

TEMPERATURA MÍNIMA ESPERADA PARA PIRACICABA-SP VIA DISTRIBUIÇÕES DE VALORES EXTREMOS

Carlos José dos Reis¹, Luiz Alberto Beijo², Fabricio Goecking Avelar³

RESUMO

Devido à importância do conhecimento da ocorrência de temperaturas mínimas para o planejamento e gestão de atividades como a agricultura e a saúde pública, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de estudar o ajuste das distribuições Gumbel e Weibull às séries mensais de temperatura mínima de Piracicaba-SP e determinar os valores de temperaturas mínimas esperadas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos. As séries históricas utilizadas foram obtidas na Estação Convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), relativas ao período de 1917 a 2016. Para verificar a adequabilidade do ajuste das distribuições foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Utilizou-se o critério do menor erro percentual médio de predição para selecionar a distribuição mais adequada para cada série mensal. Verificou-se que as distribuições Gumbel e Weibull ajustaram-se aos dados de temperatura mínima em todos os períodos mensais. Nos meses de março, maio e julho, a distribuição Gumbel apresentou menores erros de predição e, portanto, temperaturas mínimas esperadas mais acuradas. Nos demais meses, a distribuição Weibull apresentou menores erros de predição.

Palavras-chave: agricultura; saúde pública; distribuição Gumbel; distribuição Weibull.

EXTREME VALUES DISTRIBUTIONS IN THE ANALYSIS OF MINIMUM TEMPERATURE IN PIRACICABA, SÃO PAULO STATE

ABSTRACT

Due the importance of knowing the occurrence of minimum temperatures for the planning e management of areas like agriculture and healthy public, this study was carried out for the objective of study the Gumbel and Weibull distributions fit for the monthly series of minimum temperatures of Piracicaba-SP and to predict the expected minimum temperatures for return periods of 2, 5, 10, 30, 50 and 100 years. The historical data used were obtained from the Post Conventional Agrometeorological Station of College of Agriculture “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), for the period 1917 to 2016. To verify the goodness of the fit in the distributions

¹ Mestre em Estatística e Experimentação Agropecuária, UNIFAL, e-mail: carlosjreis17@yahoo.com.br

² Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária, Professor Associado da Universidade Federal de Alfenas, e-mail: luiz.beijo@unifal-mg.edu.br

³ Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária, Professor Adjunto da Universidade Federal de Alfenas, e-mail: fabricioufla@gmail.com

was used the Kolmogorov-Smirnov test. The lowest mean percentage error of prediction per month was used to select the distribution which provides more accurate results. The Gumbel and Weibull distributions fit all the minimum temperature data series. In the months of March, May and July, the Gumbel distribution presented smaller prediction errors and, consequently, more accurate minimum expected temperatures. In the other months, the Weibull distribution presented smaller prediction errors.

Keywords: agriculture; public health; Gumbel distribution; Weibull distribution.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, secas prolongadas, vendavais, furacões, marés meteorológicas, entre outros, têm despertado a atenção da sociedade e da comunidade científica, por representarem fenômenos naturais com grande poder de destruição. Devido à intensidade desses fenômenos, setores importantes no Brasil, como o energético e o agrícola, têm sofrido grandes impactos ocasionados por eventos climáticos extremos. Nesse sentido, tornam-se importantes estudos sobre o comportamento de variáveis climáticas, para uma melhor compreensão de suas manifestações (MARENGO, 2010).

O estudo de variáveis climáticas de uma região pode nortear as ações a serem realizadas em diversas atividades, entre elas, a saúde pública. As condições térmicas de dispersão como ventos e poluição, e de umidade do ar exercem destacada influência sobre a manifestação de muitas doenças, epidemias e endemias humanas (MENDONÇA, 2000). A influência do clima na saúde humana ocorre tanto de maneira direta quanto indireta, podendo ser maléfica ou benéfica. Os extremos térmicos e higrométricos acentuam a debilidade do organismo no combate às enfermidades, intensificando processos inflamatórios e criando condições favoráveis ao desenvolvimento dos transmissores de doenças contagiosas (AYOADE, 2006; SETTE; RIBEIRO, 2011).

Outra atividade que é muito afetada pela ocorrência de eventos climáticos extremos é o agronegócio. A agricultura é

uma importante atividade econômica no Estado de São Paulo, sendo que grande parte dos cultivos localiza-se na região tropical, entre 20° e 23° de latitude sul, com altitudes entre 500m e 1200m (ASTOLPHO et al., 2004). A associação entre essas condições geográficas, a ocorrência de baixas temperaturas e ventos são fatores que contribuem na ocorrência do fenômeno das geadas, que podem provocar perdas econômicas na agricultura do Estado (CAMARGO et al., 1993; ASTOLPHO et al., 2004; PRELA-PANTANO et al., 2009; MENDONÇA; ROMERO, 2012). O dimensionamento do risco de ocorrência de geadas mensal e anual são informações relevantes para o planejamento e a tomada de decisões de agricultores, extensionistas e órgãos governamentais, ao diminuir os impactos causados pelos níveis mínimos de temperatura (ASTOLPHO et al., 2005).

