



## **Distribuições de Eventos Extremos e Telecomunicações**

**PEDRO MIGUEL PINTO RIBEIRO**

Julho de 2013

# Distribuições de Eventos Extremos e Telecomunicações

Pedro Miguel Pinto Ribeiro



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores

Área de Especialização de Telecomunicações

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2013

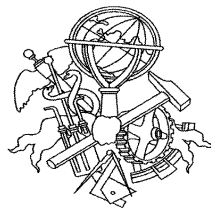


Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Pedro Ribeiro, N° 1950438, 1950438@isep.ipp.pt

Orientação científica: Carla Pinto, cap@isep.ipp.pt

Co-orientação Científica: J. A. Tenreiro Machado, jtm@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Telecomunicações

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

- de Julho de 2013



## *Agradecimentos*

Este trabalho faz parte de um objectivo de vida pelo que a ele dedico toda a minha força de vontade, determinação e objectividade.

Agradeço a todas as pessoas que ao longo da minha vida dedicaram o seu tempo à minha educação e providenciaram as melhores condições possíveis ao meu desenvolvimento.

Os meus agradecimentos ao corpo docente pelo apoio, profissionalismo e paciência demonstrados ao longo de todas as fases do trabalho.



## *Resumo*

As distribuições de Lei de Potência (PL *Power Laws*), tais como a lei de Pareto e a lei de Zipf são distribuições estatísticas cujos tamanhos dos eventos são inversamente proporcionais à sua frequência. Estas leis de potência são caracterizadas pelas suas longas caudas.

Segundo Vilfredo Pareto (1896), engenheiro, cientista, sociólogo e economista italiano, autor da Lei de Pareto, 80% das consequências advêm de 20% das causas. Segundo o mesmo, grande parte da economia mundial segue uma determinada distribuição, onde 80% da riqueza mundial é detida por 20% da população ou 80% da poluição mundial é feita por 20% dos países. Estas percentagens podem oscilar nos intervalos [75-85] e [15-25]. A mesma percentagem poderá ser aplicada à gestão de tempo, onde apenas 20% do tempo dedicado a determinado assunto produzirá cerca de 80% dos resultados obtidos. A lei de Pareto, também designada de regra 80/20, tem aplicações nas várias ciências e no mundo físico, nomeadamente na biodiversidade.

O número de ocorrências de fenómenos extremos, aliados ao impacto nas redes de telecomunicações nas situações de catástrofe, no apoio imediato às populações e numa fase posterior de reconstrução, têm preocupado cada vez mais as autoridades oficiais de protecção civil e as operadoras de telecomunicações. O objectivo é o de preparar e adaptarem as suas estruturas para proporcionar uma resposta eficaz a estes episódios. Neste trabalho estuda-se o comportamento de vários fenómenos extremos (eventos críticos) e aproximam-se os dados por uma distribuição de Pareto (Lei de Pareto) ou lei de potência. No final, especula-se sobre a influência dos eventos críticos na utilização das redes móveis. É fundamental que as redes móveis estejam preparadas para lidar com as repercussões de fenómenos deste tipo.

### *Palavras-Chave*

Leis de potência, Lei de Pareto, catástrofes naturais, eventos críticos, redes móveis.



## *Abstract*

Power Law (PL) distributions, such as Pareto and Zipf laws, are statistical distributions whose sizes of the events are inversely proportional to their frequency. These power laws are distinguished by their long tails.

According to Vilfredo Pareto (1896), engineer, scientist, Italian sociologist and economist, author of the Pareto Law, 80% of the consequences come from 20% of the causes. According to Pareto, much of the world economy follows a particular distribution, where 80% of the world's wealth is owned by 20% of the population or 80% of global pollution is made by 20% of countries. These percentages can vary in the intervals [75-85] and [15-25]. The same percentage can be applied to time-managing, where only 20% of the time devoted to a particular subject will produce about 80% of the results obtained. Pareto Law, also known as 80/20 rule, has numerous applications in science and in the physical world, such as biodiversity.

The number of occurrences of extreme events, combined with the impact on telecommunications networks in disaster situations, the immediate support for the people and the later reconstruction, has increasingly concerned civil protection authorities and network operators. The objective is to prepare and adapt their structures to give an effective response to a crisis situation. In this paper we study the behaviour of various extreme events (critical events) and approximate the data by a Pareto distribution (Pareto's Law or Power Law). In the end, it is speculated about the influence of the critical events in the use of mobile networks. It is crucial that mobile networks are capable of dealing with the repercussions of this type of phenomena.

### ***Keywords***

Power laws, Pareto law, natural disasters, critical events, mobile networks.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	4
1.3. PLANO DE TRABALHO.....	4
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	4
<b>2. LEIS DE POTENCIA E SUA APLICAÇÃO A EVENTOS CRÍTICOS</b> .....	<b>7</b>
2.1. LEI DE POTÊNCIA .....	8
2.1.1 PROPRIEDADES DAS LPS.....	9
2.2. APLICAÇÃO A EVENTOS CRÍTICOS E ÀS REDES MÓVEIS.....	10
2.3. LITERATURA DE CASOS DE APLICAÇÕES DE LP .....	13
<b>3. APLICAÇÃO DAS LEIS DE POTENCIA A EVENTOS CRÍTICOS</b> .....	<b>15</b>
3.1. Aplicação de LPs a terremotos.....	16
3.2. Aplicação de LPs a tempestades e cheias.....	19
3.3. Aplicação de LPs a seca e temperaturas extremas .....	23
3.4. Aplicação de LPs a vulcões .....	26
3.5. Aplicação de LPs a tornados .....	27
3.6. Aplicação de LPs a actos terroristas.....	27
3.7. Aplicação de LPs a fogos florestais .....	30
3.8. Perspectiva Global .....	32
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS</b> .....	<b>41</b>



## *Índice de Figuras*

Figura 1	Vítimas de terremotos na América do Norte.....	17
Figura 2	Vítimas de terremotos na Europa.....	18
Figura 3	Vítimas de terremotos em África.....	18
Figura 4	Vítimas de terremotos na Ásia.....	19
Figura 5	Vítimas de tempestades e cheias na América do Norte.....	20
Figura 6	Danos (B\$) cheias nos Estados Unidos da América.....	21
Figura 7	Vítimas das tempestades e cheias na Europa.....	21
Figura 8	Vítimas das tempestades e cheias em África.....	22
Figura 9	Vítimas das tempestades e cheias na Ásia.....	23
Figura 10	Vítimas da seca e temperaturas extremas na Europa.....	24
Figura 11	Vítimas da seca e temperaturas extremas em África.....	25
Figura 12	Vítimas da seca e temperaturas extremas na Ásia.....	25
Figura 13	Vítimas dos vulcões na Ásia.....	26
Figura 14	Vítimas dos tornados nos Estados Unidos da América.....	27
Figura 15	Vítimas dos actos terroristas na América do Norte.....	28
Figura 16	Vítimas dos actos terroristas na Europa.....	29
Figura 17	Vítimas dos actos terroristas em África e Médio Oriente.....	29
Figura 18	Vítimas dos actos terroristas na Ásia.....	30
Figura 19	Área ardida (ha) dos fogos florestais em Portugal.....	31
Figura 20	Relação de eventos ( $\hat{C}$ , $\tilde{\alpha}$ ).....	33
Figura 21	LPs por evento e área geográfica ( $\log(\hat{C})$ , $\tilde{\alpha}$ ).....	34
Figura 22	Terramotos ( $\log(\hat{C})$ , $\tilde{\alpha}$ ).....	35
Figura 23	Seca e temperaturas extremas ( $\log(\hat{C})$ , $\tilde{\alpha}$ ).....	35
Figura 24	Actos terroristas ( $\log(\hat{C})$ , $\tilde{\alpha}$ ).....	36
Figura 25	Tempestades e cheias ( $\log(\hat{C})$ , $\tilde{\alpha}$ ).....	36
Figura 26	Actos terroristas, tornados e fogos florestais ( $\log(\hat{C})$ , $\tilde{\alpha}$ ).....	37



## *Índice de Tabelas*

Tabela 1	Plano de Trabalho.....	5
Tabela 2	LP duplas ( $\hat{C}_i$ vs $\tilde{\alpha}_i$ ) .....	32
Tabela 3	LP triplas ( $\hat{C}_i$ vs $\tilde{\alpha}_i$ ).....	33



## *Acrónimos*

- ACB – Access Class Baring
- CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
- EM-DAT – Emergency Events Database
- ICNF – Instituto da Conservação da Natureza
- ITU – International Telecommunication Union
- LP – Lei de Potência
- START – Study of Terrorism and Response to Terrorism



# 1. INTRODUÇÃO

As leis de potência, LP, são distribuições estatísticas também conhecidas por distribuições de cauda longa. As LPs são usadas globalmente na modelação de inúmeros fenómenos em áreas tão diversas como a economia e a biologia. Sendo as LPs um fenómeno estatístico aplicado a tantas áreas distintas, há sempre alguma controvérsia na validação das distribuições encontradas. Geralmente estas distribuições aplicam-se muito bem a grandes quantidades de dados.

O italiano Vilfredo Federico Damaso Pareto (1848-1923) [17], em 1896, estudou as distribuições de cauda longa e verificou que, para muitos eventos, 80% dos efeitos provêm de 20% das causas. Este princípio ficou conhecido como Princípio de Pareto ou regra 80-20. Uma das mais polémicas “descobertas” de Pareto, devido às questões políticas da época, foi que 80% das terras em Itália eram detidas por 20% da população, o mesmo se passando com os rendimentos, onde 20% das pessoas detinham 80% da riqueza do país.

Neste trabalho aplicam-se as leis de potência a fenómenos críticos, tais como terremotos, secas e temperaturas extremas, actos terroristas, fogos florestais, entre outros. No final especula-se sobre as repercussões destes fenómenos na utilização de redes móveis de telecomunicações.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Após a descoberta da Lei de Pareto, a investigação sobre as leis de potência continuou a desenvolver-se. O professor de Linguística George Kingsley Zipf (1902-1950) [21] da Universidade de Harvard, baseando-se nas leis de Pareto e num estudo anterior do estenográfico francês Jean-Baptiste Estoup (1868-1950) [9], descobriu a existência de determinada frequência de palavras em textos. O físico alemão Felix Auerbach [4] encontrou LPs no estudo do tamanho das populações e na sua distribuição em determinado território. Após o surgimento da informática também foram vários os estudos e aplicações de LPs nesta ciência, nomeadamente ao número de visitas a determinados endereços electrónicos (Adamic e Huberman [2] [1]), e ao crescimento da internet (Cooper [8]). As guerras e ataques terroristas [8] [13], terremotos [11] e a biodiversidade [20] foram também alvo de aplicações de leis de potência.

No caso específico das guerras e terrorismo, Lewis Richardson [18] verificou que as baixas da guerra seguiam uma distribuição de lei de potência, em que a probabilidade de uma guerra originar  $x$  vítimas era do tipo  $f(x) = Cx^{-\alpha}$ ,  $C, x > 0$ . O gráfico  $\log[F(X \geq x)]$  vs.  $\log(x)$  era bem aproximado por uma linha recta com declive negativo  $\alpha = -1$ . Na análise às vítimas dos ataques terroristas, Clauset [21] verificou exactamente o mesmo comportamento para os eventos posteriores a 1968.

Após o estudo de Clauset e Young [21] e de Richardson [21], a equipa composta por Johnson, Spagat, Restrepo, Bohórquez, Suarez, Zarama [13] chegou à conclusão que as leis de potência têm muita aplicabilidade nos conflitos armados, tanto em fenómenos de grande como de pequena escala. Isto abriu a possibilidade de co-relacionamento espaço-temporal entre eventos numa determinada guerra e os encontrados no terrorismo. No estudo efectuado a várias guerras convencionais chegaram à conclusão que, por exemplo, para a guerra do Iraque, no início do conflito o declive  $\alpha$  era bastante baixo e muito próximo das restantes guerras convencionais. Posteriormente o mesmo declive  $\alpha$  aumenta gradualmente, realçando a passagem da guerra para uma nova fase em que as forças iraquianas passam a estar mais fragmentadas. Os ataques esporádicos alteram este conflito para um comportamento semelhante às análises feitas para os eventos terroristas nos países do G7.

