

Níveis de retorno de rajadas de vento via metodologias POT e blocos máximos no município de Piracicaba-SP.

Gilberto Rodrigues Liska^{1 6}

Guido Gustavo Humada Gonzalez^{2 6}

Marcelo Ângelo Cirillo^{3 6}

Luiz Alberto Beijo^{4 6}

Fortunato Silva de Menezes^{5 6}

Resumo: Rajadas de vento com velocidades superiores a 17,2 m/s representam perigo para a sociedade e construções. Diante disso, prever a velocidade de ventos por métodos confiáveis é de grande importância no planejamento urbano. Uma estratégia para a análise de eventos extremos é a Teoria de Valores Extremos, que assume a distribuição Gumbel como adequada para eventos que envolvam máximos. Para a aplicação desta distribuição, consideram-se duas metodologias: “Peaks Over Threshold” (POT) e Blocos Máximos. Sendo assim, objetivou-se estimar os níveis máximos de velocidade de ventos do município de Piracicaba - SP, utilizando a distribuição Gumbel e comparar as metodologia dos Blocos Máximos e a POT. Verificou-se que as estimativas do parâmetro escala α e do parâmetro posição β da distribuição Gumbel foram mais precisas quando obtidas via metodologia POT do que as obtidas via Blocos Máximos, uma vez que apresentou menores valores do erro padrão relativo. Considerando-se um tempo médio de dois anos, espera-se que ocorra pelo menos uma rajada de vento que supere 19,44 m/s no mês de outubro via metodologia POT. Conclui-se, portanto, que a metodologia POT constitui-se num método mais preciso do que a metodologia dos Blocos Máximos na estimação de níveis máximos de velocidade de vento em Piracicaba-SP.

Palavras-chave: *Teoria de Valores Extremos, Velocidade Máxima de Vento, Distribuição Gumbel.*

1 Introdução

O vento tem importância muito grande na atividade humana. Na agricultura, por exemplo, está diretamente associado ao desenvolvimento das plantas, ao facilitar as trocas de calor, de dióxido de

¹DEX - Universidade Federal de Lavras. Email: gilbertoliska@hotmail.com

²DEX - Universidade Federal de Lavras. Email: gustavohumad@hotmail.com

³DEX - Universidade Federal de Lavras. Email: macufla@dex.ufla.br

⁴ICEX - Universidade Federal de Alfenas. Email: luizbeijo@yahoo.com.br

⁵DEX - Universidade Federal de Lavras. Email: fmenezes@dex.ufla.br

⁶Agradecimento à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

carbono e de vapor d'água entre a atmosfera e a vegetação, além de ajudar no processo de polinização das flores e poder ser utilizado como fonte de energia (energia eólica). Entretanto, quando se registram ventos de velocidades elevadas, normalmente de curta duração, os seus efeitos passam, geralmente, a ser danosos, provocando o estímulo excessivo à evapotranspiração, o acamamento das plantas, a queda de flores e frutos, a quebra de galhos e arrancamento de plantas, causando a erosão dos solos, a deformação da paisagem e danos em construções e instalações.

A escala de Beaufort ([8]) classifica a intensidade dos ventos, tendo em conta a sua velocidade e os efeitos resultantes das ventanias no mar e em terra em uma escala que varia de 1 a 11. Nessa escala, ventos com velocidade de até 10,7 m/s (escala 5) não oferecem perigo, velocidades de vento de até 17,1 m/s (escala 7) representam um nível de atenção e ventos com velocidade classificados em escalas acima de 8 (velocidade acima de 17,2 m/s) tem efeitos danosos.

A Teoria de Valores Extremos (TVE) desempenha um papel fundamental em estudos relacionados a medições físicas, em que é aplicada com a finalidade de descrever o comportamento de eventos raros. Constituída em duas metodologias: um onde a série de dados é dividida em vários blocos, de onde são extraídos os valores máximos ou mínimos de cada bloco e posteriormente aplica-se uma distribuição de Valores Extremos, que pode ser do tipo Weibull, Gumbel ou Fréchet; e o outro enfoque onde são considerados todos os valores acima de um certo patamar, conhecida como metodologia POT (“Peaks Over Threshold”).