No estudo da adaptabilidade e comportamento das culturas agrícolas é importante o conhecimento do comportamento de variáveis climáticas. A relação clima-planta é caracterizada e mensurada por meio da magnitude dessas variáveis e da resposta da planta ao ambiente. O estudo da disponibilidade térmica do ambiente às culturas agrícolas, geralmente, deve ser realizado com a temperatura em suas magnitudes mais importantes, médias, máximas ou mínimas (CARGNELUTTI FILHO et al., 2006).

O planejamento visando minimizar os impactos causados pelos eventos climáticos extremos pode ser feito mediante o uso de distribuições de probabilidade. Segundo Catalunha et al. (2002), o principal

interesse consiste em prever, com base em funções densidade de probabilidade (fdp's) aplicadas aos dados observados, os valores que possam ocorrer em uma certa localidade. Nesse sentido, as distribuições Gumbel e Weibull têm sido muito utilizadas na análise de variáveis climáticas como, precipitação pluviométrica (LYRA et al., 2006; QUADROS et al., 2011; RODRIGUES et al., 2013; FREIRE et al., 2013; VIEIRA JOSÉ et al., 2014), velocidade máxima de vento (LISKA et al., 2013), umidade relativa do ar (ASSIS et al., 2013), temperatura máxima ou mínima (CAMARGO et al., 1993; ASTOLPHO et al., 2004), entre outras.

Diante da necessidade do conhecimento dos níveis mínimos de temperatura para, por exemplo, o planejamento de ações nas áreas de saúde e agropecuária na região de Piracicaba-SP, objetivou-se neste trabalho: i) verificar o ajuste das distribuições Gumbel e Weibull às séries mensais de temperatura mínima nesse município; ii) obter as temperaturas mínimas esperadas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos e; iii) selecionar, para cada mês, a distribuição que forneça resultados de maior precisão.

MATERIAL E MÉTODOS

Banco de dados

Os dados de temperatura mínima (°C) foram obtidos a partir dos registros históricos da Estação Convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). As observações correspondem às medições do período de 1917 a 2016, num total de 100 anos de observações. O clima de Piracicaba, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa: tropical de altitude, com chuvas de verão e seca no inverno, sendo os meses de junho, julho e agosto mais secos. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio não é inferior a 16°C (GHIBERTO; MORAES, 2011).

Composição das séries históricas de temperaturas mínimas mensais

Os dados utilizados no presente trabalho foram agrupados em períodos mensais, conforme a metodologia dos blocos mínimos. Tsay (2002) aborda e descreve a metodologia dos blocos máximos, sendo análoga a descrição para valores extremos mínimos. O método dos blocos mínimos consiste em dividir a amostra em subamostras e, a partir dessas subamostras são retirados os valores mínimos observados. Assumindo que existem $n = mk$ observações $\{x_i\}_{i=1}^{mk}$ a serem analisadas, inicialmente divide-se a amostra em k subamostras não sobrepostas, cada uma contendo m observações. Matematicamente, a técnica dos blocos pode ser expressa por:

$$\{x_1, \dots, x_m \mid x_{m+1}, \dots, x_{2m} \mid x_{2m+1}, \dots, x_{3m} \mid \dots \mid x_{(k-1)m+1}, \dots, x_{km}\} \quad (1)$$

No presente trabalho considerou-se como blocos, os meses de janeiro a dezembro. A obtenção de cada série histórica de temperaturas mínimas de Piracicaba-SP, para um determinado mês, consistiu em selecionar a menor observação de temperatura registrada, dentre m observações, em cada um dos anos entre 1917 e 2016.

A fim de exemplificar os detalhes sobre a composição do conjunto de temperaturas mínimas para cada um dos meses em estudo, segue o procedimento utilizado para o mês de janeiro. Inicialmente formou-se um vetor com $n = mk$ observações $\{x_i\}_{i=1}^{mk}$, contendo todos os registros históricos do mês de janeiro, no período de 1917 a 2016. Uma vez que o mês de janeiro possui 31 dias e o período de estudo é de 1917 a 2016, as quantidades m e k representam respectivamente a quantidade de temperaturas mínimas diárias observadas desse mês ($m = 31$) e a quantidade de anos utilizados no estudo ($k = 100$). Assim, observada a disponibilidade de dados em um dado ano do estudo, a série histórica de temperaturas mínimas no mês de janeiro foi formada pela seleção da menor temperatura

mínima observada dentre as 31 registradas nesse mês, em cada um dos anos entre 1917 e 2016.

