

ESPECTRO MULTIFRACTAL DE SÉRIES TEMPORAIS DE FOCOS DE CALOR NO BRASIL

Rosilda Benício de Souza - DEINFO, UFRPE ^{1 2}

Tatijana Stosic - DEINFO, UFRPE

Resumo: *Analizamos a dinâmica dos focos de calor no Brasil usando o Espectro Multifractal, calculado através dos expoentes de escala obtidos pelo método Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MF-DFA)[1]. Os dados foram obtidos a partir dos registros de focos de calor monitorados pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). No presente trabalho, foram utilizados os dados do satélite GOES-12 do dia 04/06/2003 até 04/03/2007. Os resultados mostraram que os valores dos expoentes de escala $h(q)$ diminuem com q , que indica o comportamento multifractal da série. A função $f(\alpha)$ do espectro multifractal apresenta ponto de máximo, a característica do processo multifractal.*

Palavras-chave: *focos de calor, Multifractal Detrended Fluctuation Analysis, Espectro Multifractal.*

1 Introdução

Incêndios florestais atingem milhões de hectares de terras brasileiras, ocasionando grandes perdas na vida das pessoas, danos significativos em termos de áreas ardidas, destruição de espécies únicas da fauna e da flora, além de conseqüências econômicas como a queima da madeira e custos para prevenção e controle do fogo. Além disso, o lançamento de gases e fragmentos liberados durante um incêndio podem ser responsáveis por impactos ambientais, como aumento do efeito estufa e deterioração da camada de ozônio.

Muitos países destinam grande quantidade de recursos a proteger-se do fogo em zonas especialmente sensíveis a ele, como as florestas. Vários satélites, com características diferentes em termos de resolução espacial, bandas espectrais, tempo e freqüência de escaneamento, são disponibilizados para monitoramento das várias características do fogo: áreas de risco, incêndios ativos, área queimada, fumaça, emissão de poluentes, etc. O monitoramento de queimadas utilizando as imagens de satélites é particularmente útil para regiões remotas sem meios intensivos de acompanhamento, condição esta que representa a situação geral do País [5].

Focos de calor são pixels na imagem de satélite com intensidade infravermelha correspondente a vegetação queimada. O número de focos junto com outras informações providenciadas pelo satélite podem ser usadas para estimar a área queimada. Para desenvolvimento dos métodos mais

¹Agradecimento ao CNPq apoio financeiro.

²Contato: rosildabenicio@yahoo.com.br

eficientes de prevenção e controle do fogo é necessário conhecer o perfil dos incêndios florestais: onde, quando e porque ocorrem. Recentemente, os métodos emergentes da física estatística foram usados para analisar a distribuição e agrupamento espaço temporal dos incêndios florestais, providenciando novas informações sobre processos estocásticos geradores desse fenômeno [3,4].

Nesse trabalho analisamos propriedades multifractais da série temporal diária de focos de calor no período 2003 - 2007, usando o espectro multifractal. Para o cálculo do espectro multifractal utilizamos os expoentes da escala generalizados obtidos pelo método Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MF-DFA)[1].

2 Dados e Metodologia

Analisamos a série temporal diária de focos de calor detectados durante o período 04/06/2003 até 04/03/2007 (Figura 1). Utilizamos os dados do satélite GOES-12, disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)[5].

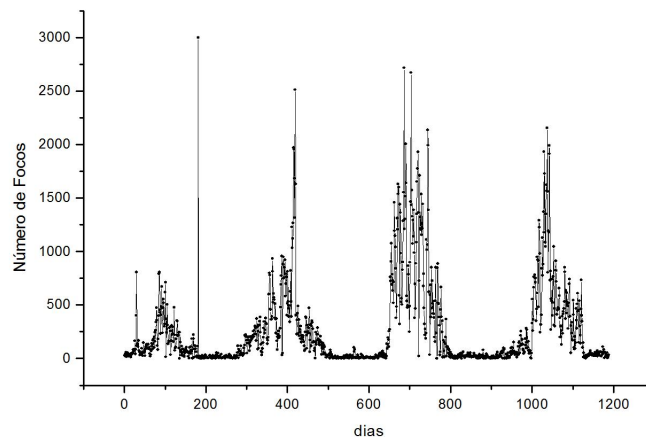


Figura 1: Série temporal de focos de calor.

O método Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MF-DFA) foi introduzido por Kantelhardt et al., 2002 para analisar as propriedades multifractais das séries temporais não lineares[1]. O procedimento é o seguinte:

Seja x_k uma série temporal de tamanho N e \bar{x} sua média,

(i) Calcula-se a série integrada

$$Y(i) = \sum_{k=1}^i [x_k - \bar{x}], \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

(ii) Divide-se $Y(i)$ em N_s segmentos não sobrepostos de igual tamanho s , onde

$$N_s = \text{int}(N/s)$$

(iii) Para cada segmento N_s calcula-se a função de flutuação

$$F^2(s, v) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s+i] - y_v(i)\}^2, \quad v = 1, 2, \dots, N_s \quad (2)$$

em que $y_v(i)$ é o ajuste polinomial no segmento v (representando a tendência local).