O enfoque deste trabalho será o estudo via metodologia POT e Blocos Máximos. Compararemos a utilização dessas metodologias na análise de dados de velocidade de vento e fornecer ao níveis de retorno em diversos períodos de retorno, e, como se tratam de valores máximos, utilizaremos a distribuição Gumbel, que tem apresentado bons resultados em situações como a do tipo.

2 Material e Métodos

Serão analisadas as séries históricas dos valores máximos de velocidade do vento (em m/s), registradas na Estação Agrometeorológica da ESALQ, USP, em Piracicaba, SP. A série diária compreende o período de janeiro de 1980 a dezembro de 2010 e serão analisados os meses de setembro a fevereiro, que são os meses com maior ocorrência de rajadas fortes de ventos [10].

Para a metodologia dos Blocos Máximos, as séries de dados serão arrançadas retirando-se os máximos mensais de cada ano. Obtendo-se então um vetor de máximos mensais. Para a metodologia POT, a partir da série original será estimado um patamar e a essa série original será obtida uma sub-série mensal, com os máximos acima do patamar estimado. Para seleção do patamar será utilizado os métodos propostos por [4], que consiste na escolha de um limiar por meio da análise do gráfico das médias dos excessos das velocidades de ventos observadas e [3], que consiste na escolha de um limiar por meio de uma

parametrização dos parâmetros forma e escala da distribuição Generalizada de Pareto em relação à vários limiares.

A distribuição generalizada de valores extremos (GVE) foi desenvolvida por [5] e apresenta como casos particulares os três tipos de distribuições de valores extremos, a saber, as distribuições Weibull, Gumbel e Fréchet. A distribuição Gumbel é obtida tomando-se $\lim_{\xi \rightarrow 0} f(x)$, ou seja, tomando-se o limite da função densidade de probabilidade da distribuição GVE quando seu parâmetro de forma tende a zero. Sua função densidade de probabilidade é dada por

$$f(x; \beta, \alpha) = \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ - \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) - \exp \left[- \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

em que $-\infty < x < \infty$, β é o parâmetro de posição com $-\infty < \beta < \infty$ e α é o parâmetro de escala com $\alpha > 0$. Assumindo independência entre as observações, as estimativas dos parâmetros β e α são obtidas pelo método da Máxima Verossimilhança ([6]).

O ajuste da distribuição aos dados será avaliado pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 5% de significância, de acordo com [2]. Será utilizado o teste de Ljung-Box [7] para avaliar a independência da série de ventos máximos, também ao nível de 5% de significância.

Seja X a variável aleatória associada a velocidade do vento máximo do período e $0 < x < \infty$. O período de retorno estimado (expresso em anos) para o maior valor registrado em cada um dos meses do ano é dado por $\tau = 1/(1 - F(x))$, em que $F(x) = P[X \leq x]$. O nível de retorno associado ao período de retorno π é obtido a partir da solução da equação $\int_{-\infty}^{x_p} f(x)dx = 1 - p$ para $p = 1/\tau$, ou seja, $F(x_p) = 1 - p$, que invertendo resulta em

$$\hat{x}_p = F^{-1} \left(1 - p; \hat{\beta}, \hat{\alpha} \right) = \hat{\beta} - \hat{\alpha} \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - p} \right) \right] \quad (2)$$

sendo \hat{x}_p o quantil da distribuição Gumbel, dada a probabilidade p . Um intervalo de confiança para x_p com $(1 - \alpha)$ 100% de confiança é dado por $IC(x_p) = \hat{x}_p \pm z_{\alpha/2} \sqrt{Var(\hat{x}_p)}$, em que α é o nível de significância, $z_{\alpha/2}$ o valor tal que $P[|Z| < z_{\alpha/2}] = 1 - \alpha$, Z uma variável com distribuição normal padrão e $Var(\hat{x}_p)$ a variância associada a nível de retorno \hat{x}_p ([1]), que é dada por

$$Var(\hat{x}_p) \approx Var(\hat{\beta}) + 2 \frac{\hat{x}_p - \hat{\beta}}{\hat{\alpha}} Cov(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) + \left(\frac{\hat{x}_p - \hat{\beta}}{\hat{\alpha}} \right)^2 Var(\hat{\alpha}) \quad (3)$$

A verificação da precisão das estimativas dos parâmetros da distribuição Gumbel será feita utilizando o Erro Padrão Relativo (EPR). Seja $\hat{\theta}$ a estimativa de um parâmetro e $DP(\hat{\theta})$ o seu respectivo desvio padrão. O Erro Padrão Relativo de $\hat{\theta}$ é dado por $EPR(\hat{\theta}) = \left(DP(\hat{\theta}) / \sqrt{n} \right) \left[\left(\hat{\theta} \right)^{-1} \right] 100\%$.

