-se em resultados estatísticos. Existem algumas hipóteses quanto à origem do fenômeno que no entanto ainda não foram comprovadas quantitativamente. Por exemplo, Markham (1974) atribui os ciclos de 13 e 26 anos à "... ressonância de um longo período no sistema oceano-atmosfera, governando a posição média da linha de convergência intertropical, bem como as temperaturas oceânicas equatoriais".

ESTUDO DA PERIODICIDADE

No texto seguinte é apresentada uma especulação, ainda sob tica estatística, quanto a ciclicidade da série de vazões médias anuais no Rio São Francisco em Juazeiro. Utiliza-se um registro de 51 anos (Figura 1) cobrindo o período de outubro de 1929 a setembro de 1980, cujas principais propriedades são:

Média : 2692 m³/s
Coeficiente de variação : 0.28
Coeficiente de assimetria : 1.01
Coeficiente de curtose : 3.75
Coeficiente de autocorrelação : 0.30

Pesquisador, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL
Rio de Janeiro, RJ. Cidade Universitária - Ilha do Fundão, C.Postal 2754
Professor da COPPE, RJ

CONCLUSÃO

Ao se acreditar na ciclicidade de 17 anos expressa pela equação (1), a probabilidade de que o ano de 1988 seja seco sobe de 19% para 43%. Esta diferença é suficientemente grande para estimular o estudo mais aprofundado do assunto. Por exemplo, o exame da Figura 4 (correlograma das vazões anuais), sugere que outros processos estocásticos, que não incluam um termo periódico, também poderiam ser modelos razoáveis, como por exemplo um ARMA(p,q). Parece portanto relevante verificar a adequação de outros modelos e estabelecer critérios para a seleção do melhor modelo, como por exemplo os sugeridos por Damázio e Kelman (1981).

AGRADECIMENTO

Este trabalho foi realizado dentro de um projeto de investigação patrocinado pela CHESF (DPST-7498).

REFERÊNCIAS

- Damázio, J.M., Kelman, J., (1981), "Previsão de Total Anual de Precipitação", IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, ABRH, Fortaleza.
- Fisher, R.A., (1929), "Tests of Significance in Harmonic Analysis", Proceeding of Royal Society of London, Série A, Volume 125, páginas 54-59.
- Markham, C.G., (1974), "Apparent Periodicities in Rainfall at Fortaleza, Ceará, Brasil", Journal of Applied Meteorology, Volume 13, páginas 176-179.
- Strang, D.M.G.D., (1979), "Utilização dos Dados Pluviométricos de Fortaleza, CE, Visando Determinar Probabilidades de Anos Secos e Chuvosos", Relatório Técnico ECA-03/79, Instituto de Atividades Espaciais, Centro Técnico Aeroespacial, 12200- São José dos Campos - São Paulo, Brasil
- Teixeira, L., Girardi, C., Guedes, R.L., (1980), "Resumo da Análise Sobre a Série Pluviométrica de Fortaleza - Ceará, Brasil", Relatório Técnico ECA-02/80, Instituto de Atividades Espaciais, Centro Técnico Aeroespacial, 12200, São José dos Campos - São Paulo, Brasil.

A Figura 2 mostra o periodograma para esta série de vazões. Nota-se um pico para a frequência de 3/51, que corresponde a um ciclo de 17 anos, responsável por cerca de 25% da variância do processo. Fisher (1929) determinou a distribuição de probabilidade de máxima ordenada do periodograma, debaixo da hipótese nula de normalidade e independência. Para a série de Juazeiro esta hipótese pode ser rejeitada a um nível de significância de aproximadamente 2,5%. O sinal periódico do ciclo de 17 anos pode ser visto na Figura 1, superposto ao registro de vazões anuais. Este resultado sugere a adoção do seguinte modelo:

$$Y(t) = 2692 + 531 \cos \frac{2\pi(t-28)}{17} + 50 \sin \frac{2\pi(t-28)}{17} + A(t) \quad (1)$$

onde

$Y(t)$ é a vazão média no ano que começa em outubro do ano t ($t = 29, 30, \dots$)

$A(t)$ é um ruído i.i.d com valor esperado nulo

A partir da série histórica de $a(t)$ pode-se estimar:

Desvio-padrão : 643 m³/s
Coeficiente de assimetria : 0.66
Coeficiente de curtose : 3.66
Coeficiente de autocorrelação : 0.09

A suposição de que $A(t)$ seja um processo estocástico aleatório (independente) parece razoável, conforme pode ser verificado pelo exame da Figura 3, onde aparece o correlograma de $A(t)$, inteiramente dentro do intervalo de confiança de 95%.