(iv) A função de flutuação de ordem q para o tamanho s do segmento é dada pela expressão

$$F_q(s) = \left\{ \frac{1}{N_s} \sum_{v=1}^{N_s} [F^2(s, v)]^{q/2} \right\}^{1/q}, \quad (3)$$

onde q pode assumir qualquer valor real, exceto zero.

(v) A função $F_q(s)$ segue uma lei de potência

$$F_q(s) \sim s^{h(q)}, \quad (4)$$

em que o expoente generalizado $h(q)$ é obtido como coeficiente angular da reta $\log s$ versus $\log F_q(s)$. Para processos monofractais o valor do expoente $h(q)$ é igual para todos os valores de q e para processos multifractais $h(q)$ diminui com q .

Uma outra maneira de caracterizar as séries multifractais é calcular o espectro multifractal $f(\alpha)$.

$$f(\alpha) = q[\alpha - h(q)] + 1, \quad (5)$$

em que $\alpha = h(q) + q \frac{dh(q)}{dq}$ e $h(q)$ é o expoente generalizado obtido através do algoritmo MF-DFA. Para processos multifractais $f(\alpha)$ é uma função com um máximo em $df(\alpha)/d\alpha = 0$. Para processos monofractais esta função é representada por um único ponto [1].

3 Resultados e Conclusões

A figura 2 apresenta a aplicação do método MF-DFA. O coeficiente angular das retas ajustadas representam os valores do expoente generalizado $h(q)$. Os valores de $h(q)$ diminuem com q , indicando o comportamento multifractal da série (Figura 3).

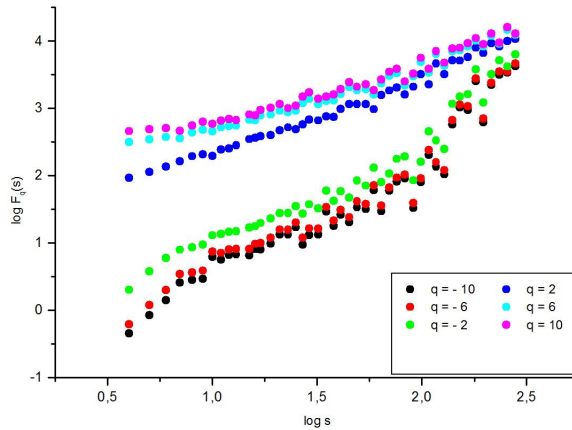


Figura 2: Gráfico de $\log s$ x $\log F_q(s)$.

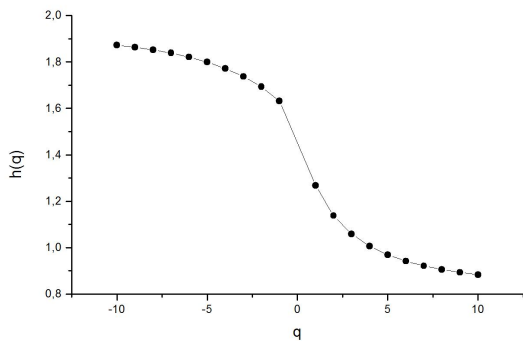


Figura 3: Expoente generalizado $h(q)$.

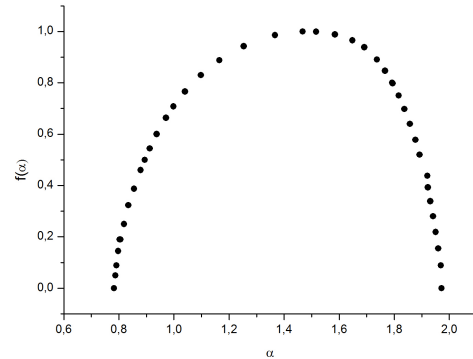


Figura 4: Espectro multifractal $f(\alpha)$

Os resultados da aplicação do Multifractal Detrended Fluctuation Analysis na série temporal de focos de calor detectados no Brasil mostraram que essa série resulta de um processo multifractal, que gera a invariância da série em múltiplas escalas.

A função $f(\alpha)$ do espectro multifractal (Figura 4) apresenta ponto de máximo, indicando a multifractalidade da série. Esta propriedade, também presente em vários fenômenos climáticos [2] deveria ser incorporada em modelos teóricos e simulações computacionais de dinâmica de incêndios.

Referências

- [1] KANTELHARDT J. W., ZSCHIEGNER S., KOSCIELNY-BUNDE E., BUNDE A., HAVLIN S., STANLEY H. E., Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series, *Physica A*, v. 316, p. 87, 2002.
- [2] KAVASSERI R.G., NAGARAJAN R., A multifractal description of wind speed records, *Chaos, Solitons & Fractals*, v. 24, p. 165, 2005.
- [3] TUIA D., LASAPONARA R., TELESCA L., KANEVSKI M., Emergence of spatio-temporal patterns in forest-fire sequences, *Physica A*, v. 387, p. 3271- 3280, 2008.
- [4] ZHENG H., SONG W., WANG J., Detrended fluctuation analysis of forest fires and related weather parameters, *Physica A*, v. 387, p. 2091-2099, 2008.
- [5] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>>