



VARIABILIDADE CLIMÁTICA E A INFLUÊNCIA DO CICLO NODAL LUNAR

Diego Narciso Buarque Pereira ^(a), Gustavo Zen de Figueiredo Neves ^(b), Francisco Arthur da Silva Vecchia ^(c)

^(a) Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, diego.narciso@usp.br

^(b) Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental/Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Professor colaborador Universidade Estadual de Goiás, gustavozen@sc.usp.br

^(c) Professor Associado/Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, fvecchia@sc.usp.br

Eixo: Climatologia em diferentes níveis escalares: mudanças e variabilidades

Resumo/

A precipitação, enquanto elemento do sistema climático, está em função de fatores internos e forçantes extraterrestres. Dentre estas, a força da gravidade da Lua tem papel significativo como motor das marés oceânicas e sua influência na distribuição da massa e energia em escala global. Evidências mostram um aparente ciclo bidecadal em parâmetros oceanográficos e variáveis atmosféricas em diversas regiões da Terra, sendo o Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos apontado como potencial modulador desses fenômenos climatológicos. Motivado por essas evidências, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura da potencial influência do ciclo nodal no clima e analisar a periodicidade presente em séries pluviométricas. O método Transformada Discreta de *Fourier* é largamente utilizado para detecção de frequências presentes em séries temporais e consolidado em variáveis hidroclimáticas.

Palavras chave: Variabilidade Hidroclimática; Análise de Fourier; Séries Temporais; Precipitação.

1. Introdução

Um dos grandes problemas enfrentados pelo homem diz respeito a distribuição espacial e temporal das precipitações, pois a água é o elemento indispensável para as atividades humanas, e a sua falta ou excesso podem causar grandes transtornos às populações.

Uma vez que a precipitação é considerada como o dado de entrada do ciclo hidrológico, o estudo de sua distribuição espaço-temporal tem extrema importância, sendo o conhecimento dos padrões de precipitação em determinada região uma ferramenta facilitadora no gerenciamento das atividades humanas, podendo ser utilizado, por exemplo, para: planejamento na agricultura (índices climáticos podem ser usados para o manejo da irrigação e ser correlacionado com o conteúdo de matéria orgânica do solo) e na pecuária; planejamento do projeto e operação de obras de abastecimento de água e/ou geração de energia; potencializar a previsão de anomalias de chuva e antecipar períodos de maior ou menor ocorrência; entre outros.



O processo de evaporação, condensação, e precipitação são essencialmente fenômenos climáticos; a função desses processos no ciclo da água seria de processo simples se não fosse a constante movimentação do oceano-atmosfera. Assim, o padrão de circulação atmosférica tem uma influência sobre as manifestações regionais do ciclo hidrológico (CRITCHFIELD, 1966). Existem correntes oceânicas que movem maciças quantidades de água ao redor do mundo, esses movimentos têm grandes influências no ciclo hidrológico e no clima. Assim surge o importante papel do ciclo hidrológico no sistema climático natural.

De acordo com Conti (2000) a maioria dos fatores responsáveis pelos processos de mudanças climáticas são de ordem natural, relacionados com parâmetros orbitais da terra, a frequência de rotação, a intensidade de radiação solar, a quantidade de poeira atmosférica, destacando-se, também, o decréscimo de salinidade do Atlântico Norte, as alterações oceânicas e a complexidade do sistema interativo Terra-Oceano-Atmosfera.

Os fatores externos podem ser agrupados em: (a) fatores gerais como a radiação solar, a esfericidade da Terra, a movimentação da Terra ao redor do Sol e sua rotação, a atração gravitacional da Lua, a existência de continentes e oceanos; e (b) fatores regionais e locais, como a distância do mar, topografia, natureza da camada superficial e sua vegetação, proximidade de lagos. Fatores internos tratam de propriedades intrínsecas da atmosfera, como a composição e várias instabilidades, e a circulação geral atmosférica (PEIXOTO; OOR, 1991).

Dentre os fatores iniciais do clima e externos a Terra, podemos citar o Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos ou precessão da órbita lunar. A Lua tem seu eixo de rotação inclinado em $5,1^\circ$ com relação ao plano da eclíptica (plano em que se encontram o Sol e os planetas) e o da Terra é $23,5^\circ$. Quando os dois eixos apontam em direções opostas, eles fazem um ângulo de $28,6^\circ$ ($23,5^\circ + 5,1^\circ$) e a Lua, relativamente à superfície terrestre, se desloca na faixa entre $28,6^\circ$ N e $28,6^\circ$ S de latitude. Quando os eixos estão na mesma direção, a área varrida está entre $18,4^\circ$ N e $18,4^\circ$ S ($23,5^\circ - 5,1^\circ$).

