

---

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

---

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Dissertação de Mestrado

**FÍSICA ESTATÍSTICA DE SISTEMAS COMPLEXOS  
APLICADA AO ESTUDO DA DINÂMICA DO TERRORISMO**

*Kleber Antonio Peres Prudencio*

Orientador: Prof. Dr. Renio dos Santos Mendes

Co-orientador: Prof. Dr. Sergio de Picoli Junior

Maringá

2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

---

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**FÍSICA ESTATÍSTICA DE SISTEMAS COMPLEXOS  
APLICADA AO ESTUDO DA DINÂMICA DO TERRORISMO**

*Kleber Antonio Peres Prudencio*

Dissertação apresentada ao departamento de física da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Renio dos Santos Mendes

Co-orientador: Prof. Dr. Sergio de Picoli Junior

Maringá

2009

*“Se Jesus me libertar,  
serei verdadeiramente livre...  
Jesus guarda-me,  
Jesus cura-me,  
Jesus liberta-me...”*

*Dedico aos meus pais, João e Marlene,  
e aos meus tios, Rafael e Santa.*

*Devo especial agradecimento ao professor Renio, pela paciência e compreensão, pelas boas sugestões e pelo interesse no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço muito ao professor Sérgio, importante participante nas atividades de pesquisa desenvolvidas.*

## SUMÁRIO

RESUMO.....	09
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DOS CONCEITOS E MÉTODOS.....	13
2.1 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES.....	13
2.1.1 Distribuições do tipo lei de potência.....	16
2.2 CORRELAÇÕES DE LONGO ALCANCE E O MÉTODO DFA.....	17
2.2.1 Método DFA.....	18
2.2.2 Detectando correlações com o método DFA.....	20
3. RECENTES ESTUDOS APLICADOS A CONFLITOS SÓCIO-POLÍTICOS.....	22
3.1 A GUERRA NO IRAQUE.....	22
3.2 TERRORISMO MUNDIAL.....	24
4. DINÂMICA DO TERRORISMO MUNDIAL.....	28
4.1 INTRODUÇÃO.....	28
4.2 BASE DE DADOS.....	29
4.3 DISTRIBUIÇÕES DAS VÍTIMAS.....	30
4.4 EVOLUÇÃO TEMPORAL.....	33
4.5 DISTRIBUIÇÕES DAS FLUTUAÇÕES.....	35
4.6 CORRELAÇÕES DE LONGO ALCANCE.....	38
5. DINÂMICA DO TERRORISMO EM DIFERENTES ESCALAS DE TEMPO.....	45
5.1 INTRODUÇÃO.....	45
5.2 FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE EVENTOS.....	46
5.3 FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE MORTOS.....	52
5.4 FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE FERIDOS.....	58
5.5 FLUTUAÇÕES NA SÉRIE DE VÍTIMAS.....	64
5.6 PADRÕES NAS FLUTUAÇÕES DA DINÂMICA DO TERRORISMO.....	70
5.7 CENÁRIO GERAL DA DINÂMICA DO TERRORISMO.....	73
6. CONCLUSÃO.....	75
BIBLIOGRAFIA.....	77

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 3.1:</b> Referência [28]. Distribuições acumuladas de mortes de civis por ataque.....	23
<b>Figura 3.2:</b> Referência [28]. Resultado DFA para as séries de civis e militares.....	24
<b>Figura 3.3:</b> Referência [29]. Distribuição de violência por ataques ocorridos no mundo entre 1968 e 2004.....	25
<b>Tabela 3.1:</b> Referência [29]. Informações sobre as distribuições mostradas na figura 3.3 e seus ajustes por leis de potência.....	25
<b>Figura 3.4:</b> Referência [29]. Distribuição de mortos e feridos e seus correspondentes ajustes por leis de potência.....	26
<b>Tabela 3.2:</b> Referência [29]. Informações sobre as distribuições mostradas na figura 3.4.....	27
<b>Figura 4.1:</b> Distribuições acumuladas de violência por ataque terrorista no período de 01/01/2004 a 31/03/2008.....	30
<b>Tabela 4.1:</b> Percentual de eventos, mortos, feridos e vítimas em cada uma das oito regiões monitoradas pelo NCTC, classificadas por ordem decrescente de vítimas.....	31
<b>Tabela 4.2:</b> Número total de eventos, mortos, feridos e vítimas para cada região nos 51 meses estudados, classificadas pelo coeficiente de violência.....	31
<b>Figura 4.2:</b> Distribuições acumuladas por região.....	32
<b>Tabela 4.3:</b> Valor dos expoentes $\alpha$ das distribuições acumuladas das vítimas na dinâmica do terrorismo.....	33
<b>Figura 4.3:</b> Ações terroristas ocorridos pelo mundo no período de 01/01/2004 a 31/03/2008.....	34
<b>Tabela 4.4:</b> Dados estatísticos das ações terroristas ocorridas no mundo entre o período de 01/01/2004 a 31/03/2008. Os valores dentro dos parênteses significam a quantidade de dias com zero ocorrências.....	34
<b>Figura 4.4:</b> Incrementos consecutivos de 1 dia obtidos a partir das séries apresentadas na figura 4.1.....	36
<b>Figura 4.5:</b> Distribuição das flutuações de 1 dia apresentadas na figura 4.2, para o período 01/01/2004 a 31/03/2008.....	37
<b>Figura 4.6:</b> Séries normalizadas e suas distribuições de probabilidade.....	38
<b>Figura 4.7:</b> Correlações de longo alcance na dinâmica do terrorismo mundial, calculadas a partir do uso do método DFA-2 nas respectivas séries integradas.....	39
<b>Figura 4.8:</b> Versões integradas das sub-séries das magnitudes para as flutuações com $T = 1$ dia.....	41
<b>Figura 4.9:</b> Versões integradas das sub-séries dos sinais para as flutuações com $T = 1$ dia....	41
<b>Figura 4.10:</b> Correlações de longo alcance. Funções flutuação obtidas pelo uso do método DFA-2 nas sub-séries integradas das magnitudes mostradas na figura 4.8.....	42
<b>Figura 4.11:</b> Correlações de longo alcance. Funções flutuação obtidas pelo uso do método DFA-2 nas sub-séries integradas dos sinais mostradas na figura 4.9.....	43
<b>Tabela 4.5:</b> Valor do expoente $h$ para as séries originais e para as sub-séries das magnitudes e dos sinais das flutuações de 1 dia.....	44
<b>Figura 5.1:</b> Análises nas flutuações com $T = 2$ dias para a série de eventos.....	47
<b>Figura 5.2:</b> Análises nas flutuações com $T = 7$ dias para a série de eventos.....	48
<b>Figura 5.3:</b> Análises nas flutuações com $T = 15$ dias para a série de eventos.....	49
<b>Figura 5.4:</b> Análises nas flutuações com $T = 30$ dias para a série de eventos.....	50
<b>Tabela 5.1:</b> Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de eventos em diferentes escalas de tempo. ....	51

<b>Figura 5.5:</b> Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de eventos e o comportamento dos expoentes $h$ obtidos pelo método DFA.....	51
<b>Figura 5.6:</b> Análises nas flutuações com $T = 2$ dias para a série de mortos.....	53
<b>Figura 5.7:</b> Análises nas flutuações com $T = 7$ dias para a série de mortos.....	54
<b>Figura 5.8:</b> Análises nas flutuações com $T = 15$ dias para a série de mortos.....	55
<b>Figura 5.9:</b> Análises nas flutuações com $T = 30$ dias para a série de eventos.....	56
<b>Tabela 5.2:</b> Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de mortos em diferentes escalas de tempo.....	57
<b>Figura 5.10:</b> Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de mortos e o comportamento dos expoentes $h$ obtidos pelo método DFA.....	57
<b>Figura 5.11:</b> Análises nas flutuações com $T = 2$ dias para a série de feridos.....	59
<b>Figura 5.12:</b> Análises nas flutuações com $T = 7$ dias para a série de feridos.....	60
<b>Figura 5.13:</b> Análises nas flutuações com $T = 15$ dias para a série de feridos.....	61
<b>Figura 5.14:</b> Análises nas flutuações com $T = 30$ dias para a série de feridos.....	62
<b>Tabela 5.3:</b> Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de feridos em diferentes escalas de tempo. ....	63
<b>Figura 5.15:</b> Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de feridos e o comportamento dos expoentes $h$ obtidos pelo método DFA.....	63
<b>Figura 5.16:</b> Análises nas flutuações com $T = 2$ dias para a série de vítimas.....	65
<b>Figura 5.17:</b> Análises nas flutuações com $T = 7$ dias para a série de vítimas.....	66
<b>Figura 5.18:</b> Análises nas flutuações com $T = 15$ dias para a série de vítimas.....	67
<b>Figura 5.19:</b> Análises nas flutuações com $T = 30$ dias para a série de vítimas.....	68
<b>Tabela 5.4:</b> Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de vítimas em diferentes escalas de tempo.....	69
<b>Figura 5.20:</b> Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de vítimas e o comportamento dos expoentes $h$ obtidos pelo método DFA.....	69
<b>Figura 5.21:</b> Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas para $T = 2$ dias (bolas), $T = 7$ dias (triângulos), $T = 15$ dias (triângulos) invertidos e $T = 30$ dias (losangos)..	71
<b>Figura 5.22:</b> Comparação do comportamento dos expoentes $h$ obtidos por meio do método DFA aplicado nas sub-séries das magnitudes e dos sinais.....	72
<b>Tabela 5.5:</b> Resultados obtidos no estudo da dinâmica do terrorismo (distribuições das vítimas).....	73
<b>Tabela 5.6:</b> Resultados obtidos no estudo da dinâmica do terrorismo (distribuições das flutuações).....	73
<b>Tabela 5.7:</b> Resultados obtidos no estudo da dinâmica do terrorismo (correlações de longo alcance).....	74

PRUDENCIO, K. A. P. **Física estatística de sistemas complexos aplicada ao estudo da dinâmica do terrorismo.** [Statical physics of complex systems applied to the study of the dynamics of terrorism]. Maringá – Pr. Dissertação (Mestrado em Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá.

## RESUMO

Neste trabalho, empregamos conceitos e métodos de física estatística na análise da dinâmica do terrorismo. Especificamente, estudamos os dados de mortos, feridos e vítimas (soma de mortos, feridos e reféns). Comparamos as distribuições acumuladas de mortos/ataque, feridos/ataque e vítimas/ataque com leis de potência. Posteriormente, analisamos as séries temporais de eventos, de mortos, de feridos e de vítimas. Calculamos as distribuições de probabilidades de flutuações em diferentes escalas de tempo (um, dois, sete, quinze e trinta dias). Usando o método DFA, investigamos a existência de correlações de longo alcance nas quatro séries. Além disso, as séries das flutuações foram decompostas nas sub-séries das magnitudes e dos sinais, as quais também foram analisadas por meio do método DFA (*detrended fluctuation analysis*).

## **ABSTRACT**

In this work we employ concepts and methods from statistical physics to analyze the dynamics of terrorism. Specifically, we have investigated data number of dead, wounded and victims (the sum of dead, wounded and hostages). We compared cumulative distributions of dead/attack, wounded/attack, and victims/attack with power law. In addition, we analysed the time series of events, dead, wounded and victims. From these series we obtain the probability distributions of fluctuations for several time scales (one, two, seven, fifteen, and thirty days). By using DFA method, we explored the existence of long range correlations in the four series. Furthermore, the series of fluctuations were decomposed into subseries of magnitude and sign which were also analysed via DFA method.

# 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, conceitos originalmente desenvolvidos dentro da física estatística vêm sendo estendidos e redirecionados para aplicações em sistemas complexos, como por exemplo, seqüência de DNA[1], sinais fisiológicos[2], índices econômicos[3,4], população de pássaros[5], populações humanas[6], ou seja, nos mais variados sistemas biológicos e sociais. Neste trabalho, aplicaremos técnicas de física estatística no estudo de um fenômeno social que vem promovendo destruição e morte em muitas partes do planeta: o terrorismo.

O termo terrorismo é usado para definir tipos de violência considerados inaceitáveis. Ações terroristas típicas incluem seqüestros, explosões de bombas, matanças indiscriminadas e linchamentos. É uma estratégia política e não militar, e é levada a cabo por grupos que não são fortes o suficiente para efetuar ataques abertos, sendo utilizada em época de paz, conflito e guerra. A intenção mais comum do terrorismo é causar um estado de medo na população ou em setores específicos, com o objetivo de provocar num inimigo (ou no seu governo) uma mudança de comportamento[7].

Historicamente, existem registros de terrorismo desde a época dos antigos gregos, porém nesse período os radicais focavam somente os líderes de estado, poupando os inocentes não envolvidos no conflito. Após o início do século XIX, enquanto os estados foram ficando cada vez mais burocratizados, a morte de apenas um líder não causava as mudanças políticas desejadas, de modo que os terroristas passaram a usar métodos mais indiretos de causar ansiedade e perda de confiança no governo.

Atualmente, o terrorismo tem crescido devido ao impacto psicológico que ele pode gerar no público e por conta da extensa cobertura dada pela imprensa. É freqüentemente o último recurso e pode ser usado por grandes ou pequenas organizações, que lançam mão do terror quando eles acreditam que os métodos mais pacíficos, como protestos, sensibilização do público ou declaração de estado de guerra não trazem esperança de sucesso. Uma outra razão para passar ao terrorismo é desmoralizar e paralisar o adversário pelo medo, isso às vezes

funciona, mas outras vezes enrijece a posição do inimigo.

Em suas várias manifestações, os ataques terroristas se tornaram um dos maiores pesadelos da civilização moderna, visto que pessoas inocentes morrem, são multiladas ou ficam com seqüelas psicológicas irreparáveis, e que cidades ou até mesmo países inteiros sentem o seu efeito em grande escala.

O terrorismo depende fortemente da surpresa e é comum que ocorra quando e onde é menos esperado, é um sistema de muitos elementos que possuem características distintas, mas que têm possibilidade de interagir entre si, gerando resultados que podem ser instáveis no que diz respeito a sua evolução temporal como função de seus parâmetros e variáveis. Isso significa que certos resultados são causados pela ação e a interação de elementos com forte teor de aleatoridade. Conforme já mencionado neste trabalho, utilizaremos métodos e conceitos de física estatística para estudar a dinâmica do terrorismo.

Apresentaremos uma breve revisão dos conceitos e métodos de física estatística utilizados para o estudo do sistema em questão, no capítulo 2. No capítulo 3, faremos um resumo de alguns estudos já elaborados sobre a dinâmica dos conflitos sociais. No capítulo 4, apresentaremos os dados e investigaremos as distribuições acumuladas (mortos/ataque, feridos/ataque, vítimas/ataque e vítimas/ataque por região). Vamos usar os dados para obter quatro séries temporais (eventos, mortos, feridos, vítimas) e iremos fazer a análise das flutuações com  $T = 1$  dia dessas séries, levantando e ajustando as distribuições de probabilidade e investigando a existência de correlações de longo alcance.

No capítulo 5, focaremos no cálculo das distribuições de probabilidade e na investigação de correlações de longo alcance para as flutuações com diferentes escalas de tempo ( $T = 2$ ,  $T = 7$ ,  $T = 15$  e  $T = 30$  dias). Por fim, apresentaremos as considerações finais no capítulo 6.

## 2. REVISÃO DOS CONCEITOS E MÉTODOS

Apresentaremos a seguir uma breve revisão dos conceitos básicos de física estatística utilizados neste trabalho. Inclusive, descreveremos um método para a detecção de correlações de longo alcance em séries não-estacionárias, o DFA (*detrended fluctuation analysis*).

### 2.1 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES

Os conceitos de variável aleatória e probabilidade são largamente usados no contexto da física estatística dos sistemas complexos. O termo variável aleatória é utilizado para descrever o valor correspondente ao resultado de um determinado evento em um experimento, a palavra aleatória indica que em geral só conhecemos aquele valor depois do evento ter ocorrido. A definição de probabilidade se da construindo o conjunto de todos os possíveis resultados de uma experiência, agrupando-as em subconjuntos mutuamente excludentes.

Quando a cada um desses subconjuntos for atribuído um número real não negativo de tal modo que a soma deles seja igual a unidade, estaremos diante de uma distribuição de probabilidades definida sob o conjunto dos possíveis resultados[8,9].

Por exemplo, considere uma variável aleatória numérica  $\xi$  que assume valores inteiros e suponha que a cada valor de  $\xi$  esteja associado um número real  $p_\xi$  não negativo, ou seja,

$$p_\xi \geq 0 \tag{2.1}$$

de tal modo que

$$\sum_{\xi} p_\xi = 1 \tag{2.2}$$

Caso isso aconteça,  $\xi$  será uma variável aleatória discreta e  $p_\xi$  será a sua probabilidade.

No caso de uma variável aleatória contínua  $x$  que pode assumir qualquer valor sobre a reta real, associamos uma probabilidade a cada intervalo da reta, isto é, a probabilidade de que a variável aleatória  $x$  esteja no intervalo  $[a,b]$  é

$$\int_a^b p(x)dx \quad (2.3)$$

onde  $p(x)$  é a densidade de probabilidade e deve satisfazer as seguintes propriedades:

$$p(x) \geq 0 \quad (2.4)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x)dx = 1 \quad (2.5)$$

Recorrendo ao uso da função delta de Dirac, uma distribuição discreta de probabilidade  $p_\xi$  pode ser descrita pela seguinte densidade de probabilidade [10]:

$$p(x) = \sum_{\xi} p_\xi \delta(x - \xi) \quad (2.6)$$

Com esse recurso, a notação empregada para variáveis aleatórias contínuas pode também ser empregada, se for conveniente, para variáveis aleatórias discretas.

Os momentos de uma distribuição de probabilidades podem ser definidos como:

$$\mu_n = \langle x^n \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^n p(x)dx \quad (2.7)$$

onde  $p(x)$  é a densidade de probabilidade associada a  $x$ . O valor médio e o desvio padrão podem então ser definidos em termos dos momentos como segue:

$$\mu_1 = \langle x \rangle \quad \text{e} \quad \mu_2 = \langle x^2 \rangle \quad (2.8)$$

$$\sigma = \sqrt{\mu_2 - \mu_1^2} = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \quad (2.9)$$

Se tivermos um conjunto finito de  $N$  realizações da variável  $x$ , podemos determinar aproximadamente a função densidade de probabilidade  $p(x)$  associada a ela, dividindo a amplitude total do conjunto das  $N$  realizações em intervalos de classe mutuamente excludentes com a mesma amplitude  $\Delta x$  e agrupando as realizações da variável  $x$  nos subconjuntos característicos. A cada um destes subconjuntos atribuímos um número real não negativo

$$\frac{\Delta n_x}{N} \geq 0 \quad (2.10)$$

tal que

$$\sum_x \frac{\Delta n_x}{N} = 1 \quad (2.11)$$

A quantidade  $\Delta n_x$  refere-se ao número de realizações da variável  $x$  dentro do intervalo de classes  $\Delta x$  e neste caso a função densidade de probabilidade pode ser aproximada pela relação

$$p(x) \approx \frac{\Delta n_x}{N \Delta x} \quad (2.12)$$

Podemos obter também a função densidade de probabilidade  $p(x)$  de uma forma indireta usando a função distribuição acumulada que descreve completamente a distribuição da probabilidade de uma variável aleatória de valor  $x$ :

$$p_c(x) = \int_x^{\infty} p(\xi) d\xi \quad (2.13)$$

Na prática, calcular  $p_c(x)$  é o mesmo que obter, para cada valor de  $x$  a probabilidade das medidas serem maior ou iguais a  $x$ .

### 2.1.1 Distribuições do tipo lei de potência

Também importante no nosso trabalho são os comportamentos evolutivos do tipo lei de potência que descrevem a relação entre duas variáveis da seguinte maneira:

$$p(x) = ax^\alpha \quad (2.14)$$

onde  $a$  e  $\alpha$  são constantes. Além disso, a equação (2.14) com  $\alpha < 0$  pode representar uma distribuição de probabilidade, se o menor valor de  $x$  for positivo ou, ainda o comportamento de  $p(x)$  para  $x$  grande. Esta equação pode ser reescrita como:

$$\log(p(x)) = \alpha \log(x) + \log(a) \quad (2.15)$$

Desta maneira, uma característica importante deste tipo de distribuição é o fato dela se apresentar aproximadamente como uma reta num gráfico de escala log-log.

Uma outra propriedade importante é que a lei de potência satisfaz a relação

$$p(bx) = g(b)p(x) \quad (2.16)$$

para qualquer constante  $b$ . Esta relação nos diz, a partir de (2.15) que se aumentarmos a escala da variável  $x$  por um fator  $b$ , a forma da distribuição não muda, exceto por uma constante multiplicativa. Essa propriedade é chamada de invariância de escala.

## 2.2 CORRELAÇÕES DE LONGO ALCANCE E O MÉTODO DFA

O conceito de correlações de longo alcance, que será discutido a seguir, vem sendo amplamente usado no estudo da dinâmica de sistemas complexos.

Para séries temporais com  $N$  termos,  $x(i)$  com  $x = 1, \dots, N$ , a função de auto-correlação é definida como:

$$A(S) = \frac{1}{N-S} \sum_{i=1}^{N-S} \bar{x}(i)\bar{x}(i+S) \quad (2.17)$$

com  $\bar{x}(i) = x(i) - \langle x \rangle$  e  $S$  sendo a escala de tempo.

A função de auto-correlação é uma medida da relação entre os elementos da série separados por  $S$  passos. No caso em que a série não é correlacionada,  $A(S) = 0$  para  $S > 0$ . No entanto, para séries correlacionadas,  $A(S)$  é uma função decrescente partindo de  $A(0) = \langle x^2(i) \rangle$  até  $A(S) \approx 0$  para grandes valores de  $S$ .

Se a série exibir correlações de curto alcance, a função de auto-correlação decairá rapidamente para zero. Se  $A(S)$  apresentar um decaimento mais lento do tipo lei de potência,

$$A(S) = aS^{-\gamma} \quad (2.18)$$

com  $0 < \gamma < 1$ , a série exibe correlações de longo alcance.

O uso da equação (2.17) para o cálculo da função  $A(S)$  exige que a série seja estacionária (não tenha tendência em média). No entanto, séries que representam a dinâmica de sistemas complexos podem estar acompanhados de ruídos sobrepostos ao sinal original ou de tendências de origem diversas.

Precisamos efetuar uma análise mais cuidadosa em séries deste tipo, pois um comportamento não estacionário pode gerar uma falsa detecção de correlações de longo alcance. Para conseguir resultados confiáveis é preciso remover as tendências das flutuações intrínsecas do sistema sem alterar o comportamento original das correlações. Um método que elimina sistematicamente tendências

polinomiais de diferentes ordens, proporcionando medidas confiáveis de correlação, é o método DFA (detrended fluctuation analysis)[11,12].

### 2.2.1 Método DFA

Este método tem sido amplamente utilizado na detecção de correlações de longo alcance em sistemas complexos, sendo aplicado, por exemplo, no estudo de seqüências de DNA[13], temperatura atmosférica[14,15], índices econômicos[16], movimento humano[17], batimentos cardíacos[18], estrutura de nuvens[19], receptores neurais[20], atividade física[21], sinais geoeletricos[22], velocidade do vento[23], sinais geomagnéticos[24], espalhamento por raios X[25], entre muitos outros.

Basicamente, o procedimento neste método consiste em obter a série acumulada, dividir a série acumulada em subconjuntos, remover a tendência local em cada subconjunto e calcular a função de flutuação em termos do tamanho de cada subconjunto[11,12].

Obtemos a série acumulada a partir de uma série temporal de elementos  $x(i)$ , com  $i = 1, \dots, N$ , tomando os elementos

$$z(i) = \sum_{j=1}^i [x(j) - \langle x \rangle] \quad (2.19)$$

Quando dividimos a série acumulada em  $N_s$  subconjuntos de tamanho  $S$ , se o número da série não for um múltiplo da escala de tempo  $S$ , restará uma parte da série acumulada, para não descartar esta parte repetimos o mesmo procedimento a partir do fim da série, obtendo assim um total de  $2N_s$  subconjuntos de tamanho  $S$ .

Para minimizar a tendência local de cada subconjunto, indexado pelo índice  $\eta$ , ajustamos aos dados desse subconjunto um polinômio de ordem  $l$ , representando a

tendência local. É comum a utilização do termo DFA- $l$ , ou seja, quando por exemplo for citado o uso do método DFA-2 significa que os dados no subconjunto  $N_s$  foram ajustados a um polinômio de grau dois.

Depois de efetuado o ajuste, subtraímos a série acumulada de sua tendência local, calculando as diferenças

$$\omega_S(i) = z(i) - z_\eta(i) \quad (2.20)$$

onde  $z_\eta$  é o polinômio ajustado aos dados dentro do subconjunto  $\eta$ .

Após a retirada a tendência local, devemos calcular a variância

$$F_S^2(\eta) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \omega_S^2[(\eta - 1)S + i] \quad (2.21)$$

Calculando a média de  $\omega_S^2(i)$  sobre todos os dados dentro do segmento  $\eta$ , conseguimos então, definir a função flutuação

$$\tilde{F}(S) = [\langle F_S^2(\eta) \rangle]^{1/2} \quad (2.22)$$

em que  $\langle F_S^2(\eta) \rangle$  é a média de  $F_S^2(\eta)$  calculada sobre todos os  $2N_s$  subconjuntos, definida como

$$\langle F_S^2(\eta) \rangle = \frac{1}{2N_s} \sum_{\eta=1}^{2N_s} F_S^2(\eta) \quad (2.23)$$

Em geral,  $\tilde{F}(S)$  será uma função crescente pois a variância tipicamente aumenta com o tamanho dos subconjuntos.

Se a série acumulada apresentar fractalidade ou auto-similaridade, a função flutuação

$$\tilde{F}(S) \propto S^h \quad (2.24)$$

aumentará com a escala de tempo como uma lei de potência.

### 2.2.2 Detectando correlações com o método DFA

Como já foi comentado, se a série possuir fractalidade, a função flutuação terá um comportamento do tipo lei de potência, como o da equação (2.24). Neste caso, o expoente  $h$  poderá ser obtido por meio do ajuste linear de  $\tilde{F}(S)$  por  $S$  na escala logarítmica. Porém em uma série com  $N$  termos podemos encontrar dúvidas na escolha do intervalo  $S_{min} < S < S_{max}$ . Note que, como  $S$  refere-se ao tamanho dos subconjuntos  $N_s$  em que a série é dividida, devemos levar em consideração dois fatores: se  $S_{max}$  for muito grande e aproximar-se do comprimento da série, teremos poucos subconjuntos e se  $S_{min}$  for muito pequeno teremos poucos dados em cada subconjunto. Como os dois extremos são indesejáveis, geralmente usa-se escolher  $S_{max} \sim N/10$  (um décimo da série) e  $S_{min} \geq 6$  para a escala de tempo[26].