Para a estimação do patamar, realização dos testes, estimação dos parâmetros e cálculo das probabilidades, serão utilizados os pacotes estatísticos POT e EVD do Sistema Computacional Estatístico R,

conforme [9].

3 Resultados e Discussão

O teste de Ljung-Box mostrou que as séries mensais em ambas metodologias Blocos Máximos e POT são independentes, uma vez que os *p-valores* são maiores que 5%. Observa-se que as séries constituídas pela metodologia POT são maiores do que as obtidas via Blocos Máximos em todos os meses estudados (tabelas 1 e 2). Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov mostraram que Distribuição Gumbel se ajustou aos dados em ambas metodologias, uma vez que a hipótese nula de adequabilidade de ajuste foi aceita ao nível de 5% de significância.

Tabela 1: Estimativas dos parâmetros da distribuição Gumbel, erro padrão relativo das estimativas dos parâmetros e resultados dos testes de Ljung-Box (LB)(*p-valor*) e Kolmogorov Smirnov (KS)(*p-valor*) para a metodologia dos Blocos Máximos.

Meses	n	LB	KS	$\hat{\beta}$	$Var(\hat{\beta})$	$EPR(\hat{\beta})$ (%)	$\hat{\alpha}$	$Var(\hat{\alpha})$	$EPR(\hat{\alpha})$ (%)
set	36	0,281	0,982	17,526	0,454	0,641	3,836	0,253	2,186
out	35	0,061	0,835	18,082	0,484	0,650	3,902	0,260	2,208
nov	36	0,809	0,78	16,435	0,247	0,504	2,834	0,129	2,110
dez	36	0,405	0,984	17,448	0,359	0,572	3,411	0,192	2,143
jan	34	0,127	0,861	16,797	0,310	0,569	3,081	0,169	2,290
fev	37	0,844	0,873	16,644	0,337	0,573	3,343	0,179	2,079

Nas tabelas 1 e 2 observa-se que as estimativas dos parâmetros $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$ apresentaram menores valores para o erro padrão relativo em todos os casos estudados. Como os erros padrões relativos das estimativas dos parâmetros $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$ obtidas pela metodologia dos Blocos Máximos são maiores do que os obtidos pela metodologia POT, isso implica que este último apresentou menor variabilidade, gerando por sua vez estimativas mais precisas.

Tabela 2: Estimativas dos parâmetros da distribuição Gumbel, erro padrão relativo das estimativas dos parâmetros e resultados dos testes de Ljung-Box (LB)(*p-valor*) e Kolmogorov Smirnov (KS)(*p-valor*) para a metodologia POT.

Meses	Limiar	n	Ljung-Box	KS	$\hat{\beta}$	$Var(\hat{\beta})$	$EPR(\hat{\beta})$ (%)	$\hat{\alpha}$	$Var(\hat{\alpha})$	$EPR(\hat{\alpha})$ (%)
set	14,5	83	0,685	0,066	16,545	0,064	0,168	2,212	0,043	1,032
out	14	119	0,963	0,203	16,430	0,046	0,119	2,233	0,029	0,700
nov	15	82	0,239	0,339	16,728	0,030	0,113	1,491	0,018	0,999
dez	14	98	0,383	0,204	16,197	0,055	0,146	2,217	0,036	0,864
jan	17	34	0,696	0,114	18,806	0,096	0,283	1,739	0,068	2,578
fev	15	70	0,488	0,277	16,878	0,041	0,144	1,628	0,027	1,212

A partir do ajuste da distribuição de Gumbel, os níveis de retorno de velocidade de vento estimados são valores superiores a 17,2 m/s, cujos ventos são classificadas como ventos muito fortes segundo a escala de medida de intensidade dos ventos proposta por Beaufort ([8])(tabela 3). Nessas condições existe grande possibilidade de ocorrerem efeitos danosos e os barcos devem permanecer nos portos.