A fim de investigar a potencial influência do Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos na circulação geral da atmosfera e conseqüentemente formação de nuvens e precipitação na região sudeste do Brasil, espera-se que esse estudo possa contribuir com o melhor conhecimento da dinâmica em larga escala temporal das séries históricas utilizadas, proporcionando informações importantes para a redução da vulnerabilidade hídrica em relação as adversidades meteorológicas inerentes ao clima.



2. O Ciclo Nodal Lunar

A inclinação da órbita da lua em relação ao plano do equador varia entre $18,4^\circ$ e $28,6^\circ$ em um período de 18,61 anos. Isso dá origem a chamadas “marés oceânicas nodais”, com um período de 18,6 anos, ou seja, quase-bidecadal, e uma amplitude de equilíbrio de mais de 12 mm (LISITZIN, 1974).

Quando está atuando fora dos trópicos (declinação entre $23,5^\circ$ e $28,6^\circ$ de latitude), o componente da força gravitacional lunar é maior na direção Equador-Polo e acelera as correntes marinhas, particularmente a do Golfo (América do Norte) e a de Kuroshio (Japão) (Figura 1), transportando mais calor da região tropical para as latitudes mais elevadas. Isso faz com que as águas do Pacífico Norte e do Atlântico Norte fiquem mais aquecidas que o normal e torne o clima dos países banhados por elas, como a costa oriental da Ásia, América do Norte, Europa Ocidental, Inglaterra e Escandinávia, mais ameno e úmido (MOLION, 2016)

Ainda segundo Molion (2016), quando o plano da órbita lunar se situa dentro da região tropical (declinação entre $18,4^\circ$ e $23,5^\circ$) durante cerca de 9 anos, o componente de sua força gravitacional é maior na direção Leste-Oeste. A exportação de calor para fora dos trópicos é reduzida, mais calor é retido e redistribuído zonalmente dentro dos trópicos. Possivelmente estando associado ao fenômeno global El Niño Oscilação Sul (ENSO – *El Niño South Oscillation*).

A Figura 1 apresenta a modulação do alcance da contribuição da maré nodal expresso em porcentagem da variação total. Em algumas regiões essa componente é responsável por 20% da variação total de maré. Portanto, modulações interanuais, em particular a modulação nodal, tem um interesse especial em estudos de alcance de maré e tem sido relacionado com mudanças na temperatura superficial do mar (LOODER; GARRETT, 1978; HAIGH; ELIOT; PATTIARATCHI, 2011).

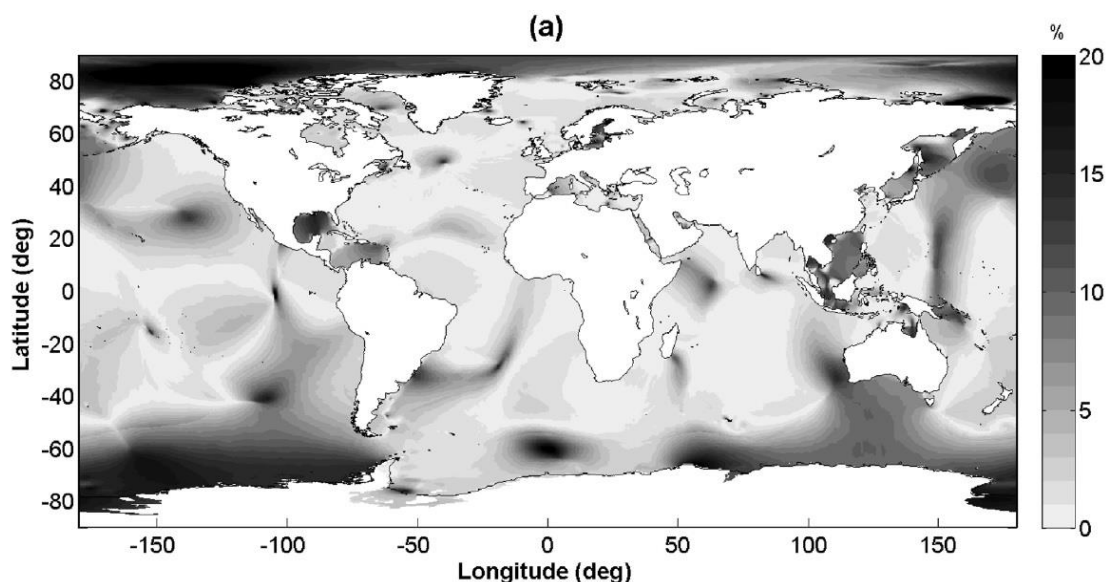


Figura 1 - Alcance da modulação de 18,61 anos expresso em porcentagem do alcance de maré. Fonte: (HAIGH; ELIOT; PATTIARATCHI, 2011).