Para o caso de séries que exibam  $\tilde{F}(S) \sim S^h$  com  $h < 0,50$ , encontramos uma dificuldade singular, pois  $S_{min}$  deve assumir valores muito maiores de 6, diminuindo consideravelmente a quantidade de subconjuntos  $N_s$ . Podemos contornar tal dificuldade aplicando o método DFA, não sobre a série original mas sobre a série acumulada[26].

Neste caso, a nova função flutuação será proporcional a  $S\tilde{F}(S)$ , e se a série possuir fractalidade a nova função  $F(S)$  poderá ser escrita como

$$F(S) \sim S^{h+1} \quad (2.25)$$

Diante disto, espera-se que a série caracterizada por um expoente  $h < 0,5$  passe a exibir um expoente  $h_0 = h + 1 > 0,50$ , eliminando assim a dificuldade anteriormente

citada relacionada ao valor de  $S_{min}$ .

O expoente  $h$ , que é também conhecido como expoente de Hurst, traz consigo informações importantes sobre as correlações nas séries analisadas:

- $h = 0,50$  indica que a série é não correlacionada (ruído branco)[27].
- $0,50 > h > 1$  indica que a série é persistente, e portanto, correlacionada.
- $0 > h > 0,50$  indica que a série é antipersistente, e portanto, correlacionada.
- $h = 1$  corresponde ao chamado ruído  $1/f$ .
- $h > 1$  indica que existem correlações, mas não na forma de lei de potência.
- $h = 1,50$  Indica a presença do ruído browniano, que é a integração do ruído branco ( $h = 0,50$ ).

Se a série exhibe correlações de curto alcance do tipo exponencial,  $h$  poderá ser diferente de  $0,50$  para grandes escalas de  $S$ [27]. O expoente  $h$  também pode ser interpretado como um indicador de rugosidade da série original, quanto maior o valor de  $h$  menos rugosa será a série.

Como vimos, se uma série temporal não é correlacionada,  $h = 0,50$ . Assim, é de se esperar que uma série que fornece  $h \neq 0,50$ , após um embaralhamento, forneça  $h = 0,50$ . Este procedimento é muitas vezes usado para verificar se  $h \neq 0,50$  para uma série temporal não é um artefato da série.

### 3. RECENTES ESTUDOS APLICADOS A CONFLITOS SÓCIO-POLÍTICOS

Recentemente, caracterizações de conflitos sócio-políticos vem sendo possíveis graças a disponibilidade de dados que abrangem, por exemplo, o número total de vítimas, série de armas utilizadas e a intensidade dos conflitos. Neste capítulo, apresentamos alguns estudos recentes no campo da física estatística de sistemas complexos sobre guerras e terrorismo.

#### 3.1 A GUERRA NO IRAQUE

As guerras contemporâneas tem feito extensivo uso de armamentos sofisticados e de moderna e eficiente tecnologia da informação, o que permite inúmeras estratégias de confronto e destruição.

Consideramos, por exemplo, um estudo que tem como foco a guerra do Iraque no período de 2003-2006[28]. A partir de análises efetuadas nos dados obtidos no site *iraqbodycount.net*, podemos observar, a partir da figura 3.1, que mostra a distribuição acumulada de civis mortos por ataque em diferentes períodos. Podemos observar que estas distribuições apresentam um comportamento do tipo lei de potência

$$p(x) \sim x^{-\alpha} \quad (3.1)$$

com  $\alpha \approx 2,4$ . Note que, o comportamento de lei de potência apresentado na distribuição da série original se mantém, apresentando expoentes com aproximadamente o mesmo valor, quando são analisados períodos diferentes (01/2003-06/2004 com  $\alpha \approx 2,1$ , 02/2004 à 01/2005 com  $\alpha \approx 2,2$  e 11/2004-01/2006 com  $\alpha \approx 2,4$ ). O fato de o expoente da lei de potência se manter aproximadamente constante,  $\alpha \sim 2$ , sugere que a dinâmica de civis mortos na guerra no Iraque exhibe invariância de escala.

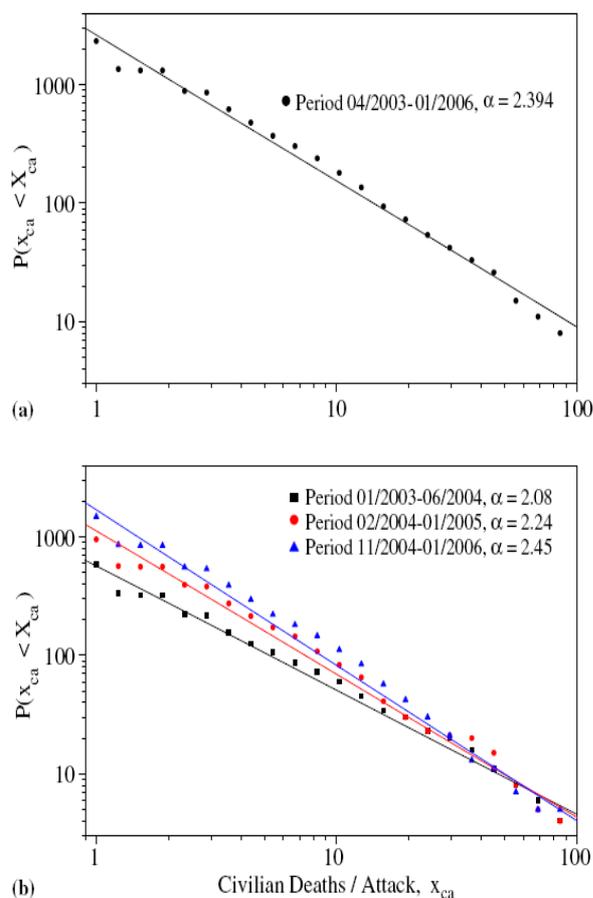


Figura 3.1: Referência [28]. Distribuições acumuladas de mortes de civis por ataque. (a) Distribuição acumulada do número de civis mortos por ataque no período 04/2003-01/2006. (b) Resultados para três diferentes períodos.

Outra importante análise realizada a partir dos dados do site *iraqbodycount.net* é a procura de correlações utilizando o método DFA, por meio da equação (2.24), onde, neste caso  $h \equiv \gamma$ . Os resultados do DFA, mostrados na figura 3.2, revelam um comportamento correlacionado para a série dos civis mortos diariamente, o expoente  $\gamma \approx 0,56$  reflete um efeito de fraca memória na evolução do número de civis mortos por dia. Por outro lado, a série de militares mortos diariamente apresenta uma forte correlação indicada pelo expoente  $\gamma \approx 0,73$ . Note, na figura 3.2(c), que o expoente  $\gamma \approx 0,54$  para os ataques ocorridos durante os primeiros 31 dias de guerra indica fraca correlação e  $\gamma \approx 0,73$ , ou seja, comportamento correlacionado, sugere que os ataques foram mais bem planejados após o primeiro mês de guerra.

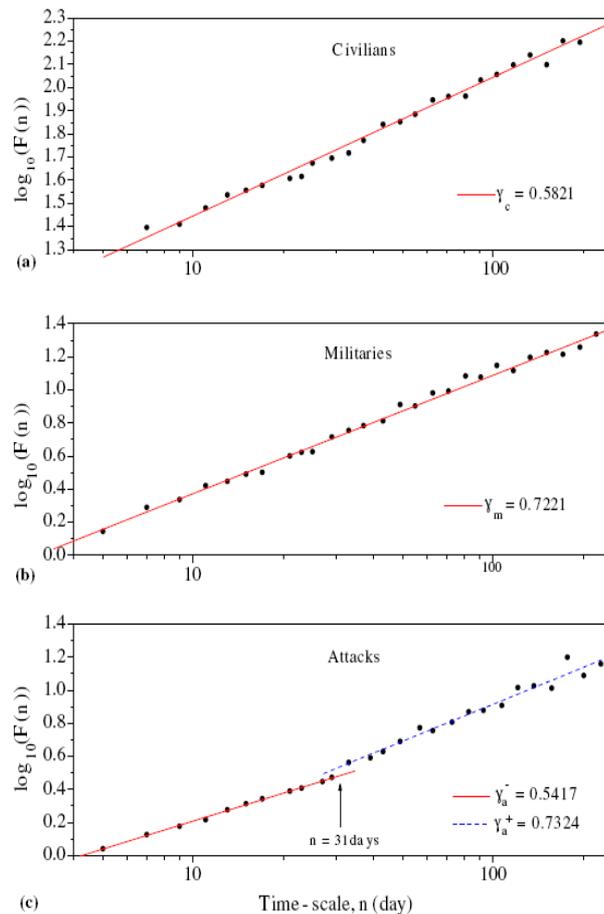


Figura 3.2: Referência [28]. Resultado DFA para as séries de civis e militares. (a) Comportamento quase não-correlacionado para a série de civis mortos diariamente. (b) Comportamento de correlação para a série dos militares mortos diariamente. (c) Presença de uma mudança no comportamento dos ataques efetuados diariamente (a partir do 31º dia).

### 3.2 TERRORISMO MUNDIAL

Os conceitos e métodos de física estatística também estão sendo aplicados na análise de conflitos sociais, como o terrorismo. Citamos, como exemplo, os estudos realizados na referência [29], onde foram analisados os eventos terroristas pelo mundo no período de 1968 a 2004, utilizando dados extraídos do National Memorial Institute for the Prevention of terrorism (MIPT) [30]. A figura 3.3 mostra as distribuições de mortos, de feridos e da sua soma, em ataques terroristas pelo mundo. Mostra também as distribuições de mortos até 01/1998 e após esta data, e apresenta as distribuições da soma de mortos e feridos dentro e fora do G7 (grupo

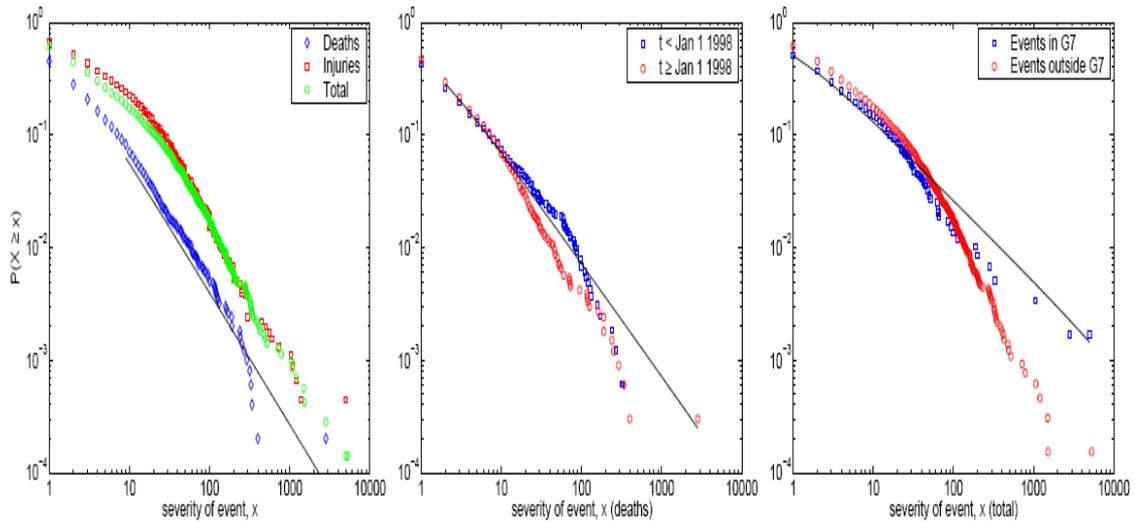


Figura 3.3: Referência [29]. Distribuição de violência por ataques ocorridos no mundo entre 1968 e 2004. (a) Distribuição de feridos, mortos e total (mortos + feridos). (b) Distribuições de mortos em ataques ocorridos até 01/1998 e ataques ocorridos após e inclusive 01/1998 até 2004. (c) Distribuição de mortos e feridos em ataques terroristas ocorridos em países que fazem parte do G7 (Grupo dos sete países mais industrializados do mundo) e distribuição de mortos e feridos em ataques ocorridos no restante dos países pelo mundo. As linhas sólidas são indicação do ajuste dessas distribuições com leis de potência, conforme dados na tabela 3.1.

dos sete países mais industrializados do mundo). Veja que estas distribuições parecem seguir um padrão, elas podem ser aproximadas por leis de potência, dadas pela equação (3.1) com expoentes  $\alpha \sim 2$  (conforme a tabela 3.1). Note que este resultado vale mesmo depois de alguma manipulação dos dados como, por exemplo, dividindo a série original de mortos em duas: uma com os dados ocorridos

Distribuições	$\langle x \rangle$	$\sigma_x$	$x_{\min}$	$\alpha$	$x_{\max}$
Feridos	14,60	114,82	34	2,40	5.000
Mortos	5,13	43,37	8	2,21	2.823
t < 1998	5,18	19,21	1	1,92	329
t ≥ 1998	5,11	51,20	2	2,00	2.823
Total	12,70	103,38	26	2,17	5.291
G7	22,66	241,18	1	1,71	5.012
Fora do G7	11,80	79,85	86	2,50	5.291

Tabela 3.1: Referência [29]. Informações sobre as distribuições mostradas na figura 3.3 e seus ajustes por leis de potência.

antes de janeiro/98 e outra com eventos ocorridos após esta data, ou a análise separadamente dos dados do total de vítimas em eventos terroristas ocorridos em países que fazem parte do G7 (Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão e Estados Unidos), com 8% dos atentados, e países no restante do mundo, com 92%. O que indica que este tipo de distribuição é uma característica da dinâmica do terrorismo.

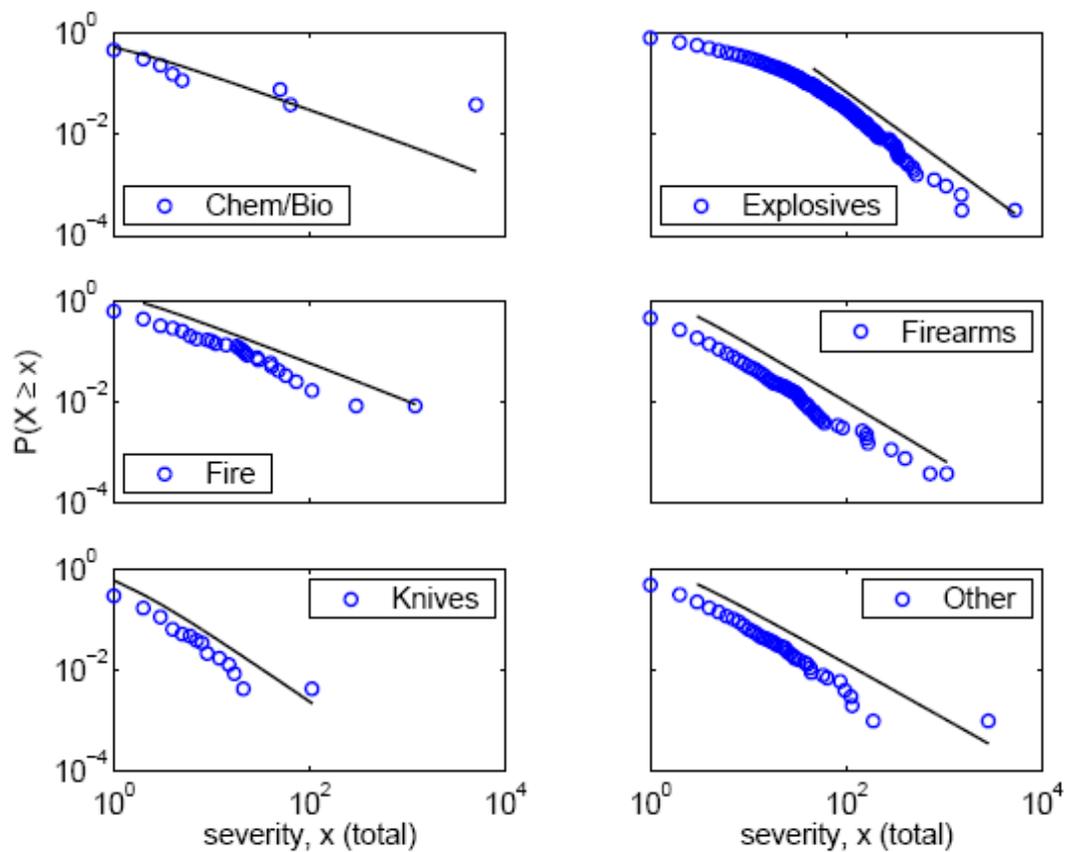


Figura 3.4: Referência [29]. Distribuição de mortos e feridos e seus correspondentes ajustes por leis de potência (veja tabela 3.2) para seis séries de diferentes causa mortis. Agentes químicos e biológicos (Chem/Bio) (0,4%). Fogo (Fire) (1,7%). Facas (Knives) (3,3%). Explosivos, incluindo os detonados por controle remoto (Explosives) (44,3%). Armas de fogo (Firearms) (36,2%). Outras (Other) (14,2%).

Veja os casos mostrados na figura 3.4, em que os dados do total de vítimas foram divididos por *causa mortis*, gerando seis séries diferentes. No momento em que os dados de mortos mais feridos são agrupados pelo tipo de seus elementos causadores, as leis de potência persistem como um padrão para as distribuições,

Distribuições	$\langle x \rangle$	$\sigma_x$	$X_{\min}$	$\alpha$	$X_{\max}$
Armas Quím. / Biol.	198,73	981,84	1	1,80	5.012
Explosivos	20,42	111,03	46	2,38	5.291
Fogo	19,69	113,78	2	1,74	1.200
Armas de Fogo	4,29	28,32	3	2,17	1.065
Facas	2,35	7,28	1	2,30	107
Outras	6,85	89,66	3	2,07	2.823

Tabela 3.2: Referência [29]. Informações sobre as distribuições mostradas na figura 3.4.

sugerindo, mais uma vez, a existência de invariância de escala e um modelo global para dinâmica dos atentados terroristas.

## 4. DINÂMICA DO TERRORISMO MUNDIAL

Neste capítulo, o que contém os principais resultados do nosso trabalho, investigaremos propriedades estatísticas de manifestações terroristas ocorridas no mundo no período de 01/01/2004 à 31/03/2008. Especificamente, calcularemos as distribuições do número de vítimas, e as distribuições das flutuações nas séries temporais do número de eventos, mortos, feridos e vítimas. Investigaremos também a existência de correlações nas séries temporais e nas suas flutuações.

### 4.1 INTRODUÇÃO

No capítulo anterior, apresentamos alguns estudos recentemente realizados sobre conflitos sócio-políticos. Foram investigadas as distribuições acumuladas (mortos/ataque, feridos/ataque, vítimas/ataque e vítimas/ataque para diferentes *causa mortis*) para o terrorismo até 2004, e as distribuições acumuladas (mortes de civis/ataque para diferentes escalas de tempo) e correlações de longo alcance (mortes de civis, mortes de militares e ataques) para guerras.

Neste capítulo, vamos investigar as distribuições acumuladas (mortos/ataque, feridos/ataque, vítimas/ataque e vítimas/ataque por região) para o período de 01/01/2004 à 31/03/2008. Além disso, separamos os dados em quatro séries temporais e investigamos o comportamento das distribuições de probabilidade das flutuações com escala de tempo  $T = 1$  dia de cada uma dessas séries. Ainda, examinamos a presença de correlações de longo alcance nas séries temporais e nas séries das flutuações do terrorismo utilizando o método DFA, descrito no capítulo 2.

## 4.2 BASE DE DADOS

O terrorismo é um fenômeno que vêm causando medo e destruição na sociedade, e muitos esforços e estudos têm sido concentrados no intuito de entender a dinâmica dessas séries de terror, divulgar resultados e criar estratégias que possam diminuir a ação dos terroristas. Em agosto de 2004, por exemplo, o governo dos E.U.A. criou o Centro Nacional de Contra-Terrorismo, ou em sua versão original, *National Counterterrorism Center* (NCTC), para servir como organização preliminar de coleção e análise de dados e do planejamento de estratégias ligadas ao terrorismo e ao contra-terrorismo. Em dezembro de 2004, o governo dos Estados Unidos homologou o NCTC como órgão principal de prevenção ao terrorismo.

Este departamento está baseado no escritório do diretor de Inteligência Nacional e é uma organização de multi-agência, dedicada a eliminar a ameaça terrorista dentro e fora dos Estados Unidos. O NCTC possui colaboradores nas principais organizações do governo americano:

- ◆ Central Intelligence Agency
- ◆ Department of Justice
- ◆ Federal Bureau of Investigation
- ◆ Department of State
- ◆ Department of Agriculture
- ◆ Department of the Treasury
- ◆ Department of Defense
- ◆ National Geospatial-Intelligence Agency
- ◆ Department of Energy
- ◆ Nuclear Regulatory Commission
- ◆ US Capitol Police
- ◆ Department of Health and Human Services
- ◆ Department of Homeland Security

Utilizando todos os instrumentos do poder nacional, o NCTC serve como conselheiro principal do Departamento Nacional de Inteligência nas atividades estratégicas e até mesmo nas propostas de orçamento para ações de contra-terrorismo, e funciona sob pilares como:

- ◆ Produzir avaliações analíticas integradas e coordenadas em edições de terrorismo, publica avisos, alertas e advertências apropriadas.
- ◆ Manter atualizados os dados sobre os atentados terroristas e sobre os principais terroristas.

- ◆ Operar um *website* seguro (NCTC *on-line*), que serve como mecanismo de disseminação de informações sobre o terrorismo e como ferramenta para angariar colaboradores internacionais.

Foi do *website* oficial do NCTC[31] que extraímos os dados relacionados aos atentados terroristas ocorridos pelo mundo no período de 01/01/2004 a 31/03/2008.

### 4.3 DISTRIBUIÇÕES DAS VÍTIMAS

Iniciamos calculando as distribuições acumuladas de mortos por ataque, feridos por ataque e vítimas (mortos + feridos + reféns) por ataque afim de verificar se estas distribuições manteriam o padrão descrito no capítulo anterior.

Podemos verificar por meio da figura 4.1 que as distribuições citadas continuam

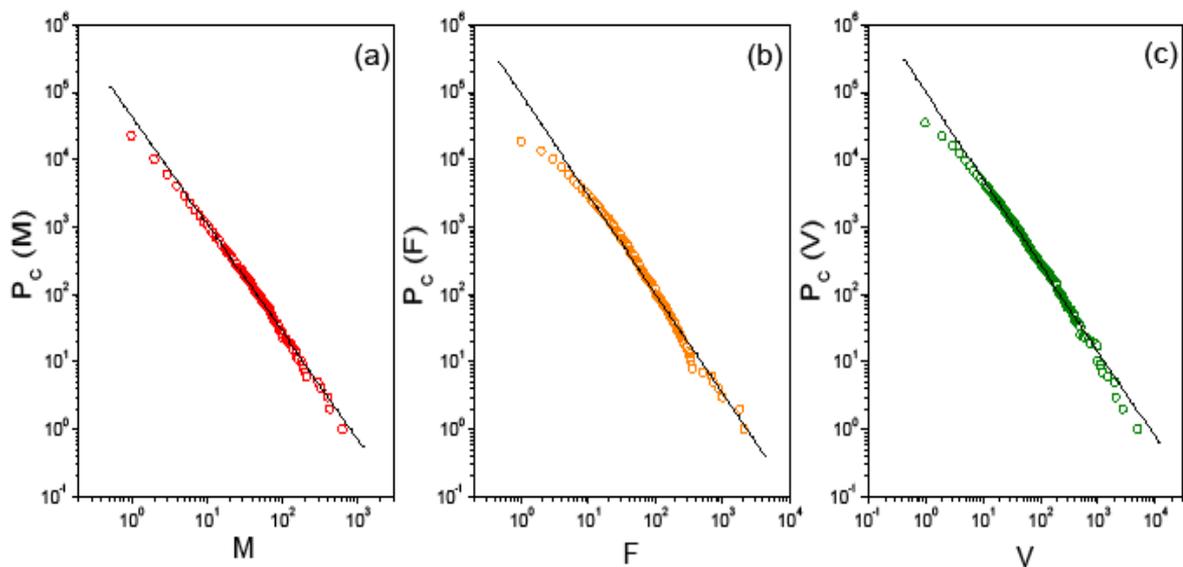


Figura 4.1: Distribuições acumuladas de violência/ataque terrorista no período de 01/01/2004 a 31/03/2008, ajustadas por leis de potência dada pela equação (3.1) (a) Distribuição acumulada de mortos/ataque, com  $\alpha \approx 1,60$ . (b) Distribuição acumulada de feridos/ataque, com  $\alpha \approx 1,50$ . (c) Distribuição acumulada de vítimas/ataque, com  $\alpha \approx 1,30$ .

apresentando a forma de leis de potência dada pela equação (3.1), porém no nosso caso, temos todas elas com  $\alpha \sim 1,5$ , em contraste com o apresentado na referência[29] ( $\alpha \sim 2$ ). Estes resultados sugerem que a forma de lei de potência é uma característica das distribuições acumuladas das vítimas do terrorismo.

O NCTC monitora o mundo dividindo-o em oito regiões e também coleciona os dados para cada uma delas. Na tabela 4.1, mostramos o percentual de eventos, mortos, feridos e vítimas ocorridas em cada uma das oito regiões, nesta tabela elas foram classificadas em ordem decrescente de vítimas. Podemos constatar que quem lidera este infeliz *ranking* é a região do Oriente Médio e Golfo Pérsico com 47,40% do número total de vítimas. Quando se trata de mortos e feridos esta região continua na frente com mais de 59% para cada caso.

Regiões	Eventos	Mortos	Feridos	Vítimas
Oriente Médio e Golfo Pérsico	46,81%	59,50%	59,70%	47,40%
Sul da Ásia	29,11%	20,50%	21,70%	36,01%
África	4,47%	9,64%	6,95%	7,11%
Leste da Ásia e Oceânia	8,57%	4,72%	4,35%	3,77%
América Central e América do Sul	5,02%	2,85%	1,92%	2,15%
Europa	3,59%	0,74%	3,16%	1,82%
Eurásia	2,31%	2,03%	2,18%	1,71%
América do Norte e Caribe	0,12%	0,02%	0,04%	0,03%

Tabela 4.1: Percentual de eventos, mortos, feridos e vítimas em cada uma das oito regiões monitoradas pelo NCTC, classificadas por ordem decrescente de vítimas.