Para utilizar as distribuições que se originam da Teoria de Valores Extremos é importante que o tamanho k das subamostras seja suficientemente grande, uma vez que a escolha do valor de m pode variar conforme o interesse do estudo. Cabe ressaltar que a quantidade de anos k , com registros de temperatura mínima de Piracicaba-SP, variou entre os meses de janeiro a dezembro, devido à indisponibilidade de observações em alguns anos. Porém, o número de anos k com registros de temperatura mínima utilizada neste trabalho foi superior ou igual a 97 anos, em conformidade com as recomendações da *World Meteorological Organization*, que preconiza que o número mínimo de anos de dados climáticos para análise deva ser de 30 anos (BADDOUR et al., 2007).

Análise exploratória dos dados e teste de independência das observações

A análise exploratória dos dados baseou-se na observação dos valores mínimo e máximo amostrais, no cálculo de medidas de tendência central (média e mediana), de medidas de dispersão (amplitude e desvio padrão) e nos coeficientes de assimetria e de curtose. A independência das observações em cada série histórica mensal foi avaliada com base no teste de Ljung-Box (L-B), proposto por Ljung e Box em 1978. O nível de significância adotado para os testes de independência foi $\alpha = 0,01$.

Distribuições Gumbel e Weibull e, teste de aderência das distribuições aos dados

Para modelar as séries históricas de temperatura mínima foram utilizadas as distribuições Gumbel e Weibull. A função de densidade de probabilidade (fdp) da distribuição Gumbel para valores mínimos pode ser expressa por:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma} \exp\left[\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) - \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right] \quad (2)$$

em que o parâmetro de posição μ pode assumir qualquer valor real ($-\infty < \mu < \infty$) e o parâmetro de escala σ pode assumir somente valores reais estritamente positivos ($\sigma > 0$). A variável aleatória X , que neste trabalho representa a temperatura mínima, pode assumir qualquer valor real ($-\infty < x < \infty$).

A função de densidade de probabilidade (fdp) da distribuição Weibull é dada por:

$$f_x(x) = \left(\frac{\eta}{\omega}\right) \left(\frac{x}{\omega}\right)^{\eta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\omega}\right)^\eta\right] \quad (3)$$

em que os parâmetros de escala e forma, ω e η , respectivamente, são estritamente positivos ($\omega, \eta > 0$) e x , que é a temperatura mínima associada a um determinado período, pode assumir somente valores não negativos ($x \geq 0$).

Como a fdp da distribuição Weibull em (3) é definida somente para valores de x não negativos e algumas séries mensais de temperatura mínima possuem valores negativos, realizou-se a conversão dos dados de temperatura mínima de sua unidade de escala original, graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), para a unidade de escala Fahrenheit (F). A expressão que relaciona as duas escalas de medida de temperatura mínima utilizadas é dada por:

$$T_F = 9\left(\frac{T_C}{5}\right) + 32 \quad (4)$$

em que T_F é a temperatura na escala Fahrenheit (F) e T_C é a temperatura na escala em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Dessa forma, os testes de independência das observações, a estimação dos parâmetros e os testes de aderência das distribuições Gumbel e Weibull aos dados foram realizados com os dados na escala de medida F.

As estimativas dos parâmetros das distribuições Gumbel e Weibull foram obtidas utilizando-se o método da máxima verossimilhança e a aderência dessas

**TEMPERATURA MÍNIMA ESPERADA PARA PIRACICABA-SP
VIA DISTRIBUIÇÕES DE VALORES EXTREMOS**

distribuições aos dados foi avaliada utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). O nível de significância adotado para os testes de aderência foi $\alpha = 0,01$.

Os níveis de retorno de temperatura mínima, que são descritos na subseção seguinte, também foram calculados na escala Fahrenheit (F). Porém, para a apresentação dos resultados, as temperaturas mínimas esperadas calculadas em Fahrenheit (F) foram convertidas para a escala em graus Celsius (°C), por se tratar da escala original dos dados e por ser a escala adotada no Brasil. Isso é possível, devido ao fato da conversão em (4) ser uma conversão linear.

Níveis de retorno

Conhecidas as estimativas dos parâmetros, os níveis de retorno mínimos para uma determinada variável, em um tempo médio T (em anos), podem ser calculados pelas distribuições Gumbel e Weibull, respectivamente, por:

$$q_G(T) = \hat{\mu} + \hat{\sigma} \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (5)$$

$$q_W(T) = \hat{\omega} \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{\frac{1}{\hat{\eta}}} \quad (6)$$

em que μ é a estimativa do parâmetro de posição, σ e ω são estimativas dos parâmetros de escala, η é a estimativa do parâmetro de forma e T o tempo de retorno (em anos). No presente trabalho utilizaram-se os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50 e 100 anos, para calcular as temperaturas mínimas esperadas em cada mês.