3. Materiais e Métodos

Para verificar a presença de ciclos de precipitação, foi selecionado uma série histórica de precipitação na região sudeste, utilizando-se de ferramentas de suavização da série temporal e correlação linear entre a curva senoidal de 18,6 anos do Ciclo Nodal Lunar e a série suavizada.

A série histórica de precipitação selecionada foi obtida a partir da base de dados do Sistema HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA) e corresponde ao município de Estrea do Sul/MG (18°44'S, 47°41'O) abrangendo um período 1945 a 2015.

A suavização de uma série temporal permite uma análise do comportamento da série para longo períodos de tempo e facilita a análise cíclica para baixas frequências, como no caso de períodos quase-bidecadais (18,6 anos). A influência ou o tempo de resposta de uma forçante em um elemento do sistema climático, pode apresentar um certo tempo de atraso (*delay*) no registro da observação, principalmente devido ao processo de *feedback*, ou ainda mostrar-se influenciada pela metade do ciclo, no caso, aproximadamente 9,3 anos.

De acordo com Huggett (1991) durante os anos 1970, com o avanço de técnicas sofisticadas de alta-resolução espectral para extrair frequências harmônicas de séries temporais, o Ciclo Nodal Lunar foi investigado e encontrado em variáveis atmosféricas como temperatura superficial do oceano (LODER E GARRETT, 1978), e em regimes de precipitação e seca em diversas regiões da terra (AGOSTA, 2014; CURRIE; FAIRBRIDGE, 1985; MAZZARELLA; PALUMBO, 1994).

Para investigar a periodicidade nos dados de precipitação, foi aplicada a metodologia de análise espectral de *Fourier* na série de precipitação suavizada. A Transformada Discreta de *Fourier* (TDF) tem como base funções seno e cosseno, com espaço infinito e uniforme no tempo e revela qual o componente espectral está presente no sinal (LAU; WENG, 1995). A análise espectral é utilizada para investigação de frequências e periodicidades presentes nas séries temporais, ou seja, auxiliar na identificação de possíveis ciclos presentes na série.

Os métodos de *Fourier* são comuns na área das ciências ambientais e tem reforçado bastante nossa capacidade de compreensão e previsão de fenômenos cíclicos que se repetem em escala interanual (por exemplo, El Niño, Oscilação Decadal do Pacífico) para escalas milenares (por exemplo, ciclos de Milankovitch).



4. Resultados e Discussões

A série pluviométrica foi analisada na escala sazonal, ou seja, o semestre hidrológico (out.-mar.) e apresenta observações que cobrem o período de 1945 a 2015. A precipitação média do semestre para o período analisado é 1330 mm com um desvio padrão de 309 mm (variância igual a $9,5 \times 10^4 \text{ mm}^2$) e coeficiente de variação igual a 0,23.

A Figura 2 apresenta a série temporal (ST) suavizada. Pode-se perceber certas variações e comportamentos, como uma aparente oscilação entre sequências de anos úmidos (excesso de precipitação) e anos secos (déficit de precipitação), o que seria de difícil visualização sem esse procedimento.

Na análise das curvas suavizada e a senoide nodal, percebe-se uma correlação inversa até aproximadamente o ano 1991, com valor do coeficiente de correlação *Pearson* $r = -0,72$ e $p\text{-value} = 6,5 \times 10^{-9}$, corroborando com essa aparente anticorrelação.

A partir de 1991 há uma mudança de fase, então essa correlação torna-se positiva ($r = 0,60$; $p\text{-value} = 1,5 \times 10^{-3}$) e também é significativa para a metade do ciclo ($r = 0,60$; $p\text{-value} = 1,2 \times 10^{-3}$).