O Brasil está na região que ocupa o quinto lugar no ranking com 2,15 % do total de vítimas, 5,2% dos eventos, 2,85% dos mortos e 1,92% dos feridos. A região

Regiões	Eventos	Mortos	Feridos	Vítimas	Coef. de Violência
África	2069	6761	9472	19176	9,27
Sul da Ásia	13528	14345	29647	96972	7,17
Oriente Médio e Golfo Pérsico	21751	41740	81351	127939	5,88
Eurásia	1070	1427	2980	4618	4,32
Europa	1663	519	4307	4912	2,95
Leste da Ásia e Oceânia	3976	3317	5946	10160	2,56
América Central e América do Sul	2324	2013	2612	5799	2,50
América do Norte e Caribe	50	16	50	71	1,42

Tabela 4.2: Número total de eventos, mortos, feridos e vítimas para cada região nos 51 meses estudados, classificadas pelo coeficiente de violência.

da América do Norte e Caribe encontra-se na “confortável” posição de último lugar com mínimos 0,03% do total de vítimas. Na tabela 4.2, apresentamos para cada região o número total de eventos, mortos, feridos e vítimas nos 1550 dias analisados. Ainda nesta tabela, incluímos os dados de um “coeficiente de violência” que mede a relação de vítimas por atentados ( $C_v = V/E$ ) e classificamos as regiões por ordem decrescente deste coeficiente.

Por meio das duas tabelas, podemos verificar que, apesar de a região do Oriente Médio e Golfo Pérsico apresentar o maior número de vítimas, não é nesta região que os eventos terroristas são mais violentos. Os ataques têm uma maior intensidade de violência na África, onde os terroristas fizeram quase 10 vítimas por atentado durante o período estudado. Foi nesta mesma região que aconteceu o atentado com o maior número de vítimas fatais, onde foram mortos 630 civís no dia 02/05/2004 em um ataque armado a uma comunidade mulçumana na

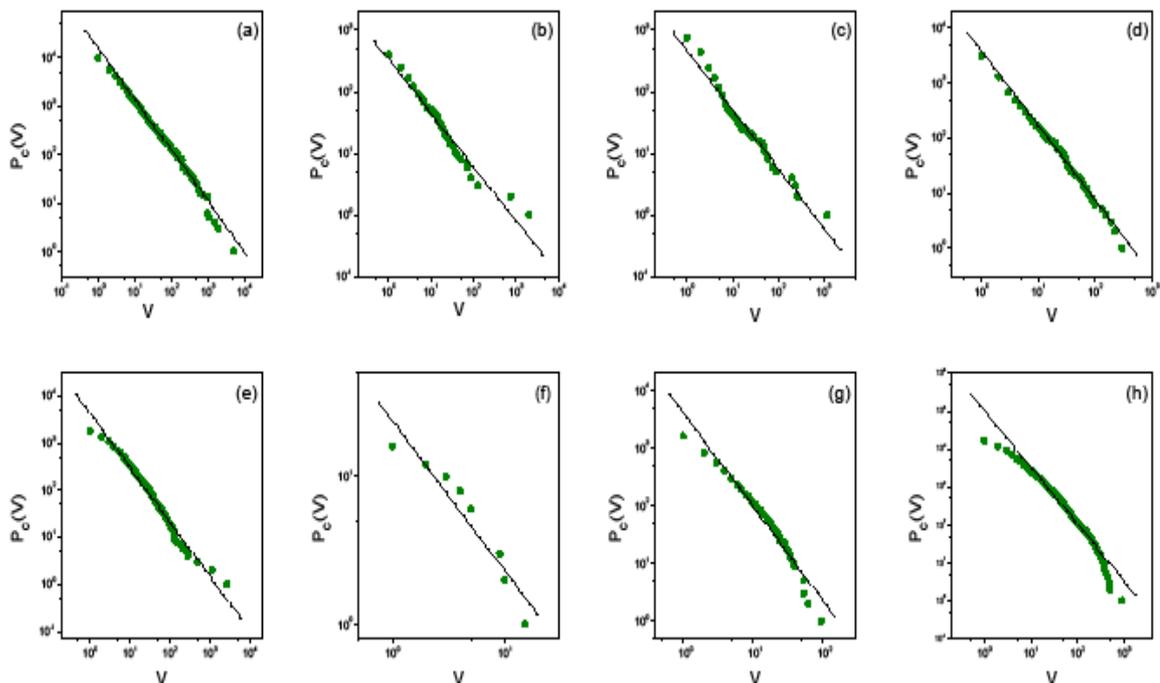


Figura 4.2: Distribuições acumuladas por região, ajustadas por leis de potência dadas pela equação (3.1). (a) Sul da Ásia, com  $\alpha \approx 1,05$ . (b) Europa, com  $\alpha \approx 0,90$ . (c) Eurásia, com  $\alpha \approx 0,95$ . (d) Leste da Ásia e Oceania, com  $\alpha \approx 1,35$ . (e) África, com  $\alpha \approx 1,15$ . (f) América do Norte e Caribe, com  $\alpha \approx 1,00$ . (g) América Central e América do Sul, com  $\alpha \approx 1,60$ . (h) Oriente Médio e Golfo Pérsico, com  $\alpha \approx 1,50$ .

cidade de Yelwa – Nigéria. A região da América do Norte e Caribe também aparece em último lugar nessa nova classificação, indicando que toda a preocupação demonstrada e que todos os esforços realizados no intuito de combater o terrorismo tem surtido efeito.

Calculamos as distribuições acumuladas para vítimas por ataques nesta regiões, como mostra a figura 4.2. Pudemos observar que estas distribuições também se comportam como leis de potência, o que reforça a indicação que a forma de lei de potência é uma característica das distribuições acumuladas das vítimas na dinâmica do terrorismo. Os valores dos expoentes  $\alpha$  encontrados nos nossos estudos estão mostrados na tabela 4.3.

<b>DISTRIBUIÇÕES DAS VÍTIMAS</b>	
Distribuição acumulada	Expoente $\alpha$
Mortos/Ataque	1,60
Feridos/Ataque	1,50
Vítimas/Ataque	1,30
<b>Vítimas/Ataque por regiões:</b>	
Sul da Ásia	1,05
Europa	0,90
Eurásia	0,95
Leste da Ásia e Oceânia	1,35
África	1,15
América do Norte e Caribe	1,00
América Central e América do Sul	1,60
Oriente Médio e Golfo Pérsico	1,50

*Tabela 4.3: Valor dos expoentes  $\alpha$  das distribuições acumuladas das vítimas na dinâmica do terrorismo.*

#### **4.4 EVOLUÇÃO TEMPORAL**

Separamos os dados extraídos do *website* oficial do NCTC[31] em quatro séries temporais distintas: a série de eventos (relação de atentados diários ocorridos no período mencionado acima), a série de mortos (relação de vítimas fatais em atentados terroristas durante os 51 meses estudados), a série de feridos (contagem de pessoas feridas durante os 1550 dias analisados) e, por fim, a série de vítimas (soma total do número de pessoas mortas, feridas e mantidas como reféns durante o período de janeiro/2004 a março/2008).

Estas séries estão mostradas na figura 4.3 e as informações estatísticas sobre

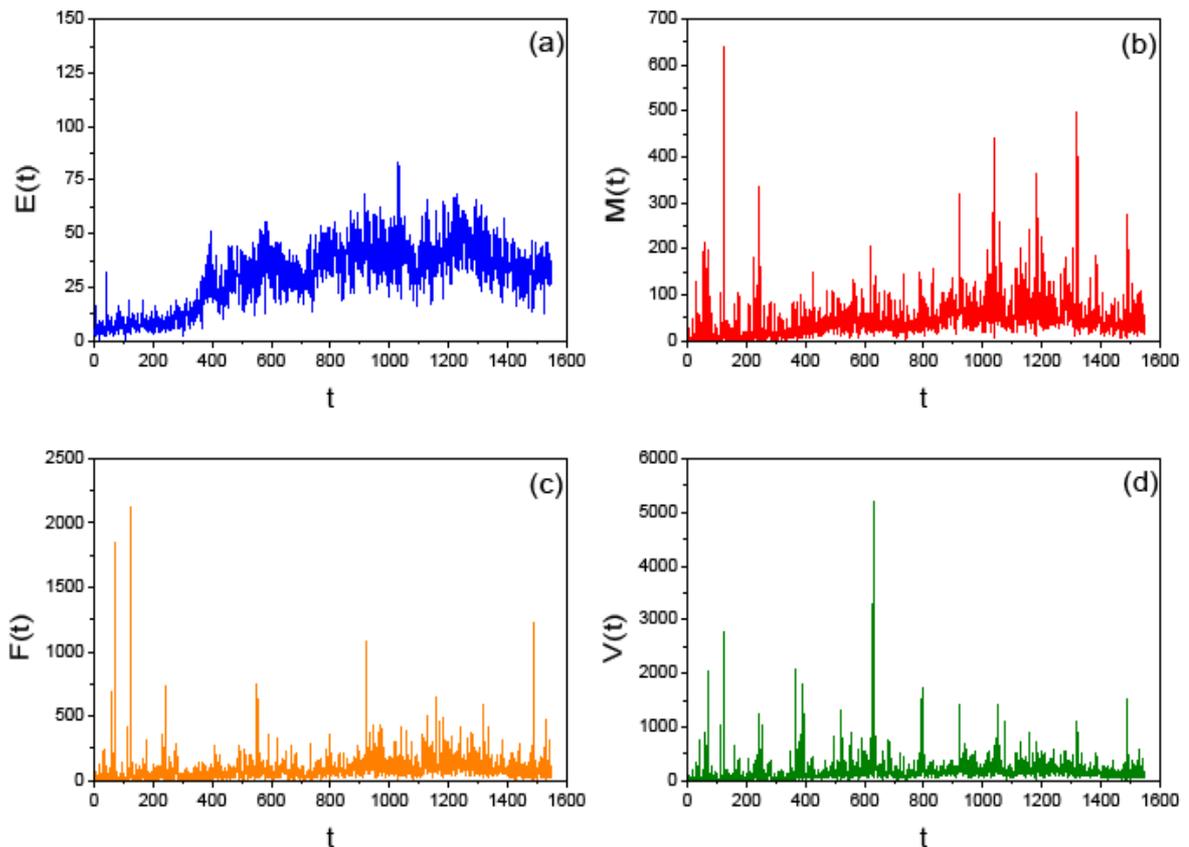


Figura 4.3: Ações terroristas ocorridos pelo mundo no período de 01/01/2004 a 31/03/2008 (a) Evolução temporal de eventos. (b) Evolução temporal de mortos. (c) Evolução temporal de feridos. (d) Evolução temporal de vítimas (mortos + feridos + reféns).

cada uma delas estão relacionadas na tabela 4.4. Podemos verificar que no período estudado os terroristas agiram 46.431 vezes, deixando um rastro de destruição física e psicológica. Por meio de nossos levantamentos, percebemos que não houve nenhum dia em que os terroristas deixassem de praticar ações de terror pelo menos uma vez, chegando a realizar até 83 ataques em um único dia (29/10/2006), causando a morte de 204 pessoas e ferindo mais 182 civis.

Séries	$\Sigma_x$	$X_{\min}$	$X_{\max}$	$\langle X \rangle$	$\sigma_x$
Eventos (E)	46.431	1	83	29,95	14,81
Mortos (M)	70.138	0 (7)	638	45,25	43,51
Feridos (F)	136.365	0 (12)	2.121	87,98	111,94
Vítimas (V)	269.647	0 (1)	5.210	173,97	240,21

Tabela 4.4: Dados estatísticos das ações terroristas ocorridas no mundo entre o período de 01/01/2004 a 31/03/2008. Os valores dentro dos parênteses significam a quantidade de dias com zero ocorrências.

Os terroristas conseguiram uma média de 45,25 mortes por dia durante os 51 meses estudados e foi no dia 02/05/2004 que eles fizeram o maior número de mortos, matando 638 pessoas. Um fato que causa ainda mais espanto é que neste dia ocorreram apenas 9 eventos e neste dia também, os terroristas deixaram 2.121 feridos, porém esta não é a data em que ocorreram os ataques mais violentos. Em 11/03/2004 aconteceram os eventos de maior violência do período analisado, foram mortas 199 pessoas e feridas 1852 em somente 05 atentados terroristas.

O dia mais violento foi 22/09/2005 com um total de 5.210 vítimas, dentre estas 68 mortos, 117 feridos e 5.025 reféns, neste dia foram realizados 46 ataques. No período analisado, os terroristas bateram a marca de 269.647 vítimas (mortos + feridos + reféns) com uma média diária de 173,97 infortúnios.

#### **4.5 DISTRIBUIÇÕES DAS FLUTUAÇÕES**

Vamos investigar agora, as flutuações temporais de 1 dia das séries, apresentadas na figura 4.3. Para tal análise, criamos uma variável padrão  $X$  comum a todas as séries e que assume os valores  $E$  para as séries de eventos,  $M$  para as séries de mortos,  $F$  para as séries de feridos e  $V$  para as séries de vítimas. Calculamos inicialmente os incrementos consecutivos dados pela equação padrão:

$$X_1(t) = X(t+1) - X(t) \quad (4.1)$$

onde  $X(t)$  é o valor nominal dos termos respectivos a cada série no tempo  $t$ . As séries dessas flutuações estão apresentadas na figura 4.4.

As distribuições de probabilidades das séries apresentadas na figura 4.4, para o período de janeiro de 2004 a março de 2008, estão mostradas na figura 4.5. Ajustamos todas elas a uma única distribuição com comportamento exponencial (distribuição de Laplace) dado pela forma padrão:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2}} \exp\left(\frac{-\sqrt{2}|X - \langle X \rangle|}{\sigma_X}\right) \quad (4.2)$$

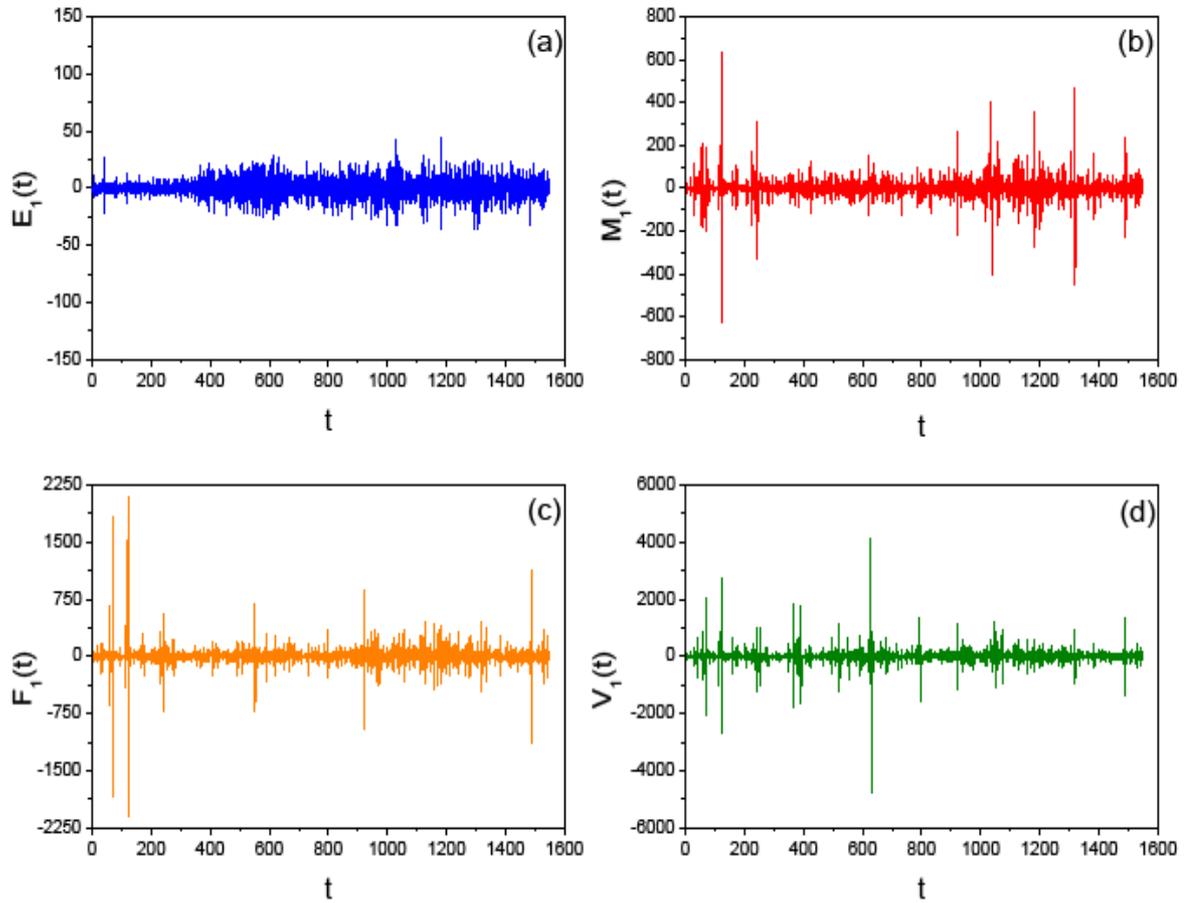


Figura 4.4: Incrementos consecutivos de 1 dia obtidos a partir das séries apresentadas na figura 4.1. (a) Série das flutuações de 1 dia de eventos ( $E_1(t) = E(t+1) - E(t)$ ). (b) Série das flutuações de 1 dia de mortos ( $M_1(t) = M(t+1) - M(t)$ ). (c) Série das flutuações de 1 dia de feridos ( $F_1(t) = F(t+1) - F(t)$ ). (d) Série das flutuações de 1 dia de vítimas ( $V_1(t) = V(t+1) - V(t)$ ).

onde  $\langle X \rangle = 0,2$  e  $\sigma_X = 9,92$  para eventos,  $\langle X \rangle = -0,09$  e  $\sigma_X = 40,67$  para mortos,  $\langle X \rangle = 0,18$  e  $\sigma_X = 88,10$  para feridos e  $\langle X \rangle = 0,09$  e  $\sigma_X = 144,03$  para vítimas. Note que a distribuição dada pela equação (4.2) fornece uma boa aproximação das principais características das distribuições empíricas  $p(E_1)$ ,  $p(M_1)$ ,  $p(F_1)$ ,  $p(V_1)$ , ajustando-se muito bem ao centro de cada uma delas. Desconsideramos em nossos estudos os efeitos de cauda causados por flutuações das ações terroristas que fogem muito da média. Ações deste tipo, ou seja: dias com muitos eventos, ou eventos extremamente violentos, com muitos mortos, feridos e/ou reféns, são fenômenos que se aproximam do processo de Poisson[32], então tomamos a liberdade de mostrar na figura somente os ajustes dos centros das distribuições.

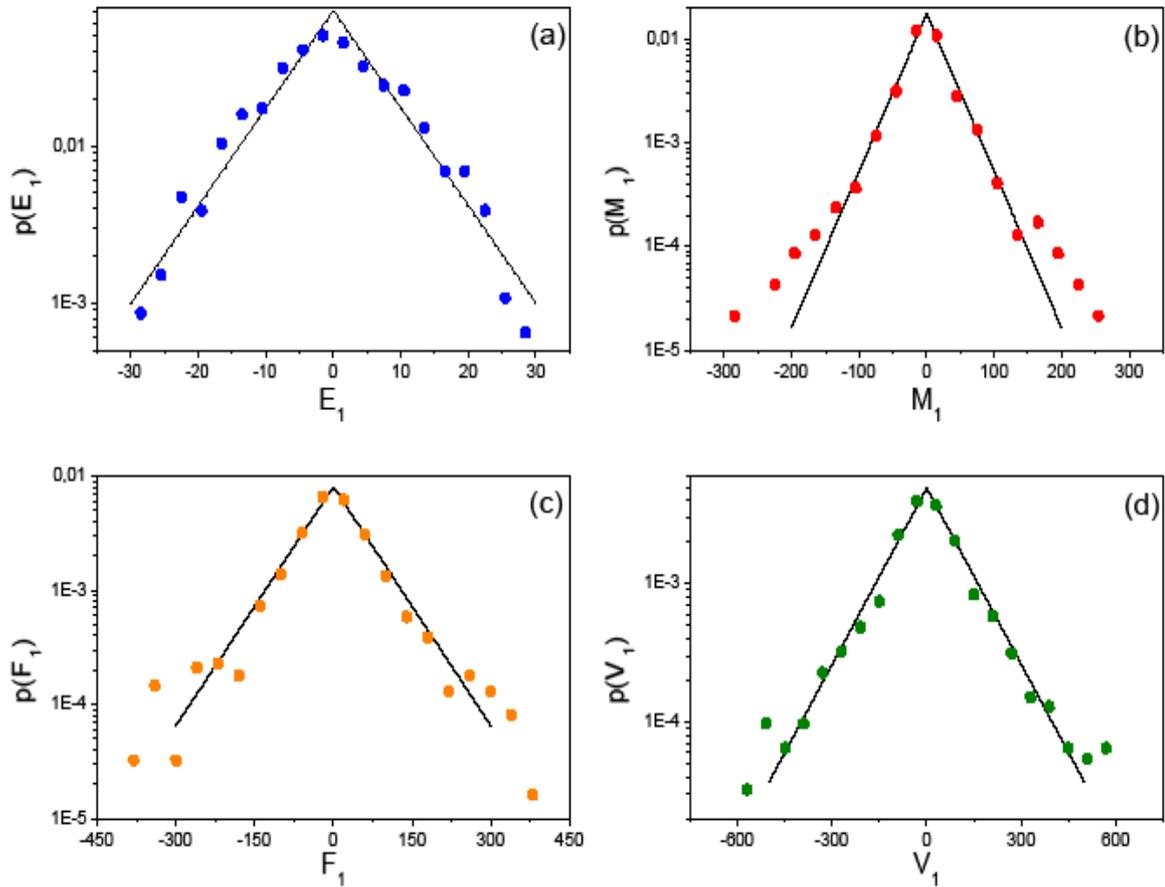


Figura 4.5: Distribuição das flutuações de 1 dia apresentadas na figura 4.2, para o período 01/01/2004 a 31/03/2008. (a) Densidade de probabilidades para as flutuações de eventos. (b) Densidade de probabilidades para as flutuações de mortos. (c) Densidade de probabilidades para as flutuações de feridos. (d) Densidade de probabilidades para as flutuações de vítimas. As linhas sólidas representam a distribuição de probabilidades dada pela equação (4.2) com  $\langle X \rangle = 0,2$  e  $\sigma_X = 9,92$  para eventos,  $\langle X \rangle = -0,09$  e  $\sigma_X = 40,67$  para mortos,  $\langle X \rangle = 0,18$  e  $\sigma_X = 88,10$  para feridos e  $\langle X \rangle = 0,09$  e  $\sigma_X = 144,03$  para vítimas.

Para compararmos melhor as distribuições mostradas na figura 4.5, calculamos também os incrementos normalizados de cada uma das quatro séries, dados pela equação padrão:

$$X_{1n}(t) = \frac{X_1(t) - \langle X_1(t) \rangle}{\sigma_{X1}} \quad (4.3)$$

onde  $\langle X_1(t) \rangle$  e  $\sigma_{X1}$  são o valor médio e o desvio padrão das séries das diferenças dadas pela equação (4.1).

As figuras 4.6(a-d) mostram as séries normalizadas das flutuações. A figura 4.6(e) traz as distribuições dos incrementos normalizados, em comparação com a

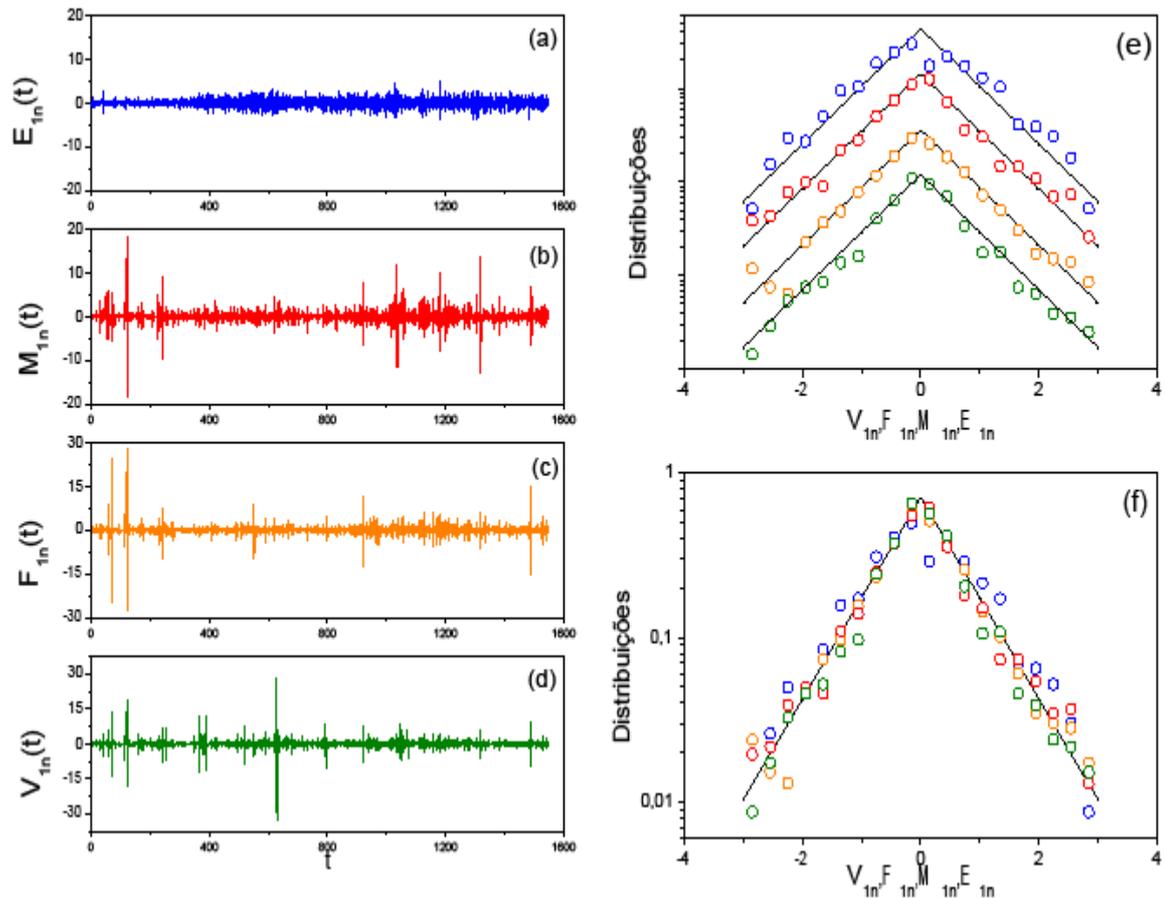


Figura 4.6 Séries normalizadas e suas distribuições de probabilidade. (a) Série normalizada das flutuações de 1 dia obtida da série  $E(t)$ . (b) Série normalizada das flutuações de 1 dia obtida da série  $M(t)$ . (c) Série normalizada das flutuações de 1 dia obtida da série  $F(t)$ . (d) Série normalizada das flutuações de 1 dia obtida da série  $V(t)$ . (e) Distribuição de probabilidades para as séries normalizadas das flutuações de um dia de eventos (bolas azuis), de mortos (bolas vermelhas), de feridos (bolas laranjas) e de vítimas (bolas verdes). As distribuições estão deslocadas verticalmente e as linhas sólidas representam distribuições dadas pela equação (4.2) com  $\langle X \rangle = 0$  e  $\sigma_X = 1$ . (f) as mesmas distribuições mostradas em (e) sem os deslocamentos verticais.

distribuição dada pela equação (4.2) com  $\langle X \rangle = 0$  e  $\sigma_X = 1$ , estas distribuições estão deslocadas verticalmente para uma melhor visualização. Na figura 4.6(f), podemos ver as distribuições para as séries relacionadas ao terrorismo mencionadas acima, sem o deslocamento vertical, note que todas têm a mesma forma, indicando que as diferentes variáveis seguem o mesmo padrão.