Seleção da distribuição com resultados mais precisos

Para selecionar a distribuição que fornece temperaturas mínimas esperadas, com maior exatidão, em cada mês, adotou-se o critério do menor erro percentual absoluto médio (EPAM), que é dado por:

$$EPAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (2)$$

em que \hat{y}_i é a temperatura mínima esperada no i -ésimo tempo de retorno, y_i é a menor temperatura mínima observada no intervalo de tempo $(t ; t + T)$, T é o tempo de retorno (em anos) e N é o número de valores de temperatura mínima comparados.

Para o cálculo do EPAM, as observações de temperatura mínima foram divididas em duas séries. A primeira de 1917-1966 foi utilizada para estimar os parâmetros e calcular as temperaturas mínimas prováveis para os tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 40 e 50 anos. Da segunda série, de 1967-2016, extraiu-se a menor temperatura mínima observada para os seguintes intervalos de tempo: 5 anos (1967; 1971), 10 anos (1967; 1976), 20 anos (1967; 1986), 30 anos (1967; 1996), 40 anos (1967; 2006) e 50 anos (1967; 2016). Assim, os valores dos EPAM's para as distribuições Gumbel e Weibull em cada um dos meses foram obtidos pela substituição em (7) das temperaturas mínimas esperadas, calculadas utilizando-se essas distribuições, com base nos dados do período de 1917 a 1966 e, pelas temperaturas mínimas observadas entre 1967 a 2016.

Recursos computacionais

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R Core Team (2015). Os pacotes *evd* (STEPHENSON, 2002) e *fBasics* (WUERTZ et al., 2014) da biblioteca do R foram utilizados para o estudo das séries históricas mensais. Em particular, o pacote *evd* foi utilizado para a análise dos dados, por possuir funções específicas na análise de valores extremos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas algumas estatísticas descritivas dos dados de temperatura mínima dos meses de janeiro a dezembro em Piracicaba-SP, relativas ao período de 1917 a 2016. Pode-se verificar que, em média, as temperaturas mínimas nesses meses variaram de 4,06°C (julho) a

Tabela 1. Estatísticas descritivas dos níveis mínimos de temperatura (°C) de Piracicaba-SP, no período de 1917 a 2016.

Mês	Mínimo	Máximo	Amplitude	Mediana	Média	Desvio padrão	Coeficiente de	
							Assimetria	Curtose
Jan.	10,20	19,20	9,00	15,60	15,45	1,87	-0,33	-0,37
Fev.	11,40	18,80	7,40	16,20	15,98	1,74	-0,57	-0,33
Mar.	8,80	17,90	9,10	14,90	14,60	1,67	-0,80	1,13
Abr.	3,70	15,50	11,80	10,70	10,56	2,48	-0,42	-0,12
Mai.	-0,20	12,00	12,20	6,95	6,77	2,39	-0,26	-0,22
Jun.	-1,80	10,10	11,90	4,40	4,45	2,79	0,02	-0,60
Jul.	-1,80	8,30	10,10	4,20	4,06	2,52	-0,26	-0,95
Ago.	-2,60	11,30	13,90	5,35	5,38	2,63	-0,18	-0,23
Set.	0,70	12,40	11,70	8,00	7,77	2,41	-0,43	-0,17
Out.	5,10	15,80	10,70	10,55	10,63	1,97	0,04	-0,02
Nov.	6,60	18,10	11,50	12,00	12,05	1,89	0,26	1,00
Dez.	10,70	19,40	8,70	13,90	14,17	1,74	0,67	0,02

15,98°C (fevereiro), sendo os meses de maio a agosto os meses que apresentaram, em média, as menores temperaturas mínimas observadas. Dessa forma, esses são os meses em que existe um maior risco de perdas e prejuízos em determinadas culturas agrícolas susceptíveis a temperaturas muito baixas, pela ocorrência de geadas, por exemplo.

Nos meses de junho, outubro, novembro e dezembro os valores médios foram superiores aos valores medianos de temperatura mínima, o que sugere que as distribuições empíricas nesses meses são assimétricas à direita (ou positiva). Esse fato é reforçado com base nos valores positivos do coeficiente de assimetria. Nos demais meses, com exceção do mês de agosto, a comparação entre os valores médios e medianos e, os valores negativos do coeficiente de assimetria, sugerem que as distribuições empíricas nesses meses são assimétricas à esquerda (ou negativa).

No mês de agosto pode-se observar que o valor médio é maior que o valor mediano de temperatura mínima, o que sugere que a distribuição empírica nesse mês é assimétrica à direita. Porém, o valor negativo do coeficiente de assimetria (-0,18) indica que a distribuição empírica desse mês é assimétrica à esquerda. O valor negativo do coeficiente de assimetria em

agosto deve-se possivelmente em função da presença de uma temperatura mínima muito discrepante nesse mês (-2,60°C), que foi registrada no dia 2 de agosto de 1955. Em comparação, mesmo julho sendo o mês com menor média de temperatura mínima em Piracicaba-SP, a menor temperatura registrada no período de 1917 a 2016 nesse mês foi de -1,80°C, no ano de 1981.

