



Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Eventos extremos de precipitação na região do Centro de Lançamento de Alcântara.

Bolsista: Gabriel Miller de Oliveira

Orientador (a): Marcos Daisuke Oyama

Período a que se refere o relatório: agosto de 2013 a julho de 2014

Resumo

Eventos extremos de precipitação são normalmente associados a impactos socioeconômicos consideráveis. Neste trabalho, o objetivo geral consistiu em identificar e caracterizar estatisticamente os eventos extremos de precipitação para a região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), onde se realiza o lançamento de veículos espaciais projetados e construídos no Brasil. Dados diários de precipitação do *Climate Prediction Center / National Oceanic and Atmospheric Administration* para o período de jan/1979 a dez/2012 (34 anos) foram utilizados. Os dados baseiam-se em medidas de pluviômetros interpolados para uma grade regular de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. A precipitação diária para a região do CLA foi calculada como a média na área compreendida pelos quatro pontos de grade que circundam o CLA. O valor de precipitação de 42 mm dia⁻¹, correspondente ao 99º percentil da série, foi definido como o limiar para identificação de eventos extremos. Os resultados mostraram que há maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos durante o outono austral, que corresponde ao trimestre mais chuvoso na região do CLA. Na escala interanual, há maior (menor) ocorrência de extremos em anos com maior (menor) total anual. Considerou-se que a ocorrência de extremos segue a distribuição de Poisson, e as excedências (valor acima do limiar de precipitação), a distribuição exponencial. Conseqüentemente, a distribuição de extremos anuais segue a distribuição de Gumbel. Os parâmetros dessa distribuição foram estimados como 9,8 para o parâmetro de escala, e 48,1 para o de posição. Com base nessa distribuição, obteve-se 101 mm como valor da precipitação centenária (com tempo de retorno de 100 anos). Esse valor foi excedido apenas uma vez (141 mm dia⁻¹ no dia 08-jan-2011) em todo o período estudado.

1. Introdução

No Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), localizado no litoral do Maranhão, realiza-se o lançamento de foguetes projetados e construídos no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). O lançamento de foguetes requer informações de elementos meteorológicos visando à segurança do vôo (Marques e Fisch, 2005). Os aspectos climatológicos do local, especialmente relacionados ao vento, à precipitação e às descargas atmosféricas, condicionam épocas favoráveis para os lançamentos e as atividades espaciais no CLA.

No presente projeto, abordam-se os eventos extremos de precipitação na região do CLA. Embora precipitação de qualquer intensidade restrinja as atividades e operações em foguetes não-impermeáveis, os eventos extremos podem levar a restrições ainda maiores, além do potencial de impactos socioeconômicos consideráveis para a região. Assim, o trabalho possui o objetivo geral de identificar e caracterizar estatisticamente os eventos extremos de precipitação ocorridos na região do CLA.

A caracterização estatística de extremos pode ser obtida de dois tipos de série: a de máximos anuais (SMA), que considera apenas o maior valor de precipitação diária de cada ano, e a de duração parcial (SDP), que considera os eventos acima de um determinado limiar (Bengston et al., 2002). A caracterização estatística baseada em SMA (SDP) é adequada para séries longas (curtas). Neste trabalho, como a série utilizada é relativamente curta (34 anos; Cf. seção seguinte), obtém-se a distribuição de extremos anuais, e o tempo de retorno associado, a partir da SDP.

2. Material e métodos

Os dados utilizados são do *Climate Prediction Center (CPC) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* para o período de jan/1979 a dez/2012 (34 anos). Os dados baseiam-se em medidas de pluviômetros interpolados para uma grade regular de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. A precipitação diária para a região do CLA é calculada como a média na área compreendida pelos quatro pontos de grade que circundam o CLA (Pinheiro e Oyama, 2013).

Elabora-se um programa em Fortran 90 para obter o conjunto de percentis (decis, quartis, etc.). O 99º percentil é utilizado como limiar para a determinação dos eventos extremos de precipitação (Sen Roy e Balling Jr., 2004). Na série de 34 anos de precipitação diária, esse critério leva a 124 eventos. Então, o número médio de eventos extremos por mês e o total de eventos para cada ano são obtidos.