As Nações Unidas estimam que cerca de 3 milhões de pessoas morreram em todo o mundo, devido a desastres naturais, apenas no período 1975-1994 e cerca de 1 bilião de pessoas foram directamente gravemente afectadas. Talvez o crescimento das populações e a sua expansão geográfica associada às alterações climáticas do planeta estejam na origem do maior número de eventos e fatalidades verificados. Urge, assim, a adaptação imediata das populações à realidade actual. O crescimento das redes de telecomunicações e da tecnologia existente cada vez mais difundida e distribuída pela população, onde os índices de penetração superam os 90% na maior parte dos territórios desenvolvidos, faz com que a associação de pessoas aos serviços móveis seja cada vez mais uma realidade mundial. Em grande parte dos países temos um telemóvel por pessoa ou a menos de 20 metros de distância de poder vir a ser utilizado. Esta situação deve, na minha opinião, ser inserida nos projectos de prevenção e reacção a futuros eventos no apoio imediato e nas acções de recuperação posteriores ao evento.

O antigo Secretário-geral das Nações Unidas Mr. Kofi Annan proferiu as seguintes palavras sobre a importância das Telecomunicações na Assistência Humanitária:

*“(…) Human suffering cannot be measured in figures, and its dimensions often surpass our imagination, even at a time when news about natural and other disasters reaches every corner of the Globe in next to real time. (…) From the mobilization of assistance to the logistics chain, which will carry assistance to the intended beneficiaries, reliable telecommunication links are indispensable”.*



descrição das leis de potência, as suas aplicações a eventos críticos e especula-se sobre a aplicação de LPs aos dados da utilização das redes de telecomunicações durante esses eventos. No terceiro capítulo aplicam-se as leis de potência a vários eventos críticos. No capítulo final apresentam-se as conclusões do estudo e sugerem-se possíveis direcções de trabalho futuro.



## 2. LEIS DE POTENCIA E SUA APLICAÇÃO A EVENTOS CRÍTICOS

Os desastres naturais, tais como terremotos, tempestades, cheias, tornados, seca, temperaturas extremas e vulcões, os ataques terroristas e os incêndios são, nos seus extremos, associados a um grande número de vítimas (mortes ou feridas) ou avultados prejuízos materiais. Os dados referentes ao seu volume de destruição, quer seja por número de vítimas, prejuízos ou áreas afectadas têm sido aproximados por distribuições de Leis de Potência (LP). O volume de ocorrências e o seu impacto nas sociedades torna este tipo de eventos alvo de estudos por parte de várias entidades sociais, como sejam cientistas, engenheiros, sociólogos e até de entidades políticas. Como exemplo recente, a reeleição do presidente dos Estados Unidos da América, Barack Obama, para o segundo mandato, esteve directamente relacionada com o apoio prestado às vítimas do furação Katrina.

## 2.1. LEI DE POTÊNCIA

Para comprovar que um determinado conjunto de informação segue uma distribuição de Lei de Potência vários investigadores representam graficamente o evento estudado através do tamanho versus frequência dos dados recolhidos. Na escala logarítmica estes gráficos são bem aproximados por uma linha recta com declive negativo. Para o caso da distribuição de Pareto, a distribuição cumulativa complementar de  $X$  é dada pela expressão:

$$F(x) = P(X \geq x) = \frac{C}{\alpha-1} x^{-(\alpha-1)} \quad (1)$$

onde  $\alpha > 0$ ,  $C > 0$ , e  $X$  representa o número de ocorrências de determinado tipo, quer seja o número de vítimas em catástrofes naturais, quer seja o número de citações em artigos, número de indivíduos de populações, entre outros. O parâmetro  $\alpha$  é designado por índice de cauda ou muitas vezes designado em estudos económicos de índice de Pareto.

Aplicando o logaritmo à expressão (1), vem:

$$\ln(P([X \geq x])) = \ln C - \ln \tilde{\alpha} - \tilde{\alpha} \ln x \quad (2)$$

em que  $X$  é uma variável aleatória que segue uma distribuição de Lei de Potência,  $\tilde{\alpha} = \alpha - 1 > 0$  e  $\hat{C} = \frac{C}{\tilde{\alpha}} > 0$ .

A função de probabilidade da variável aleatória  $X$  é:

$$P(X = x) = \hat{C} x^{-\tilde{\alpha}} \quad (3)$$

Nestas distribuições as caudas caem de forma assíntota de acordo com o valor de  $\tilde{\alpha}$ , traduzindo-se em longas caudas comparativamente a outras distribuições. A Lei de Zipf é um caso especial de Lei de Pareto em que  $\tilde{\alpha} = 1$ .

Em grande parte dos casos consegue-se representar bem o sistema com uma única LP, mas em muitas outras distribuições estatísticas os sistemas são melhor representados por múltiplas LPs. As LPs duplas foram usadas em vários estudos sobre diferentes fenómenos, desde a frequência de palavras em textos, turbulência, flutuações do campo magnético terrestre, avalanches, entre outros, por autores tais como Alvarez-Martinez R. [3], Ferrer R. [10], Martínez-Mekler G. [15].

### 2.1.1. PROPRIEDADES DAS LPS

As principais propriedades das leis de potência são a sua invariância de escala, os expoentes e a universalidade.

Para uma dada função

$$f(x) = ax^k \quad (4)$$

multiplicando  $x$  por uma constante  $c$  traduz-se num aumento de escala da função

$$f(cx) = a(cx)^k = ac^k x^k = c^k f(x) \propto f(x) \quad (5)$$

Ou seja, multiplicamos a função pela constante de proporcionalidade  $c^k$ . Todas as leis de potência com um determinado expoente de escala, são equivalentes aos factores constantes, uma vez que cada uma delas é uma versão em escala das restantes. Este comportamento é o que produz a relação linear quando aplicados logaritmos a ambos  $f(x)$  e  $x$ . A linha recta log-log representada é designada por assinatura da lei de potência.

Em mecânica estatística, a universalidade é a observação de que existem propriedades para um grande número de classes de sistemas que são independentes dos detalhes desses mesmos sistemas. Os sistemas exibem universalidade em determinada escala, quando se juntam um grande número de partes que interagem, formando os expoentes críticos desse sistema. Sistemas com os mesmos expoentes críticos pertencem à mesma classe de universalidade.

## 2.2. APLICAÇÃO A EVENTOS CRÍTICOS E ÀS REDES MÓVEIS

Durante as catástrofes naturais e outros eventos críticos, que afectam as populações, as falhas nas redes de telecomunicações ocorrem por inúmeros factores. Segundo indicações do *International Telecommunication Union – ITU*, após várias investigações efectuadas nas últimas décadas às quebras das comunicações em grandes centros urbanos, existem três causas prioritárias de falha durante estes eventos:

- Destruição física das InfraEstruturas das redes;
- Falhas nas InfraEstruturas de suporte às redes (energia, transporte);
- Congestão de rede

A falha mais comum e melhor documentada em recentes eventos é sem dúvida a destruição física da estrutura de rede. Dado o tempo e os fundos necessários à reparação ou substituição das estruturas e dos equipamentos danificados, torna esta causa de importância superior às duas restantes e muito mais demorada a restabelecer. Historicamente as redes de telecomunicações sempre foram bastante vulneráveis a terremotos, inundações, tempestades, fogos e todo o tipo de condições climáticas adversas. Para além desses factores naturais, também foram alvo de ataques destrutivos durante guerras, terrorismo e outros factores humanos, tornando-se parte de táticas militares desde o início do telégrafo durante a guerra civil americana, onde a fragilidade e a falta de redundância colocava em isolamento todas as cidades vizinhas, com apenas o corte de um dos segmentos da rede. Outros exemplos foram os ataques terroristas de 11 de Setembro que provocaram danos num nó agregador de telecomunicações perto do *World Trade Center*, desligando parte da rede energética de Manhattan e nas redes de telecomunicações da área. O sismo de 3 de Setembro 2011 no Japão [19], seguido de *tsunami*<sup>1</sup>, foi dos eventos que maiores estragos fizeram num país, que a nível mundial era, e mantém-se, como o melhor preparado para um evento semelhante. Toda a rede de telecomunicações do Japão era construída com várias estruturas preparadas para resistir a terremotos de magnitude elevada, sistema de protecção de cheias, sistemas de protecção energética, constituído por sistemas de baterias, tanques de combustível de apoio aos geradores, e contudo, mais uma vez a natureza conseguiu surpreender a humanidade. Um terremoto de magnitude 9 seguido de maremotos onde em algumas regiões as vagas chegaram aos 30 metros de altura provocou 15.835 mortes, 3.669 desaparecidos, 903.220 casas destruídas, 23.660 ha de área inundada, 3 centrais nucleares afectadas. Ao nível das telecomunicações os estragos foram: 29.000 estações base destruídas, dezenas de cabos submarinos com as ligações internacionais (500Km), 1.900.000 linhas fixas destruídas, destruição completa de 1 centro de operações

---

<sup>1</sup> *Tsunami* – ou maremoto, é uma série de ondas causado pelo deslocamento de um grande volume de um corpo de água, como um oceano ou grande lago.

e comutação e milhares de outros estragos que no conjunto levaram a um *blackout*<sup>2</sup> das redes de telecomunicações em várias das regiões imediatamente a seguir ao evento dificultando as operações de resgate. Através de um apoio internacional e de uma capacidade de organização incrível, a recuperação de toda a rede de telecomunicações foi efectuada em tempo recorde em 3 fases distintas: Restabelecimento de Emergência (1 mês) onde foram restabelecidas as comunicações em todas as áreas afectadas, Restabelecimento Fase 1 (3 meses) reparação dos edifícios e cabos, e Restabelecimento Fase 2 (8 meses) reconstrução de toda a rede ao nível anterior ao evento.

As redes de telecomunicações estão na grande generalidade directamente dependentes da rede energética comercial, que é também fortemente afectada durante os eventos críticos. A existência de geradores de emergência e sistemas de baterias suportam a falha da rede energética comercial por um período relativamente curto de algumas horas. Todavia, estes estão dependentes das estruturas rodoviárias e de um sistema de transporte no abastecimento, a esses suportes alternativos de energia, pelo que, uma falha num destes sistemas acaba por inviabilizar o outro.

A última causa de falha é a congestão de rede. Numa situação de crise associado a um evento crítico existe uma necessidade enorme de as pessoas comunicarem entre si, quer seja para requerer assistência, coordenar actividades de apoio pós evento, para obtenção de informações dos entes próximos, normalmente o estado e a localização dos mesmos. Nesta situação as chamadas de voz não são realizadas e as mensagens de texto são perdidas. Um dos piores casos conhecidos de congestionamento ocorreu em 1994, no terramoto *Northridge*. Toda a área de Los Angeles (L.A.) ficou isolada do resto do mundo, devido a problemas de congestionamentos, relacionados com falhas em equipamentos de telecomunicações. Empresas como a AT&T mudaram drasticamente as suas medidas de protecção e actuação face a eventos críticos e situações de congestionamento, posteriormente aos eventos de *Northridge (L.A.)*, em 17 de Janeiro de 1994. Foram dados índices de prioridade superior ao uso de chamadas de saída, criados mecanismos de notificação de estado dos clientes das zonas afectadas por entidades e organismos exteriores, evitando congestionamento de chamadas para a zona afectada. Programas governamentais de emergência foram implementados nos Estados Unidos para acessos de

---

<sup>2</sup> *Blackout* – perda de comunicações ou capacidade de comunicar, provocado por falhas múltiplas dos equipamentos.

emergência e prioridades de processamento de chamadas, tais como o barramento de classes de acesso (ACB), durante os eventos críticos, de modo a evitar situações de congestionamento. Este programa evitou algumas situações posteriores de congestionamento durante os atentados do 11 de Setembro de 2001. Também no evento do terremoto de 2011 no Japão, foram aplicadas medidas de restrição de tráfego durante o período de emergência, tendo o tráfego de voz sofrido restrições de cerca de 70-95% e os dados de 30%.