Ainda na Tabela 1, pode-se observar que a amplitude térmica variou de 7,40°C (fevereiro) a 13,90°C (agosto), sendo os meses de abril a setembro os meses com maior amplitude. Em cada um dos meses estudados pode-se observar que os dados não parecem se dispersar muito em relação à média amostral, devido aos baixos valores do desvio padrão (TABELA 1).

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas dos parâmetros das distribuições Gumbel e Weibull e, os resultados dos testes de independência e aderência. Pela análise dos resultados do teste de Ljung-Box (TABELA 2) pode-se verificar que as observações das séries mensais estudadas são independentes (valor $p > 0,01$). Esses resultados diferem dos resultados obtidos por Sartori et al. (2010). Ao analisar as médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar e, os totais mensais de precipitação pluviométrica, provenientes da Estação Meteorológica da Fazenda

TEMPERATURA MÍNIMA ESPERADA PARA PIRACICABA-SP
VIA DISTRIBUIÇÕES DE VALORES EXTREMOS

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros com seus respectivos erros padrão ([]) e, resultados dos testes (valor p) de independência de Ljung-Box (L-B) e de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S), referentes ao ajuste das distribuições Gumbel e Weibull aos dados mensais de temperatura mínima de Piracicaba-SP, no período de 1917 a 2016.

Mês	L-B	Gumbel		K-S	Weibull		K-S
		$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$		$\hat{\omega}$	$\hat{\eta}$	
Jan.	0,5169	61,42[0,32]	2,97[0,23]	0,6926	20,57[1,59]	61,35[0,32]	0,5609
Fev.	0,2186	62,24[0,27]	2,55[0,20]	0,6951	24,03[1,92]	62,28[0,27]	0,6397
Mar.	0,1182	59,67[0,27]	2,54[0,19]	0,2335	23,35[1,78]	59,61[0,27]	0,0821
Abr.	0,0199	53,15[0,41]	3,91[0,30]	0,5239	13,38[1,04]	52,99[0,42]	0,4293
Mai.	0,1821	46,28[0,42]	3,93[0,29]	0,4376	11,65[0,89]	46,10[0,42]	0,3209
Jun.	0,7544	42,51[0,51]	4,76[0,36]	0,2946	8,80[0,67]	42,22[0,51]	0,2780
Jul.	0,7824	41,50[0,41]	3,88[0,31]	0,6065	10,30[0,83]	41,29[0,43]	0,4856
Ago.	0,4242	44,00[0,47]	4,38[0,33]	0,5205	9,91[0,76]	43,77[0,47]	0,4803
Set.	0,0457	48,06[0,40]	3,78[0,29]	0,6065	12,49[0,98]	47,89[0,41]	0,6366
Out.	0,0663	52,91[0,38]	3,54[0,25]	0,2909	15,05[1,10]	52,78[0,38]	0,1819
Nov.	0,1734	55,44[0,41]	3,80[0,25]	0,2301	15,03[1,03]	55,31[0,39]	0,1083
Dez.	0,0382	59,15[0,38]	3,48[0,24]	0,0983	17,27[1,23]	59,05[0,37]	0,0246

Lageado da UNESP de Botucatu-SP (1988-2007), os autores concluíram que as observações das três variáveis climáticas apresentaram forte dependência temporal. Camargo et al. (1993) e *Astolpho et al.* (2004), ao avaliarem o ajuste da distribuição Gumbel às séries históricas de temperatura mínima de alguns municípios do estado de São Paulo, não informaram se a pressuposição de independência dos dados foi satisfeita.

Os resultados do teste de K-S (TABELA 2) indicam que em todos os meses em estudo, que as distribuições Gumbel e Weibull ajustaram-se aos dados de temperatura mínima (valor $p > 0,01$). Embora analisando séries históricas de temperatura mínima de outras localidades do estado de São Paulo, Camargo et al. (1993) e *Astolpho et al.* (2004) aplicando o teste de K-S, concluíram, também que a distribuição Gumbel ajustou-se às séries de dados, o que corrobora os resultados desse trabalho.

Em um estudo relacionado à modelagem de precipitação mensal no município de Bento Gonçalves-RS, Rodrigues et al. (2013) verificaram que as distribuições Gama, Log-Normal e Weibull ajustaram-se à série de dados. Entretanto,

utilizando o critério de informação de Akaike (AIC), os autores concluíram que a distribuição Gama foi a distribuição que apresentou ajuste mais adequado às séries pluviométricas do município.