A distribuição de extremos anuais, necessária para o cálculo do tempo de retorno, é obtida da SDP com base nas seguintes considerações. Em primeiro lugar, verifica-se se o número de ocorrência de extremos em um dado intervalo de tempo segue a distribuição de Poisson:

$$f(\lambda, k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

Onde f é a densidade de probabilidade, o parâmetro λ indica a média de ocorrência no intervalo de tempo, e k indica o número de eventos. A verificação é realizada por meio do teste proposto por Cunnane (1979). Nesse teste, a hipótese de que as ocorrências seguem uma distribuição de Poisson é rejeitada, para um nível de significância α , se:

$$\gamma = \sum \left(\frac{x-\lambda}{\lambda} \right)^2 \geq X_{1-\alpha, \eta}^2$$

Onde x é a excedência (diferença entre o valor e o limiar), e X^2 indica o valor qui-quadrado com η graus de liberdade.

Em segundo lugar, verifica-se se as excedências (x) seguem a distribuição exponencial dada abaixo:

$$f(x) = \lambda \exp(-x\lambda)$$

Sendo as duas condições verificadas, a distribuição de extremos anuais segue a distribuição de Gumbel (Naghetini e Pinto, 2007):

$$F_y(y) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{y - \beta}{\alpha} \right) \right]$$

Onde F é a distribuição acumulada, y é a excedência, e α e β representam o parâmetro de escala e o de posição respectivamente. A partir da distribuição de Gumbel, obtém-se a precipitação centenária, ou seja, aquela cujo tempo de retorno é de 100 anos (i.e., $F = 0,99$).

3. Resultados

O limiar de precipitação diária que define evento extremo, correspondente ao 99º percentil da série de dados, é igual a 42 mm dia⁻¹. Trata-se de um valor próximo ao encontrado por Lino (2011) considerando somente o mês de abril (55 mm dia⁻¹). As frequências relativas acumuladas são mostradas na Figura 1 para indicar os valores associados a cada quartil, decil e aos 95º e 99º percentis.

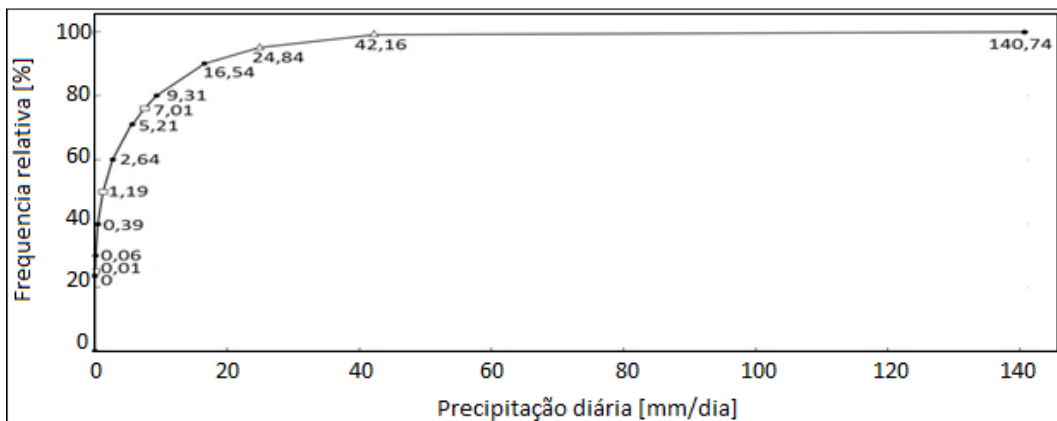


Figura 1 – Frequência relativa acumulada da precipitação diária de 1979 a 2012. Os valores dos decis (círculo), quartis (retângulos) e o 95º e 99º percentis (triângulos) são mostrados, assim como o maior valor de toda a série (140,74 mm dia⁻¹).

Na região do CLA, o trimestre de março, abril e maio é considerado como o trimestre chuvoso (outono austral) (Pereira et al., 2002). O ciclo anual de número de eventos extremos segue o de precipitação (Figura 2). Assim, a maior quantidade de eventos extremos de precipitação no CLA ocorre durante o trimestre chuvoso (outono austral), mas há também uma grande quantidade de eventos extremos nos meses de janeiro e fevereiro.