Em 1970, a *NSF – Funded Research Effort On “Reconstruction Following Disaster”* baseando-se nos eventos históricos e geograficamente distribuídos, estabeleceu um modelo organizado por três fases de actividade após cada evento ao qual designou “*Model of Recovery Activity*”:

- Resposta de Emergência;
- Reparação e restabelecimento de serviço;
- Reconstrução de todas as estruturas destruídas, avaliação e planeamento;

Assim que um dos eventos ocorre, as acções de resposta de emergência começam imediatamente com o esforço da sociedade envolvente não afectada. Nesta fase é prioritário fazer todo um levantamento de destruição, número de vítimas e traçar planos de evacuação. Este período está dependente da capacidade de organização e reacção da sociedade onde ocorre o evento e poderá variar entre alguns dias, semanas ou meses. Uma vez que nesta fase existem vidas em risco é a fase onde a capacidade de resposta de uma rede de telecomunicações e a sua fiabilidade é colocada à prova, ao seu máximo nível. Uma falha nesta fase crítica poderá paralisar e inviabilizar toda a resposta das equipas de apoio e resgate. Infelizmente este cenário tem sido repetido evento após evento.

A resposta de emergência termina assim que terminam as acções de busca e salvamento. A fase de reparação e restabelecimento de serviço tem de ser muito bem delineada pelos centros de Operação e Manutenção. Têm de ser dada prioridade máxima em cobrir a área afectada, na maior extensão de cobertura possível, e permitir as comunicações mínimas. Os índices de performance não deverão ser equacionados e questões como a congestão terão de ser bem equacionadas. Durante o evento de 11 de Setembro de 2001, depois de um importante centro de comutação ter sido destruído no *World Trade Center*, a resposta da

AT&T foi tão rápida, no envio de equipas de reparação para o local com veículos e equipamento, que essas equipas ficaram bloqueadas à entrada de Manhattan, pois as autoridades não estavam prontas para permitir o seu acesso ao local.

A fase final de reconstrução ocorre quando as populações estão de volta ao seu meio e a actividade económica da área volta a reaparecer, após recuperação das principais estruturas. Nesta fase é necessário novo planeamento da rede baseado na análise do ocorrido, colmatar eventuais lacunas, recuperar e melhorar índices de performance. Nesta fase ocorrem os grandes projectos de reestruturação e modernização da rede existente, vocacionados para a questão comercial do negócio, suportando toda a actividade económica em volta da recuperação envolvente. Esta fase caracteriza-se por um grande investimento financeiro.

### **2.3. LITERATURA SOBRE CASOS DE APLICAÇÕES DE LP**

Neste ponto serão apresentados alguns estudos publicados sobre PLs relativos a eventos críticos nos últimos tempos.

Em 1993, Blong e Radford [5], estudaram dados referentes a vários desastres nas Ilhas Salomão, de modo a contribuir para o desenvolvimento de estratégias de prevenção de risco e intervenção. Foram usados dados de 209 eventos incluindo ciclones, secas, tempestades, terramotos, cheias, deslizamento de terras, maremotos e actividade vulcânica. Foi representada graficamente uma função de distribuição de mortes nos seus desastres naturais numa escala log-log. O gráfico assemelhava-se muito a uma linha recta. Desta forma a informação desses dados referentes às Ilhas Salomão para um período de tempo espaçado sugere uma lei de potência embora não seja referido ou testado pelos autores do estudo.

Guzzetti [12], no ano de 2000, estudou uma quantidade relevante de dados referentes a deslizamentos de terras durante um período alargado de tempo. O seu estudo considerou os períodos de 1410-1999 e 1950-1999 para Itália e da mesma forma mas para intervalos e tempo variáveis para o Canadá, Alpes, Japão, Hong Kong e China. Através da análise gráfica log-log, Guzzetti comprovou que a frequência cumulativa representada pelas vítimas ocorridas nos deslizamentos de terra aproximava-se uma lei de potência.

Em 2005, Jonkman [14], usando dados da base de dados *Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*, para estudar a distribuição das mortes em eventos globais, considerou o período de 1975-2001, separou por tipo de desastre cheias, secas, fomes, terremotos, vendavais e epidemias. Para cada tipo representou graficamente a frequência global dos eventos com  $N$  ou mais pessoas mortas ou feridas vs  $N$ , numa escala log-log. Apenas a curva representativa dos terremotos se assemelhava a uma LP e Jonkman desistiu de perseguir esta questão. Estudos posteriores, efectuados pela equipa de O. Becerra, N. Johnson., P. Meier [16], demonstraram que, separando por tipo de desastre, globalmente existe bastante dificuldade em encontrar leis de potência. Todavia, as mesmas podem ser encontradas, se for efectuada a separação por regiões usando a totalidade dos eventos.

Em 2006, num estudo preparado para apresentação na reunião anual da associação americana de ciência política *Annual Meeting of the American Political Science Association (APSA)* realizada em Philadelphia de 31 de Agosto a 3 de Setembro, O. Becerra, N. Johnson, P. Meier, J. Restrepo e M. Spagat [16] demonstraram a existência de leis de potência na distribuição das vítimas, mortes e feridas, referentes a todos os desastres combinados, separando a informação por continente. A base de dados utilizada foi a anteriormente usada por Jonkman ou seja a *International Disaster Database* gerida pelo *Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*. No mesmo estudo verificaram que os declives das curvas obtidas para as leis de potência das vítimas dos desastres naturais são menores do que para as vítimas das guerras modernas e actos terroristas.

Em 2012, C. M. A. Pinto, A. M. Lopes, J. A. Tenreiro Machado [6] demonstram a existência de múltiplas leis de potência nos eventos, naturais ou causados por intervenção humana, estudados. Neste artigo aplica-se uma LP aos dados referentes aos ganhos anuais das maiores empresas nos Estados Unidos da América. Mostra-se a existência de LP duplas para eventos tão distintos como tornados nos Estados Unidos da América e fogos em Portugal. Em ambos os casos foram analisados períodos anuais distintos para os diferentes dados analisados.

### 3. APLICAÇÃO DAS LEIS DE POTÊNCIA A EVENTOS CRÍTICOS

Neste capítulo vamos estudar a distribuição das variáveis associadas a cada evento crítico separadas por áreas geográficas, sempre que os dados o permitam.

Para a obtenção dos valores a representar começamos por recolher os dados disponíveis publicamente em sítios da internet, depois ordenamos os mesmos por ordem decrescente de frequência da variável utilizada e classificam-se de 1 até n, sendo 1 o valor com maior frequência. Estes valores são então normalizados, sendo divididos pelos máximos que tomam. Os gráficos traçados em escala logarítmica têm a frequência no eixo xx (size/max size) e a classificação no eixo dos yy (rank /max rank). No final é ajustada uma reta ao conjunto de dados do gráfico, no sentido do método dos mínimos quadrados.

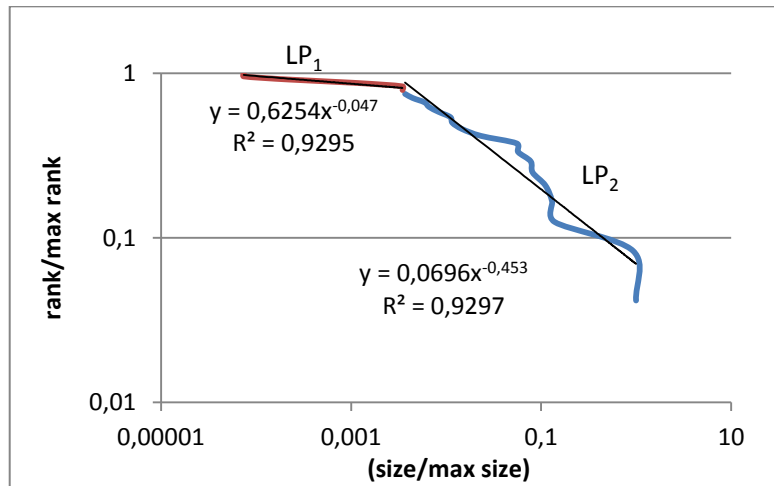
### 3.1. APLICAÇÃO DE LPS A TERRAMOTOS

Um terramoto ou sismo, é um evento crítico natural muito assustador dado a sua imprevisibilidade e intensidade. Trata-se de um fenómeno de vibração brusca da superfície da Terra resultante da movimentação das placas rochosas designadas por placas tectónicas. Esse movimento é causado pela libertação rápida de elevadas quantidades de energia sob a forma de ondas sísmicas.

Embora existam actualmente dados relativos às áreas mais prováveis de ocorrência, e as estruturas nos países mais desenvolvidos suportem abalos de grande intensidade, a sua ocorrência imprevisível provoca elevados danos materiais e humanos e cria enorme pânico das populações afectadas.

Para análise deste fenómeno extremo utilizamos os dados disponíveis na página da internet <http://www.emdat.be/> que é uma base de dados internacional de eventos de emergência *Emergency Events Database* (EM-DAT) e disponibilizada pelo centro de pesquisa epidemiológico de desastres *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED). Foram separados os eventos referentes a terramotos por quatro áreas distintas do Globo de modo a tentar obter algumas analogias entre as mesmas (América do Norte, Europa, África e Ásia). Foram utilizados apenas os dados referentes a eventos com número de pessoas afectadas no período de 1980 até 2013.

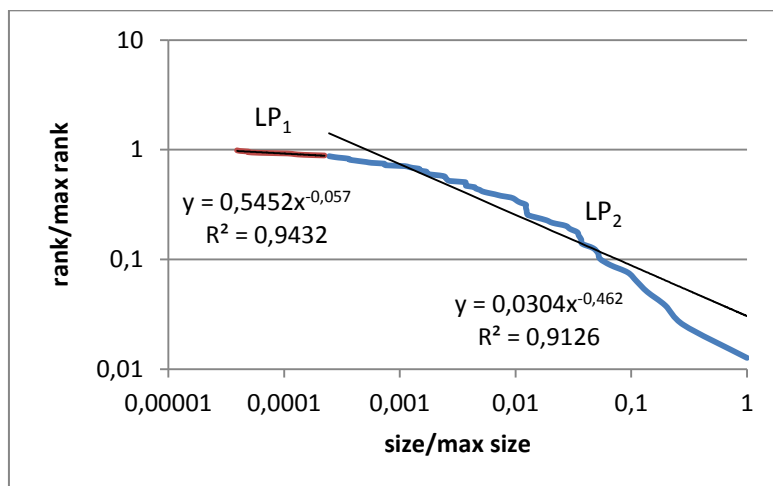
Na região da América do Norte foram registados 24 eventos com pessoas afectadas, o que demonstra que este território sofreu poucos abalados com afectação de pessoas durante o período 1980-2013. O número de vítimas, contabilizado pelo número de pessoas mortas ou feridas, também é reduzido comparativamente a outras áreas geográficas de diferentes continentes, e com outros eventos críticos nesta própria região.



**Figura 1** Vítimas dos terremotos na América do Norte.

Para estes dados obtemos um gráfico onde se podem observar uma dupla lei de potência ( $LP_1$ ,  $LP_2$ ), com valores  $\tilde{\alpha}_1 = 0,047$ ,  $\hat{C}_1 = 0,6254$  ( $R^2 = 0,9295$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,453$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0696$  ( $R^2 = 0,9297$ ), no entanto, a quantidade de dados analisados (24 eventos) são efectivamente insuficientes para este tipo de análise de leis de potência e para tirar conclusões definitivas sobre o comportamento dos terremotos para a esta região utilizando o número de vítimas por evento.

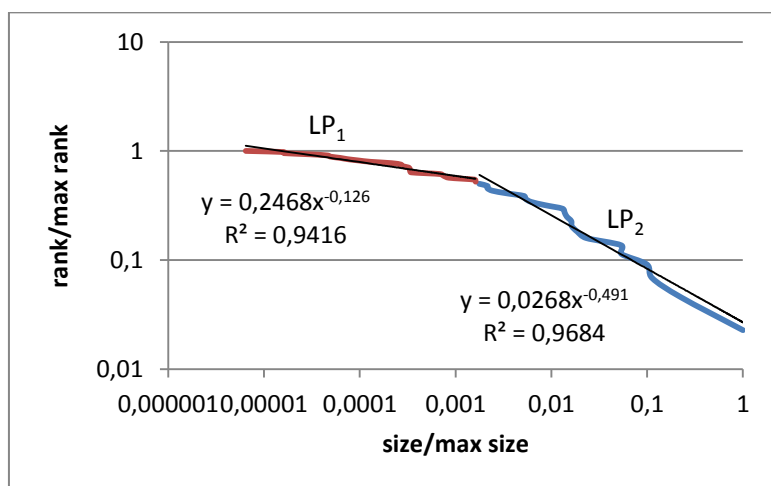
Na região da Europa foram registados 79 eventos de abalos com pessoas afectadas. Sendo uma área densamente povoada o número de vítimas tende a ser mais elevado. Países geologicamente mais vulneráveis como a Grécia e a Itália contribuem para o número elevado de pessoas mortas ou feridas (vítimas) assim como as áreas mais pobres da Rússia onde as infra-estruturas mais frágeis provocam mais vítimas.