Considerando-se o mês de outubro, em um tempo médio de 2 anos espera-se que ocorra pelo menos

Tabela 3: Níveis de retorno (m/s) estimados e limites inferior (LI) e superior (LS) de seus respectivos intervalos de 95 % de confiança, para os períodos de retorno 2 e 100 anos, para cada um dos meses estudados, em Piracicaba, SP

Meses	Blocos Máximos						POT					
	2 anos			100 anos			2 anos			100 anos		
	LI	\hat{x}_p	LS	LI	\hat{x}_p	LS	LI	\hat{x}_p	LS	LI	\hat{x}_p	LS
set	17,46	18,93	20,41	30,06	35,17	40,28	16,80	17,36	17,91	24,65	28,79	26,72
out	17,99	19,51	21,03	30,84	36,03	41,22	16,78	17,25	17,72	25,00	28,41	26,70
nov	16,39	17,47	18,56	25,81	29,47	33,13	16,90	17,27	17,65	22,24	24,94	23,59
dez	17,39	18,70	20,01	28,67	33,14	37,61	16,50	17,01	17,52	24,50	28,29	26,39
jan	16,71	17,93	19,14	26,78	30,97	35,15	18,76	19,44	20,13	24,22	29,39	26,80
fev	16,60	17,87	19,14	27,71	32,02	36,34	17,03	17,47	17,92	22,72	26,01	24,37

uma rajada de vento que supere 19,51 m/s via metodologia Blocos Máximos e 17,25 m/s via metodologia POT.

4 Conclusões

A distribuição Gumbel se ajustou às séries de dados de velocidade máxima de vento em Piracicaba-SP. A metodologia POT ofereceu estimativas do parâmetro escala α e do parâmetro posição β mais precisas do que a metodologia dos Blocos Máximos. No período estudado, o maior nível de retorno estimado via metodologia POT foi de 19,44 m/s para um tempo médio de 2 anos e 29,39 m/s para 100 anos, que são considerados como ventanias críticas. Informações do tipo são de extrema importância para o planejamento urbano. A metodologia POT constitui-se, portanto, num método mais preciso do que a metodologia dos Blocos Máximos no cálculo de níveis de retorno de velocidade máxima de vento no município de Piracicaba-SP.

Referências

- [1] BAUTISTA, E.A.L.; ZOCCHI, S.S.; ANGELOCCI, L.R. *Fitting the generalized extreme value distribution (GEV) to the maximum wind speed data in Piracicaba, São Paulo, Brazil*. Rev. Mat. Estat., São Paulo, v. 22, n. 1, p. 95-111, 2004.
- [2] CAMPOS, H. *Estatística experimental não-paramétrica*. 3a ed. Piracicaba: ESALQ, 343 p., 1979.
- [3] COLES, S. G., *An introduction to statistical modeling of extreme values*. London: Springer. 226 p. 2001.
- [4] DAVISON, A. C.; SMITH, R. L., *Models for exceedances over high thresholds*. Journal of the Royal Statistical Society, v. B52, p. 393-442, 1990.
- [5] JENKINSON, A. F. *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements*. Q. J. Meteorol. Soc., Brackneel, v. 81, p. 158-71, 1955.
- [6] LISKA, G. R.; BEIJO, L. A. *Distribuição de Probabilidades aplicadas na análise de Níveis Máximos de MP10 e O3 nas cidades de Cubatão-SP e Paulínia-SP*. Revista de Estudos Ambientais (Online), v. 14, p. 35 - 47, 2012.
- [7] LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. *On a measure of lack of fit in time series models*. Biometrika, v.65, p 297-303, 1978.
- [8] NATIONAL WEATHER SERVICE. *The Beaufort wind force scale*. Disponível em: <<http://www.crh.noaa.gov/lot/webpage/beaufort>>. Acesso em: 15 mai. 2013.
- [9] R DEVELOPMENT CORE TEAM, *An Introduction to R: Version: 2.15 (2013)*. In: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em 20 jun de 2013.
- [10] VILLA NOVA, N.A. *Dados meteorológicos do município de Piracicaba*. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Ciências Exatas, 2 p., 2003