

## Aplicação das transformadas Wavelet, para verificação da existência de singularidades de fase, associadas a transições bruscas nos sinais turbulentos medidos acima de floresta.

Bruno Coelho Bulcão<sup>1</sup>  
Vinícius de Lima Lopes<sup>2</sup>  
Reynerth Pereira da Costa<sup>3</sup>  
Francisco Otavio Miranda<sup>4</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento que na natureza existem vários fenômenos que evidenciam as bruscas transições nos sinais turbulentos que ocorrem acima da floresta como: tempestades, rajadas de ventos e entre outros.

Os sinais turbulentos reais medidos na natureza são sinais que apresentam um alto grau de complexidade. Estes sinais estão quase sempre impregnados de algum grau de ruído além da não linearidade que lhes é característica (FARIAS, 2017). No entanto, a necessidade de se analisar tais dados nos leva a buscar como pontos de partida modos de representação simplificados destes sinais. Uma maneira adequada de se chegar a esse objetivo é construir sinais sintéticos simples e lhes adicionar paulatinamente algum grau de complexidade até que este possa reproduzir algumas características de sinais reais (COSTA, 2018). O objetivo aqui é exatamente o de construir sinais sintéticos que se aproximem o máximo de um sinal real.

**Palavras-chave: Sinais turbulentos, ruídos, sinais sintéticos, sinal real.**

### 2. METODOLOGIA

No intuito de alcançar o objetivo proposto, utilizou-se como ferramenta metodológica, uma Transformada de Fourier para gerar um sinal sintético e posteriormente adicionar a este sinal, um ruído de alta frequência para simular a componente horizontal do campo de velocidade do vento. Para a construção dos escalogramas de fase e energia foi utilizada a transformada de Wavelet complexa de Morlet (DAUBECHIES, 1992; FARGE, 1992) para analisar se existirá confluência de linhas de mesma fase no sinal sintético que é o objetivo principal do presente pesquisa.

A transformada de Wavelet utilizada nesse trabalho é uma ferramenta que possibilita analisar processos não estacionários para extrair informações sobre variações de frequências e detectar suas estruturas temporalmente (ou espacialmente) localizadas (LAU e WENG 1995).

<sup>1</sup> Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, coautor: [bruno.boy94@hotmail.com](mailto:bruno.boy94@hotmail.com);

<sup>2</sup> Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, autor principal: [viniciuslimalopes20@gmail.com](mailto:viniciuslimalopes20@gmail.com);

<sup>3</sup> Graduado pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas-UEA, coautor: [preynerth@gmail.com](mailto:preynerth@gmail.com);

<sup>4</sup> Professor orientador: Doutor, Colegiado de Física - CESP-UEA - AM, [ffarias@uea.edu.br](mailto:ffarias@uea.edu.br)

Esta ferramenta fornece a representação precisa de um sinal em função do tempo e da frequência, simultaneamente, permitindo analisar qualquer tipo de sinal.

O trabalho foi desenvolvido em software Matlab® 2017b a partir de sistema operacional Windows. O MATLAB® 2017 b é um software que possui um ambiente iterativo bastante conhecido em computação, devido à facilidade de utilização do software destinado a fazer cálculos e simulações com matrizes (GILAT, 2012). Aqui o Matlab® 2017b foi aplicado na construção dos sinais sintéticos e demais aplicações das transformadas Wavelet.

### 3. DESENVOLVIMENTO

Foram identificados fenômenos extremos para três sítios da Amazônia, o primeiro, sítio de Caxiuana, com nove casos ocorridos no ano de 2003, o segundo foi o sítio do cuieiras com quatro casos no ano de 2013 e quatro casos no ano de 2014 e sítio de Uatumã, com quatro casos no ano de 2014. Todos esses casos apresentam mudanças súbitas nas variáveis turbulentas medidas em torres meteorológicas erguidas na superfície, e guardam todas as características que se pretendiam verificar nessa proposta.