Na Figura 1 são apresentadas as temperaturas mínimas esperadas em Piracicaba-SP para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos, nos meses de janeiro a dezembro, obtidas via as distribuições Gumbel e Weibull. Uma interpretação das informações contidas na Figura 1 pode ser feita do seguinte modo: escolhendo o mês de janeiro e considerando os resultados da distribuição Gumbel para o tempo de retorno de 50 anos, espera-se que em um tempo médio de 50 anos, que ocorra pelo menos uma temperatura mínima inferior ou igual a 9,93°C (Figura 1). Pode-se verificar também na Figuras 1 que nos meses de junho, julho e agosto são esperados os menores níveis de temperatura mínima em Piracicaba-SP. Pode-se ainda observar-se que nesses meses as temperaturas mínimas esperadas encontram-se na faixa entre -6,50°C e +6,50°C.

O estudo do comportamento da temperatura é importante para o planejamento racional de várias atividades agrícolas, por fornecer informações que

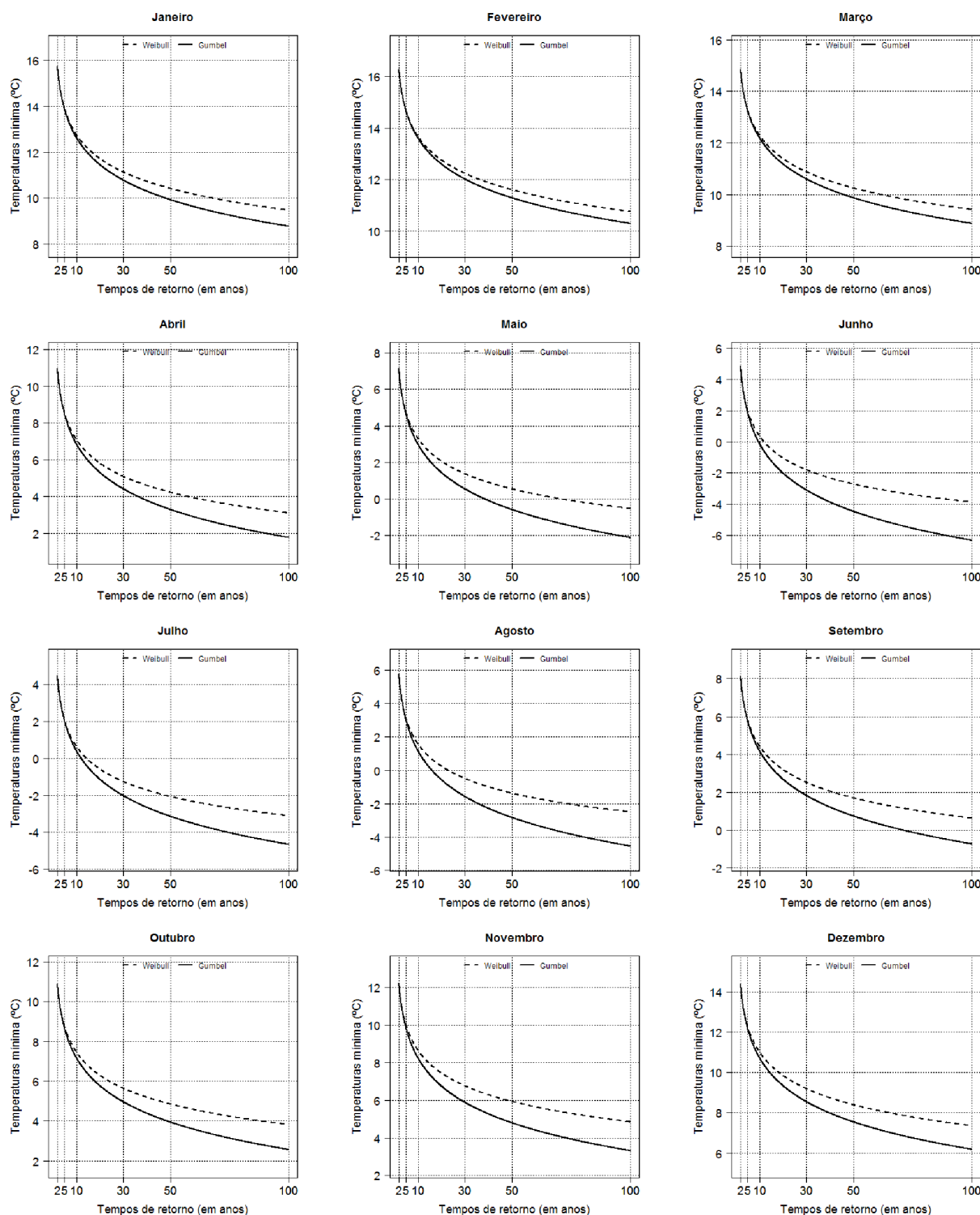


Figura 1. Temperaturas mínimas esperadas em Piracicaba-SP para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos, nos meses de janeiro a dezembro, obtidas via distribuições Gumbel e Weibull.

podem minimizar os riscos de possíveis prejuízos nessas atividades. Duas importantes culturas no setor agrícola de Piracicaba-SP são as culturas da cana-de-açúcar e do café. Essas culturas são consideradas culturas medianas quanto a resistência à geadas e friagens, ao compará-

las com culturas mais resistentes como citros e uva ou com outras culturas mais sensíveis como banana, mamão e tomate (CAMARGO et al., 1993; ASTOLPHO et al., 2005).