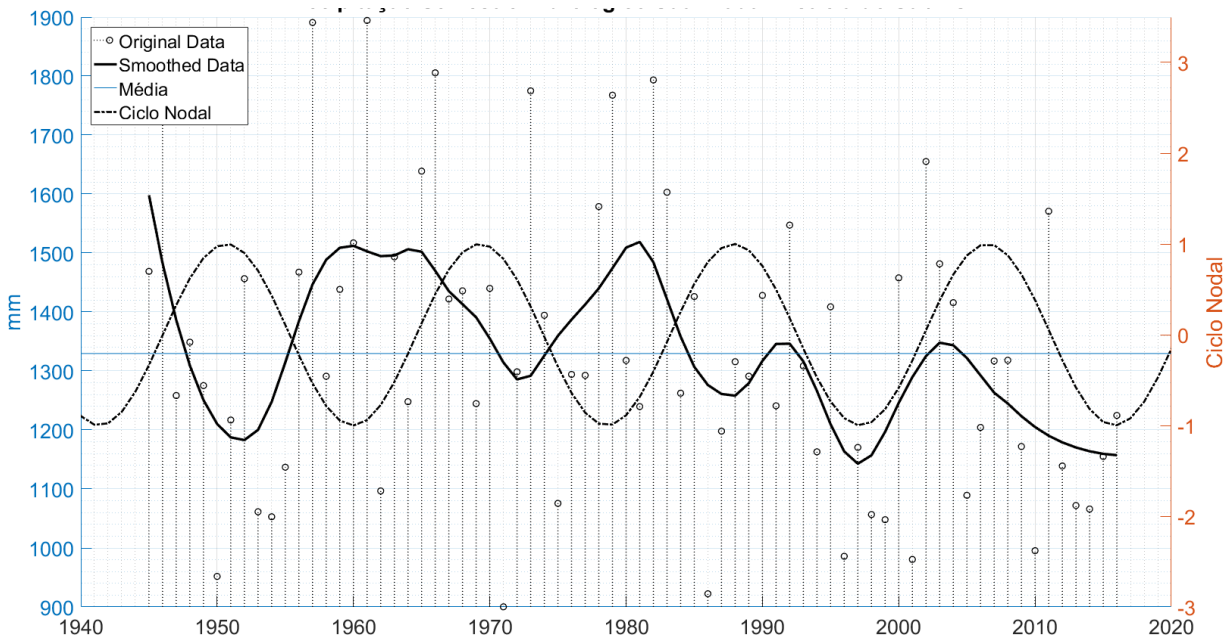


Figura 2 - Pluviosidade sazonal total, curva de ajustamento polinomial de grau 2 e curva senoidal do Ciclo Nodal.



Por meio da TDF foi quantificado o poder espectral dos 67 anos de observações, apresentado na Figura 3. É possível observar as componentes de maior frequência (menor período) de 2 a 4 e 3 a 5 anos representam a maior parte de variação presente na série, possivelmente relacionada com fenômenos de ENOS.