Em todos os casos identificados surge uma confluência de linhas de mesma fase como resultado de um ponto de máxima velocidade do vento horizontal, que surge como efeito da ocorrência de um fenômeno de natureza extrema (Farias, 2017), que ocorre na atmosfera tropical acima da floresta. De posse destes dados e para melhor compreender os efeitos associados às variações bruscas nos sinais turbulentos, foram construídos sinais sintéticos como descritos no item dois, visando uma melhor interpretação dos resultados antes de avançar na análise dos sinais turbulentos, amplamente mais complexos e de difícil interpretação.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tomando-se como ponto de partida uma transformada de Fourier, em um pulso retangular no domínio do tempo e de intervalos simétricos e de amplitude foi possível construir um sinal (sintético) em que o eixo de simetria originou uma confluência de linhas de mesma fase ao longo de escalas, como aquelas observadas experimentalmente por Farias (2017) em sua análise de dados turbulentos reais. Foram verificados a partir destas análises que, de fato, as confluências de linhas de mesma fase ao longo de escalas surgem como resultado da sobreposição de sinais que “oscilam” em fase em determinado intervalo de tempo. Em geral estas confluências não apresentam as bifurcações que são características da mudança de frequência que se observa tipicamente em diagramas construídos a partir das flutuações dos coeficientes wavelet. Isso se deve ao fato de que as frequências que oscilando em fase original uma “confluência dominante” em torno do eixo de simetria do sinal.

Vale destacar, no entanto, que confluências menores também podem ser identificadas em pontos distantes ao eixo de simetria, mas são sempre resultado de sobreposição de sinais que oscilam em fase.

Outro resultado importante é que no interior da confluência de linhas de mesma fase, foi possível recriar pulsos de máximos de energia em diferentes escalas. Aparentemente a razão entre estes pulsos de energia guardam entre si uma relação de  $\frac{1}{2}$  para as maiores escalas e de  $\frac{1}{4}$  para as escalas menores, mas sempre em uma tendência de redução à medida que o período de oscilação dos sinais diminui.

Conseguiu-se, ainda que de forma preliminar, recriar algumas características de um sinal real da natureza. O próximo passo será fazer com que esse sinal sintético fique mais consistente, e se aproxime o máximo possível das características identificadas em um sinal real.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para se construir matematicamente um sinal (sinal sintético) foi utilizado um pulso retangular a partir da aplicação de uma transformada de Fourier. Posteriormente, realizando-se variações de amplitude e frequência construíram-se inúmeros sinais que sobrepostos deram origem ao sinal sintético desejado. A representação gráfica deste sinal sintético mostrou que havia um crescente aumento da amplitude em um determinado subintervalo do domínio da frequência, seguindo-se de um decrescimento sistemático após o eixo de simetria do sinal.

A consideração importante a ser feita é que este sinal reproduziu algumas características de interesse que foram verificadas em sinais turbulentos reais. Embora uma comparação aprofundada entre um sinal real e estes sinais sintéticos se faça necessárias, considera-se estes resultados preliminares como sendo bastante promissores, principalmente se considerarmos a possibilidade de existência uma razão constante entre os pulsos de energia em diferentes escalas. Este valor constante da razão entre pulsos de energia que “caminham” desde as maiores até as menores escalas foi objeto de estudo de Farias (2017) para dados reais e naquele estudo foi verificado que os pulsos de energia eram resultados da eclosão de fenômenos entremos da atmosfera tropical. Obviamente as escalas de tempo em que estes fenômenos observados por Farias (2017) e estes aqui verificados são amplamente distintos, mas pode-se considerar como um ponto de partida para futuras contribuições em estudos de análise de sinais.

## **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

Arnol'd, V. I. (1983). Singularities, bifurcations, and catastrophes. Soviet Physics Uspekhi, 26(12), 1025.

DAUBECHIES, Ingrid. Ten lectures on wavelets. Siam, 1992.

FARIAS, Francisco Otávio Miranda. Detecção de fenômenos extremos na camada limite atmosférica noturna acima da floresta Amazônica a partir da análise de sinais precursoros. 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.

Khesin, B., & Tabachnikov, S. (2012). Memories of Vladimir Arnold. Notices of the AMS, 59(4).

Thom, R. (1972). Stabilité Structurelle et Morphogenèse, Mathematical Physics Monograph Series (Benjamin, Reading, 1972).

Gilat, Amos: INICIAÇÃO AO AMBIENTE MATLAB®: com aplicações em engenharia. in: Rafael Silva Alípio; revisão técnica: Antônio Pertence Júnior. -4. Ed. MATLAB®. Porto Alegre: Bookman, 2012, p. 5-6.

I. Daubechies, Ten Lectures on Wavelets (SIAM, Philadelphia, 1992).

Costa, R.P.- (2018). Artigo conapesc 2018, Reynerth Pereira da Costa, transformada wavelet e de fourier aplicada à análise de sinais ruidosos, p. 1