## 4.6 CORRELAÇÕES DE LONGO ALCANCE

Nesta seção, investigamos a presença de correlações de longo alcance nas

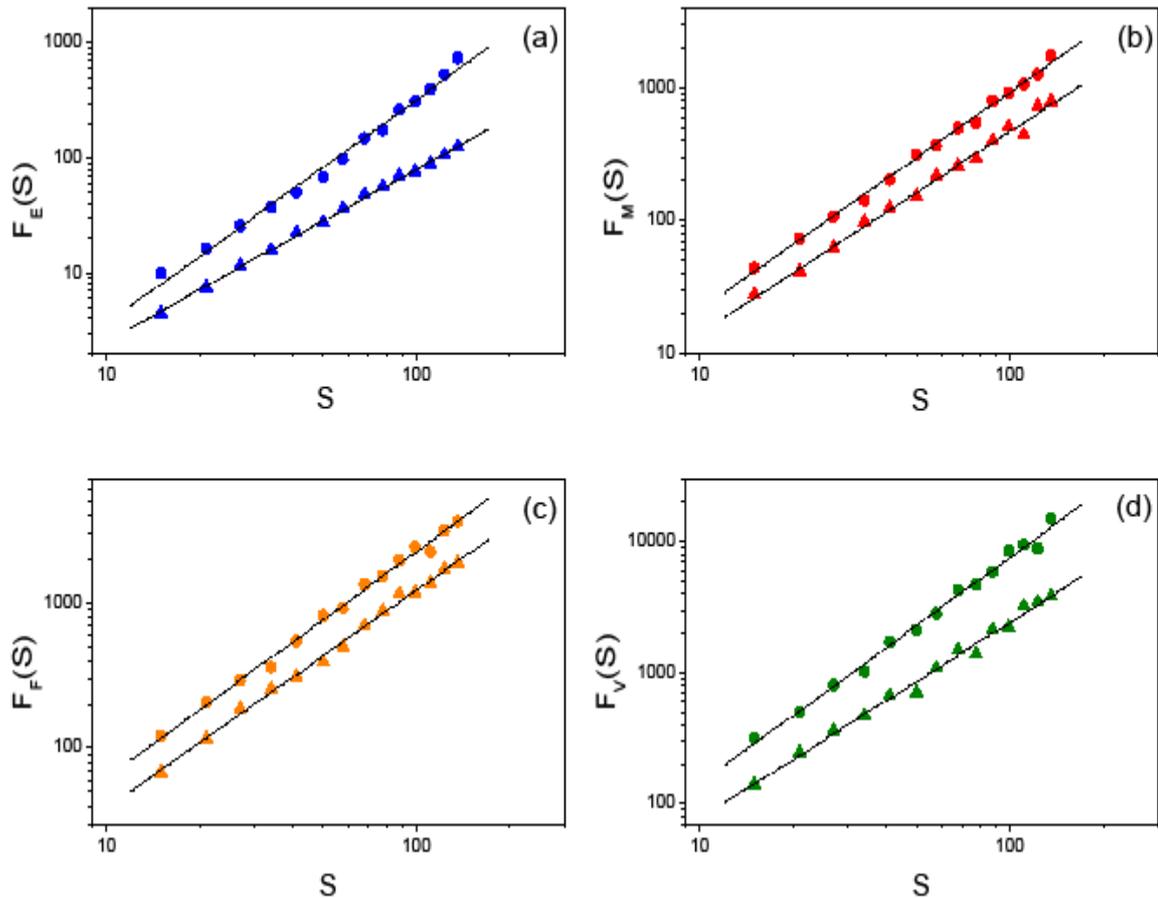


Figura 4.7: Correlações de longo alcance na dinâmica do terrorismo mundial, calculadas a partir do uso do método DFA-2 nas respectivas séries integradas. (a) Função flutuação  $F_E(S)$  para a série de eventos (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,95$  para a série original e  $h \approx 0,50$  para a versão integrada. (b) Função flutuação  $F_M(S)$  para a série de mortos (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,65$  para a série original e  $h \approx 0,50$  para a versão integrada. (c) Função flutuação  $F_F(S)$  para a série de feridos (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,55$  para a série original e  $h \approx 0,50$  para a versão integrada. (d) Função flutuação  $F_V(S)$  para a série de vítimas (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,75$  para a série original e  $h \approx 0,50$  para a versão integrada.

séries de eventos, mortos, feridos e vítimas (apresentadas na figura 4.3), utilizando o método DFA-2 (descrito no capítulo 2) com escala de tempo  $15 \leq S \leq 136$  nas suas versões integradas (as respectivas funções flutuação estão exibidas na figura 4.7). Podemos observar por meio desta figura que essas funções crescem com escala  $S$  como uma lei de potência dada pela equação

$$F(S) \sim S^{h+1} \quad (4.4)$$

Sendo  $h$  o expoente que caracteriza as correlações na série. Para a série de eventos, temos  $h \approx 0,95$  demonstrando que esta série tem um comportamento muito persistente e é consistentemente correlacionada, a série de mortos apresenta  $h \approx 0,65$  sendo também persistente e correlacionada, a série de feridos, exibe expoente  $h \approx 0,55$  o que demonstra um comportamento fracamente correlacionado, por último a série de vítimas apresenta  $h \approx 0,75$  indicando que esta também tem um comportamento persistente e é correlacionada. A figura 4.7 também mostra as funções flutuação das versões embaralhadas das séries mencionadas, todas com  $h \approx 0,50$ .

Também analisamos as flutuações com a escala de tempo  $T = 1$  dia das séries citadas. Dividimos estas séries em duas sub-séries (a série das magnitudes e a série dos sinais) de maneira que

$$X_1(t) = X_{M01}(t) \times X_{S01}(t) \quad (4.5)$$

em que  $X_{MI}(t) = |X_I(t)|$  e  $X_{SI}(t)$  é o sinal de  $X_I(t)$  e pode assumir os seguintes valores

$$X_{S01}(t) = \begin{cases} +1 \rightarrow X_1(t) > 0 \\ 0 \rightarrow X_1(t) = 0 \\ -1 \rightarrow X_1(t) < 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

Em seguida, aplicamos o método DFA-2 no intervalo  $15 \leq S \leq 136$  para investigar a presença de correlações nas sub-séries integradas das magnitudes e dos sinais (figura 4.8 e figura 4.9).

Em cada caso, calculamos as funções flutuação  $F_{MXI}(S)$  (mostradas na figura 4.10 e obtida por meio das séries integradas da figura 4.5) e as funções flutuação  $F_{SXI}(S)$  (mostradas na figura 4.11 e obtidas por meio das séries integradas da figura 4.6). Vemos nessas figuras que as funções flutuação crescem com a escala de tempo  $S$  como uma lei de potência dada pela equação (4.4).

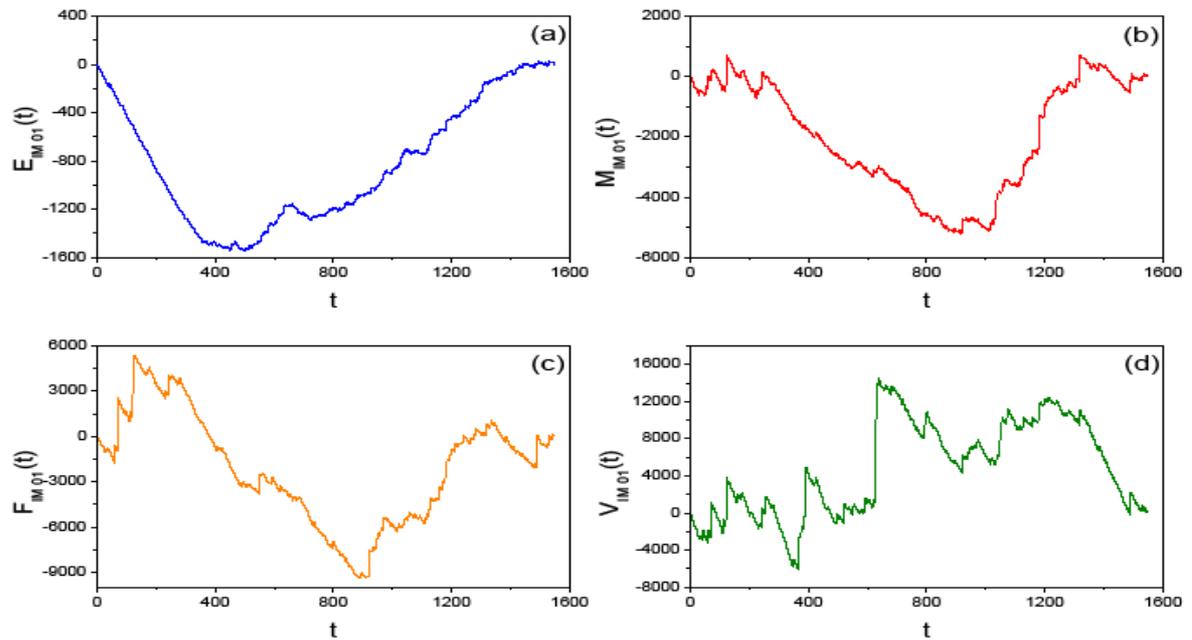


Figura 4.8: Versões integradas das sub-séries das magnitudes para as flutuações com  $T = 1$  dia. (a) Sub-série integrada obtida da série de  $E_1(t)$ . (b) Sub-série integrada obtida da série  $M_1(t)$ . (c) Sub-série integrada obtida da série  $F_1(t)$ . (d) Sub-série integrada obtida da série  $V_1(t)$ .

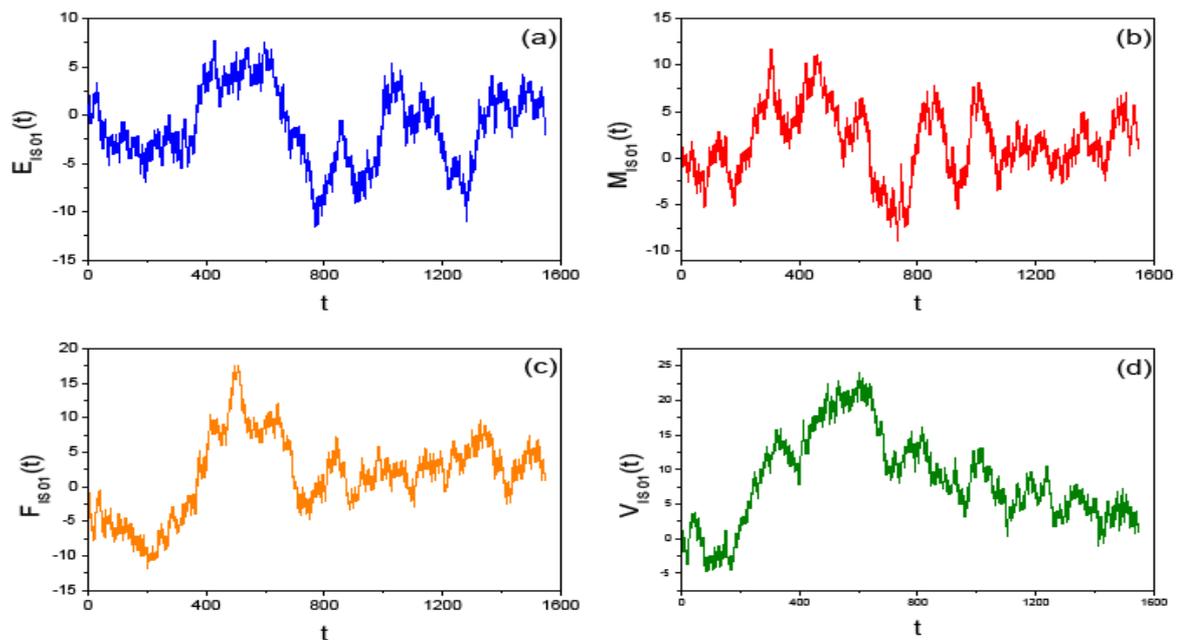


Figura 4.9: Versões integradas das sub-séries dos sinais para as flutuações com  $T = 1$  dia. (a) Sub-série integrada obtida da série de  $E_1(t)$ . (b) Sub-série integrada obtida da série  $M_1(t)$ . (c) Sub-série integrada obtida da série  $F_1(t)$ . (d) Sub-série integrada obtida da série  $V_1(t)$ .

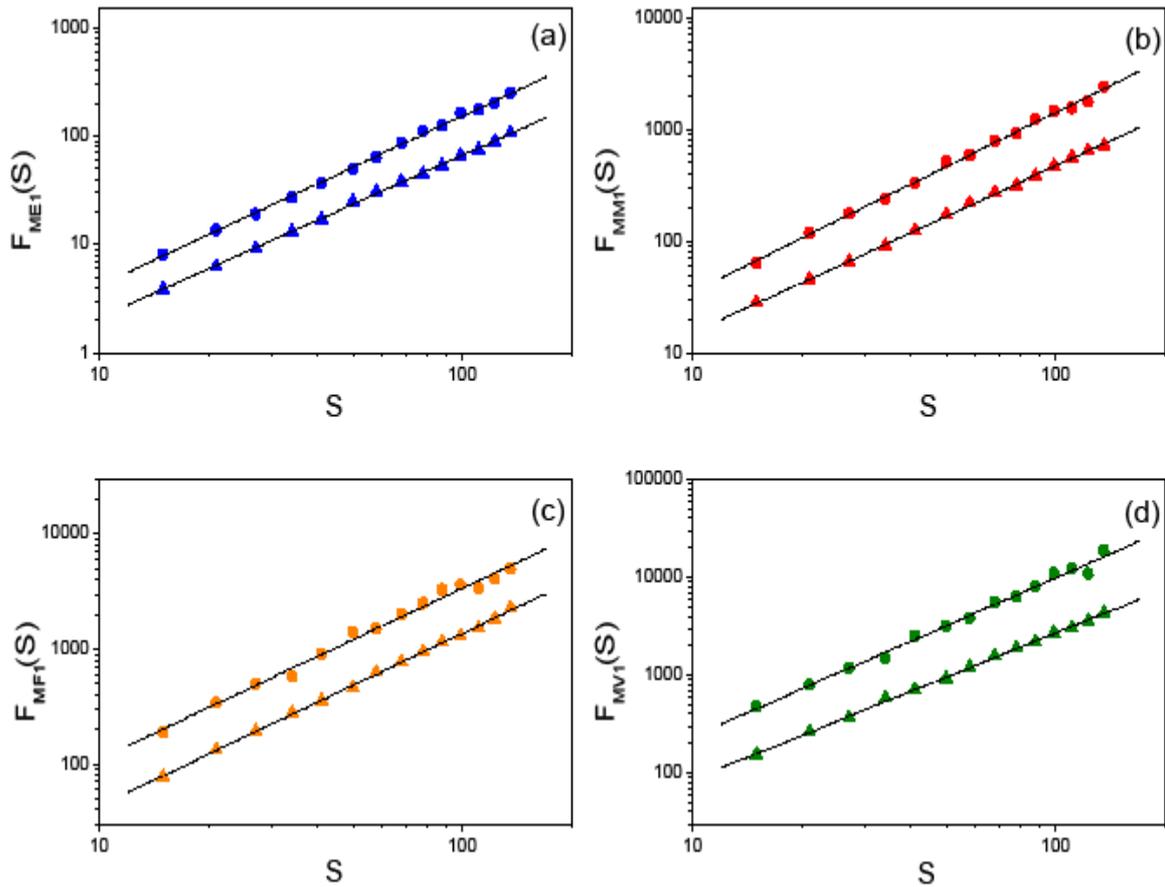


Figura 4.10: Correlações de longo alcance. Funções flutuação obtidas pelo uso do método DFA-2 nas sub-séries integradas das magnitudes mostradas na figura 4.8. (a) Função flutuação  $F_{MEI}(S)$  para a série  $E_{IMI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,55$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada. (b) Função flutuação  $F_{MMI}(S)$  para a série  $M_{IMI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,60$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada. (c) Função flutuação  $F_{MFI}(S)$  para a série  $F_{IMI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,50$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada. (d) Função flutuação  $F_{MVI}(S)$  para a série  $V_{IMI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,65$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada.

Na figura 4.10(a), verificamos que  $F_{MEI}(S)$  (função flutuação para a série integrada do módulo de eventos) apresenta o expoente  $h \approx 0,55$ , o que indica que existem correlações para a série estudada. Na figura 4.10(b), encontramos o expoente  $h \approx 0,60$  para  $F_{MMI}(S)$  (função flutuação para a série integrada do módulo de mortos),

mostrando que existem correlações e que esta série é persistente. Para a função flutuação da sub-série integrada da magnitude dos incrementos de  $T = 1$  de feridos  $F_{MFI}(S)$  (figura 4.10(c)), encontramos  $h \approx 0,50$  indicando a inexistência de correlações de longo alcance para esta sub-série. Por fim, a figura 4.10(d) traz a  $F_{MVI}(S)$  (função flutuação para a série integrada do módulo de vítimas) que apresenta um expoente  $h \approx 0,65$ , indicando que a série é persistente e

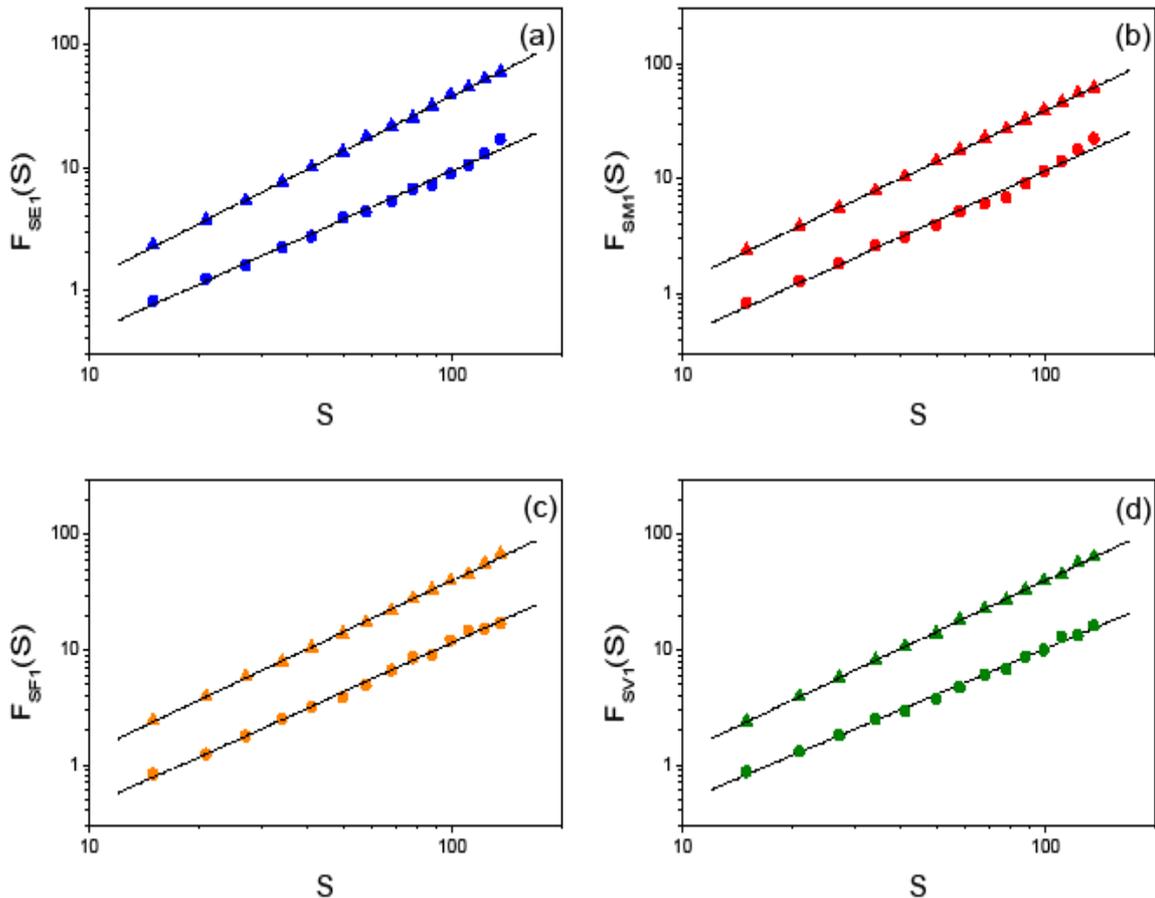


Figura 4.11: Correlações de longo alcance. Funções flutuação obtidas pelo uso do método DFA-2 nas sub-séries integradas dos sinais mostradas na figura 4.9. (a) Função flutuação  $F_{SEI}(S)$  para a série  $E_{ISI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,35$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada. (b) Função flutuação  $F_{SMI}(S)$  para a série  $M_{ISI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,40$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada. (c) Função flutuação  $F_{SF1}(S)$  para a série  $F_{ISI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,45$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada. (d) Função flutuação  $F_{SV1}(S)$  para a série  $V_{ISI}(t)$  (círculos) e para sua versão embaralhada (triângulos). As linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4), com  $h \approx 0,35$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para a versão embaralhada.

correlacionada. Na figura 4.10, vemos também as funções de flutuação calculadas para as versões embaralhadas de cada sub-série, como esperado  $h \approx 0,50$  indicando a ausência de correlações de longo alcance.

Na figura 4.11, mostramos as mesmas análises, mas desta vez para as séries dos sinais, encontramos  $h < 0,50$  para todos os casos. Na 4.11(a), temos  $F_{SEI}(S)$  com  $h \approx 0,35$ , na 4.11(b)  $F_{SMI}(S)$  apresenta  $h \approx 0,45$ ,  $F_{SFI}(S)$  na 4.11(c) revela  $h \approx 0,40$  e  $F_{SVI}(S)$  na figura 4.11(d) com  $h \approx 0,35$ , o que mostra que as séries dos sinais estudadas são anti-persistentes.

Para uma visão geral dos resultados, veja a tabela 4.5. A partir desta tabela, podemos observar que para as séries originais temos  $h > 0,50$ , indicando que elas são persistentes, principalmente a série de eventos  $h \approx 0,95$  demonstrando forte

TABELA DE EXPOENTES $h$ OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO DFA				
Séries	Eventos	Mortos	Feridos	Vítimas
Originais	0,95	0,65	0,55	0,75
Magnitudes	0,55	0,60	0,50	0,65
Sinais	0,35	0,40	0,45	0,35

Tabela 4.5: Valor do expoente  $h$  para as séries originais e para as sub-séries das magnitudes e dos sinais das flutuações de 1 dia.

correlação. Por sua vez, as sub-séries das magnitudes apresentam  $h \geq 0,50$ , indicando correlações e persistências, exeto a dos feridos que é não correlacionada. Por fim, as séries dos sinais apresentam sempre  $h < 0,50$ , indicando anti-persistência.

Estes resultados sugerem que grandes e positivos incrementos nas sub-séries da dinâmica do terrorismo são provavelmente seguidos de grandes e negativos incrementos e de maneira semelhante, pequenos e negativos incrementos serão provavelmente seguidos por pequenos e positivos incrementos.

## 5. DINÂMICA DO TERRORISMO EM DIFERENTES ESCALAS DE TEMPO

Neste capítulo, repetimos as análises realizadas no capítulo 4, porém estendendo para diferentes escalas de tempo .

### 5.1 INTRODUÇÃO

No capítulo 4, calculamos as distribuições de probabilidades dos incrementos de  $T = 1$  dia para as séries de eventos, mortos, feridos e vítimas, e pudemos verificar que todas elas podem ser ajustadas pela distribuição de Laplace, dada pela equação (4.2). Neste capítulo, pesquisamos as propriedades das flutuações para as escalas de tempo  $T = 2, T = 7, T = 15$  e  $T = 30$  dias das séries de eventos, mortos, feridos e vítimas. Mais especificamente, determinamos as distribuições de probabilidade para cada uma das novas séries das flutuações, dividimos estas séries em sub-séries, a citar: sub-séries do módulo e a sub-séries dos sinais, e investigamos a presença de correlações de longo alcance nestas sub-séries. No final de cada seção, apresentamos um resumo dos resultados obtidos. No final do capítulo, fizemos uma comparação da evolução dos expoentes  $h$  em função das escalas de tempo  $T$  das sub-séries do módulo e do sinal para todas as flutuações.

Para calcular os incrementos, usamos a equação

$$X_T(t) = X(t+T) - X(t) \quad (5.1)$$

em que  $X$  é a variável comum introduzida no capítulo 4 e assume os valores  $E, M, F$  e  $V$  de acordo com as séries originais analisadas,  $X(t)$  é o valor nominal do termo respectivo a cada série no tempo  $t$  e  $T$  a escala de tempo. Suas versões

normalizadas são obtidas a partir da equação a seguir:

$$X_{Tn}(t) = \frac{X_T(t) - \langle X_T(t) \rangle}{\sigma_{XT}} \quad (5.2)$$

Como no capítulo anterior, pesquisamos a existência de correlações de longo alcance nas sub-séries das magnitudes e dos sinais obtidos a partir da equação:

$$X_T(t) = X_{MT}(t) \times X_{ST}(t) \quad (5.3)$$

onde  $X_{MT}(t)$  é o valor absoluto de  $X_T(t)$  e  $X_{ST}(t)$  é o seu respectivo sinal, podendo assumir os seguintes valores:

$$X_{ST}(t) \begin{cases} +1 \rightarrow X_T(t) > 0 \\ 0 \rightarrow X_T(t) = 0 \\ -1 \rightarrow X_T(t) < 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

## 5.2 FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE EVENTOS

Começamos investigando as flutuações da série de eventos mostrada na figura 4.3 em diferentes escalas de tempo, a citar,  $T = 2$ ,  $T = 7$ ,  $T = 15$  e  $T = 30$  dias. A partir daí, analisamos a presença de correlações de longo alcance nas flutuações da série de eventos. Neste sentido, dividimos cada uma das quatro séries de flutuações em duas outras, a sub-série das magnitudes e a sub-série dos sinais e, por meio da equação (5.3), aplicamos o método DFA na versão integrada dessas novas sub-séries.