Segundo Astolpho et al. (2005), o aparecimento de danos em cafeeiros ocorre

TEMPERATURA MÍNIMA ESPERADA PARA PIRACICABA-SP
VIA DISTRIBUIÇÕES DE VALORES EXTREMOS

quando a temperatura mínima do ar é de 2,00°C ou 1,00°C, ocasionando na folha exposta temperaturas de -3,6 e -4,6°C, respectivamente. Ainda segundo os autores, os danos às plantas serão mais graves e extensos quanto menores forem os níveis mínimos da temperatura do ar abaixo desses limites. Pode-se observar na Figura 1 que, nos meses de junho e julho, espera-se que ocorram temperaturas mínimas abaixo de 2,00°C a partir do tempo de retorno de 5 anos, que é a temperatura indicativa de início de danos à cultura do café. No mês de agosto, a ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 2,00°C é esperada a partir do tempo de retorno de 10 anos (FIGURA 1).

O município de Piracicaba destaca-se como uma região tradicionalmente produtora de cana-de-açúcar, em que essa cultura representa uma das principais atividades em termos de área plantada e em termos econômicos (GOUVÊA, 2008). A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola muito influenciada pela temperatura em diferentes fases de seu desenvolvimento. Na fase de germinação dos toletes, por exemplo, temperaturas abaixo de 13,00°C já são suficientes para interromper a germinação. Na fase de crescimento, dependendo do tempo de exposição, temperaturas entre -5,00°C e -2,20°C podem ocasionar

graves prejuízos ou até mesmo a morte da planta, pois as folhas demonstram muita sensibilidade a essas temperaturas. Nos colmos, entre temperaturas de -3,30°C e -1,00°C ocorre a morte da gema apical, enquanto a morte das gemas laterais ocorre a temperaturas entre -6,00°C e 0,00°C. Na fase de maturação, temperaturas extremamente baixas diminuem o teor de glicose e pureza, desaceleram a maturação e aumentam a acidez da glicose (BRINHOLI, 1972; BACCHI; SOUZA, 1978; PINTO, 2015).

Na Tabela 3 estão apresentados os *EPAM*'s dos valores esperados de temperatura mínima, obtidos via distribuições Gumbel e Weibull. Primeiramente, foi necessário verificar se as observações mensais do período utilizado para estimação dos parâmetros e cálculo das temperaturas mínimas esperadas (1917-1966) satisfazem as pressuposições de análise. Pode-se observar que a pressuposição de independência das observações de cada série mensal foi satisfeita, conforme os resultados do teste de Ljung-Box (valor $p > 0,01$). Além disso, os resultados do teste de K-S (valor $p > 0,01$) indicaram que as distribuições Gumbel e Weibull ajustaram-se aos dados em todos os meses. Como as pressuposições de análise foram satisfeitas,

Tabela 3. Erros percentuais absolutos médio (*EPAM*'s) mensais, referentes aos níveis mínimos esperados de temperatura mínima, obtidos via distribuições Gumbel e Weibull em Piracicaba-SP, no período de 1917 a 1966.

Mês	L-B	K-S		EPAM (%)	
		Gumbel	Weibull	Gumbel	Weibull
Janeiro	0,2887	0,9584	0,9655	4,64	3,94
Fevereiro	0,7258	0,6819	0,7816	1,50	1,35
Março	0,3297	0,5956	0,5167	3,70	4,08
Abril	0,7274	0,4945	0,6521	7,50	6,19
Maiο	0,8103	0,4810	0,6671	5,56	7,48
Junho	0,3495	0,5074	0,7596	11,98	6,67
Julho	0,5083	0,5914	0,6629	7,45	4,59
Agosto	0,7566	0,3145	0,4175	17,03	12,40
Setembro	0,9218	0,8806	0,9384	7,97	5,44
Outubro	0,3908	0,5045	0,6565	6,53	4,67
Novembro	0,7455	0,7854	0,8787	4,94	3,87
Dezembro	0,6386	0,0192	0,0363	8,38	6,44

pode-se proceder ao cálculo dos *EPAM*'s mensais (Tabela 3).