**Figura 2** Vítimas dos terremotos na Europa.

Analisando o gráfico conseguimos identificar duas LPs com valores  $\tilde{\alpha}_1 = 0,057$ ,  $\hat{C}_1 = 0,5452$  ( $R^2 = 0,9432$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,462$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0304$  ( $R^2 = 0,9126$ ) respectivamente.

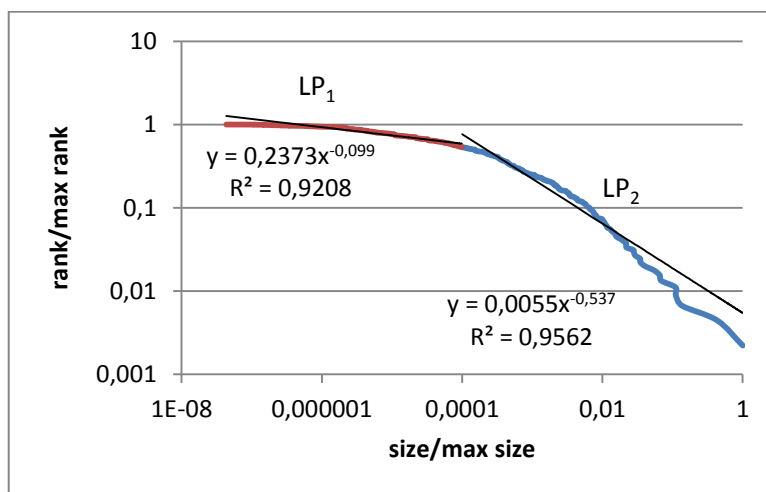
Na região de África foram registados 44 eventos de terremotos com pessoas mortas ou feridas. Sendo uma zona muito extensa com baixa densidade populacional em grande parte do território, e com actividade sismológica pouco relevante, os eventos e o número de pessoas afectadas não são muito significativos.



**Figura 3** Vítimas dos terremotos em África.

Pela análise gráfica identificamos duas LPs com valores  $\tilde{\alpha}_1 = 0,126$ ,  $\hat{C}_1 = 0,2468$  ( $R^2 = 0,9416$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,491$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0268$  ( $R^2 = 0,9684$ ), respectivamente.

Na região asiática foram registados o maior número de eventos das 4 regiões estudadas com 68 eventos ocorridos. O número de pessoas mortas ou feridas pela totalidade dos eventos é bastante elevada podendo ser justificada pelas áreas densamente povoadas e estruturalmente mal preparadas para este tipo de evento.



**Figura 4** Vítimas dos terremotos na Ásia.

Na análise gráfica conseguimos verificar duas LPs bem definidas com  $\tilde{\alpha}_1 = 0,099$ ,  $\hat{C}_1 = 0,2373$  ( $R^2 = 0,9208$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,537$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0055$  ( $R^2 = 0,9562$ ).

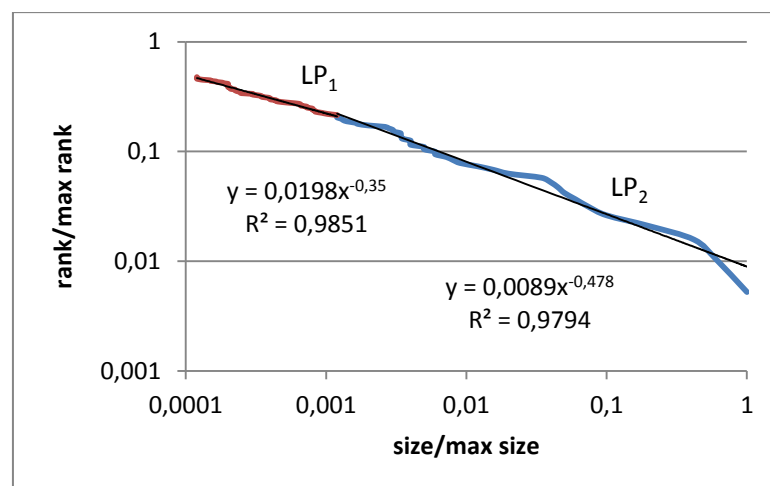
### 3.2. APLICAÇÃO DE LPs A TEMPESTADES E CHEIAS

As tempestades e cheias são geralmente dois fenómenos directamente relacionados. Uma tempestade é um estado climático marcado por ventos fortes, chuva intensa, trovoadas, intensa queda de neve ou uma mistura de todos estes sintomas. As grandes tempestades são formadas por diferenças de pressão atmosférica entre massas de ar quente e de ar frio e têm origem essencialmente nos grandes oceanos. Dependendo da sua localização e intensidade, estas tempestades tomam diferentes denominações tais como furacão, tufão, tempestade ciclónica, depressão tropical ou simplesmente ciclone. Associados aos ciclones estão geralmente associados períodos de chuvas intensas e subidas do nível do mar causadoras de cheias. Também as chuvas intensas originadas pelas monções, longos períodos de chuvas contínuas, quedas de neve e outros variados factores são elementos originadores de grande parte das cheias em todo o mundo. Uma vez que os grandes aglomerados populacionais se encontram junto às zonas costeiras ou perto das linhas de água, a

probabilidade de eventos de cheia provocarem elevados danos humanos é muito elevado, sendo estes os eventos que mais vítimas originaram em todas as 4 regiões analisadas.

Para análise deste fenómeno extremo utilizamos os dados disponíveis na página de internet <http://www.emdat.be/>. Foram separados os eventos referentes a tempestades e/ou cheias por quatro áreas distintas do Globo de modo a tentar obter algumas analogias entre ambas (América do Norte, Europa, Africa e Asia). Foram utilizados apenas os dados referentes a eventos com número de pessoas mortas ou feridas no período de 1980 até 2013.

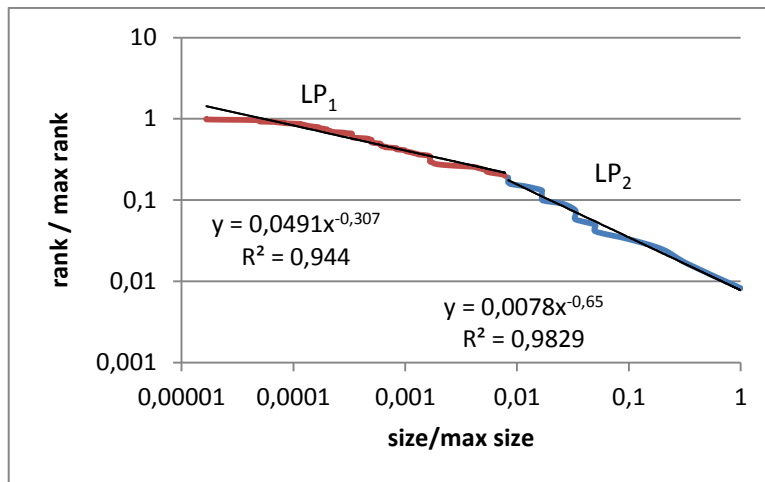
Na região da América do Norte foram registados 191 eventos relativos a cheias ou tempestades com pessoas afectadas. O facto de ser uma região com elevada densidade populacional costeira e sob forte influência atlântica justifica o elevado número de vítimas nos vários eventos registados para estes fenómenos críticos.



**Figura 5** Vítimas das tempestades e cheias na América do Norte.

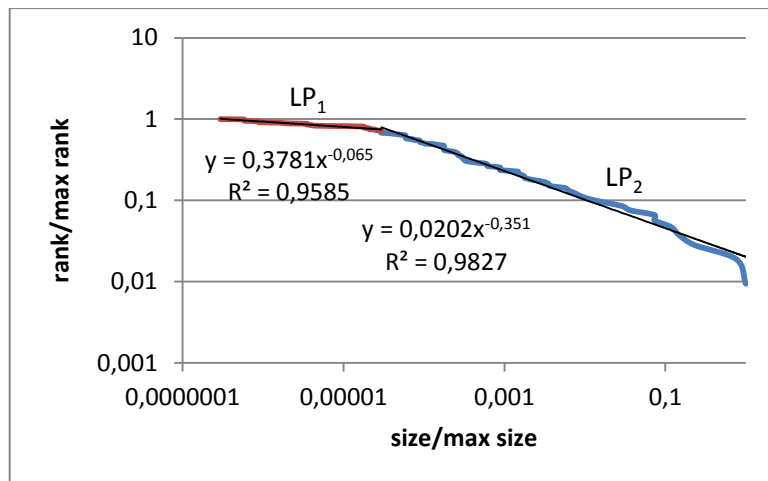
Pela análise gráfica, conseguimos distinguir duas leis de potência com os valores  $\tilde{\alpha}_1 = 0,35$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0198$  ( $R^2 = 0,9851$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,478$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0089$  ( $R^2 = 0,9794$ ).

Se limitarmos o estudo unicamente às cheias nos Estados Unidos da América e usando a percentagem de mil milhões de dólares de danos (B\$) causados pelas cheias em vez do número de vítimas, obtemos igualmente duas LPs com  $\tilde{\alpha}_1 = 0,307$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0491$  ( $R^2 = 0,944$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,65$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0078$  ( $R^2 = 0,9829$ ). Para este estudo usámos 121 eventos registados no período 1985-2013. Estes dados são disponibilizados na página da internet <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>.



**Figura 6 Danos (B\$) cheias nos Estados Unidos da América.**

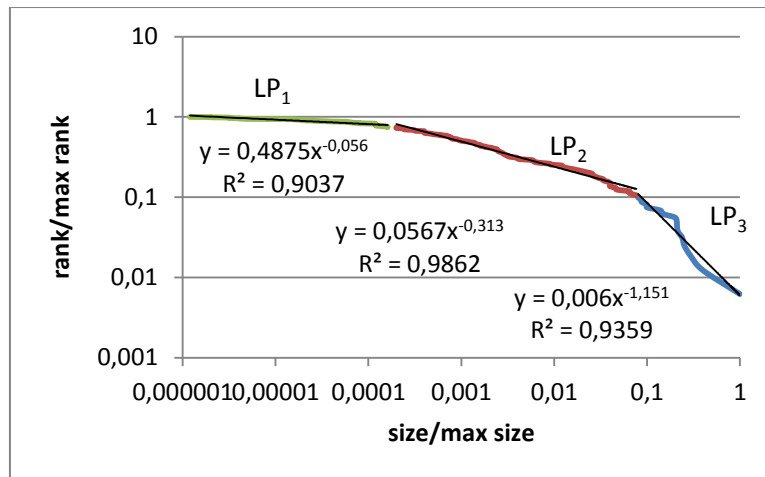
Na região europeia foram registados 106 eventos com pessoas afetadas. É uma zona com elevada densidade populacional com forte influência das grandes tempestades atlânticas. As cheias são essencialmente originadas por fortes períodos de chuvas e degelos.



**Figura 7 Vítimas das tempestades e cheias na Europa.**

Pela análise gráfica verificamos a existência de duas LPs. Os parâmetros das leis de potência observados são  $\tilde{\alpha}_1 = 0,065$ ,  $\hat{C}_1 = 0,3781$  ( $R^2 = 0,9585$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,351$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0202$  ( $R^2 = 0,9827$ ).

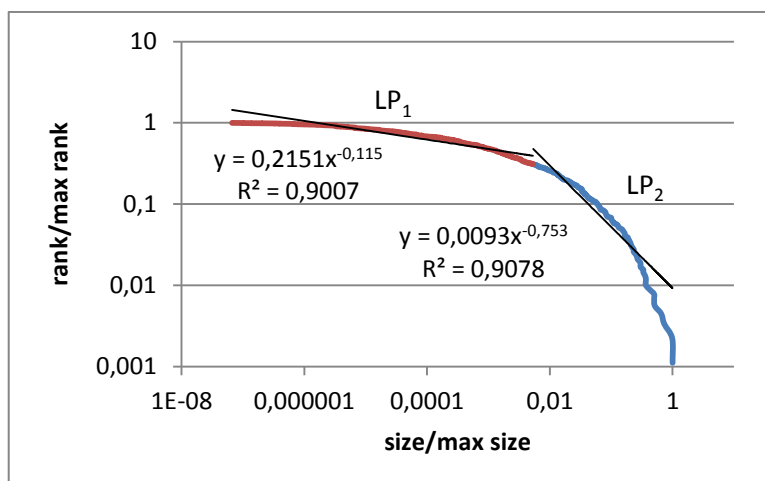
Na análise dos registos relativos a África foram considerados 161 eventos. A grande generalidade dos eventos foram verificados junto à orla costeira onde se encontram a maior parte dos aglomerados populacionais da continente e foram os ciclones os grandes originadores de vítimas.