Na escala interanual, conforme mostrado na Figura 3 nota-se que, em geral, os anos com maior (menor) ocorrência de extremos correspondem aos de maior (menor) precipitação anual. Logo, considerando as Figuras 2 e 3 conjuntamente, pode-se concluir que há maior probabilidade de ocorrência de extremos no outono austral de anos com precipitação acima da média.

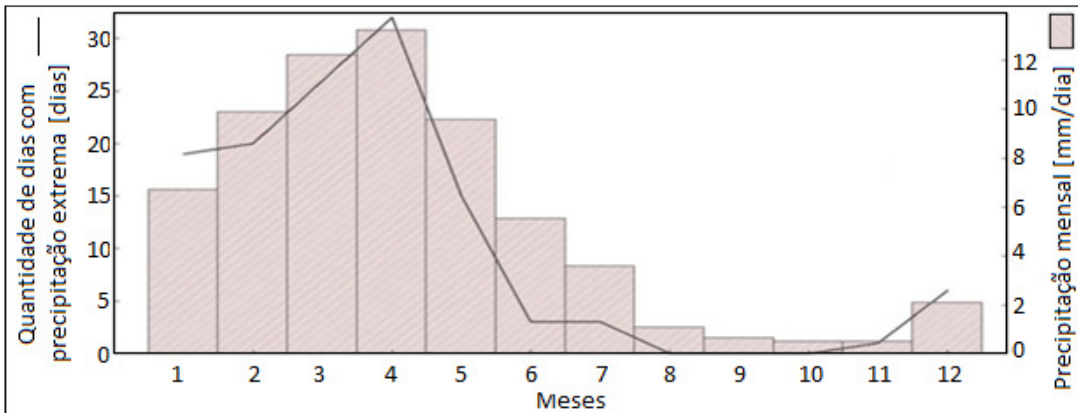


Figura 2– Ciclo anual médio de precipitação (barras) e do número de eventos extremos (linha).

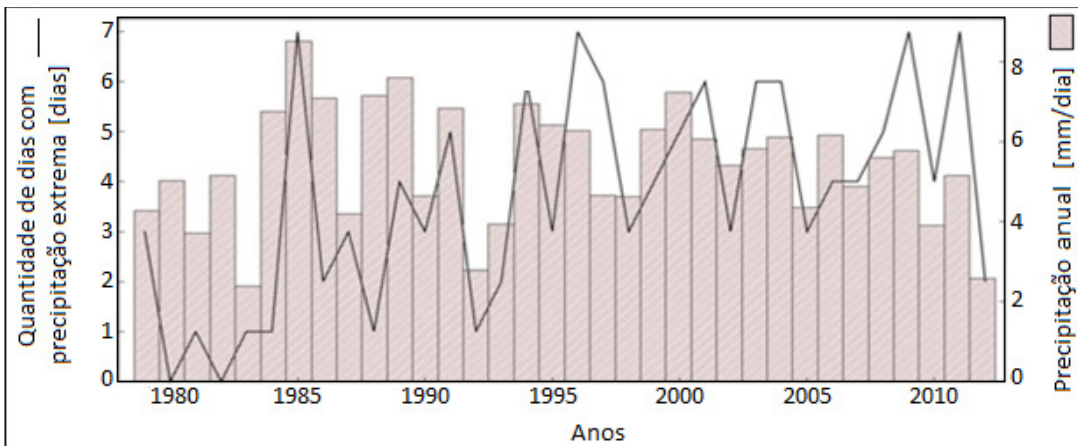


Figura 3 – Série de precipitação (barra) e número de eventos extremos (linha) por ano.

Aplicando o teste de Cunnane na série de dados do CLA, obtém-se $\gamma = 10,37$; como $50,89 \leq X^2 \leq 63,69$, conclui-se que a ocorrência de extremos segue uma distribuição poissoniana com $\lambda = 3,65$. A distribuição de excedências está mostrada na Figura 4. Claramente, as excedências seguem a distribuição exponencial, ou seja, há aderência entre o histograma e a distribuição teórica.

Como a distribuição do número de ocorrências é poissoniana, e das excedências, exponencial, a distribuição de máximos anuais segue a distribuição de Gumbel. Os parâmetros da distribuição são: parâmetro de escala igual a 9,8, e de posição igual a 48,1. A precipitação centenária (tempo de retorno de 100 anos), portanto, é igual a 101 mm dia^{-1} .