Acreditando-se no modelo expresso pela equação (1), o ano de 1988 será o principal candidato, no futuro imediato, a ser o ano central de uma seca no rio São Francisco. Arbitrando-se como ano seco aquele em que a vazão média seja inferior à vazão garantida de 2045m³/s, pode-se calcular a probabilidade de que 1988 seja um ano seco :

$$\begin{aligned} P(\text{ano } 1988 \text{ seja seco}) &= P(Y(88) \leq 2045) \\ &= P(2161 + A \leq 2045) \\ &= P(A \leq -116) \end{aligned}$$

Adotando-se a distribuição normal para A , tem-se $P(\text{ano } 1988 \text{ seja seco}) = \Phi\left(\frac{-116}{643}\right) = 0.43$, onde $\Phi(-)$ é a distribuição acumulada normal padrão.

Convém calcular esta possibilidade admitindo-se simplesmente que a distribuição marginal de $Y(t)$ seja normal: $\Phi\left(\frac{2045-2692}{748}\right) = 0.19$. A hipótese de normalidade parece razoável, visto que o valor esperado do número de anos secos em 51 anos é de $51 \times 0.19 = 9,7$ anos, enquanto que foram efetivamente observados 9 anos secos.

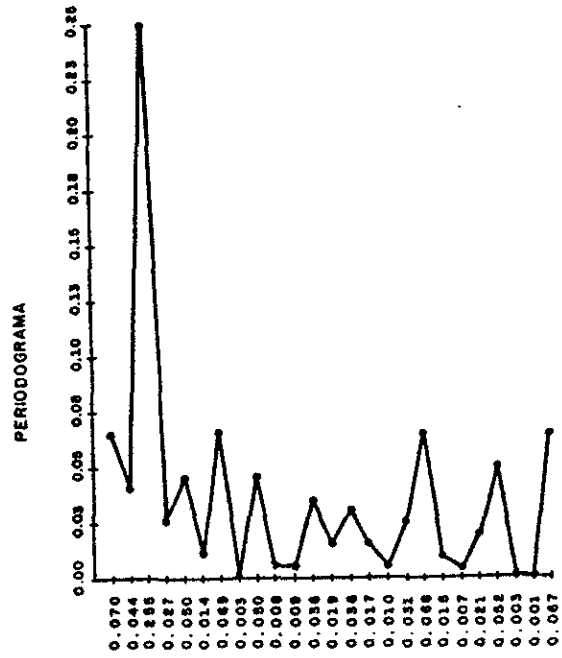
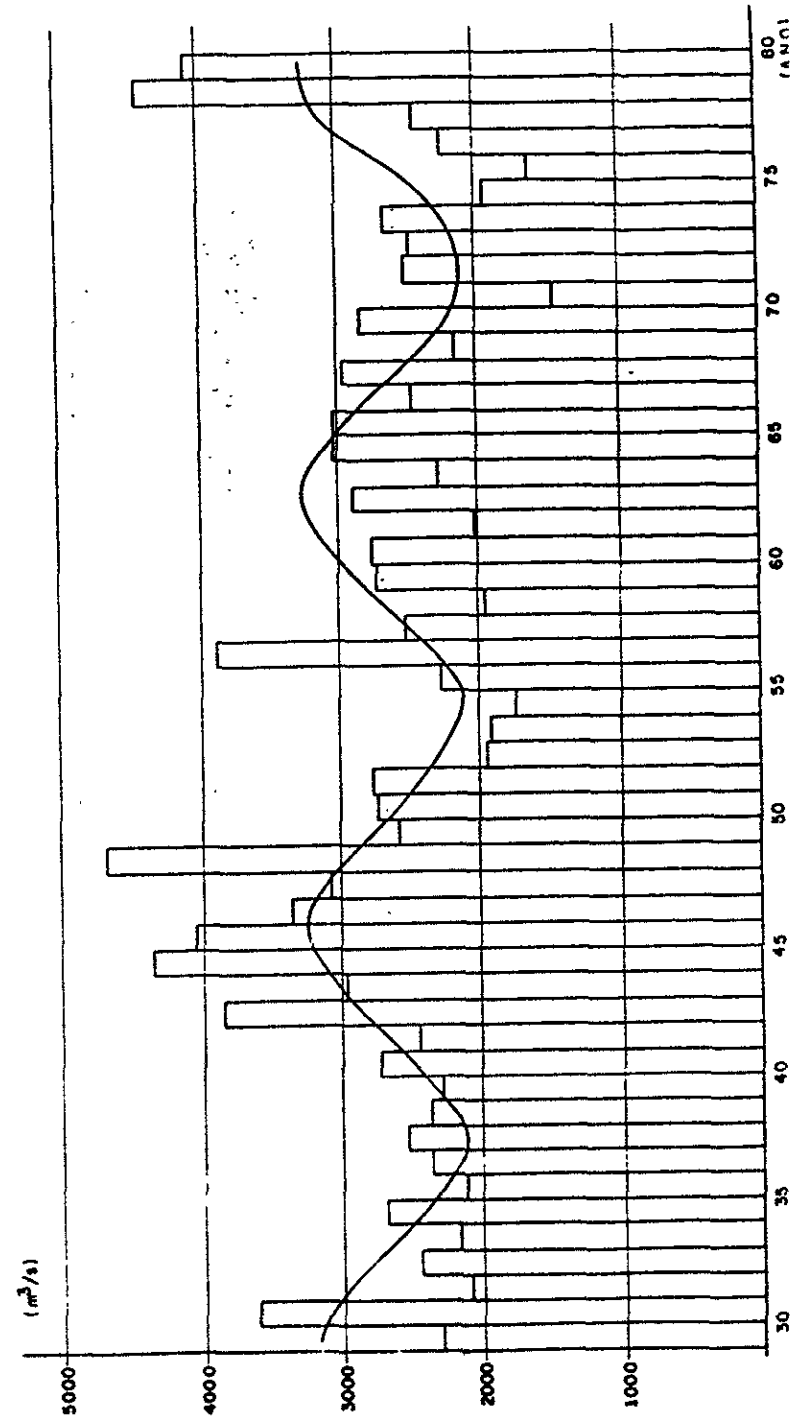