**Figura 8** Vítimas das tempestades e cheias em África.

Pela análise gráfica, conseguimos distinguir uma tripla LP com os valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,056$ ,  $\hat{C}_1 = 0,4875$  ( $R^2 = 0,9037$ ),  $\tilde{\alpha}_2 = 0,313$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0567$  ( $R^2 = 0,9862$ ) e  $\tilde{\alpha}_3 = 1,151$ ,  $\hat{C}_3 = 0,006$  ( $R^2 = 0,9359$ ), respectivamente.

Na região da Ásia foram detectados 895 eventos de cheias com pessoas mortas ou feridas. Esta zona altamente povoada é a mais afetada das regiões estudadas, sendo fortemente fustigada todos os anos por enormes tufões e ciclones oriundos do oceano Pacífico. É o fenómeno atmosférico que mais eventos, com vítimas, provoca todos os anos neste continente.



**Figura 9** Vítimas das tempestades e cheias na Ásia.

Na análise gráfica distinguimos duas LPs como seguintes valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,115$ ,  $\hat{C}_1 = 0,2151$  ( $R^2 = 0,9007$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,753$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0093$  ( $R^2 = 0,9078$ ).

### 3.3. APLICAÇÃO DE LPs A SECA E TEMPERATURAS EXTREMAS

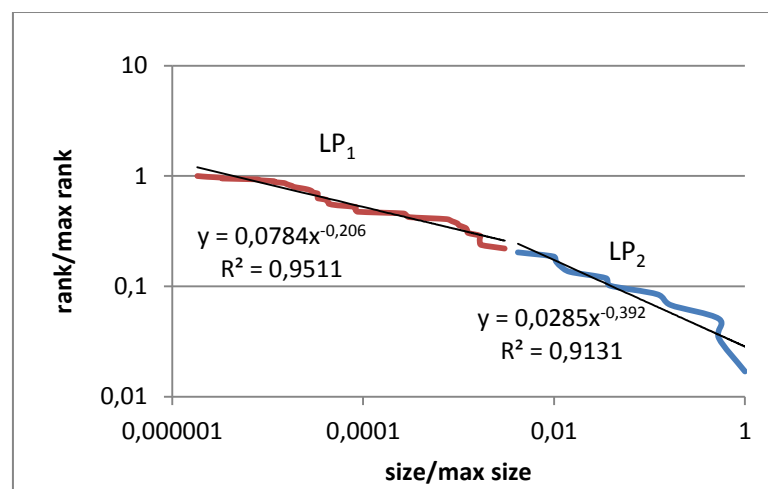
As secas e as temperaturas extremas (ondas de calor ou ondas de frio) são fenómenos cujos efeitos directos nas populações são a perda de vidas devidas às condições de temperaturas adversas ao corpo humano. Outros sintomas são a alteração da actividade mental, redução da capacidade muscular, problemas cardiovasculares, perturbação da coordenação sensoriomotora aumentando a frequência de erros, estes efeitos estão na origem de acidentes vários dos quais se traduzem em perdas humanas e ferimentos diversos. Estes eventos estão geralmente relacionados com outros eventos críticos tais como os fogos florestais e as cheias devidas aos eventuais degelos posteriores.

Para análise deste fenómeno extremo utilizamos os dados disponíveis na página de internet <http://www.emdat.be/> *Emergency Events Database (EM-DAT)* disponibilizada no *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*. Foram separados os eventos referentes a secas ou temperaturas extremas por quatro áreas distintas do Globo de modo a tentar obter algumas analogias entre ambas (América do Norte, Europa, África e Ásia). Foram utilizados apenas os dados referentes a eventos com número de pessoas mortas ou feridas no período de 1980 até 2013.

Na região norte americana apenas foram registados 39 eventos de seca ou temperaturas extremas mas apenas 3 eventos com pessoas afectadas. Sendo países desenvolvidos pode-

se justificar a ausência de vítimas dado que o evento não é imediato e actualmente existem previsões bastante assertivas capazes de antecipar esses eventos. Uma vez que não existem dados suficientes, não foi feita uma análise gráfica dos resultados.

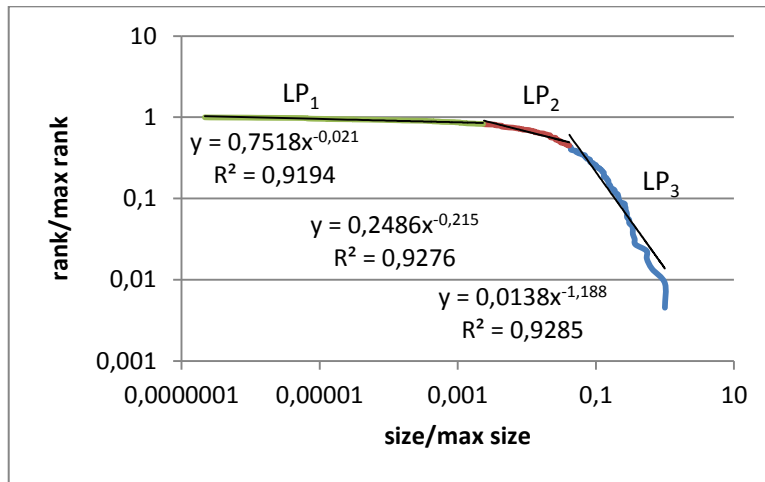
Na região europeia foram registados 59 eventos com pessoas afectadas. A Europa é uma das regiões que recentemente tem sofrido fortes ondas de calor anormais, as quais provocam fortes perturbações nas populações mal adaptadas. Também as ondas de frio do leste da Europa e Rússia contribuíram muito para os dados existentes.



**Figura 10** Vítimas da seca e temperaturas extremas na Europa.

Na análise gráfica verificamos a existência de duas LPs com valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,206$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0784$  ( $R^2 = 0,9511$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,392$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0285$  ( $R^2 = 0,9131$ ).

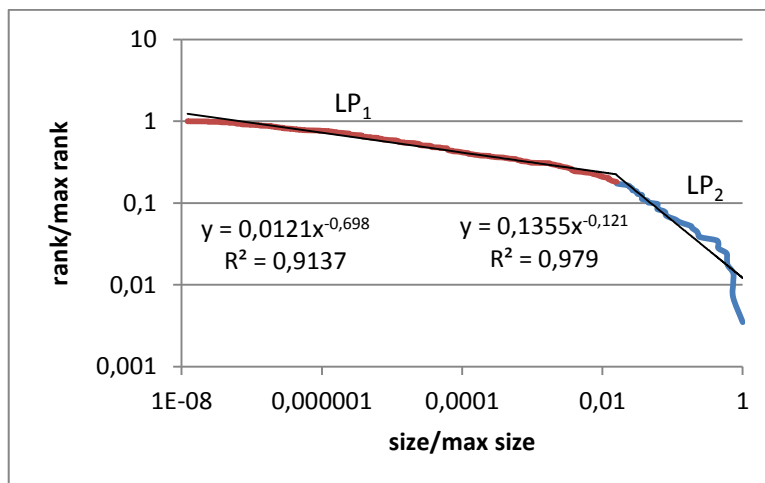
Na região africana foram registados 220 eventos com pessoas afectadas (mortas ou feridas). Estes eventos de seca e temperaturas extremas são os que mais afectam esta região. A seca é o evento crítico que mais vítimas mortais todos anos sendo África e a Ásia as regiões do planeta com mais pessoas afectadas.



**Figura 11** Vítimas da seca e temperaturas extremas em África.

Na análise gráfica conseguimos distinguir uma tripla LP com os valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,021$ ,  $\hat{C}_1 = 0,7518$  ( $R^2 = 0,9194$ ),  $\tilde{\alpha}_2 = 0,215$ ,  $\hat{C}_2 = 0,2486$  ( $R^2 = 0,9276$ ) e  $\tilde{\alpha}_3 = 1,188$ ,  $\hat{C}_3 = 0,0138$  ( $R^2 = 0,9285$ ).

Na região asiática foram registados 287 eventos com pessoas afectadas. A China é o local mais afectado em termos populacionais existindo também vários eventos na Índia. Sendo áreas densamente povoadas é facilmente justificável o enorme número de pessoas afectadas.



**Figura 12** Vítimas da seca e temperaturas extremas na Ásia.

Da análise gráfica verificamos a existência de duas características de LPs com os valores  $\tilde{\alpha}_1 = 0,698$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0121$  ( $R^2 = 0,9137$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,121$ ,  $\hat{C}_2 = 0,1355$  ( $R^2 = 0,979$ ).

### 3.4. APLICAÇÕES DE LPS A VULCÕES

As erupções vulcânicas são o fenómeno extremo mais previsível dos estudados neste trabalho. Embora as datas dos seus eventos não sejam ainda previstas com exactidão, os dados existentes sobre a actividade geológica dos vulcões permitem antecipar os seus eventos. A área afectada pelos eventos também é normalmente pré-determinada e deste modo as catástrofes humanas são evitadas.

Para análise deste fenómeno extremo utilizamos os dados disponíveis na página de internet <http://www.emdat.be/> *Emergency Events Database (EM-DAT)* do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*. Foram separados os eventos referentes a secas ou temperaturas extremas por quatro áreas distintas do globo, de modo a tentar obter algumas analogias entre ambas (América do Norte, Europa, Africa e Asia). Foram utilizados apenas os dados referentes a eventos com número de pessoas afectadas no período de 1980 até 2013.

Os dados obtidos apenas nos permitem fazer uma análise para o caso da região da Ásia onde foram registados 68 eventos com pessoas afectadas. Nas restantes regiões norte americana, europeia e africana os registos são muito pouco significativos.

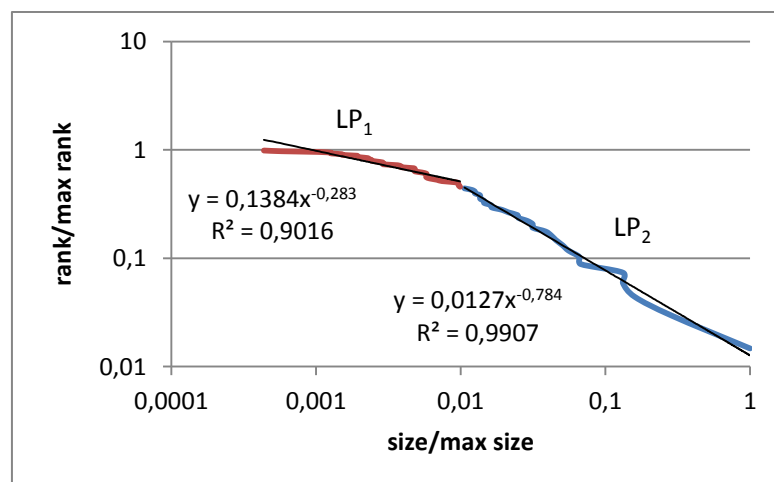


Figura 13 Vítimas dos vulcões na Ásia.

Pela análise gráfica obtivemos duas LPs com os valores  $\tilde{\alpha}_1 = 0,283$ ,  $\hat{C}_1 = 0,1384$  ( $R^2 = 0,9016$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,784$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0127$  ( $R^2 = 0,9907$ ).

### 3.5. APLICAÇÃO DE LPS A TORNADOS

Os tornados são os eventos críticos que mais danos provocam anualmente na região da América do Norte. Foi escolhida esta região pois trata-se da área com mais eventos e mais informação disponível.

Os dados foram recolhidos na página de internet <http://www.tornadohistoryproject.com> para o período 1950-2012. Esta base de dados é disponibilizada pelo *The Tornado History Project* e contém mais de 58000 registos de tornados. Foram registados 7641 eventos com vítimas. O número de vítimas ronda as 5691 mortes e 91583 feridas ocorridas nesse período.