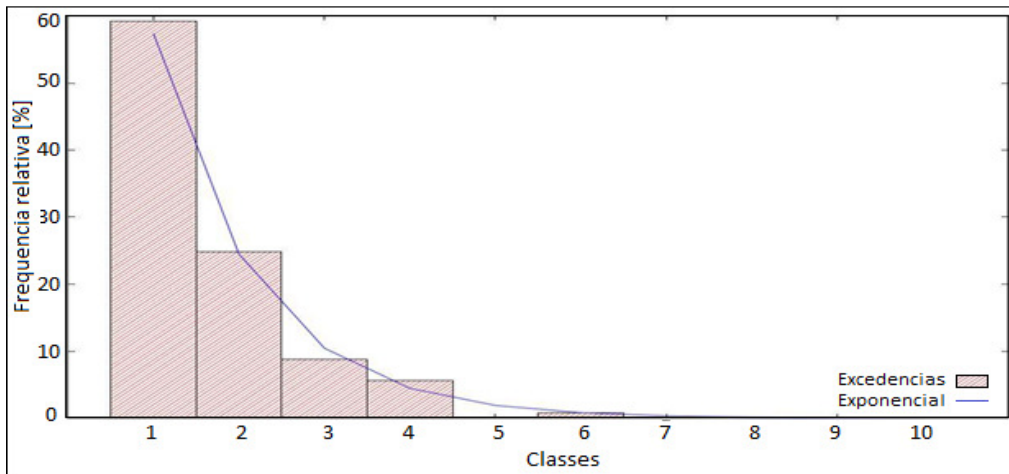


Figura 4 – Histograma de excedências (barra) e distribuição exponencial (linha).

No dia 08-jan-2011, ocorreu na região do CLA um evento extremo de precipitação. O valor de precipitação, de 141 mm dia^{-1} , excedeu o valor da precipitação centenária. No CLA, o valor medido foi de $128,4 \text{ mm dia}^{-1}$, ainda bem acima do valor da precipitação centenária. Este evento foi o mais extremo em termos de magnitude e foi o único que ultrapassou o valor da precipitação centenária nos 34 anos de dados, sendo objeto de cobertura jornalística¹.

No CLA, houve precipitação de 20 UTC (17 HL) do dia 07 de janeiro de 2011 a 09 UTC (06 HL) do dia 08 de janeiro de 2011. A sequência de imagens de satélite (não mostrado) sugere que o evento esteve associado a uma ampla região de convecção profunda atuante na costa norte do Brasil. Apesar das áreas mais intensas de convecção se orientarem de forma aproximadamente linear e paralelas à costa, não está clara a formação de linha de instabilidade. Os fatores dinâmicos e físicos associados ao evento serão investigados em futuros trabalhos.

¹ <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/01/veja-ranking-das-cidades-onde-mais-choveu-em-um-dia-neste-verao.html>



4. Conclusões

- O limiar de precipitação diária que define evento extremo, correspondente ao 99º percentil da série de dados, é igual a 42 mm dia⁻¹.
- Há maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos de precipitação no outono austral de anos com precipitação acima da média.
- A precipitação centenária (tempo de retorno de 100 anos) corresponde ao valor de 101 mm dia⁻¹.
- No período estudado (1979 a 2012), a precipitação centenária foi superada uma única vez, no dia 08-jan-2011, quando houve precipitação de 141 mm dia⁻¹ na região do CLA.

Referências

- CUNNANE, C. A note on the Poisson assumption in partial duration series models. **Water Resources Research**, v. 15, n. 2, p. 489-494, 1979.
- LINO, D. O. Eventos extremos de precipitação na região do Centro de Lançamento de Alcântara durante a estação chuvosa. **Relatório final de bolsa de iniciação científica**. São José dos Campos, 2011.
- MARQUES, R. F. C.; FISCH, G. F. As atividades de meteorologia aeroespacial no Centro Técnico Aeroespacial (CTA). **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 21-25, 2005.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Variáveis aleatórias contínuas: distribuições e aplicações. **Hidrologia Estatística**, p. 129-198, 2007.
- PEREIRA, E. I.; MIRANDA, I.; FISCH, G. F.; MACHADO, L. A. T.; ALVES, M. A. **S. Atlas climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara**. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, 2002.
- SEN ROY, S.; BALLING JR, R. C. Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in India. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 457-466, 2004.