As distribuições de probabilidade e as funções correlação das séries mencionadas acima estão mostradas nas figuras 5.1, 5.2, 5.3, e 5.4.

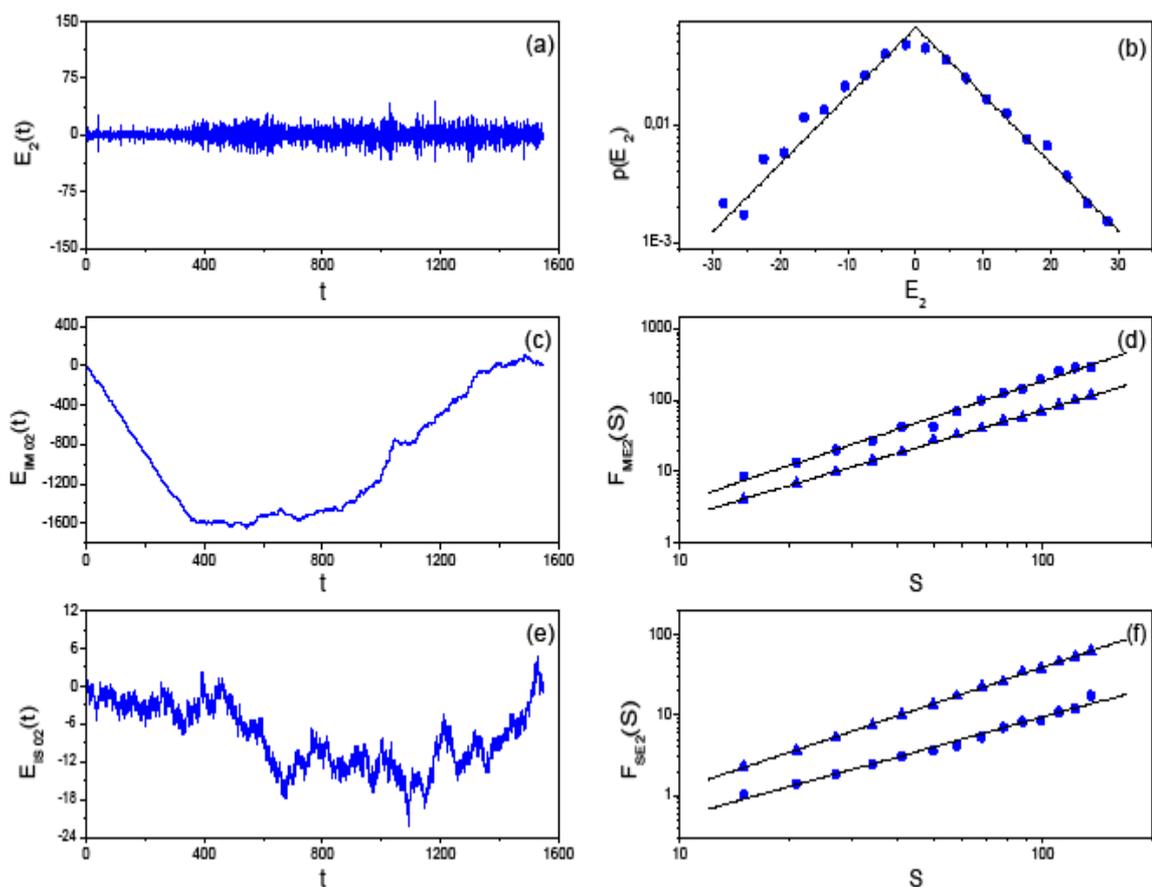


Figura 5.1: Análises nas flutuações com  $T = 2$  dias para a série de eventos. (a) Série das flutuações  $E_2(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(E_2)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $E_{IM2}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{ME2}(S)$  para a sub-série  $E_{IM2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,70$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $E_{IS2}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SE2}(S)$  para a sub-série  $E_{IS2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,25$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

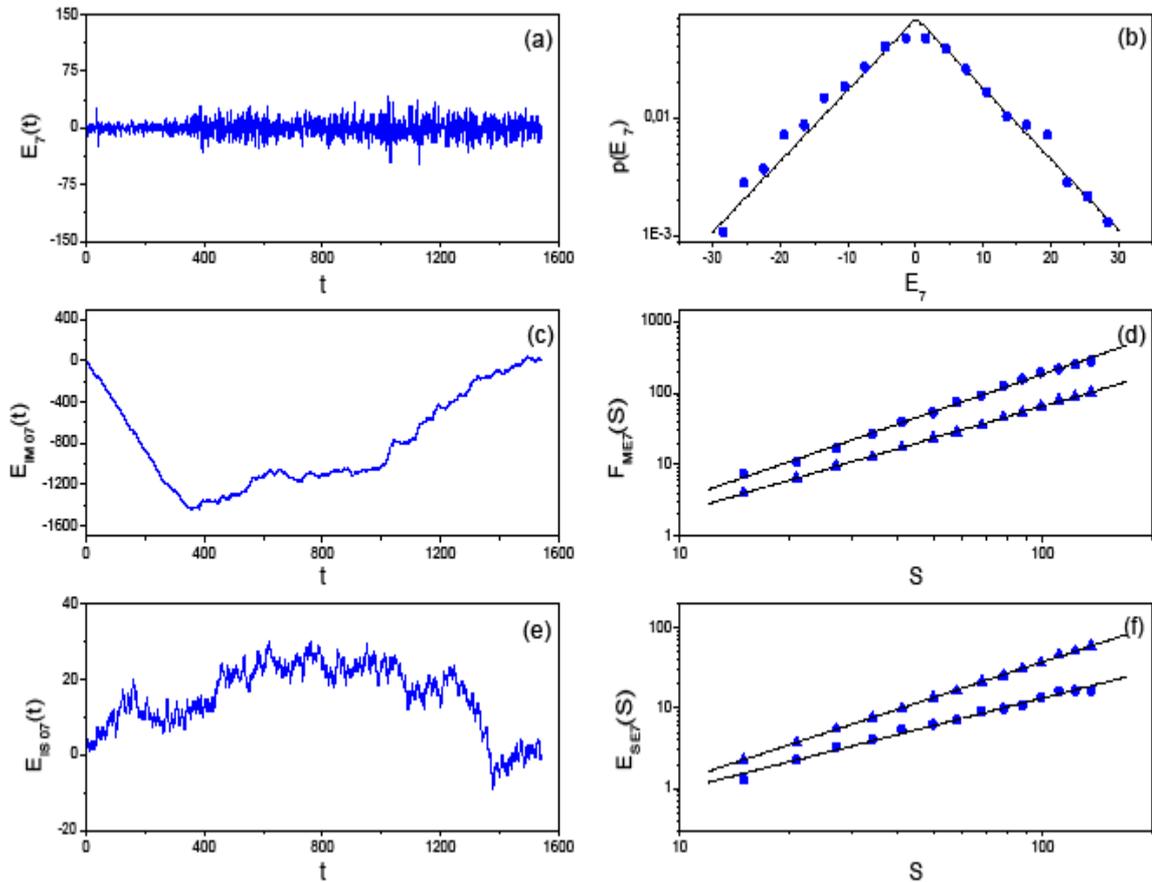


Figura 5.2: Análises nas flutuações com  $T = 7$  dias para a série de eventos. (a) Série das flutuações  $E_7(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(E_7)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $E_{IM7}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{ME7}(S)$  para a sub-série  $E_{IM7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,75$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $E_{IS7}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SE7}(S)$  para a sub-série  $E_{IS7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,15$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

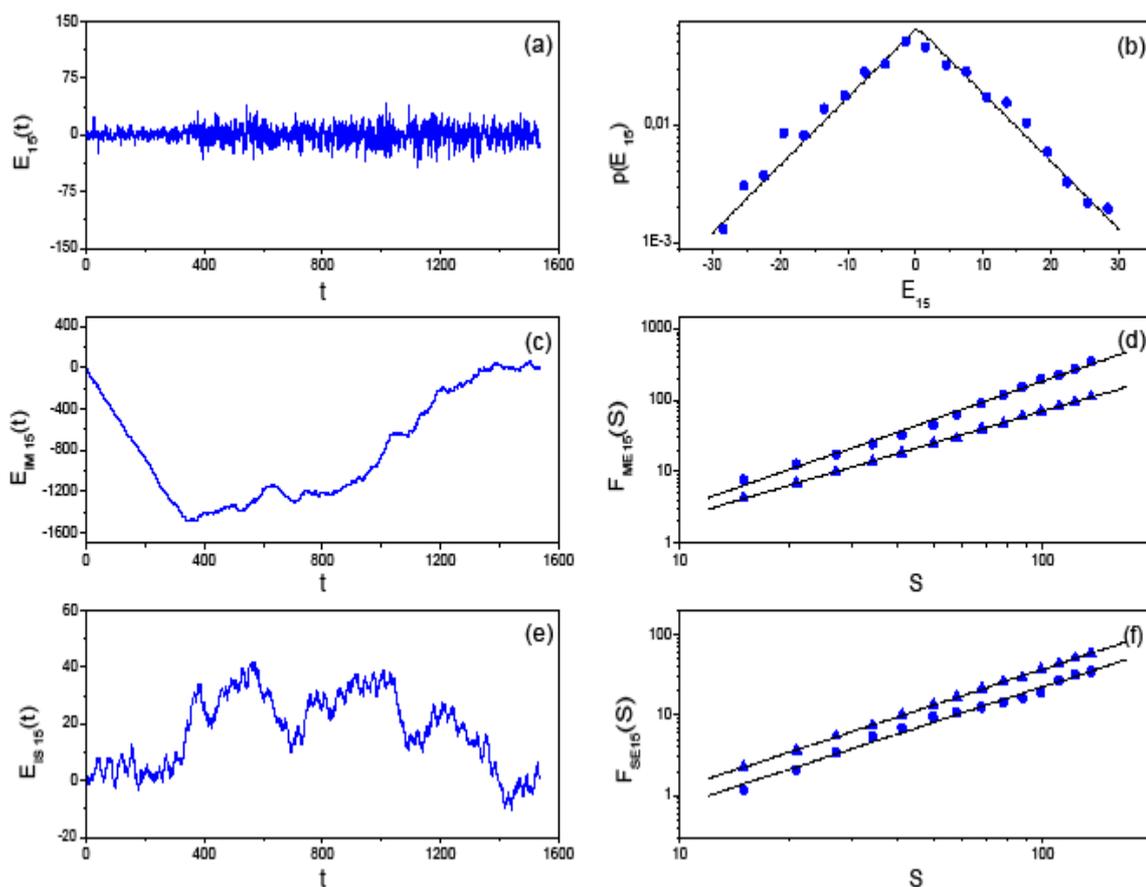


Figura 5.3: Análises nas flutuações com  $T = 15$  dias para a série de eventos. (a) Série das flutuações  $E_{15}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(E_{15})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $E_{IM15}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{ME15}(S)$  para a sub-série  $E_{IM15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,75$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $E_{IS15}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SE15}(S)$  para a sub-série  $E_{IS15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,45$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

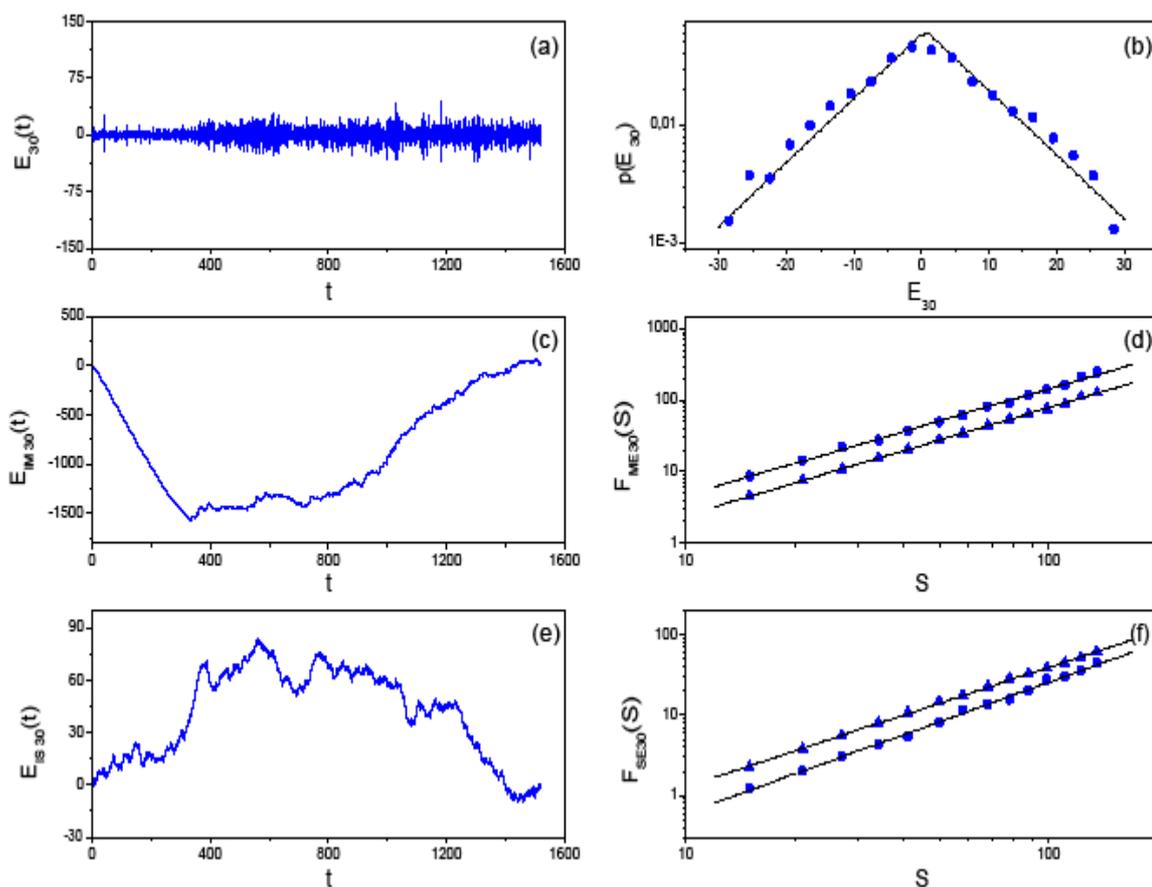


Figura 5.4: Análises nas flutuações com  $T = 30$  dias para a série de eventos. (a) Série das flutuações  $E_{30}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(E_{30})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $E_{IM30}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{ME30}(S)$  para a sub-série  $E_{IM030}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,50$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $E_{IS30}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SE30}(S)$  para a sub-série  $E_{IS30}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,65$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

PRINCIPAIS RESULTADOS PARA AS FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE EVENTOS

Escala de tempo (dias)	Distribuições de probabilidades		Expoentes $h$ das sub-séries	
	$\langle E_T(t) \rangle$	$\sigma_{ET}$	Magnitudes	Sinais
2	0,04	10,68	0,70	0,25
7	0,11	10,22	0,75	0,15
15	0,27	10,73	0,75	0,45
30	0,56	11,34	0,50	0,65

Tabela 5.1: Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de eventos em diferentes escalas de tempo.

Para uma visão geral, agrupamos os principais resultados obtidos na análise das flutuações da série de eventos na tabela 5.1.

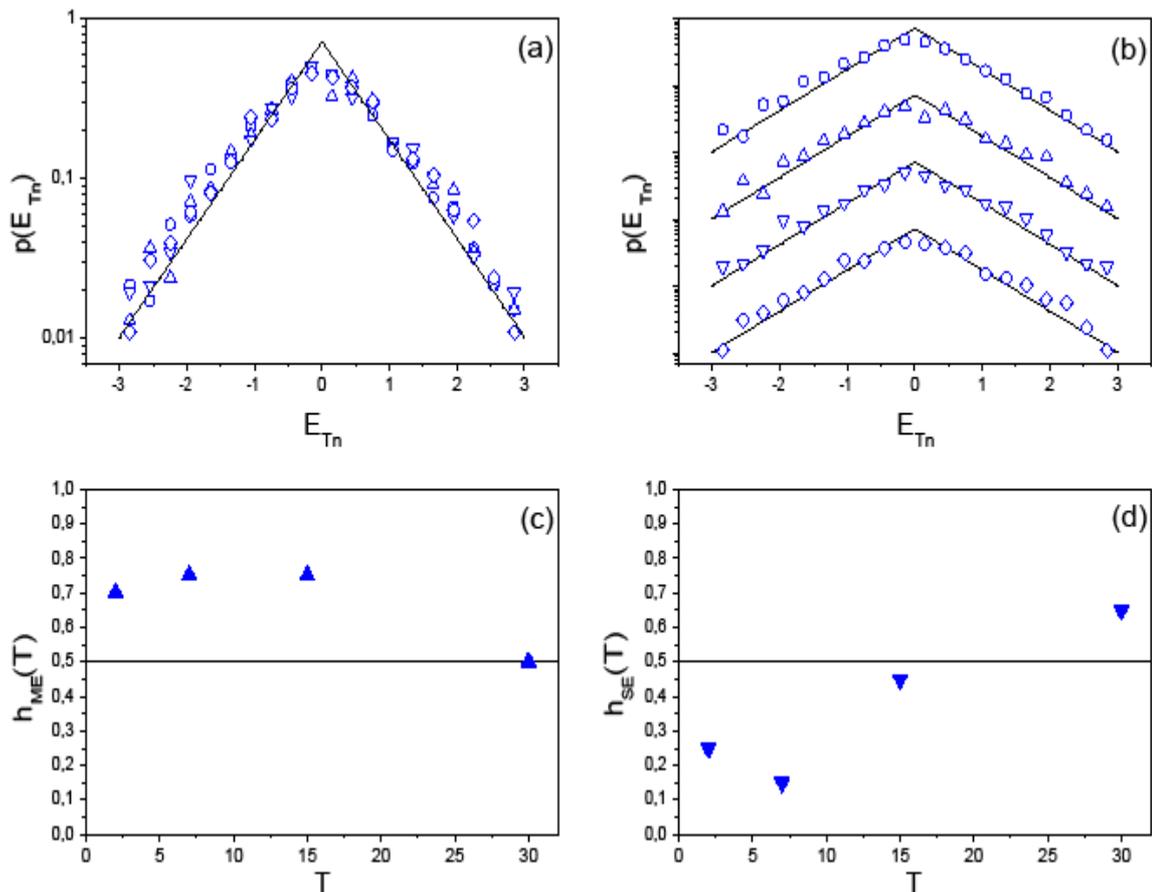


Figura 5.5: Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de eventos e o comportamento dos expoentes  $h$  obtidos pelo método DFA. (a) Distribuições das flutuações de  $T = 2$  (bolinhas),  $T = 7$  (triângulos),  $T = 15$  (triângulos invertidos) e  $T = 30$  dias (losangos). (b) As mesmas distribuições mostradas em (a) deslocadas verticalmente para uma melhor visualização. (c) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude. (d) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais.

A figura 5.5(a) mostra as distribuições de probabilidade das flutuações de 2, 7, 15 e 30 dias normalizadas conforme a equação (5.2) e em comparação com a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2) com  $\sigma_{ET} = 1$  e  $\langle E_{Tn}(t) \rangle = 0$ . Note que as distribuições apresentam a mesma forma, indicando que as séries possuem a propriedade de invariância de escala. As figuras 5.5(c) e 5.5(d) mostram o comportamento com a escala de tempo dos expoentes DFA da magnitude e dos sinais das flutuações estudadas. Note, por exemplo, que as sub-séries da magnitude para  $T = 7$  e  $T = 15$  dias são as mais fortemente correlacionadas. No caso das sub-séries dos sinais para  $T = 2$ ,  $T = 7$ ,  $T = 15$  dias, elas são antipersistentes ( $h < 0,50$ ) e passando a uma característica de persistência para  $T = 30$  dias com  $h \approx 0,65$ , demonstrando que a sub-série é correlacionada.

### **5.3 FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE MORTOS**

Nesta seção, vamos estudar as flutuações da série de mortos, apresentada na figura 4.3, para as mesmas escalas de tempo usados na seção anterior. Para obtenção da série das flutuações, usaremos a equação (5.1). Como na seção anterior, vamos investigar também a presença de correlações de longo alcance nas sub-séries da magnitude e dos sinais dessas flutuações, utilizando o método DFA descrito no capítulo 2. Para a obtenção das séries mencionadas, usaremos a equação (5.3).

Mostraremos as distribuições de probabilidade e as funções correlação das séries mencionadas acima nas figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9.

Os principais dados obtidos na investigação das flutuações da série de feridos estão resumidos na tabela 5.2.

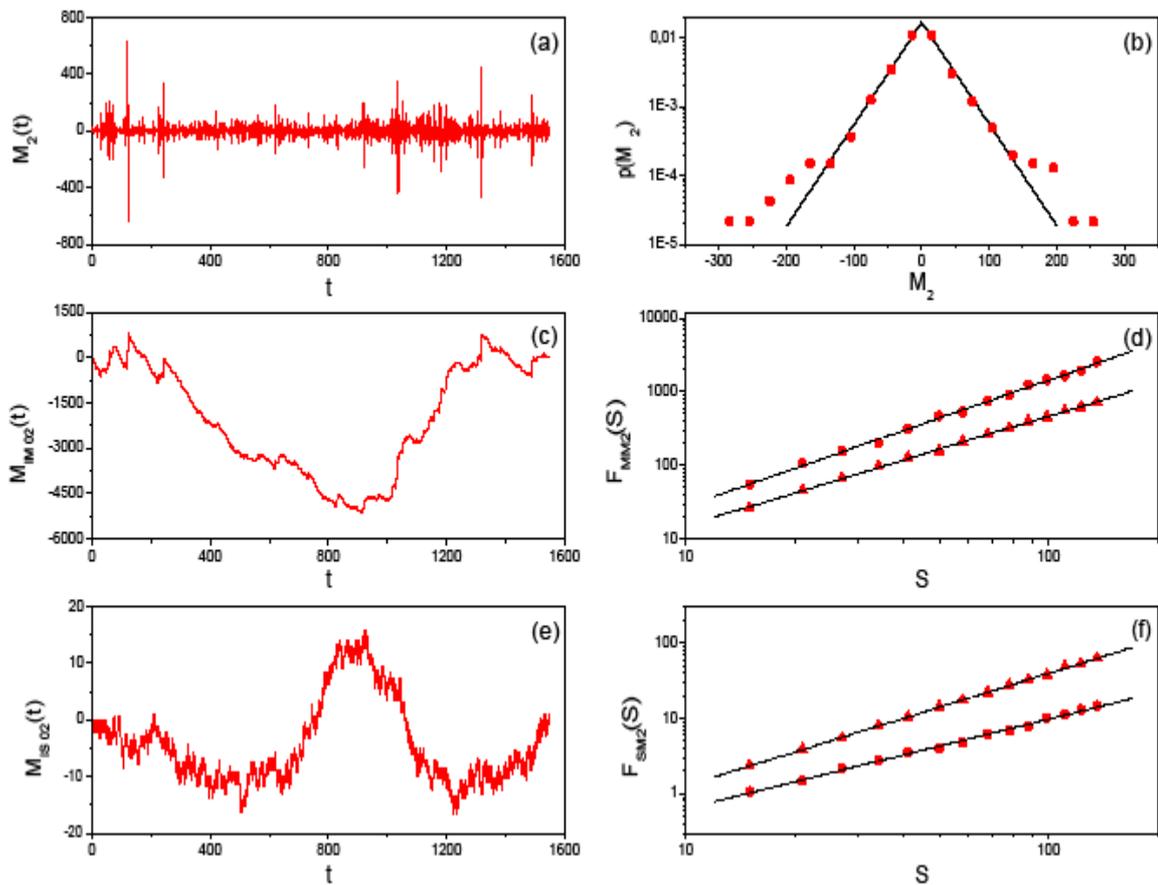


Figura 5.6: Análises nas flutuações com  $T = 2$  dias para a série de mortos. (a) Série das flutuações  $M_2(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(M_2)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $M_{IM_2}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MM_2}(S)$  para a sub-série  $M_{IM_2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,70$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $M_{IS_2}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SM_2}(S)$  para a sub-série  $M_{IS_2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,20$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

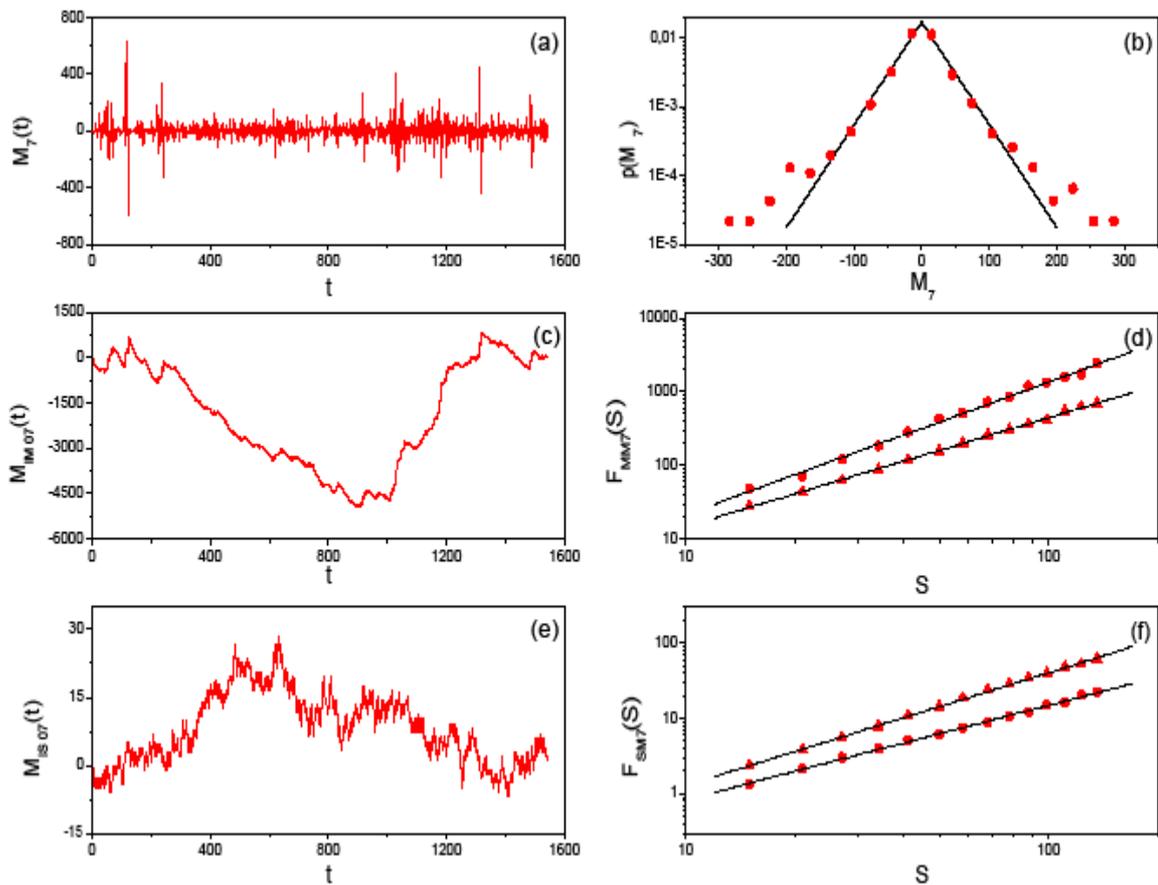


Figura 5.7: Análises nas flutuações com  $T = 7$  dias para a série de mortos. (a) Série das flutuações  $M_7(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(M_7)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $M_{IM7}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MM7}(S)$  para a sub-série  $M_{IM7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,80$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $M_{IS7}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SM7}(S)$  para a sub-série  $M_{IS7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,25$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

