

TRANSFORMADAS WAVELET E DE FOURIER: APLICAÇÕES PARA ANÁLISES DE DOBRAMENTO DE PERÍODO EM SINAIS REAIS E SINTÉTICOS

Vinícius de Lima Lopes¹
Reynerth Pereira da Costa²
Bruno Coelho Bulcão³
Dennys Augusto Araújo Souza⁴
Francisco Otávio Miranda⁵

INTRODUÇÃO

Estudos recentes têm mostrado que “um dobramento de período pode ocorrer em resposta à eclosão de um fenômeno intenso que induz a ocorrência de sincronização de fase ao longo de escalas em um sinal turbulento” (Farias 2017). Em estudos associados a fenômenos atmosféricos, estas sincronizações são verificadas quando ocorrem fortes distorções nos campos de velocidade do vento seguidos de quedas bruscas de temperatura e variações muito significativas de todos os escalares que eventualmente estejam sendo medidos. Fenômenos como este estão, algumas vezes, associadas à bifurcação que caracteriza rota de dobramento de período para o caos (Weng e Lau, 1994; Thompson e Stewart, 1986, p. 291-292). O objetivo aqui é utilizar séries temporais sintéticas, construídas matematicamente e que sejam facilmente manipuláveis a partir da alteração de parâmetros simples (como os coeficientes de expansão e dilatação em uma função oscilatória, p. ex.). A finalidade disso é compreender o fenômeno de dobramento nestas séries sintéticas e depois ajustá-las para que se assemelhem a um caso real.

Palavras-chave: Dobramento de Período, Sistemas Caóticos, Constante de Feigenbaum e Transformadas Wavelet e Fourier.

¹ Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, autor principal: viniciuslimalopes20@gmail.com;

² Graduado pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas-UEA, coautor: preynerth@gmail.com;

³ Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas -UEA,coautor: bruno.boy94@hotmail.com;

⁴ Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas-UEA,coautor: daas.fis16@uea.edu.br;

⁵ Professor orientador: Doutor, Colegiado de Física - CESP-UEA - AM, ffarias@uea.edu.br -UEA,coautor: daas.fis16@uea.edu.br;

METODOLOGIA

As séries temporais reais utilizados para efeitos de comparação foram medidos em região de atmosfera tropical acima de floresta, mas especificamente na torre K34 que fica localizada na reserva Biológica do Cuieiras a 60 km a norte/noroeste da cidade de Manaus, norte do Brasil (S 2°36.11', W 60°12.56'). Os dados da estação chuvosa na Amazônia são aqueles mais apropriados para a análise que se deseja apresentar aqui nesse trabalho.

De posse de alguns fenômenos reais que acontecem na atmosfera tropical, iniciou-se a fase de construção e abstração de informações teóricas e materialistas de sinais sintéticos, para uso base e fundamental desenvolvimento de análise proposta deste projeto. O primeiro passo foi o de criar e manipular séries temporais sintéticas simples que eventualmente pudessem simular a ocorrência de um dobramento de período, visto que um dobramento de período semelhante fora verificado por Farias (2017) em séries temporais turbulentas da atmosfera tropical. Para se construir um sinal sintético, escolheu-se uma transformada de Fourier cuja solução apresentava um pulso retangular com intervalo simétrico e a solução encontrada apresentou os comportamentos de interesse prático que se desejava simular.

A sobreposição destes sinais sintéticos obtidos pela transformada de Fourier originou uma série temporal a partir da qual as análises de possíveis dobramentos de período foram realizadas. Para as análises dos escalograma de fase e energia utilizou-se a transformada Wavelet complexa de Morlet (Meyer, 1990; Daubechies, 1992; Farge, 1992; Hubbard, 1988), com a qual foi possível analisar a evolução temporal do espectro de energia (e fase) dos sinais sintéticos sobrepostos.