FIGURA 2 - PERIODOGRAMA DAS VAZÕES ANUAIS DO RIO SÃO FRANCISCO, EM JUAZEIRO

VAZÕES ANUAIS RIO S. FRANCISCO EM SOBRADINHO



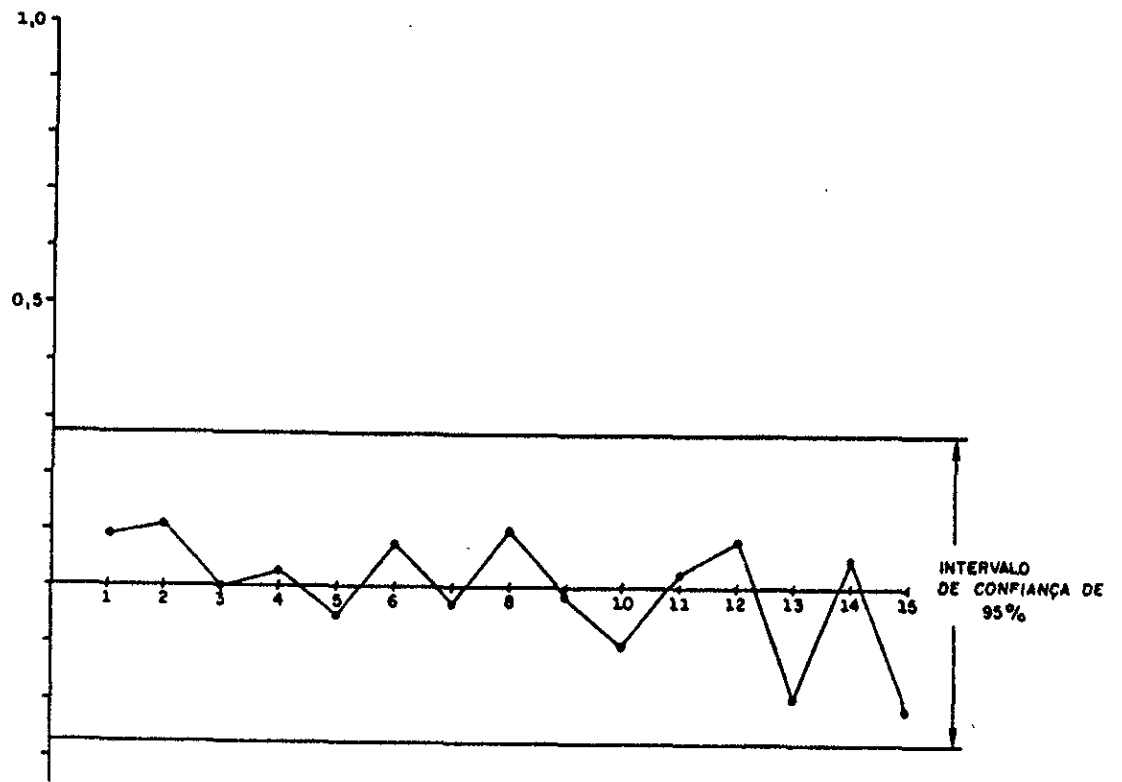


FIGURA 3 - CORRELOGRAMA PARA DIFERENÇAS A(1)

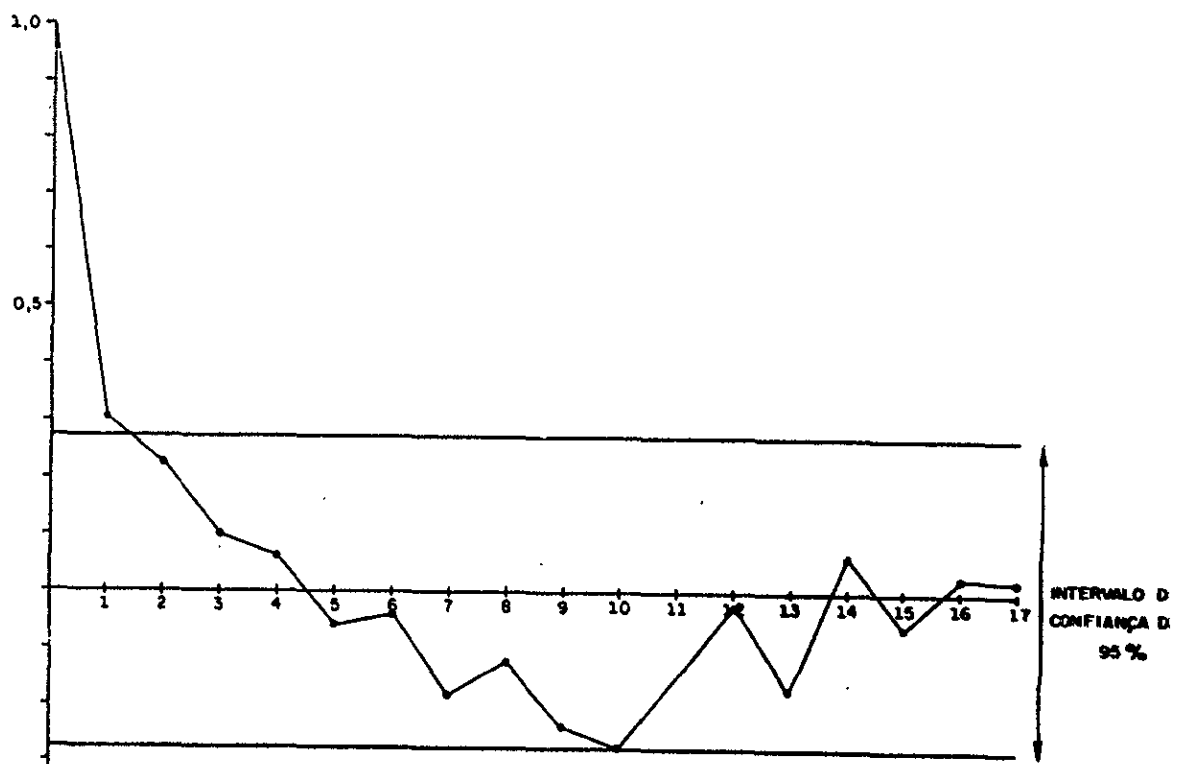


FIGURA 4 - CORRELOGRAMA PARA VAZÕES ANUAIS
R. S. FRANCISCO EM JUAZEIRO

by

Jerson Kelman

ABSTRACT-- It is presented a statistical study of the annual streamflow series of São Francisco river at Juazeiro that suggests the existence of a cycle with a period of seventeen years.