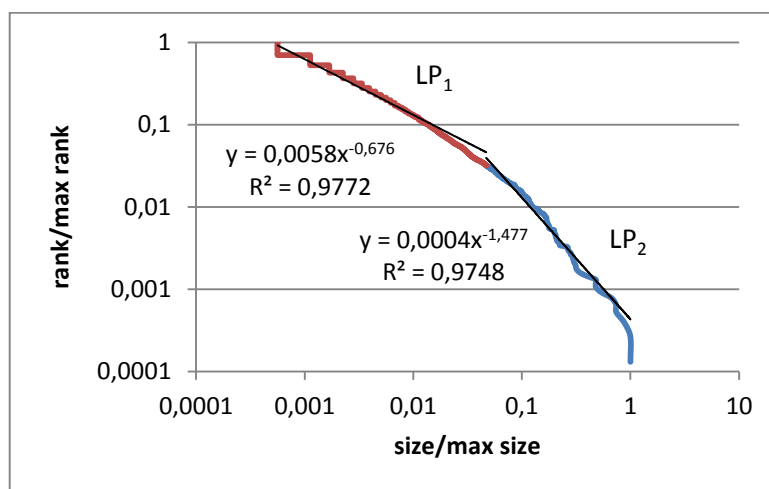


Figura 14 Vítimas dos tornados nos Estados Unidos da América.

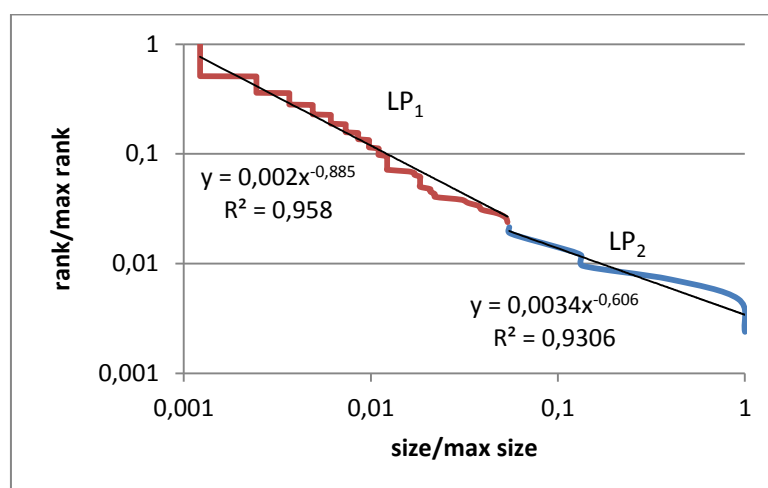
Pela análise gráfica observados duas leis de potência com os valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,676$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0058$  ( $R^2 = 0,9772$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 1,477$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0004$  ( $R^2 = 0,9748$ ).

### 3.6. APLICAÇÃO DE LPS A ACTOS TERRORISTAS

O acto terrorista é definido internacionalmente como o uso de violência física ou psicológica, através de ataques localizados a indivíduos, instalações ou serviços de um governo ou da população governada, de modo a incutir medo, terror ou danos físicos. As acções terroristas tipicamente incluem assassinatos, sequestros, explosões de engenhos mecânicos, matanças indiscriminadas, raptos, linchamentos, etc. A intenção mais comum do terrorismo é causar um estado de medo na população ou em sectores específicos da população, de modo a provocar no inimigo mudanças comportamentais. Por vezes são meramente actos de vingança pessoal.

Para análise deste fenómeno extremo utilizamos os dados disponíveis na página da internet <http://www.start.umd.edu/gtd> *The Global Terrorism Database*, é uma base de dados internacional, que reúne informação dos vários eventos classificados como actos de terrorismo por todo o mundo, desde 1970, e é disponibilizada pela *The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START)*. Esta base de dados reúne informação global com informação sobre data, local do evento, armas utilizadas, natureza do alvo, número de vítimas e grupo ou indivíduo responsável pelo acto. Para este estudo utilizamos o número de vítimas por evento, desde 1980 até 2011, e dividimos por 4 áreas distintas (América do Norte, Europa, África e Médio Oriente, Ásia).

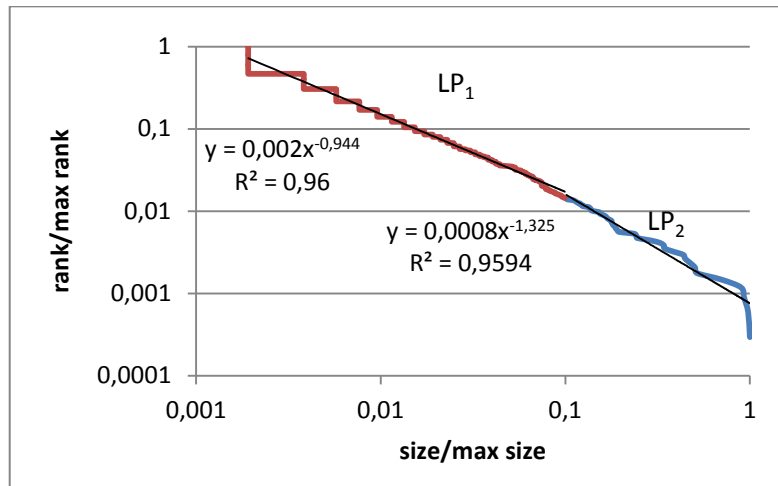
Na região da América do Norte, no período 1980-2011, foram registados 1399 eventos dos quais 419 originaram vítimas. Os dados do número de vítimas são constituídos por pessoas mortas ou feridas em cada evento. Os eventos tiveram como principais autores grupos extremistas internos com ataques a instalações privadas. No entanto, o incidente mais grave deveu-se a ataques de entidades externas internacionais.



**Figura 15** Vítimas dos actos terroristas na América do Norte.

Pela análise gráfica verificamos a existência de duas LPs, com os valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,885$ ,  $\hat{C}_1 = 0,002$  ( $R^2 = 0,958$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 0,606$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0034$  ( $R^2 = 0,9306$ ).

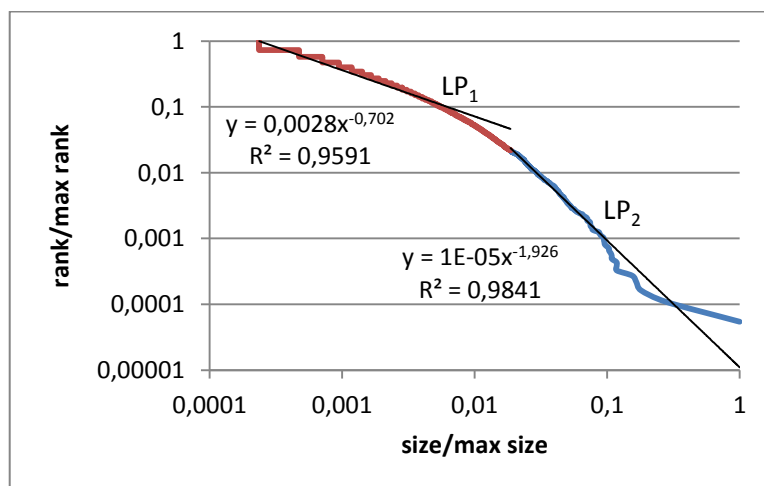
Na região da Europa, para o período 1980-2011, foram registados 11255 eventos dos quais 3386 originaram vítimas. Os dados do número de vítimas são constituídos por pessoas mortas ou feridas em cada evento. A grande generalidade dos eventos foi efectuada por grupos paramilitares em Espanha, na Irlanda do Norte e nos Balcãs a instalações militares ou governamentais e a elementos oficiais.



**Figura 16** Vítimas dos actos terroristas na Europa.

Pela análise gráfica verificamos a existência de duas LPs com valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,944$ ,  $\hat{C}_1 = 0,002$  ( $R^2 = 0,96$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 1,325$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0008$  ( $R^2 = 0,9594$ ).

Na região de África e Médio Oriente, para o período 1980-2011, foram registados 26901 eventos dos quais 18361 originaram vítimas. Os dados do número de vítimas são constituídos por pessoas mortas ou feridas em cada evento. Estas duas regiões são abaladas por elevada instabilidade política e por vários conflitos armados pelo que a maioria dos actos são direccionados a instalações militares e governamentais. O Iraque lidera os países com mais ataques e com mais vítimas.



**Figura 17** Vítimas dos actos terroristas em África e Médio Oriente.

Pela análise gráfica verificamos a existência de duas LPs com valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,702$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0028$  ( $R^2 = 0,9591$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 1,926$ ,  $\hat{C}_2 = 0,00001$  ( $R^2 = 0,9841$ ).

Na região da Ásia, para o período 1980-2011, foram registados 26969 eventos dos quais 17581 originaram vítimas. Os dados do número de vítimas são constituídos por pessoas mortas ou feridas em cada evento. Afeganistão, Paquistão e Índia são os países onde a quase totalidade dos eventos tiveram curso. Grande parte dos actos foi sobre equipamentos de transporte.

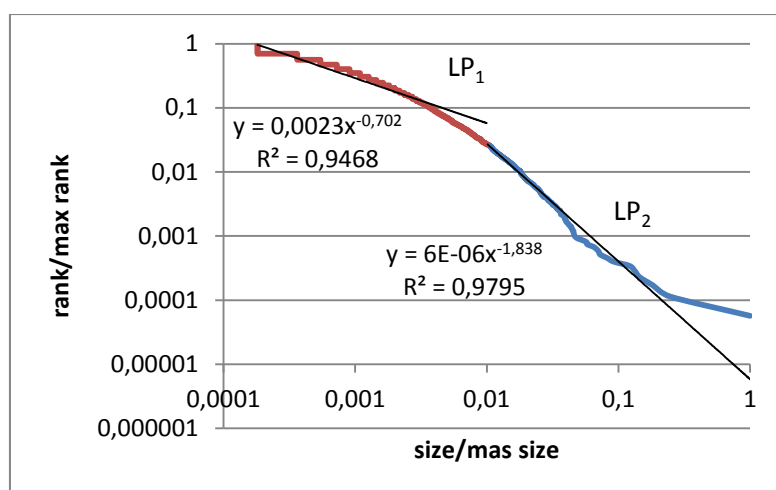


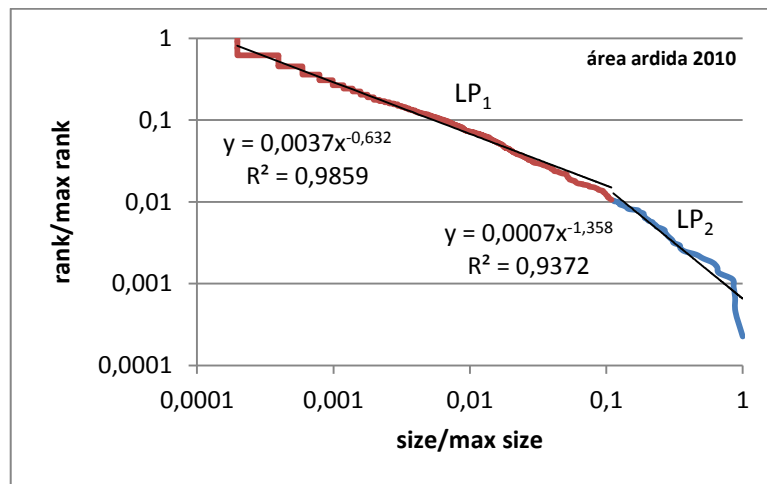
Figura 18 Vítimas dos actos terroristas na Ásia.

Pela análise gráfica verificamos a existência de duas LPs com os valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,702$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0023$  ( $R^2 = 0,9468$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 1,838$ ,  $\hat{C}_2 = 0,000006$  ( $R^2 = 0,9795$ ). Estas são características muito semelhantes à região analisada no ponto anterior.

### 3.7. APLICAÇÃO DE LPS A FOGOS FLORESTAIS

Os incêndios florestais são o evento crítico mais frequente nos países mediterrânicos, costa leste dos Estados Unidos da América e Austrália, onde todos os anos ocorrem centenas de vítimas. Para este estudo vamos usar os dados relativos à área ardida por evento em 2010, em Portugal. Foram estudados 4434 eventos relativos a fogos florestais.