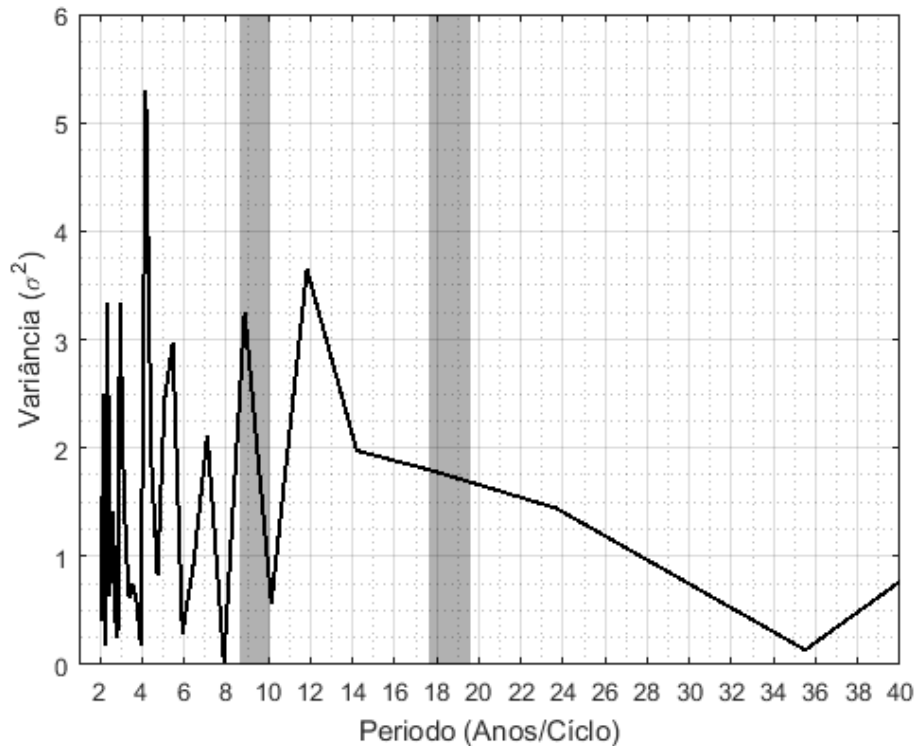


Figura 3 - Análise espectral TDF. O poder dado em unidade de variância.

Na análise de *Fourier* para a série de precipitação original, destaca-se a presença das periodicidades de 9 e 12 ± 1 anos por ciclo com significativa presença dentro da série. Em relação a essas componentes, o período de 18,6 anos possui menor poder de variância na série. As faixas em cinza representam os períodos de 9,3 e 18,6, respectivamente. Essas componentes representam aproximadamente 10% da variância total da série.

5. Considerações

Este trabalho trouxe uma revisão da literatura da função do Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos, por do ciclo de marés nodais, na variabilidade climática global e algumas técnicas para tal detecção.

A aplicação de diferentes procedimentos de técnicas estatísticas aponta para uma periodicidade decadal e bidecadal na precipitação anual, o qual foi encontrada em series históricas estudadas na região do sudeste brasileiro e pode estar associado ao ciclo nodal de 18,6 anos.



Dada a importância dos recursos hídricos e do clima para a região do sudeste brasileiro, é importante avaliar suas mudanças futuras. Apesar das incertezas nas tendências de precipitação serem grandes para esta região se faz necessária aprimorar a compreensão sobre os mecanismos internos e externos que controlam o clima.

Esse resultado é importante não apenas do ponto de vista científico, sobretudo para uma gestão adequada de regiões hidrográficas e uma ferramenta de planejamento estratégico dos recursos hídricos a longo prazo.

6. Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Dados *HidroWeb*. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acessado em 14 Mar 2016.

AGOSTA, E. A. **The 18.6-year nodal tidal cycle and the bi-decadal precipitation oscillation over the plains to the east of subtropical Andes, South America**. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 5, p. 1606–1614, 2014.

CONTI, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: SANT'ANA NETO, J. L. e ZAVATINI, J. A. (org). **Variabilidade e Mudanças Climáticas**. Maringá: Eduem, 2000, p. 17-28.

CRITCHFIELD, H. J. **General Climatology**. Second Edition. Western Washington State College. LCCC: 66-13327. 1966.

CURRIE, R. G.; FAIRBRIDGE, R. W. **Periodic 18.6-year and cyclic 11-year induced drought and flood in northeastern China and some global implications**. *Quaternary Science Reviews*, v. 4, n. 2, p. 109–134, 1985.

HAIGH, I. D.; ELIOT, M.; PATTIARATCHI, C. **Global influences of the 18.61 year nodal cycle and 8.85 year cycle of lunar perigee on high tidal levels**. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 116, n. 6, 2011.

HUGGETT, R. J. **Climate, Earth Processes and Earth History**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 1991.

LAU, K. -M., WENG, H. **Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing**. *Bulletin American Meteorological Society* 76, 1995, pg. 2391 – 2404.

LISITZIN, Eugenie **Sea-Level Changes**. Elsevier Oceanography Series, 8. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. LCCC: 73-85225 / ISBN 0-444-41157-7, 1974.

LOODER, J. W., GARRETT, C. **The 18.6-Year Cycle of Sea Surface Temperature in Shallow Seas Due to Variation in Tidal Mixing**. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 83, n. C4, p. 1967-1970, 1978.

MAZZARELLA, A.; PALUMBO, A. **The lunar nodal induced-signal in climatic and oceanic data over the Western Mediterranean area and on its bistable phasing**. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 50, n. 1-2, p. 93–102, 1994.

MOLION, L. C. B. **Gênese do El Niño e La Niña, Sol e as Mudanças Climáticas**. Disponível em <<https://sandcarioca.wordpress.com/2016/08/06/genese-do-el-nino-e-la-nina/>>. Acessado em 28 de Ago. 2016.

PEIXOTO, J. P. and OORT, A. H. **Physics of Climate**. 0-88318-712-4, 1991