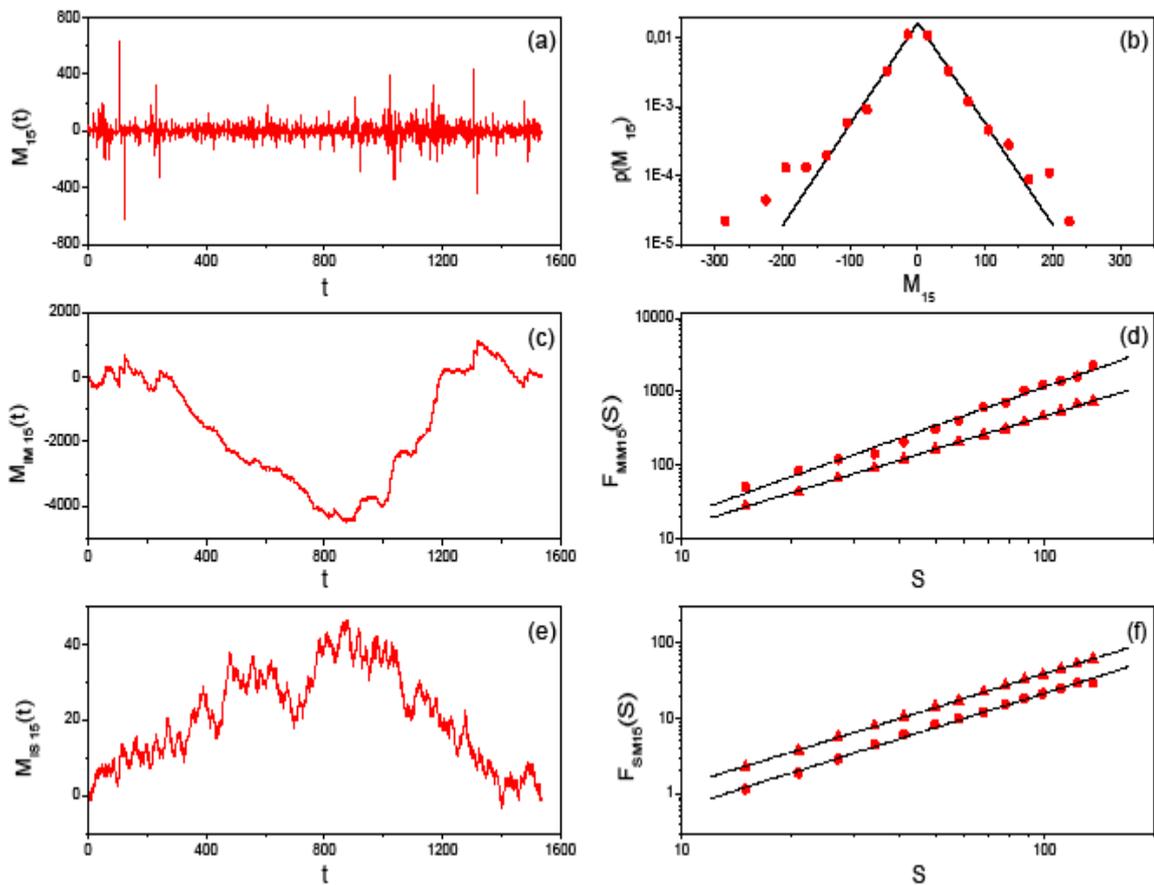


Figura 5.8: Análises nas flutuações com  $T = 15$  dias para a série de mortos. (a) Série das flutuações  $M_{15}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(M_{15})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $M_{IM15}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MM15}(S)$  para a sub-série  $M_{IM15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,75$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $M_{IS15}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SM15}(S)$  para a sub-série  $M_{IS15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,50$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

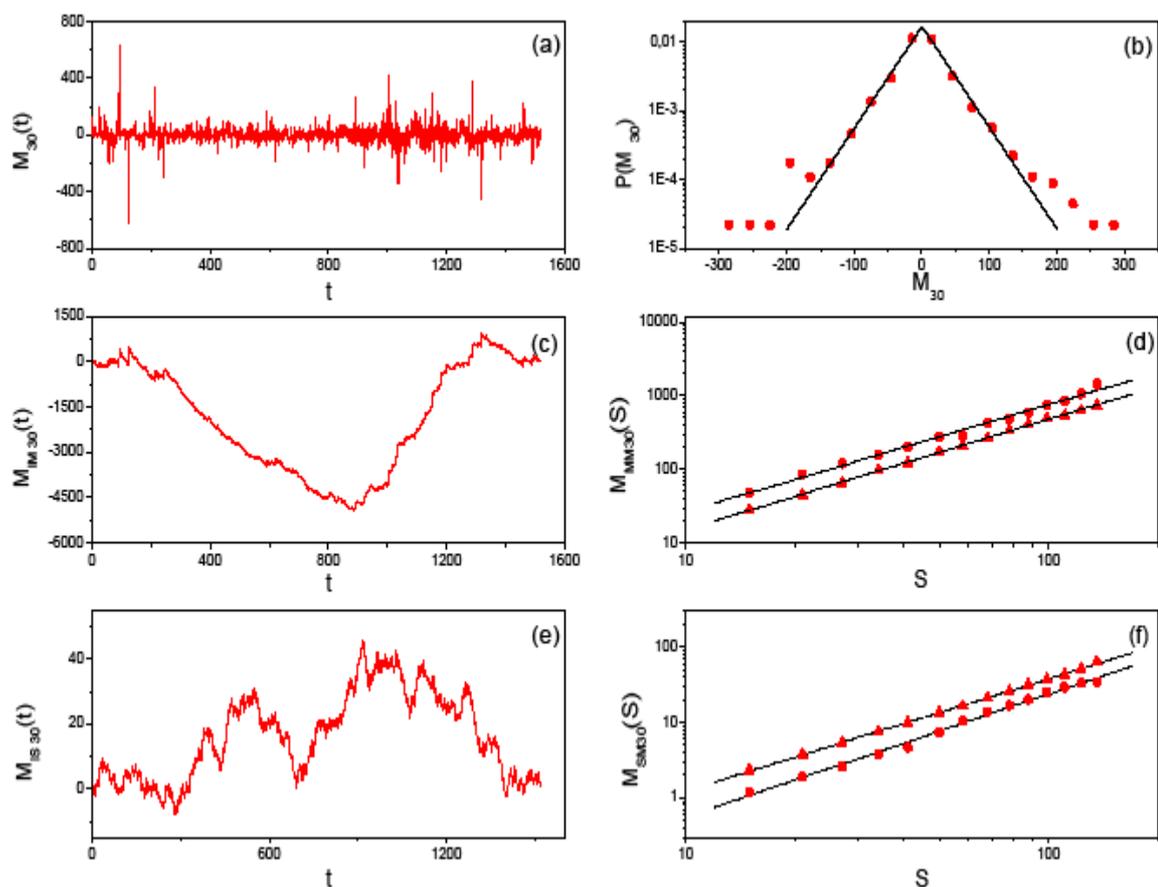


Figura 5.9: Análises nas flutuações com  $T = 30$  dias para a série de eventos. (a) Série das flutuações  $M_{30}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(M_{30})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $M_{IM30}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MM30}(S)$  para a sub-série  $M_{IM030}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,45$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $M_{IS30}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SM30}(S)$  para a sub-série  $M_{IS30}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,65$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

PRINCIPAIS RESULTADOS PARA AS FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE MORTOS

Escala de tempo (dias)	Distribuições de probabilidades		Expoentes $h$ das sub-séries	
	$\langle M_T(t) \rangle$	$\sigma_{MT}$	Magnitudes	Sinais
2	0,15	41,45	0,70	0,20
7	0,01	41,15	0,80	0,25
15	0,24	41,65	0,75	0,50
30	0,65	41,70	0,45	0,65

Tabela 5.2: Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de mortos em diferentes escalas de tempo.

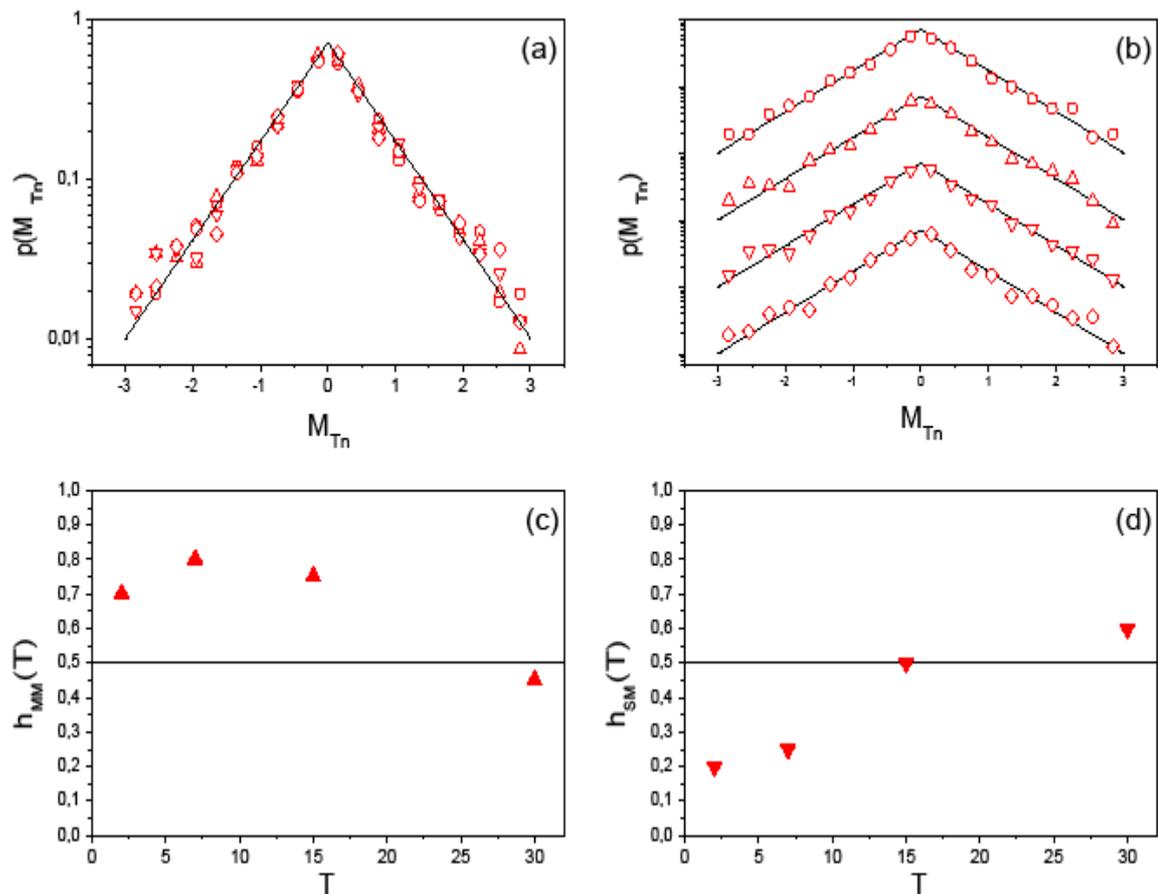


Figura 5.10: Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de mortos e o comportamento dos expoentes  $h$  obtidos pelo método DFA. (a) Distribuições das flutuações de  $T = 2$  dias (bolas),  $T = 7$  dias (triângulos),  $T = 15$  dias (triângulos invertidos) e  $T = 30$  dias (losangos). (b) As mesmas distribuições mostradas em (a) deslocadas verticalmente para uma melhor visualização. (c) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude. (d) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais.

Fizemos também uma comparação das distribuições normalizadas de acordo com a equação (5.2) de todos os diferentes escalas de tempo  $T$  utilizados. Esta comparação é apresentada nas figuras 5.10(a) e 5.10(b) para  $T = 2$  dias (bolas),  $T = 7$  dias (triângulos),  $T = 15$  dias (triângulos invertidos) e  $T = 30$  dias (losangos). Nestas figuras, as linhas sólidas representam a distribuição de Laplace com  $\sigma_{MT} = 1$  e  $\langle M_{Tn}(t) \rangle = 0$ , evidenciando a propriedade de invariância de escala nas flutuações da série de mortos. Na figura 5.10(b) as distribuições foram deslocadas verticalmente para uma melhor visualização.

A figura 5.10(c) mostra o comportamento com a escala de tempo  $T$  dos expoentes DFA das sub-séries das magnitudes das flutuações, a com  $T = 7$  dias é a mais fortemente correlacionada com  $h \approx 0,80$ , já as sub-séries das magnitudes das flutuações de 30 dias é anti-persistente com  $h \approx 0,45$ . A figura 5.10(d) mostra o comportamento dos expoentes DFA das sub-séries dos sinais. Para esse caso, notamos que os expoentes vão aumentando com a escala de tempo, passando de um comportamento de anti-persistência em  $T = 2$  dias com  $h \approx 0,20$  para um comportamento correlacionado para a sub-série dos sinais das flutuações de 30 dias com  $h \approx 0,65$ .

## **5.4 FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE FERIDOS**

Nesta seção, iremos investigar as flutuações da série de feridos mostrada na figura 4.1 para  $T = 2$ ,  $T = 7$ ,  $T = 15$  e  $T = 30$  dias. As séries dos incrementos serão obtidos a partir da equação (5.1). Também vamos investigar a presença de correlações de longo alcance usando o método DFA nas sub-séries obtidas a partir da equação (5.3). As distribuições de probabilidade e as funções correlação das séries mencionadas acima estão apresentadas nas figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14.

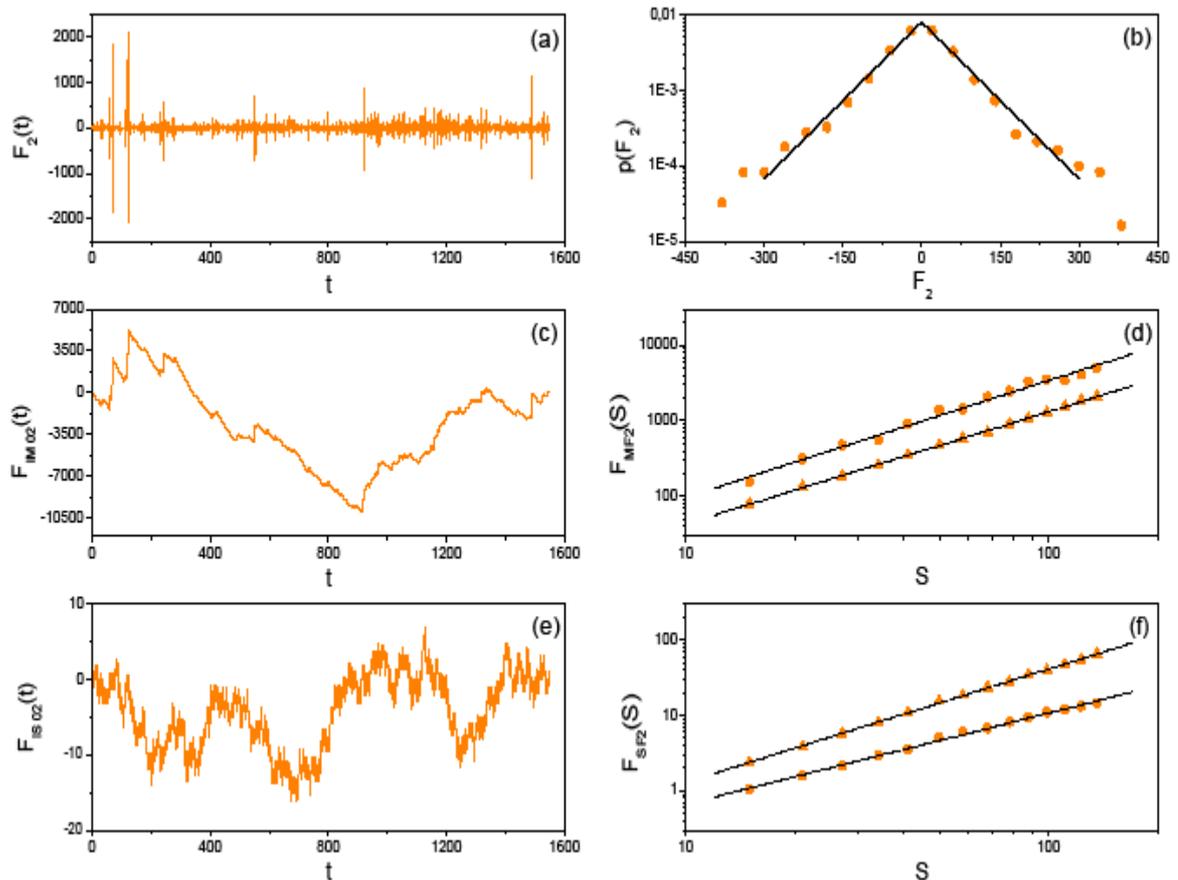


Figura 5.11: Análises nas flutuações com  $T = 2$  dias para a série de feridos. (a) Série das flutuações  $F_2(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(F_2)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $F_{IM2}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MF2}(S)$  para a sub-série  $F_{IM2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,55$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $F_{IS2}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SF2}(S)$  para a sub-série  $F_{IS2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,20$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

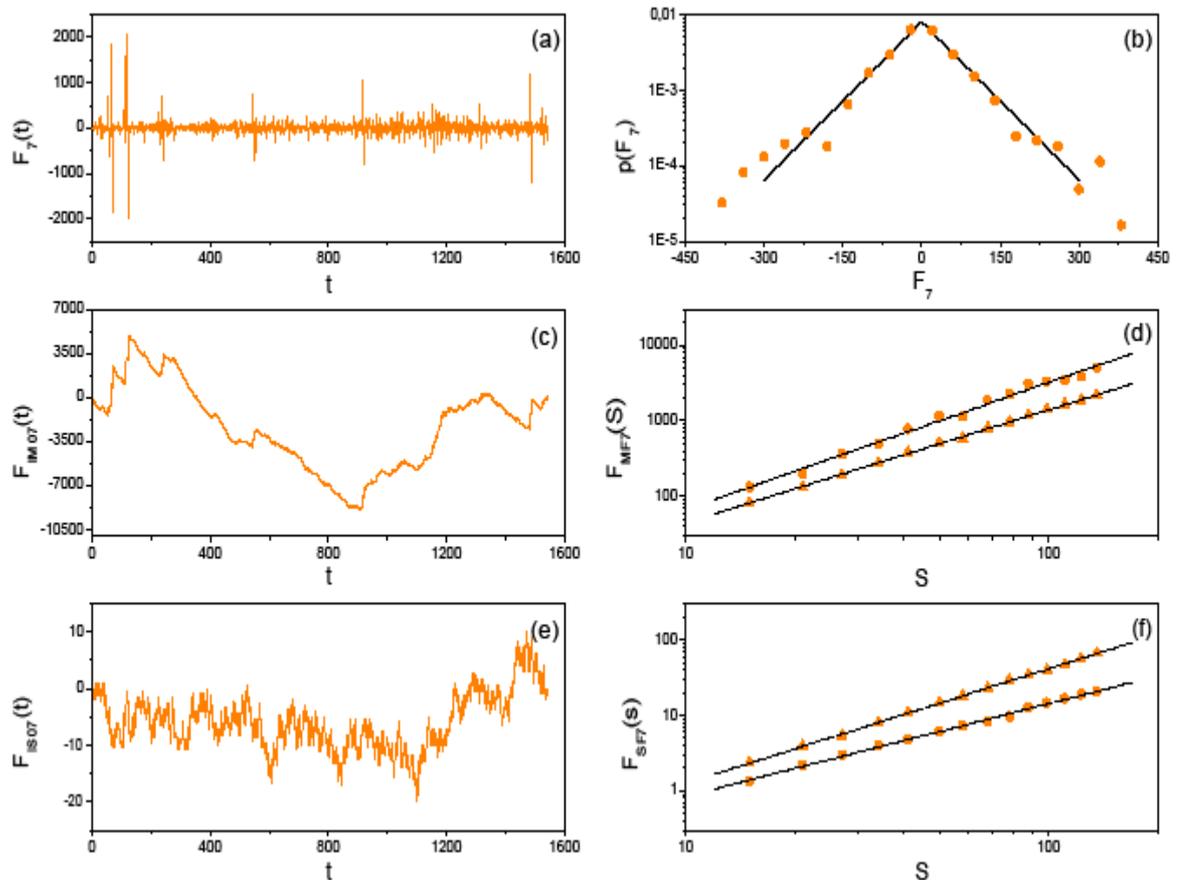


Figura 5.12: Análises nas flutuações com  $T = 7$  dias para a série de feridos. (a) Série das flutuações  $F_7(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(F_7)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $F_{IM7}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MF7}(S)$  para a sub-série  $F_{IM7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,70$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $F_{IS7}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SF7}(S)$  para a sub-série  $F_{IS7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,25$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

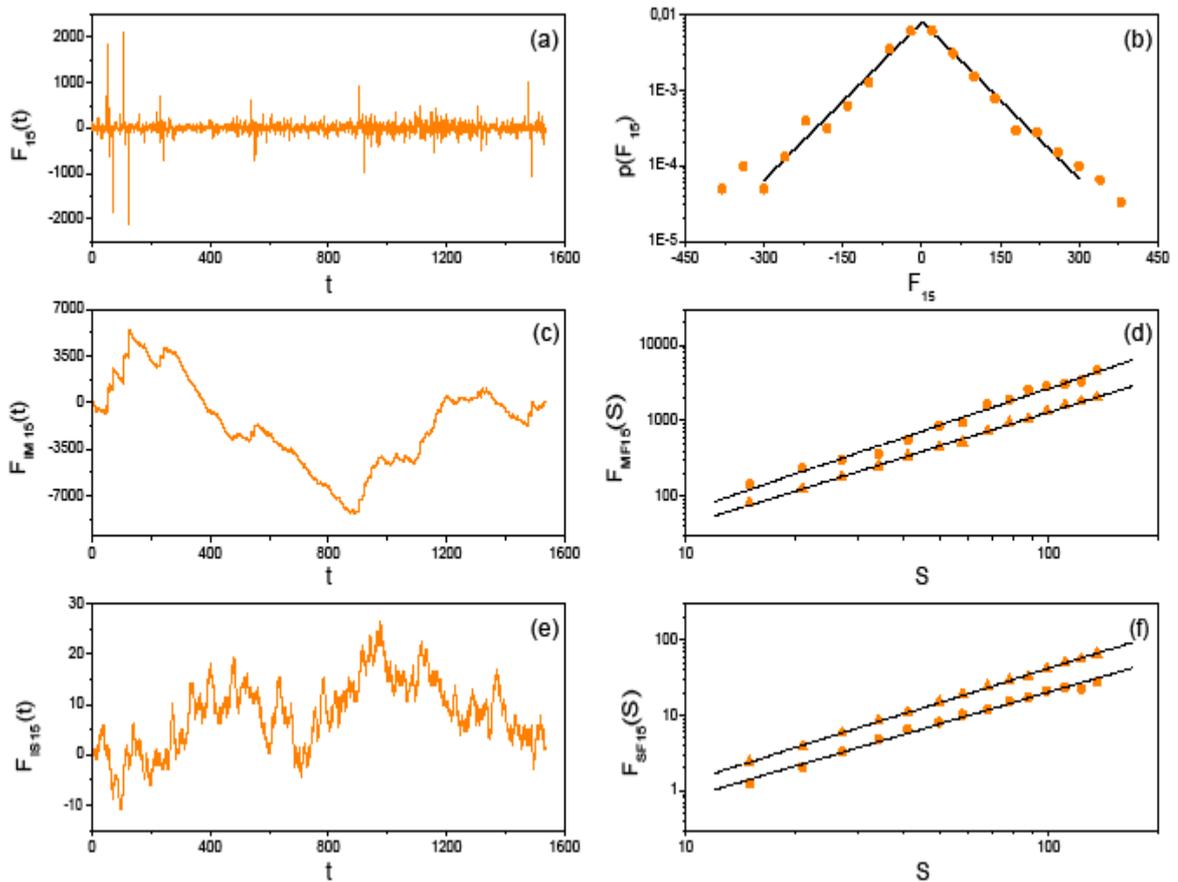


Figura 5.13: Análises nas flutuações com  $T = 15$  dias para a série de feridos. (a) Série das flutuações  $F_{15}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(F_{15})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $F_{IM15}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MF15}(S)$  para a sub-série  $F_{IM15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,60$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $F_{IS15}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SF15}(S)$  para a sub-série  $F_{IS15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,40$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

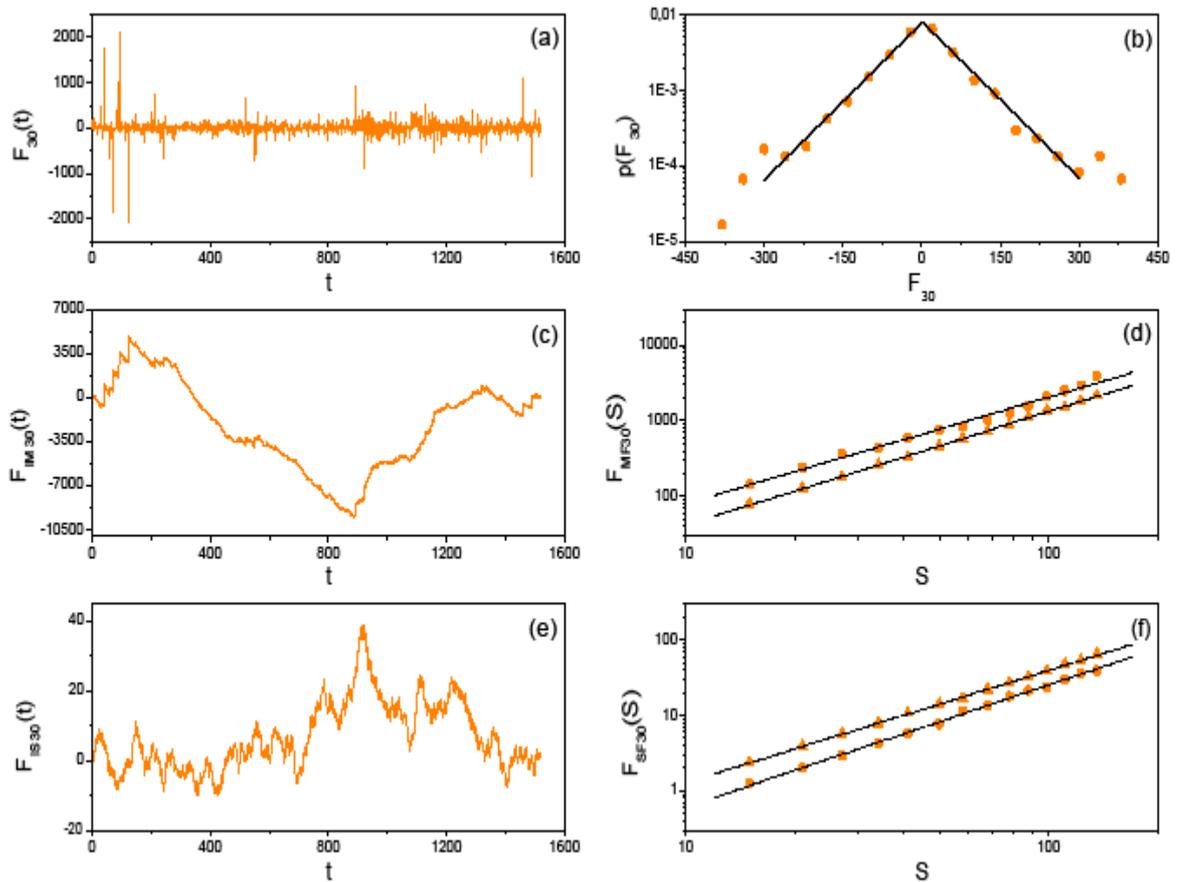


Figura 5.14: Análises nas flutuações com  $T = 30$  dias para a série de feridos. (a) Série das flutuações  $F_{30}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(F_{30})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $F_{IM30}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MF30}(S)$  para a sub-série  $F_{IM30}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,40$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $F_{IS30}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SF30}(S)$  para a sub-série  $F_{IS30}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,60$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

PRINCIPAIS RESULTADOS PARA AS FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE FERIDOS

Escala de tempo (dias)	Distribuições de probabilidades		Expoentes $h$ das sub-séries	
	$\langle F_T(t) \rangle$	$\sigma_{FT}$	Magnitudes	Sinais
2	0,05	88,67	0,55	0,20
7	-0,06	88,05	0,70	0,25
15	0,08	88,52	0,60	0,40
30	1,81	88,80	0,40	0,60

Tabela 5.3: Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de feridos em diferentes escalas de tempo.