DESENVOLVIMENTO

O objeto de estudo é identificar nos escalograma de energia obtidos a partir das flutuações dos coeficientes Wavelet, alguns sinais ou pulsos de energia que indiquem a existência de um dobramento de período nas séries temporais sintéticas. Esta representação simplificada a partir da análise de escalogramas de energia e fase de sinais sintéticos podem servir para identificar algumas características de interesse, semelhantes àquelas observadas em sinais turbulentos reais. A contribuição do trabalho será no sentido de compreender o fenômeno de dobramento nestas séries sintéticas para posteriormente buscar aqueles casos que estes ocorrem em um caso real.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se com estes resultados preliminares que foi possível descrever a dinâmica de um sinal turbulento real. Embora que estes resultados estejam longe de representar tal dinâmica em toda sua complexidade, foi possível reconstruir algumas de suas principais características, como por exemplo os pulsos de energia que surgem como uma razão de aproximadamente 1,54 entre períodos consecutivos nos escalograma wavelet. Replicando o sinal sintético em mesma frequência, utilizando intervalos simétricos com amplitude finita e sobrepondo-os em seções particulares foi possível mostrar a sobreposição em diferentes escalas. Alguns resultados relevantes serão descritos a seguir:

1. Analisando as propriedades de duplicação de período ocorrido no sinal sintético obtido pela transformada de Fourier, foi possível verificar sua dinâmica temporal a partir dos escalograma de energia e espaço de fase obtidos a partir das flutuações dos coeficientes Wavelet;

2. Sendo o comportamento caótico do sinal sintético via duplicação de período em comparativo ao mapa logístico, analisamos regularidades de instabilidade do ponto fixo onde ocorre bifurcação, buscando compreender o significado físico e geométrica por meio do escalograma de energia e espaço de fase, se há concordância com a constante de Feigenbaum.

3. Inserindo ao sinal sintético um ruído de alta frequência, detectou-se uma distorção de comportamento dinâmico em relação ao sinal sintético original. Estas distorções deverão ser analisadas em comparação com sinais reais (que são ruidosos). Esta análise, no entanto, ainda está em andamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora já se tenha indícios satisfatórios sobre o fenômeno físico que deu origem muitos dos problemas aqui analisados entender a gênese do processo não faz parte do objetivo deste trabalho. O caso aqui é utilizar séries temporais sintéticas, construídas matematicamente e que sejam facilmente manipuláveis a partir da alteração de parâmetros simples (como os coeficientes de expansão e dilatação em uma função oscilatória, p. ex.). A finalidade disso é compreender o fenômeno de dobramento nestas séries sintéticas e depois ajustá-las para que se assemelhem a um caso real.

Diante disso, pode-se considerar que uma parte significativa dos objetivos inicialmente propostos fora alcançado. Foi possível se construir um sinal que reproduziu algumas das características mais importantes observadas em um sinal real. Foi possível determinar uma razão entre pulsos de energia, que embora não estejam de acordo com a constante de Feigenbaum, representam um elemento de convicção de que se está no caminho correto. As análises de bifurcações e ciclos limite ainda estão em andamento, mas já se pode esperar que mais resultados interessantes sejam obtidos e breve.

AGRADECIMENTOS

The authors acknowledge the financial support for field studies from the U.S. Department of Energy (grant SC0011075), from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), and from FAPESP (Process number 2013/50529-8). We acknowledge the support from the Central Office of the Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA), the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA). The authors is thankful to Universidade do Estado do Amazonas for financial support [CSPROJ – 53994; 54140 e 43097].

REFERÊNCIAS

Daubechies, I. (1992). Ten lectures on wavelets. Society for industrial and applied mathematics.

FARIAS, Francisco Otávio Miranda. Detecção de fenômenos extremos na camada limite atmosférica noturna acima da floresta Amazônica a partir da análise de sinais precursores. 2017. 233 f. Tese (Clima e Ambiente (CLIAMB)) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2017.

Farge, M. (1992). Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Annual review of fluid mechanics*, 24(1), 395-458.

Hubbard, B. B. (1998). *The world according to wavelets: The story of a mathematical technique in the making*: AK Peters, Second Edition, 330 pp., Ltd, Natick.

Martens, P. C. H. (1984). Applications of non-linear methods in astronomy. *Physics Reports*, 115(6), 315-378.

Meyer, Y. (1990). *Ondelettes et operateurs. I*, Hermann. Paris, France.

Thompson, J. M. T., & Stewart, H. B. (1986). *Nonlinear dynamics and chaos: Geometric*

methods for engineers and scientists. by John Wiley.

Weng, H., & Lau, K. M. (1994). Wavelets, period doubling, and time–frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. *Journal of the atmospheric sciences*, 51(17), 2523-2541.