Os dados são disponibilizados na página da internet no seguinte endereço <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dpci/incendios-florestais/estatisticas/estatistica-sgif> do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas ICNF. Este sítio da internet disponibiliza informação vária sobre incêndios florestais, mapas de incêndios florestais, informação geográfica, cartografia, mapas de perigosidade, cartografia de apoio à decisão e uma série de informação variada relaciona com os fogos florestais.



**Figura 19** Área ardida (ha) dos fogos florestais em Portugal.

Na análise gráfica verificamos a existência de duas LPs com valores de parâmetros  $\tilde{\alpha}_1 = 0,632$ ,  $\hat{C}_1 = 0,0037$  ( $R^2 = 0,9859$ ) e  $\tilde{\alpha}_2 = 1,358$ ,  $\hat{C}_2 = 0,0007$  ( $R^2 = 0,9372$ ).

### 3.8. PERSPECTIVA GLOBAL

**Tabela 2 LP duplas ( $\hat{C}_i$  vs  $\alpha_i, i=1,2$ )**

		$LP_1$		$LP_2$	
		$\hat{C}_1$	$\alpha_1$	$\hat{C}_2$	$\alpha_2$
Terramotos	América do Norte	0,6254	0,047	0,0696	0,453
	Europa	0,5452	0,057	0,0304	0,462
	África	0,2468	0,126	0,0268	0,491
	Ásia	0,2373	0,099	0,0055	0,537
Tempestades/Cheias	América do Norte	0,0198	0,35	0,0089	0,478
	Europa	0,3781	0,065	0,0202	0,351
	Ásia	0,2151	0,115	0,0093	0,753
Cheias USA -	América do Norte	0,0491	0,307	0,0078	0,65
Seca/Temperaturas Extremas	Europa	0,0784	0,206	0,0285	0,392
	Ásia	0,0121	0,698	0,1355	0,121
Vulcões	Ásia	0,1384	0,283	0,0127	0,784
Tornados	América do Norte	0,0058	0,676	0,0004	1,477
Actos Terroristas	América do Norte	0,002	0,885	0,0034	0,606
	Europa	0,002	0,944	0,0008	1,325
	África/Médio Oriente	0,0028	0,702	0,00001	1,926
	Ásia	0,0023	0,702	0,00006	1,858
	Fogos	Portugal	0,0037	0,632	0,0007

Na Tabela 2 conseguimos verificar a existência de leis de potência duplas para eventos distintos e em diferentes continentes.

Os valores de parâmetros ( $\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \hat{C}_1, \hat{C}_2$ ) situam-se nos intervalos:

$$0,021 \leq \tilde{\alpha}_1 \leq 0,944, 0,002 \leq \hat{C}_1 \leq 0,7518$$

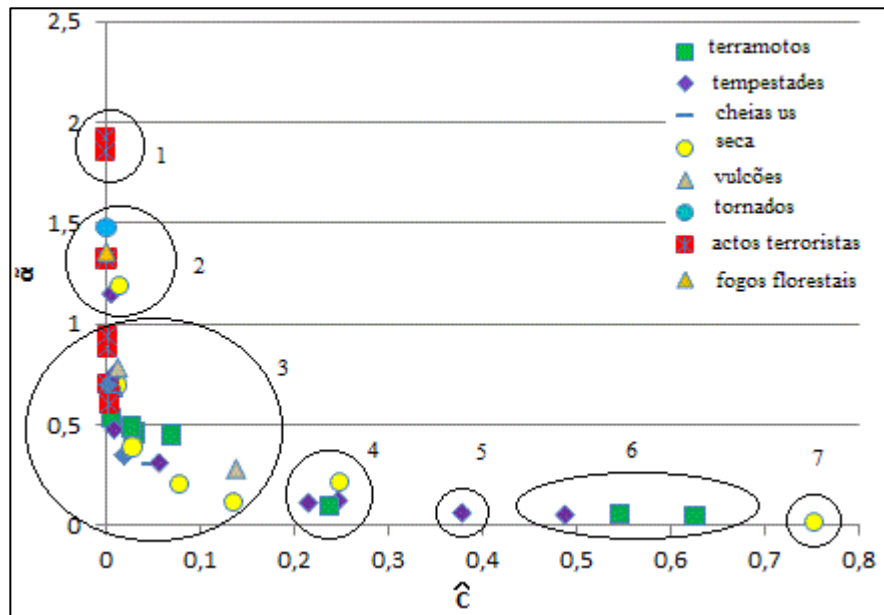
$$0,121 \leq \tilde{\alpha}_2 \leq 1,926, 0,00001 \leq \hat{C}_2 \leq 0,2486$$

Para o caso particular da região africana, conseguimos verificar a existência de três leis de potência para dois tipos de eventos estudados, as Tempestades e Cheias e a Seca e Temperaturas Extremas. Foi obtida a seguinte Tabela 3 de resultados para as leis de potência triplas identificadas.

**Tabela 3 LP triplas ( $\hat{C}_i$  vs  $\tilde{\alpha}_i, i=1,2,3$ )**

		$LP_1$		$LP_2$		$LP_3$	
		$\hat{C}_1$	$\tilde{\alpha}_1$	$\hat{C}_2$	$\tilde{\alpha}_2$	$\hat{C}_3$	$\tilde{\alpha}_3$
Tempestades/Cheias	África	0,4875	0,056	0,0567	0,313	0,006	1,151
Seca/Temperaturas Extremas	África	0,7518	0,021	0,2486	0,215	0,014	1,188

Representando graficamente todos os eventos das Tabela 2 e Tabela 3, chegamos à seguinte figura:



**Figura 20 Relação de eventos ( $\hat{C}$ ,  $\tilde{\alpha}$ ).**

Pela análise gráfica da Figura 20, conseguem-se identificar 7 grupos. O grupo 3 é o maior grupo e os coeficientes têm valores nos intervalos  $0 < \hat{C} < 0.2$  e  $0.2 < \tilde{\alpha} < 0.9$ . Os valores do coeficiente  $\tilde{\alpha}$  das  $LP_2$  são superiores aos valores do coeficiente  $\tilde{\alpha}$  das  $LP_1$ . Aos primeiros valores de  $\tilde{\alpha}$ , estão associados eventos como actos terroristas, secas, terremotos, tempestades, sugerindo uma relação de similaridade entre estes eventos.

Fazendo uma representação gráfica por tipo de evento e localização geográfica obtemos a Figura 21.

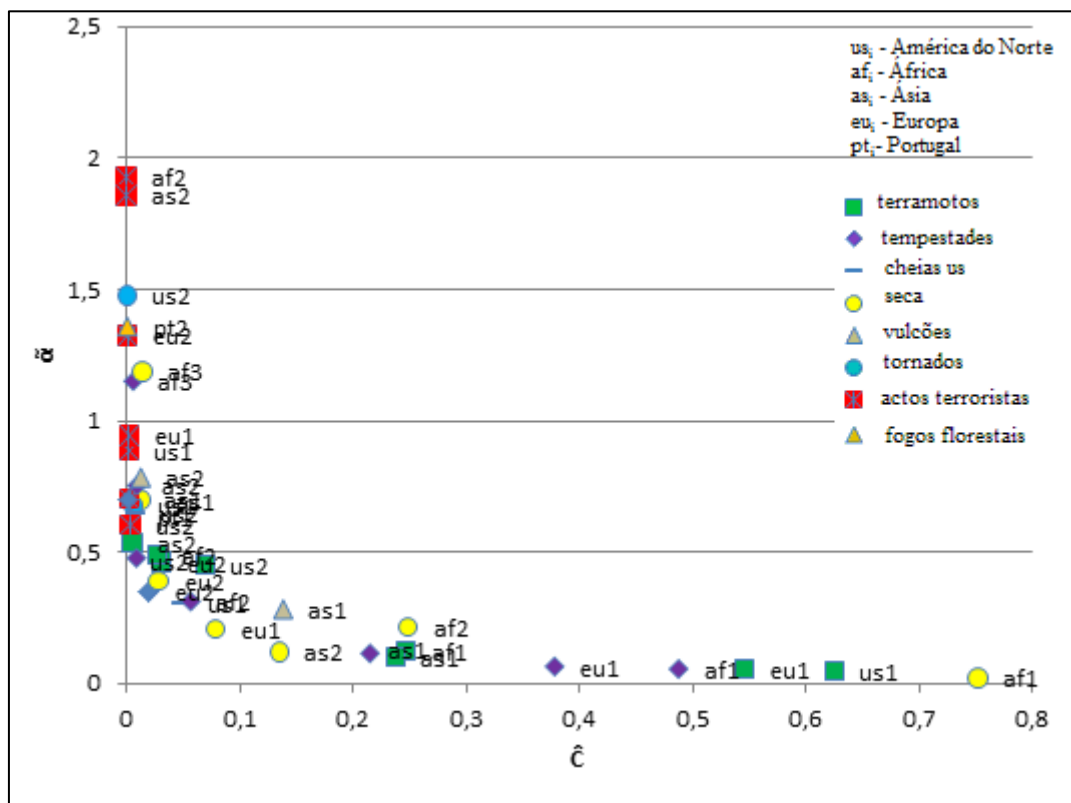


Figura 21 LPs por evento e área geográfica ( $\hat{C}$ ,  $\hat{\alpha}$ ).

Pode observar-se alguma similaridade das LPs em termos geográficos. No caso específico dos actos terroristas, as LPs associadas a África e Europa têm valores de parâmetros similares, enquanto os coeficientes das LPs da América do Norte são aproximados aos da Ásia.

Na generalidade dos eventos, tem-se  $\tilde{\alpha}_2 > \tilde{\alpha}_1$ , o mesmo se verificando para  $\hat{C}_2 > \hat{C}_1$ . No entanto os valores de  $\hat{C}_2$  são muito próximos entre si comparativamente aos valores de  $\hat{C}_1$  onde existe uma distinta separação entre os tipos de evento.

Separando as características por tipo de evento, verificamos que, traçando uma recta a unir os valores de  $\tilde{\alpha}_i$  e  $\log(\hat{C}_i)$ , para cada uma das regiões, estas seguem uma mesma orientação demonstrando uma relação existente entre os pares de parâmetros das duas distribuições (ver Figuras 22 a 26).

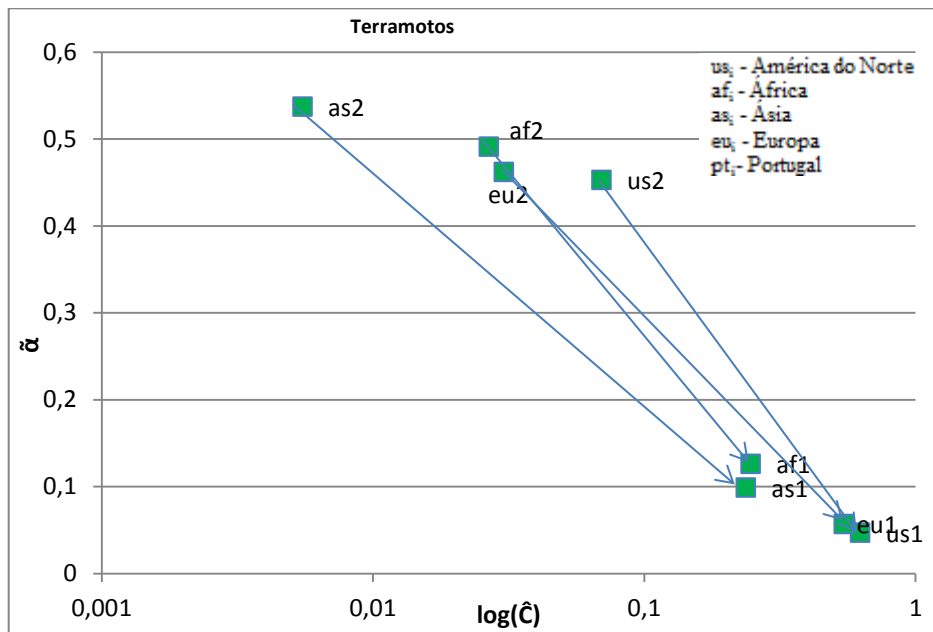


Figura 22 Terramotos ( $\log(\hat{C}), \alpha$ ).