Para uma visão geral dos principais resultados, veja a tabela 5.3.

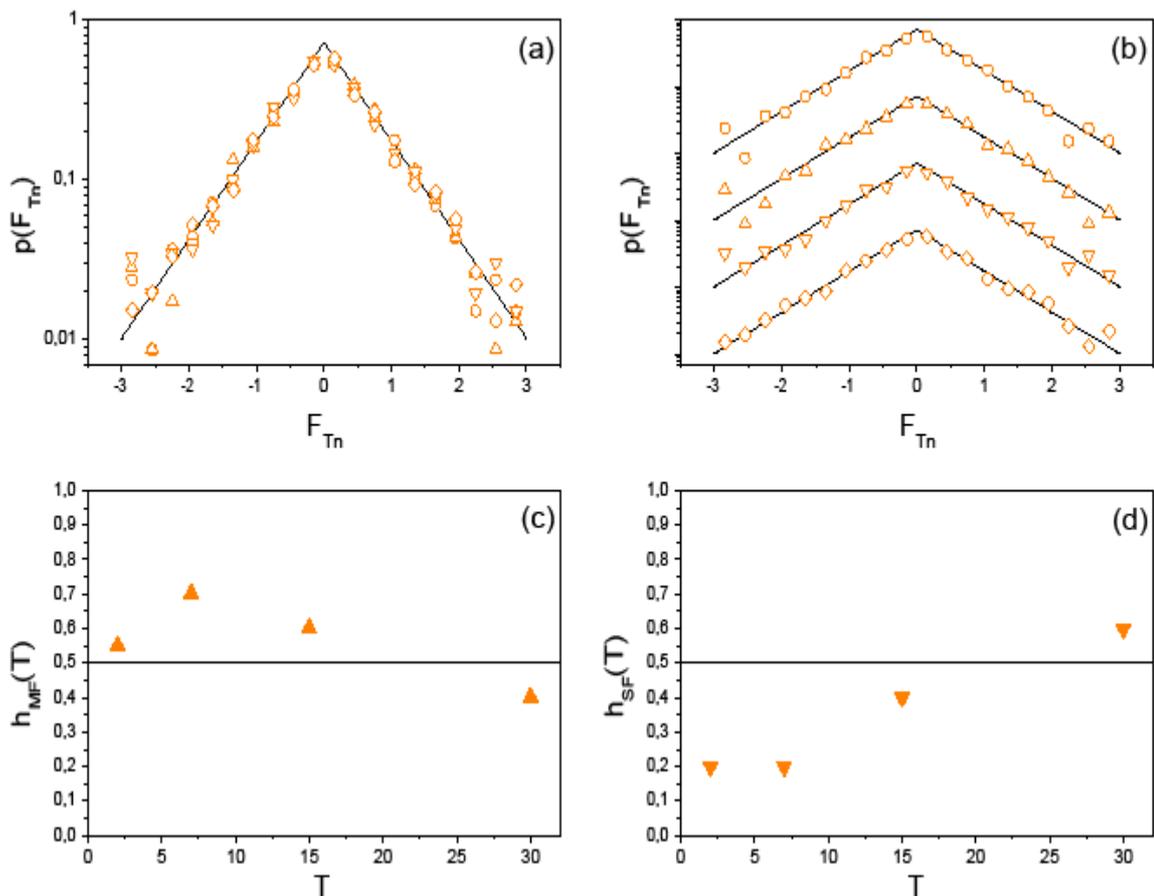


Figura 5.15: Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de feridos e o comportamento dos expoentes  $h$  obtidos pelo método DFA. (a) Distribuições das flutuações de  $T = 2$  dias (bolas),  $T = 7$  dias (triângulos),  $T = 15$  dias (triângulos invertidos) e  $T = 30$  dias (losangos). (b) As mesmas distribuições mostradas em (a) deslocadas verticalmente para uma melhor visualização. (c) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude. (d) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais.

Para finalizarmos a seção, fizemos uma comparação das distribuições de probabilidades a partir das séries das flutuações normalizadas como na equação (5.2). Estas distribuições estão mostradas na figura 5.15(a) com  $T = 2$  dias (bolas),  $T = 7$  dias (triângulos),  $T = 15$  dias (triângulo invertido),  $T = 30$  dias (losango), em que as linhas sólidas representam a distribuição de Laplace. Note que todas as distribuições se ajustam com  $\sigma_{FT} = 1$  e  $\langle F_{Tn}(t) \rangle = 0$ , ressaltando a propriedade de invariância de escala também para as flutuações na série de Feridos. A evolução com a escala de tempo dos expoentes DFA das sub-séries do módulo e dos sinais estão exibidas nas figuras 5.15(c) e 5.15(d). Para o caso dos módulos, a sub-série mais correlacionada é a com  $T = 7$  dias com  $h \approx 0,70$  e ainda temos uma sub-série com comportamento anti-persistente (em  $T = 30$  dias) com  $h \approx 0,40$ . Para o caso das sub-séries dos sinais, os expoentes indicam que elas têm comportamento anti-persistente para  $T = 2$  dias,  $T = 7$  dias e  $T = 15$  dias, porém para  $T = 30$  dias a sub-série  $F_{S30}(t)$  apresenta  $h \approx 0,60$ , indicando persistência e correlação de longo alcance.

## 5.5 FLUTUAÇÕES NA SÉRIE DE VÍTIMAS

Vamos analisar nesta seção as flutuações com  $T = 2$  dias,  $T = 7$  dias,  $T = 15$  dias e  $T = 30$  dias da série de vítimas  $V_I(t)$  apresentada no capítulo anterior, conseguidas por meio do uso da equação (5.1). Em particular, investigaremos a presença de correlações de longo alcance, usando o método DFA, nas sub-séries do módulo e dos sinais obtida, por meio da equação (5.3).

Mostraremos as distribuições de probabilidade e as funções correlação das séries mencionadas acima nas figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9.

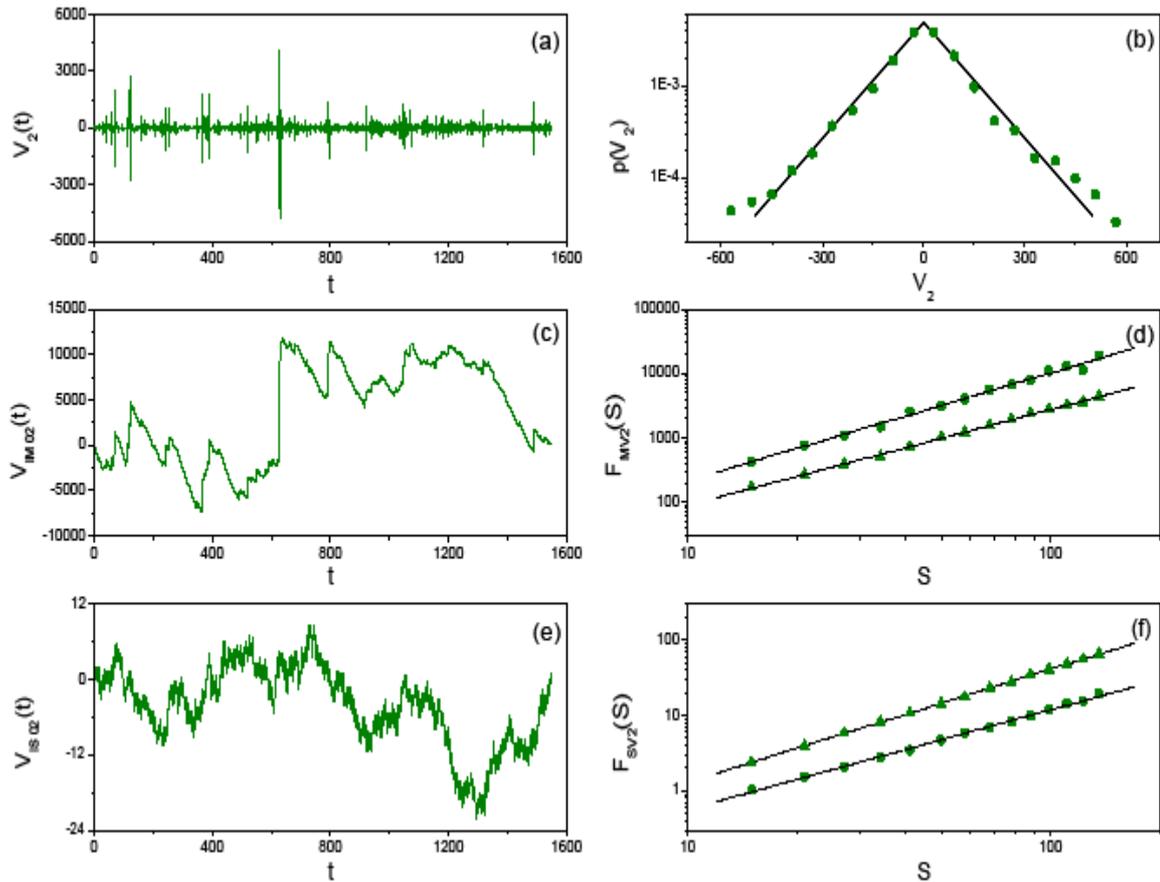


Figura 5.16: Análises nas flutuações com  $T = 2$  dias para a série de vítimas. (a) Série das flutuações  $V_2(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(V_2)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $V_{IM2}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MV2}(S)$  para a sub-série  $V_{IM2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,70$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $V_{IS2}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SV2}(S)$  para a sub-série  $V_{IS2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,30$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

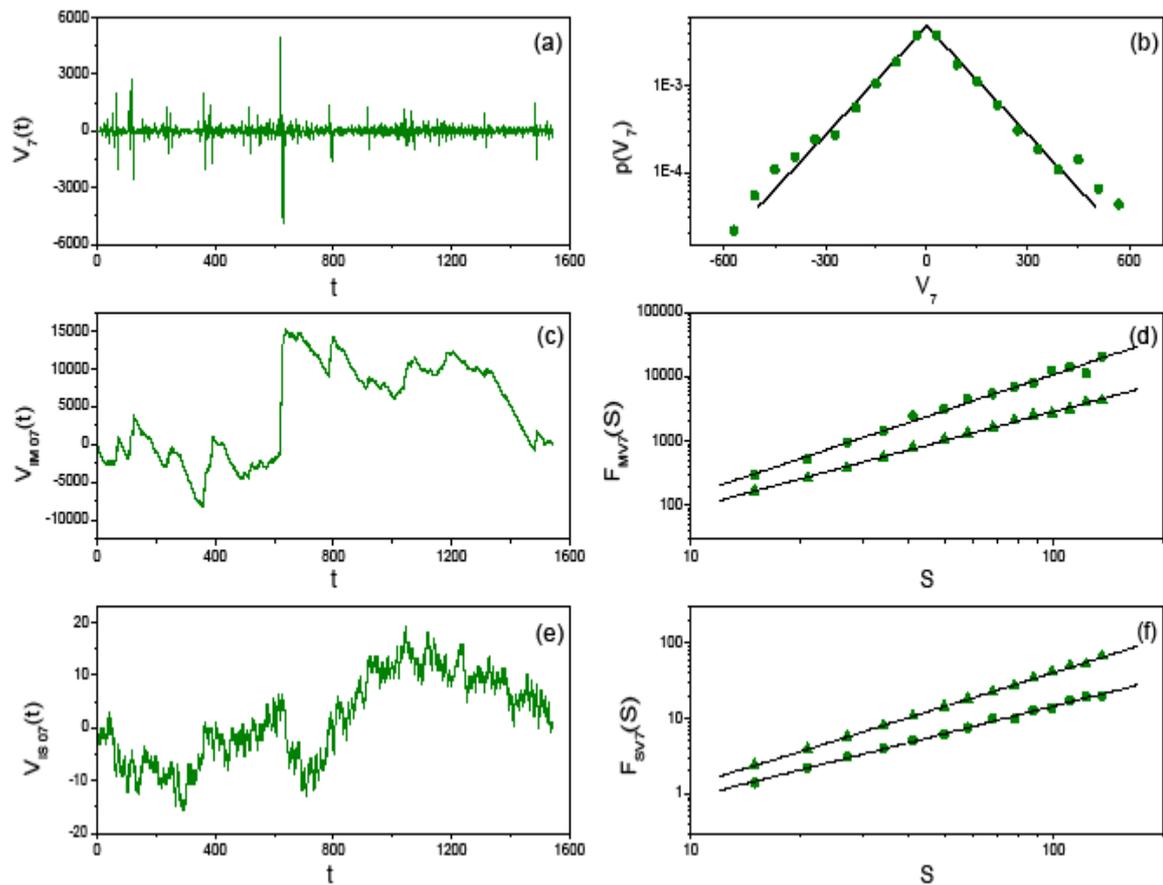


Figura 5.17: Análises nas flutuações com  $T = 7$  dias para a série de vítimas. (a) Série das flutuações  $V_7(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(V_7)$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $V_{IM7}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MV7}(S)$  para a sub-série  $V_{IM7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,90$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $V_{IS7}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SV7}(S)$  para a sub-série  $V_{IS7}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,20$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

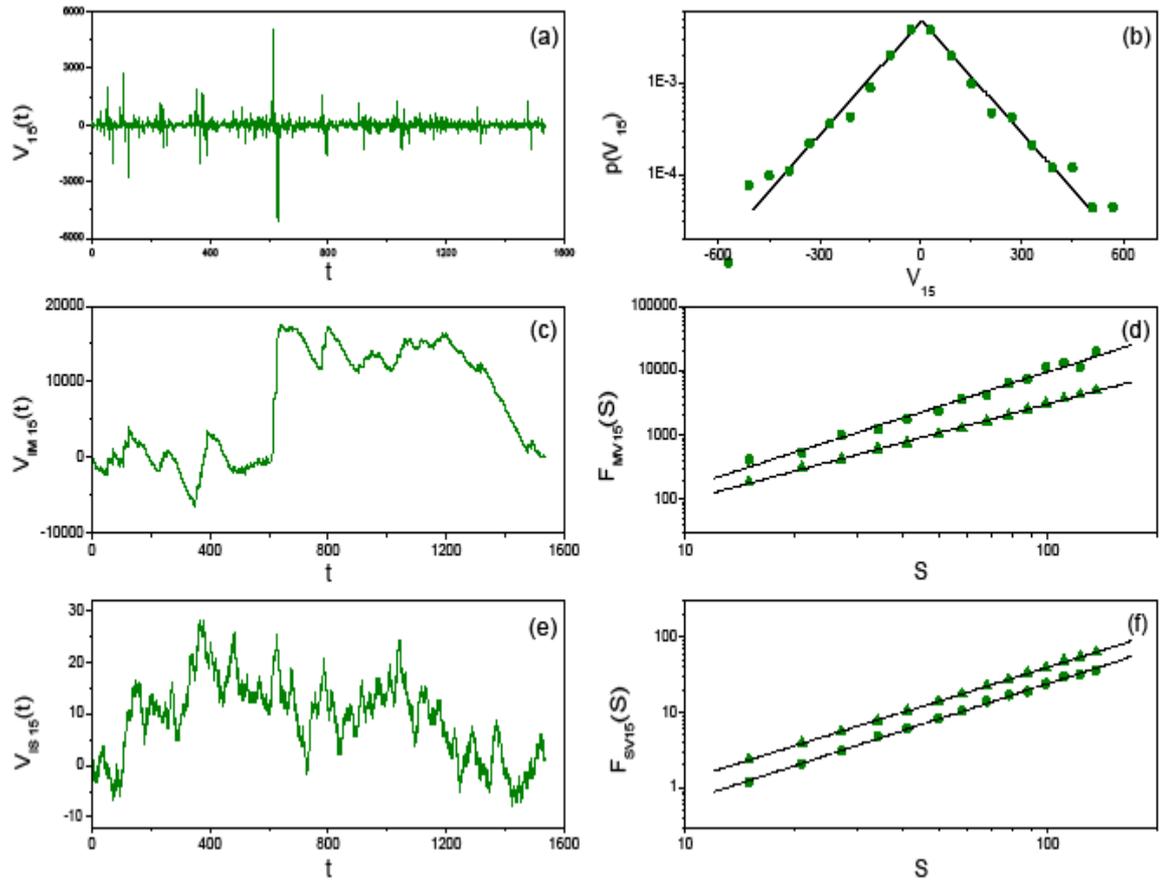


Figura 5.18: Análises nas flutuações com  $T = 15$  dias para a série de vítimas. (a) Série das flutuações  $V_{15}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(V_{15})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $V_{IM15}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MV15}(S)$  para a sub-série  $V_{IM15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,80$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $V_{IS15}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SV15}(S)$  para a sub-série  $V_{IS15}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,55$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

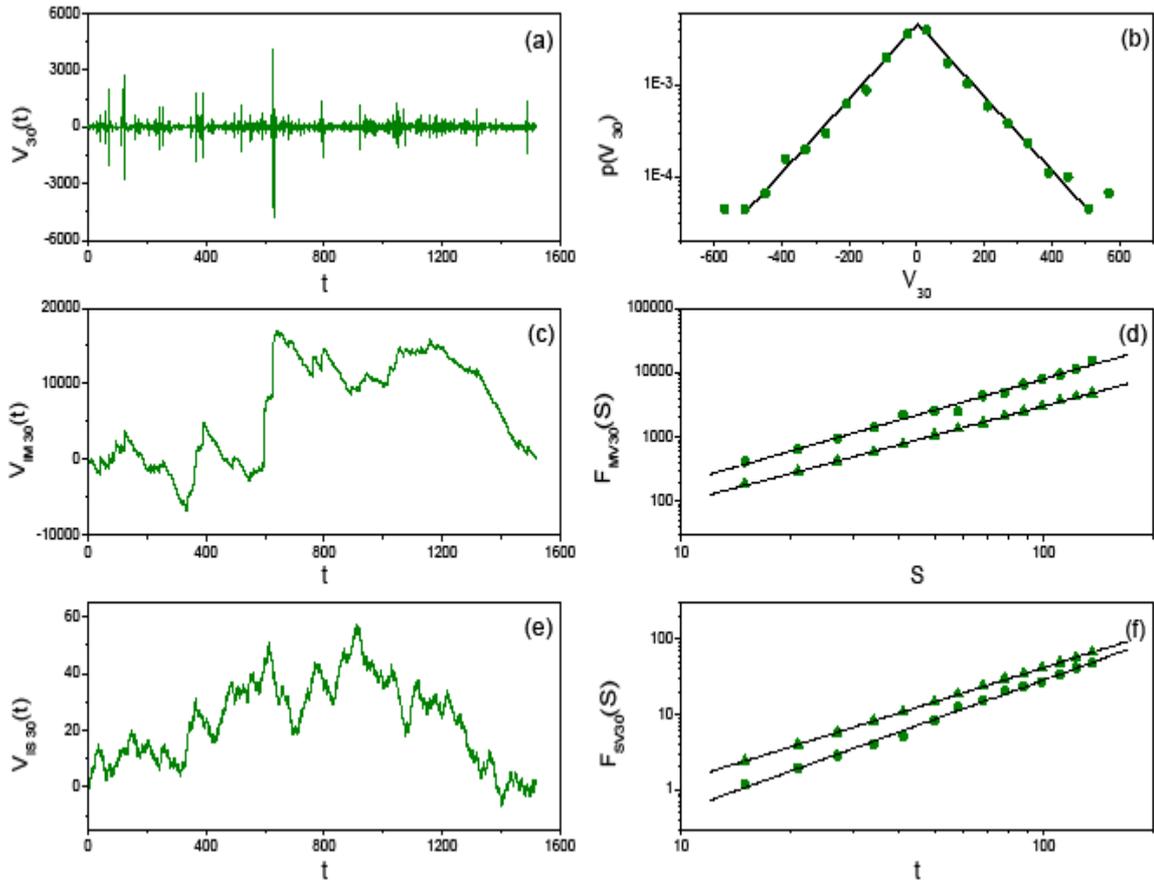


Figura 5.19: Análises nas flutuações com  $T = 30$  dias para a série de vítimas. (a) Série das flutuações  $V_{30}(t)$ . (b) Densidade de probabilidade  $p(V_{30})$ , a linha sólida representa a distribuição de Laplace dada pela equação (4.2). (c) Sub-série integrada da magnitude das flutuações  $V_{IM30}(t)$ . (d) Função flutuação  $F_{MV30}(S)$  para a sub-série  $V_{IM2}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,60$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada. (e) Sub-série integrada dos sinais das flutuações  $V_{IS30}(t)$ . (f) Função flutuação  $F_{SV30}(S)$  para a sub-série  $V_{IS30}(t)$  (bolas) e para sua versão embaralhada (triângulos), as linhas sólidas representam leis de potência dadas pela equação (4.4) com  $h \approx 0,75$  para a sub-série original e  $h \approx 0,50$  para sua versão embaralhada.

PRINCIPAIS RESULTADOS PARA AS FLUTUAÇÕES DA SÉRIE DE VÍTIMAS

Escala de tempo (dias)	Distribuições de probabilidades		Expoentes $h$ das sub-séries	
	$\langle F_T(t) \rangle$	$\sigma_{FT}$	Magnitudes	Sinais
2	0,43	145,98	0,70	0,30
7	0,67	147,97	0,90	0,20
15	1,85	149,55	0,80	0,55
30	2,73	152,40	0,60	0,75

Tabela 5.4: Principais resultados obtidos nos estudos das flutuações da série de vítimas em diferentes escalas de tempo.

Os principais resultados obtidos da análise das flutuações da série de vítimas estão resumidos na tabela 5.4.