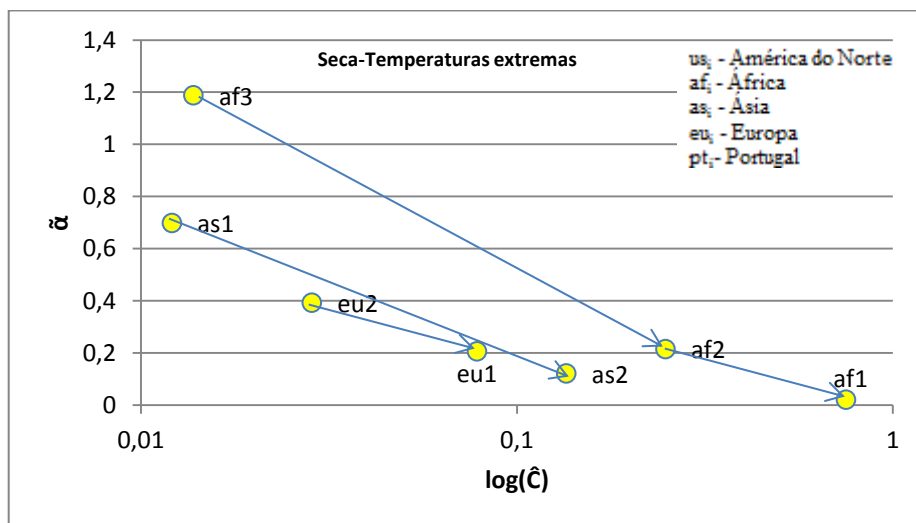


Figura 23 Seca e temperaturas extremas ( $\log(\hat{C}), \alpha$ ).

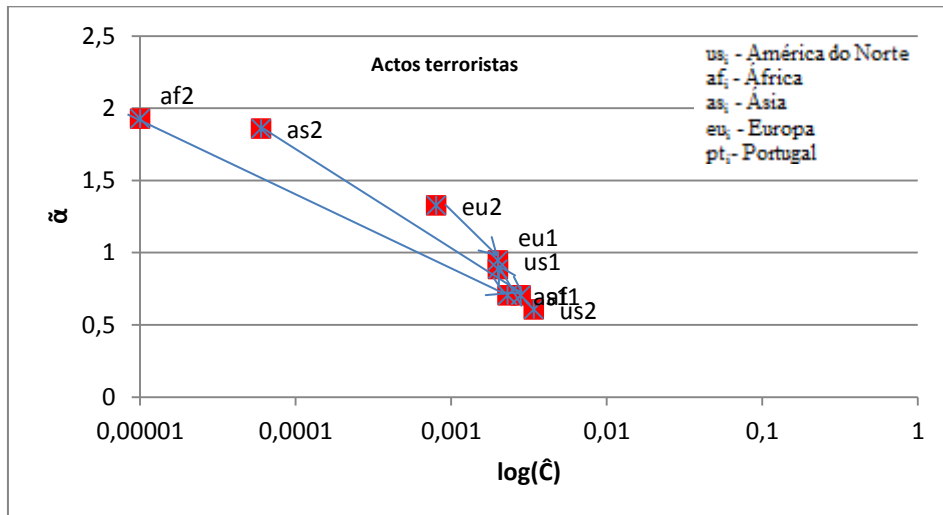


Figura 24 Actos terroristas ( $\log(\hat{C})$ ,  $\alpha$ ).

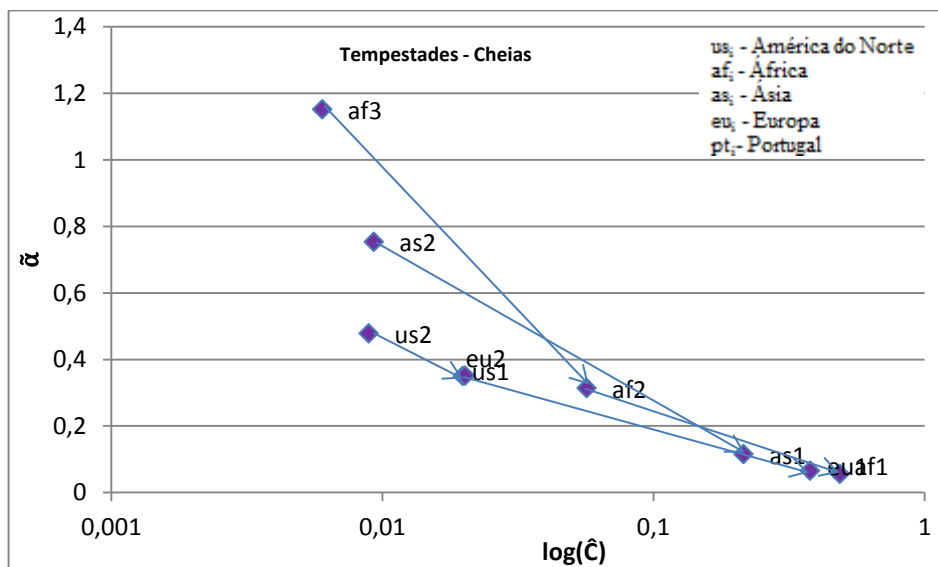


Figura 25 Tempestades e cheias ( $\log(\hat{C})$ ,  $\alpha$ ).

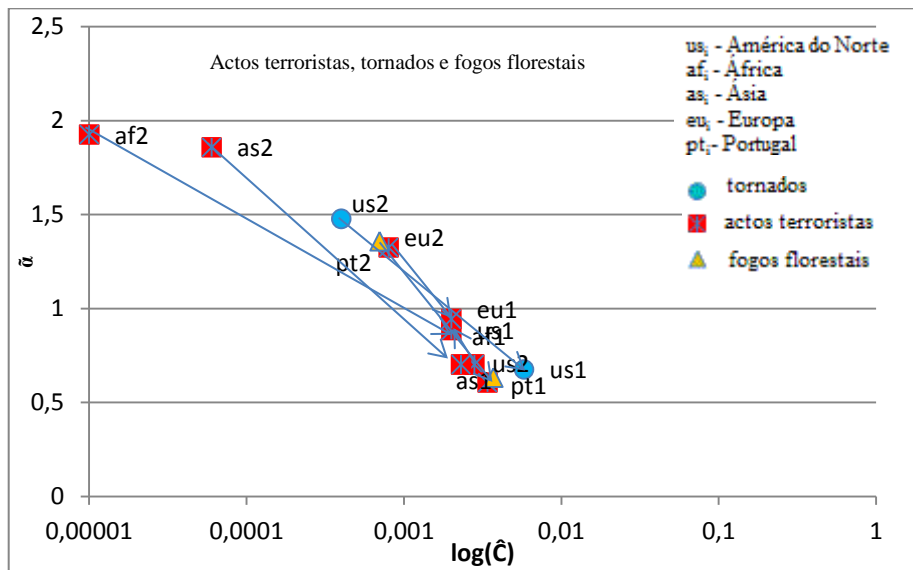


Figura 26 Actos terroristas, tornados e fogos florestais ( $\log(\hat{C})$ ,  $\tilde{\alpha}$ ).

Os actos terroristas, os tornados e os fogos florestais apresentam valores de  $\tilde{\alpha}_2$  mais elevados que os restantes eventos (Figura 21).

Este relacionamento geométrico entre estes 3 tipos de evento (Figura 26) poderá ser interessante de estudar dado que se distinguem dos restantes eventos críticos apresentando maior similaridade entre si.



## 4. CONCLUSÕES

As Leis de Potência (LPs) são muito utilizadas na modelação de vários fenómenos distintos, caracterizados pelo seu comportamento de longa cauda ou memória.

Neste trabalho estudou-se LPs e as suas aplicações a fenómenos extremos, como terremotos, secas, ataques terroristas, entre outros. Todos os eventos estudados são bem aproximados, em escala logarítmica, a rectas com declive negativo, confirmando a presença de distribuição de leis de potência (LP) na modelação dos mesmos. Observam-se LPs duplas em todos os eventos analisados e dois casos específicos de LPs triplas para uma região.

Os coeficientes das LPs situam-se nos intervalos  $0 < \hat{C} < 0.2$  e  $0.2 < \tilde{\alpha} < 0.9$ . Na generalidade dos eventos, tem-se  $\tilde{\alpha}_2 > \tilde{\alpha}_1$ , o mesmo se verificando para  $\hat{C}_2 > \hat{C}_1$ . No entanto os valores de  $\hat{C}_2$  são muito próximos entre si comparativamente aos valores de  $\hat{C}_1$  onde existe uma distinta separação entre os tipos de evento.

O comportamento observado na ocorrência destes eventos críticos deverá ser analisado enquadrando-o no planeamento estrutural, desenho de rede e estrutura operacional das redes de comunicações. Nomeadamente, as várias redes de telecomunicações móveis privadas, com a sua orientação original para o máximo lucro, têm de saber coexistir com a responsabilidade social de garantir serviços mínimos de apoio às populações em operações

de salvamento e na sua recuperação pós evento crítico. O estudo da distribuição da utilização de redes móveis será alvo de trabalho futuro.

## *Referências Documentais:*

- [1] Adamic L.A., Huberman B.A. “Zipfs law and the Internet”. *Glottometrics* (2002);3:143-50.
- [2] Adamic L.A., Huberman B.A. “The nature of markets in the World Wide Web”. *Q.J. Electron Common* (2000);1:512.
- [3] Alvarez-Martinez R., Martinez-Mekler G., Cochoa G. “Order-disorder transition in conflicting dynamics leading to rank-frequency generalized beta distributions”. *Physica A* 390(1) (2011) 120-130.
- [4] Auerbach F. “Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration”, *Petermanns Geogr. Mitteilungen*, (1913) 59:74-6.
- [5] Blong R.J., and D.A. Radford, “Deaths in Natural Hazards in the Solomon Islands,” published in *Disasters* (1993) 17: 1-11.
- [6] Carla M.A.Pinto, António M. Lopes and J.A. Tenreiro Machado, “Double power law behavior in everyday phenomena” *Chaotic Modelling and Simulation (CMSIM)* 4:(2012) 695-700.
- [7] Clauset A., Young M., Gleditsch K.S. “Frequency of Severe Terrorist Events”. *Journal of Conflict Resolution* 51 No 1 (2007) 58-87.
- [8] Cooper C, Frieze A. “On a general model of undirected Web graphs” In: *Proceedings of the 9<sup>th</sup> annual European symposium on algorithms* (2001) 500-11.
- [9] Estoup J.B., “*Gammes Stenographiques*”. Institut de France, (1916).
- [10] Ferrer R, Gancho, Solé R.V. “Two Regimes in the Frequency of Words and the Origins of Complex Lexicons: Zipf’s Law Revisited”. *Journal of Quantitative Linguistics* 8(3) (2001) 165-173.
- [11] Gutenberg B., Richter R.F. “Frequency of earthquakes in California”. *Bull Seismol Soc Am* (1944) 34:185-8.
- [12] Guzzetti, F. “Landslide Fatalities and the evacuation of landslide risk in Italy” *Engineering Geology* (2000) 58: 89-107.
- [13] Johnson N.F., Spagat M., Restrepo J.A., Becerra O., Bohorquez J.C., Suarez N., Restrepo E.M., Zarama R., ”Universal patterns underlying on going wars and terrorism”. <arXiv:physics/0605035v1> (2006).
- [14] Jonkman, S.N. “Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods,” *Natural Hazards* (2005) 34: 151-175.
- [15] Martínez-Mekler G., Alvarez Martinez R., Beltrán del Río M., Mansilla R., Miramontes P., Cocho G., “University of Rank-Ordering Distributions in the Arts and Sciences”. *PLoS ONE* 4(3) (2009) e4791.doi:101371/journal.pone.0004791.

- [16] Óscar Becerra, Neil Johnson, Patrick Meier, Jorge Restrepo and Michael Spagat, “Natural Disasters, Casualties and Power Laws: A Comparative Analysis with Armed Conflict,” Paper presented at 2006 Annual Meeting of the American Political Science Association (APSA), Philadelphia, PA. (2006)
- [17] Pareto V. “Cours d’Economic Politique”, Switzerland, (1896).
- [18] Richardson L.F. “Statistics of Deadly Quarrels”. Chicago: Quadrangle Books, (1960).
- [19] Sugino I.”Disaster Recovery and the R&D Policy in Japan’s Telecommunication Networks”, Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan, (2012).
- [20] Willis J.C., Yule G.U. Some statistics of evolution and geographical distribution in plants and animals, and their significance”. Nature (1922).
- [21] Zipf G. “Human Behavior and the Principle of Least Effort”. Cambridge, MA, (1949).