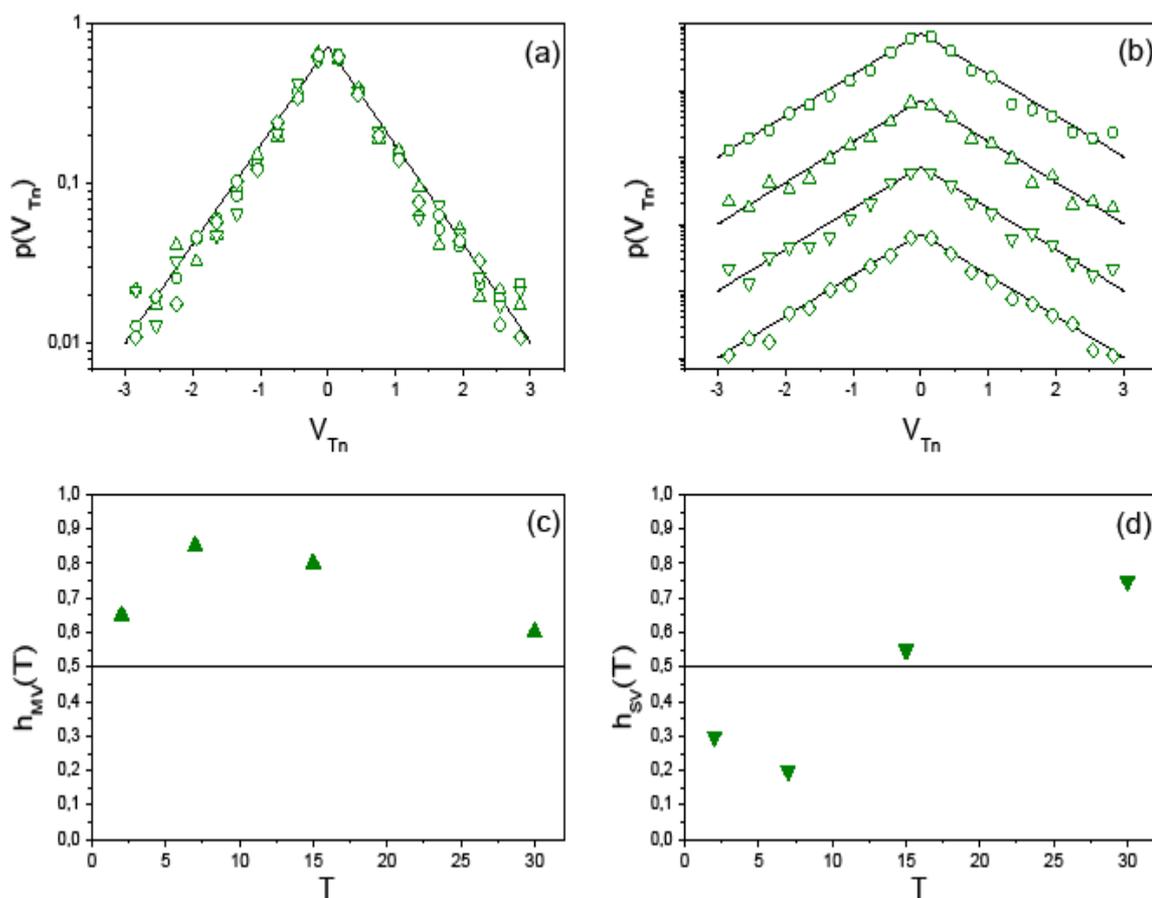


Figura 5.20: Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas das séries de vítimas e o comportamento dos expoentes  $h$  obtidos pelo método DFA. (a) Distribuições das flutuações de  $T = 2$  dias (bolas),  $T = 7$  dias (triângulos),  $T = 15$  dias (triângulos invertidos) e  $T = 30$  dias (losangos). (b) As mesmas distribuições mostradas em (a) deslocadas verticalmente para uma melhor visualização. (c) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude. (d) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais.

Fizemos uma comparação das distribuições de probabilidades calculadas a partir das séries das flutuações normalizadas (equação (5.2)). Como vemos na figura 5.20(a) e 5.20(b), a forma das distribuições se mantém praticamente inalteradas para os diferentes escalas de tempo  $T$ , sendo ajustada pela distribuição de Laplace dada pela equação (4.2) com  $\sigma_{VT} = 1$  e  $\langle V_{Tn}(t) \rangle = 0$ . Tal fato mostra que as flutuações da série de vítimas também exibem a propriedade de invariância de escala.

As figuras 5.20(c) e 5.20(d) mostram o comportamento do expoentes  $h$  das sub-séries das magnitudes e dos sinais nas diferentes escalas de tempo. Como podemos ver na figura 5.20(c), os expoentes aumentam até  $T = 7$  dias (o qual tem seu maior valor com  $h \approx 0,90$ ) e depois diminui até o seu menor valor dentre as escalas de tempo estudados,  $h \approx 0,60$  em  $T = 30$  dias. A figura 5.20(d) mostra o comportamento dos expoentes para as sub-séries dos sinais. Vemos que os expoentes são  $h < 0,50$  para as sub-séries com  $T = 2$  dias e  $T = 7$  dias, indicando anti-persistência. Porém, para  $T = 15$  dias, há um comportamento de quase não correlação com  $h \approx 0,55$ . Para  $T = 30$  dias a sub-série dos sinais apresenta-se correlacionada com  $h \approx 0,75$ .

## **5.6 PADRÕES NAS FLUTUAÇÕES DA DINÂMICA DO TERRORISMO**

Durante todo o capítulo 5, estudamos as flutuações (com  $T = 2$ ,  $T = 7$ ,  $T = 15$  e  $T = 30$  dias) nas séries de eventos, mortos, feridos e vítimas do terrorismo pelo mundo de 01/01/2004 a 31/03/2008. Calculamos e comparamos as distribuições de probabilidade para as séries das flutuações normalizadas. Como mostra a figura 5.21, pode-se verificar que o centro de todas elas se ajustam pela distribuição de Laplace dada pela equação (4.2) com  $\sigma_{XT} = 1$  e  $\langle X_{Tn}(t) \rangle = 0$ , indicando um comportamento padrão de invariância de escala na dinâmica do terrorismo.

Investigamos a presença de correlações de longo alcance nas sub-séries das

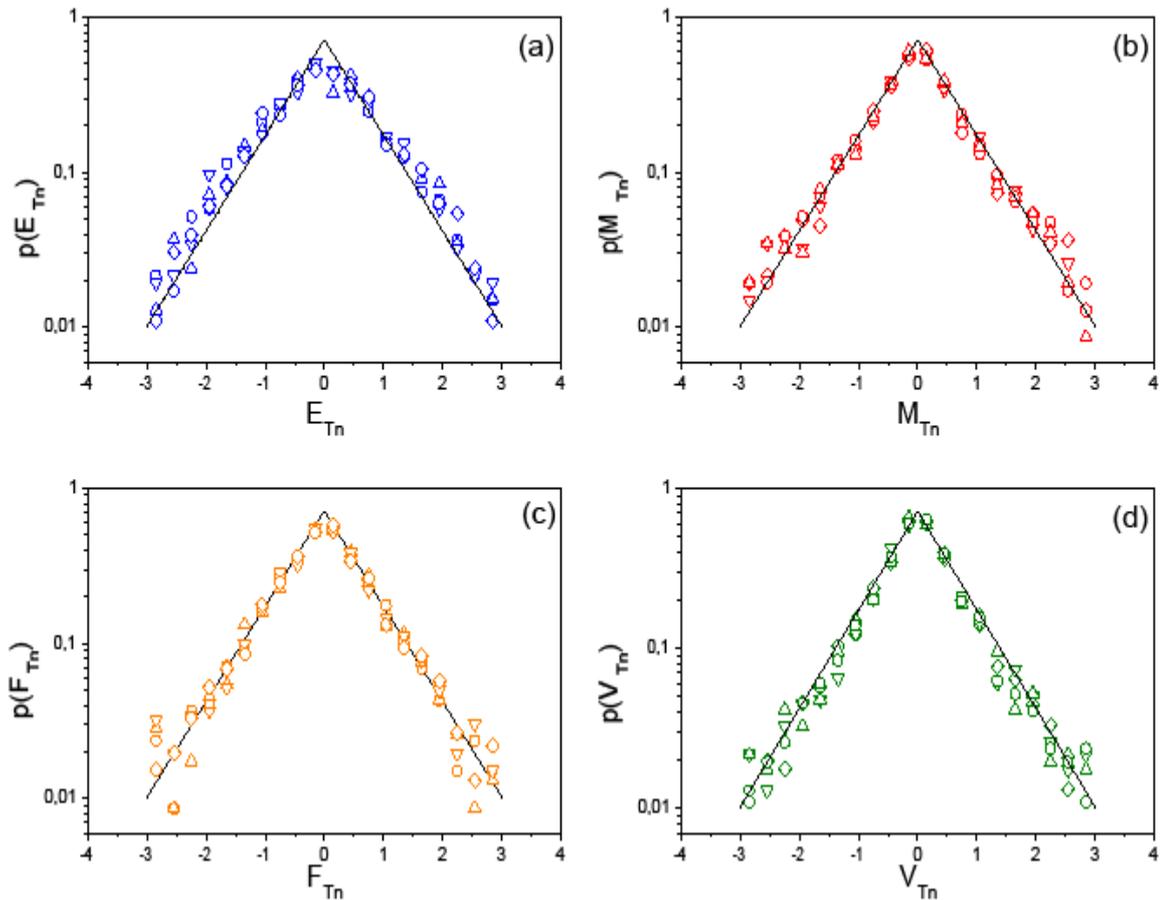


Figura 5.21: Comparação das distribuições para as flutuações normalizadas para  $T = 2$  dias (bolas),  $T = 7$  dias (triângulos),  $T = 15$  dias (triângulos invertidos) e  $T = 30$  dias (losangos). (a) Distribuições para as séries de eventos. (b) Distribuições para as séries de mortos. (c) Distribuições para as séries de feridos. (d) Distribuições para as séries de vítimas.

magnitudes e dos sinais, usando o DFA-2 com a escala de tempo variando de  $15 \leq S \leq 136$  dias para todos os casos. Ao investigarmos o comportamento com os diferentes escalas de tempo  $T$  do expoente  $h$  das funções flutuações, encontramos um comportamento padrão para as sub-séries das magnitudes e sinais, como vemos na figura 5.22.

Para o caso das magnitudes, o maior valor do expoente se da para  $T = 7$  dias e o menor valor de  $h$  se da para  $T = 30$  dias, para todas as quatro séries originais estudadas. No caso dos sinais, vemos que todas as sub-séries com  $T = 2$  dias e

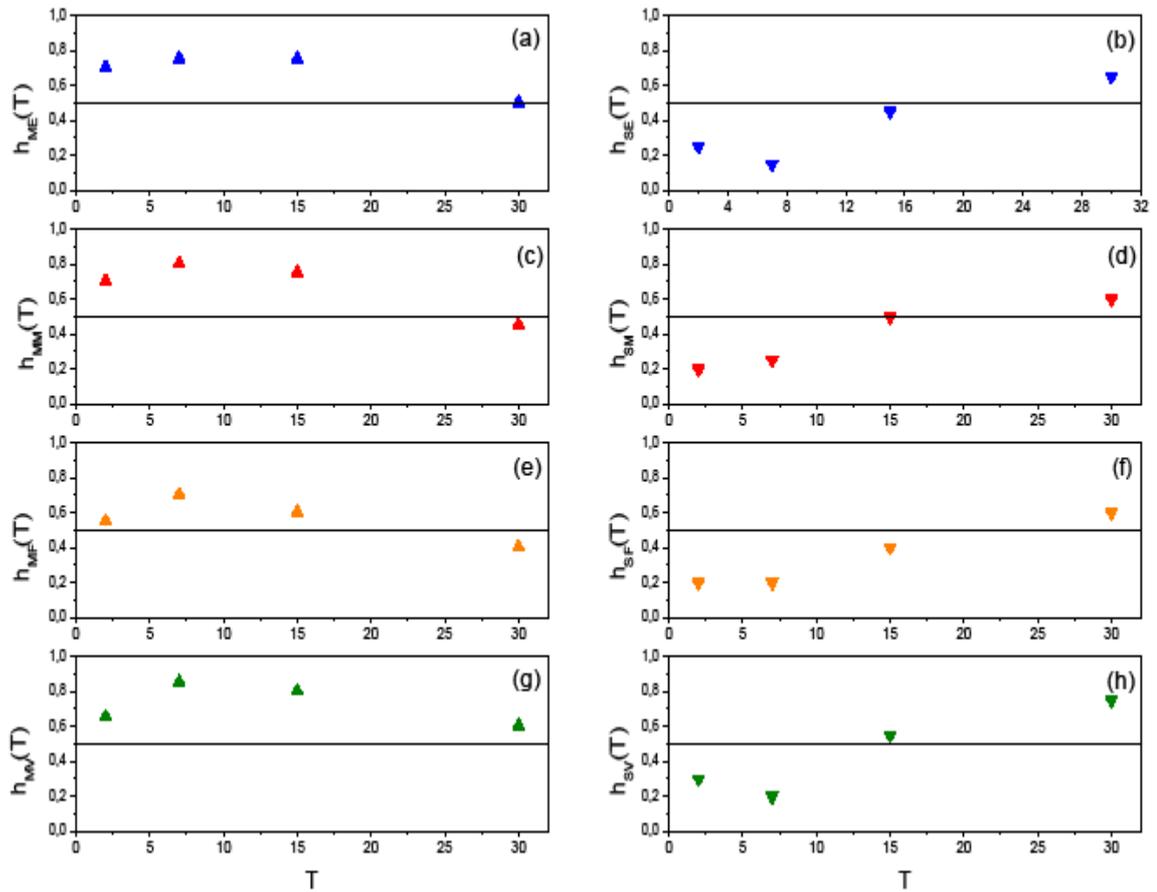


Figura 5.22: Comparação do comportamento dos expoentes  $h$  obtidos por meio do método DFA aplicado nas sub-séries das magnitudes e dos sinais. (a) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude de eventos. (b) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais de eventos. (c) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude de mortos. (d) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais de mortos. (e) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude de feridos. (f) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais de feridos. (g) Comportamento expoentes DFA obtidos das sub-séries das magnitude de vítimas. (h) Comportamento dos expoentes DFA obtidos das sub-séries dos sinais de vítimas.

$T = 7$  dias são anti-persistêntes, o valor de  $h$  para  $T = 15$  dias cresce para perto de  $h \approx 0,50$ , e em todos os casos de  $T = 30$  dias as sub-séries são persistêntes.

## 5.7 CENÁRIO GERAL DA DINÂMICA DO TERRORISMO

Para facilitar qualquer referência breve aos estudos realizados neste trabalho, tomamos a liberdade de reunir e apresentar os resultados nas seguintes tabelas.

### RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DA DINÂMICA DO TERRORISMO

DISTRIBUIÇÕES DAS VÍTIMAS		
Distribuição acumulada	Expoente $\alpha$	Figura
Mortos/Ataque	1,60	4.1(a)
Feridos/Ataque	1,50	4.1(b)
Vítimas/Ataque	1,30	4.1(c)
<b>Vítimas/Ataque por regiões:</b>		
Sul da Ásia	1,05	4.2(a)
Europa	0,90	4.2(b)
Eurásia	0,95	4.2(c)
Leste da Ásia e Oceânia	1,35	4.2(d)
África	1,15	4.2(e)
América do Norte e Caribe	1,00	4.2(f)
América Central e América do Sul	1,60	4.2(g)
Oriente Médio e Golfo Pérsico	1,50	4.2(h)

Tabela 5.5

DISTRIBUIÇÕES DAS FLUTUAÇÕES			
Séries	$\langle X_T(t) \rangle$	$\sigma_{XT}$	Figura
<b>Eventos <math>E_T(t)</math>:</b>			
T = 1 dia	0,20	9,92	4.5(a)
T = 2 dias	0,04	10,68	5.1(b)
T = 7 dias	0,11	10,22	5.2(b)
T = 15 dias	0,27	10,73	5.3(d)
T = 30 dias	0,56	11,34	5.4(b)
<b>Mortos <math>M_T(t)</math>:</b>			
T = 1 dia	-0,09	40,67	4.5(b)
T = 2 dias	0,15	41,45	5.6(b)
T = 7 dias	0,01	41,15	5.7(b)
T = 15 dias	0,24	41,65	5.8(b)
T = 30 dias	0,65	41,70	5.9(b)
<b>Feridos <math>F_T(t)</math>:</b>			
T = 1 dia	0,18	88,10	4.5(c)
T = 2 dias	0,05	88,67	5.11(b)
T = 7 dias	-0,06	88,05	5.12(b)
T = 15 dias	0,08	88,52	5.13(b)
T = 30 dias	1,81	88,80	5.14(b)
<b>Vítimas <math>V_T(t)</math>:</b>			
T = 1 dia	0,09	144,03	4.5(d)
T = 2 dias	0,43	145,98	5.16(b)
T = 7 dias	0,67	147,97	5.17(b)
T = 15 dias	1,85	149,55	5.18(b)
T = 30 dias	2,73	152,40	5.19(b)

Tabela 5.6

CORRELAÇÕES DE LONGO ALCANCE			
Séries Originais	Expoente $h$		Figura
Eventos	0,95		4.7(a)
Mortos	0,65		4.7(b)
Feridos	0,55		4.7(c)
Vítimas	0,75		4.7(d)
Séries das flutuações	Expoentes $h$ das sub-séries		Figura
	Magnitudes	Sinais	
<b>Eventos:</b>			
T = 1 dia	0,55	0,35	4.10(a) e 4.11(a)
T = 2 dias	0,70	0,25	5.1(d) e 5.1(f)
T = 7 dias	0,75	0,15	5.2(d) e 5.2(f)
T = 15 dias	0,75	0,45	5.3(d) e 5.3(f)
T = 30 dias	0,50	0,65	5.4(d) e 5.4(f)
<b>Mortos:</b>			
T = 1 dia	0,60	0,40	4.10(b) e 4.11(b)
T = 2 dias	0,70	0,20	5.6(d) e 5.6(f)
T = 7 dias	0,80	0,25	5.7(d) e 5.7(f)
T = 15 dias	0,75	0,50	5.8(d) e 5.8(f)
T = 30 dias	0,45	0,65	5.9(d) e 5.9(f)
<b>Feridos:</b>			
T = 1 dia	0,50	0,45	4.10(c) e 4.11(c)
T = 2 dias	0,55	0,20	5.11(d) e 5.11(f)
T = 7 dias	0,70	0,25	5.12(d) e 5.12(f)
T = 15 dias	0,60	0,40	5.13(d) e 5.13(f)
T = 30 dias	0,40	0,60	5.14(d) e 5.14(f)
<b>Vítimas:</b>			
T = 1 dia	0,65	0,35	4.10(d) e 4.11(d)
T = 2 dias	0,70	0,30	5.16(d) e 5.16(f)
T = 7 dias	0,90	0,20	5.17(d) e 5.17(f)
T = 15 dias	0,80	0,55	5.18(d) e 5.18(f)
T = 30 dias	0,60	0,75	5.19(d) e 5.19(f)

Tabela 5.7

## 6. CONCLUSÃO

Ao aplicarmos conceitos e métodos de física estatística no estudo da dinâmica do terrorismo mundial, no período de 01/01/2004 a 31/03/2008, observamos a presença de padrões e regularidades. Inicialmente, investigamos as distribuições acumuladas de mortos/ataques, feridos/ataques e vítimas/ataques, e as distribuições acumuladas de vítimas/ataques separadamente para 08 regiões, para estas distribuições encontramos os seguintes resultados:

- As distribuições para as 08 regiões exibem um comportamento assintótico do tipo lei de potência.
- As distribuições de mortos/ataques, feridos/ataques e vítimas/ataques exibem o mesmo comportamento de lei de potência, todas com  $\alpha \sim 1,5$ .

Analisamos também, as séries temporais (eventos, mortos, feridos e vítimas) e calculamos as distribuições de probabilidades das flutuações para a escala de tempo  $T = 1$  dia que são ajustados usando a distribuição de Laplace. No caso de correlações de longo alcance, verificamos que a série de feridos apresenta um comportamento persistente com  $h \approx 0,55$ , as séries de mortos e vítimas são persistentes com  $h \approx 0,65$  e  $h \approx 0,75$  e a série de eventos apresenta um robusto comportamento de persistência indicados pelo expoente  $h \approx 0,95$ . Para analisarmos a presença de correlações nas séries das flutuações, as dividimos em duas sub-séries cada, as sub-séries das magnitudes e as sub-séries dos sinais, os expoentes  $h$  estão mostrados na tabela 4.4. Verificamos que a sub-série da magnitude de feridos é não-correlacionada, as demais sub-séries das magnitudes são correlacionadas. Observamos que as sub-séries dos sinais são anti-persistentes. De uma maneira geral, no estudo das correlações das séries originais e sub-séries das magnitudes e dos sinais encontramos as seguintes resultados:

- $h > 0,50$  para as séries temporais originais.
- $h \geq 0,50$  para as séries das magnitudes.
- $h < 0,50$  para as séries dos sinais.

Os valores dos expoentes  $h$  citados sugerem que os atentados terroristas não são totalmente aleatórios, pois apresentam correlações. Além disso, indicam que grandes e positivos incrementos em sua dinâmica são mais provavelmente seguidos por grandes e negativos incrementos. De maneira similar, pequenos e negativos incrementos são mais provavelmente seguidos por pequenos e positivos incrementos, e assim por diante.

Por completeza, calculamos as flutuações das quatro séries temporais para as escalas de tempo  $T = 2$ ,  $T = 7$ ,  $T = 15$  e  $T = 30$  dias, e verificamos que as suas distribuições de probabilidades também podem ser bem ajustadas pela distribuição de Laplace. Analisamos as correlações de longo alcance para as sub-séries das magnitudes e dos sinais e ao compararmos os expoentes  $h$  (figura 5.22) encontramos um interessante padrão:

- Para o caso das sub-séries das magnitudes, as mais fortemente correlacionadas são as das flutuações para  $T = 7$  dias.
- No caso das sub-séries dos sinais, as flutuações com  $T = 7$  dias são, em geral, as mais anti-persistentes.

Estes resultados sugerem que existe uma espécie de “tempo de resposta” (sete dias) do sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] C. -K. Peng, S. V. Buldyrev e A. L. Goldberger, Long-range correlations in nucleotide sequences, *Nature* **356**, 168 (1992).
- [2] P. Ch. Ivanove, M. G. Rosenblum, C. -K. Peng, J. Mietus, S. Havlin, H. E. Stanley e A. L. Goldberger, Scaling Behavior of heart intervals obtained by wavelet-based time series analysis, *Nature* **383**, 323 (1996).
- [3] R. N. Mantegna e H. E. Stanley, Scaling behavior in the dynamics of an economic index, *Nature* **376**, 46 (1995).
- [4] S. Ghashghaie, W. Breymann, J. Peinke, P. Talkner e Y. Dodge, Turbulent cascades in foreign exchange markets, *Nature* **381**, 767 (1996).
- [5] T. H. Keitt e H. E. Stanley, Dynamics of North American breeding bird populations, *Nature* **381**, 600 (1996).
- [6] C. J. Rhodes e R. M. Anderson, Power laws of human travel, *Nature* **439**, 462 (2006).
- [7] Wikipedia enciclopedia livre, [pt.wikipedia.org](http://pt.wikipedia.org).
- [8] W. Feller, An introduction to Probability Theory and its Applications (Wiley, London, 1950).
- [9] N. G. Van Kampen, Stochastic processes in Physics and Chemistry (North Holland, Amsterdam, 1981).
- [10] T. Tome e M. J. de Oliveira, Dinamica Estocastica e Irreversibilidade, (Edusp, São Paulo, 2001)
- [11] C. - K. Peng, S. V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley e A. L. Goldberger, Mosaic organization of DNA nucleotides, *Physical Review E* **49**, 1685 (1994).

- [12] S. V. Buldyrev, A. L. Goldberger, S. Havlin, R. N. Mantegna, M. E. Matsuoka, C. - K. Peng, M. Simons e H. E. Stanley, Long-range correlation-properties of coding and noncoding DNA-sequences – Genbank analysis, *Physical Review E* **51**, 5084 (1995).
- [13] R. N. Mantegna, S. V. Buldyrev, A. L. Goldberger, S. Havlin, C. - K. Peng, M. Simons e H. E. Stanley, Linguistic features of noncondensing DNA-sequences, *Physical Review Letters* **73**, 3169 (1994).
- [14] E. K-Bunde, A. Bunde, S. Havlin, H. E. Roman, Y. Goldreich e H-J. Shellnhuber, Indication of a universal persistence law governing atmospheric variability, *Physical Review Letters* **81**, 729 (1998).
- [15] P. Talkner e R. O. Weber, Power spectrum and detrended fluctuation analysis: Application to daily temperatures, *Physical Review E* **62**, 150 (2000).
- [16] M. Ausloos e K. Ivanova, Dynamical model and nonextensive statistical mechanics of a market index on large time windows, *Physical Review E* **68**, 046122 (2003).
- [17] J. M. Hausdorff et al., Altered fractal dynamics of gait: Reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease, *Journal of Applied Physiology* **82**, 262 (1997).
- [18] A. Bunde, S. Havlin, J. W. Kantelhardt, T. Penzel, J-H. Peter e K. Voigt, Correlated and uncorrelated regions in heart-rate fluctuations during sleep, *Physical Review Letters* **85**, 3736 (2000).
- [19] K. Ivanova, M. Ausloos, E. E. Clothiaux e T. P. Ackerman, Break-up of stratus cloud structure predicted from non-Brownian motion liquid water and brightness temperature fluctuations, *Europhysics Letters* **52**, 40 (2000).
- [20] S. Bahar, J. W. Kantelhardt, A. Neiman, H. H. A. Rego, D. F. Russell, L. Wilkens, A. Bunde e F. Moss, Long-range temporal anti-correlations in paddlefish electroreceptors, *Europhysics Letters* **56**, 454 (2001).
- [21] L. A. N. Amaral, D. J. B. Soares, L. R. Silva, L. S. Lucena, M. Saito, H. Kumano, N. Aoyagi e Y. Yamamoto, Power law temporal auto-correlations in day-long records of human physical activity and their alteration with disease, *Europhysics Letters* **66**, 448 (2004).
- [22] L. Telesca e V. Lapenna, Magnitude and sign scaling in power-law correlated

geoeltrical time series measured in southern Italy, *Natural Hazards and Earth System Sciences* **4**, 669 (2004).

- [23] R. B. Govindan e H. Kantz, Long-term correlations and multifractality in surface wind speed, *Europhysics Letters* **68**, 184 (2004).
- [24] J. A. Wanliss, Nonlinear variability of SYM-H over two solar cycles, *Earth Planets Space* **56**, e13 (2004).
- [25] L. M. Stadler, B. Sepiol, B. Pfau, J. W. Kantelhardt, R. Weinkamer e G. Vogl, Detrended fluctuation analysis in x-ray photon correlation spectroscopy for determining coarsening dynamics in alloys, *Physical Review E* **74**, 04117 (2006).
- [26] K. Hu, P.-Ch. Ivanov, Z. Chen P. Carpena e H. E. Stanley, Effect of trends on detrended fluctuation analysis, *Physical Review E* **64**, 11114 (2001).
- [27] J. Kantelhardt, Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis, *Physical Review E* **65**, 04117 (2002).
- [28] J. Alvarez-Ramirez, C. Ibarra-Valdez, E. Rodrigues, R. Urrea, Fractality and time correlation in contemporary war, *Chaos Solitons & Fractals* **34**, 1039 (2007).
- [29] A. Clauset e M. Young, Scale Invariance in global terrorism, *arXiv:Physics*, 0502014 (2005).
- [30] National Memorial Institute for the Prevention of Terrorism (MIPT) Terrorism Knowledge Base (jan. 2005), [www.tkb.org](http://www.tkb.org).
- [31] National Counterterrorism Center (NCTC), [www.nctc.gov](http://www.nctc.gov).
- [32] L. Telesca e M. Lovallo, Are global terrorist attacks time correlated? *Physica A* **362**, 480 (2006).