Na Tabela 3 é possível verificar que a distribuição Gumbel forneceu menores *EPAM*'s nos meses de março e maio, quando comparada à distribuição Weibull. Esses resultados indicam que a distribuição Gumbel possui maior precisão ao fornecer níveis mínimos de temperatura nesses meses em Piracicaba-SP. Nesse caso, a distribuição Gumbel é mais indicada para modelar os dados nos meses de março e maio, com base no critério do menor *EPAM*. Nos demais meses esse desempenho foi alcançado pela distribuição Weibull, sendo análoga a interpretação dos resultados à descrição realizada para a distribuição Gumbel.

CONCLUSÕES

Em todos os meses verificou-se o ajuste das distribuições Gumbel e Weibull aos dados.

As menores temperaturas mínimas em Piracicaba-SP são esperadas para os meses de junho, julho e agosto, conforme os resultados das distribuições Gumbel e Weibull.

Em Piracicaba-SP, em relação as distribuições Gumbel e Weibull, não é possível indicar qual distribuição é mais adequada para modelar os dados de temperatura mínima mensal desse município. A escolha da distribuição mais adequada para modelar os dados depende de cada série mensal, uma vez que não verificou-se um melhor desempenho de uma distribuição em detrimento da outra em todos os meses, em termos do critério do menor *EPAM*.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPEMIG e à UNIFAL-MG pelo apoio fornecido para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, J. P.; SOUSA, R. P.; SILVA, R. M.; LINHARES, P. C. F. Ajuste de sete modelos de distribuições densidade de probabilidade às séries históricas de umidade relativa mensal em Mossoró-RN. **Revista Verde**, v. 8, n. 1, p. 01-10, 2013.

ASTOLPHO, F.; CAMARGO, M. B. P.; BARDIN, L. Probabilidades mensais e anuais de ocorrência de temperaturas mínimas do ar adversas à agricultura na região de Campinas (SP), de 1891 a 2000. **Bragantia**, v. 63, n. 1, p. 141-147, 2004.

ASTOLPHO, F.; CAMARGO, M. B. P.; PEDRO JUNIOR, M. J.; WANDER JOSÉ PALLONE FILHO, W. J.; BARDIN, L. Regionalização de riscos de ocorrência de temperaturas Mínimas absolutas anuais para o estado de São Paulo com Base em modelos probabilísticos e digitais de elevação. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 139-148, 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 11.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006. 332 p.

BACCHI, O. O. S.; SOUSA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1., 1978, London. **Anais...** London: ISSCT. v. 2, 1978, p. 1733-1741.

BADDOUR, O.; KONTONGOMDE, H.; TREWIN, B. **The role of climatological normals in a changing climate**. Geneva: World Meteorological Organization, 2007. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMPNo61.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

BRINHOLI, O. **Resistência ao frio de diferentes variedades de cana-de-**

TEMPERATURA MÍNIMA ESPERADA PARA PIRACICABA-SP
VIA DISTRIBUIÇÕES DE VALORES EXTREMOS

- açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1972. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba.
- CAMARGO, M. B. P.; JÚNIOR, M. J. P.; ALFONSI, R. R.; ORTOLANI, A. A.; BRUNINI, O. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 52, n. 2, p. 161-168, 1993.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, A. P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decenal do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006.
- CATALUNHA, M. J.; SEDYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; BOECHAT, C. P.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.
- ESALQ/USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. **Base de Dados Meteorológicos**. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leeb/posto.html>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- FREIRE, F. G. C.; BARRETO, H. B. F.; BATISTA, R. O.; SANTOS, W. O. Estudo das precipitações para diferentes períodos de retorno no município de São João do Jaguaribe/CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 5, p. 300-305, 2013.
- GHIRBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da Condutividade hidráulica em um latossolo Vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1177-1188, 2011.
- GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba.
- LISKA, G. R.; BORTOLINI, J.; SÁFADI, T.; BEIJO, L. A. Estimativas de velocidade máxima de vento em Piracicaba-SP via séries temporais e Teoria de Valores Extremos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, n. 2, p. 295-309, 2013.
- 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.
- LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. I.; PIEDADE, S. M. S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 205-215, 2006.
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, P.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W.; LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e Lloyd's, 2010. p. 4-19. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2017.
- MENDONÇA, F. **Aspectos da interação clima-ambiente-saúde humana: da relação sociedade-natureza à (in)sustentabilidade ambiental**. Ra'e Ga, Curitiba: editora UFPR, n. 4, p. 85-99, 2000.
- MENDONÇA, M.; ROMERO, H. Ondas de frio, índices de oscilação e impactos

socioambientais das variabilidades climáticas de baixa frequência na América do sul. **ACTA Geográfica**, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p. 185-203, 2012.

PINTO, H. M. S. **Projeções de risco de produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo baseados em simulações multimodelos e cenários climáticos futuros**. 2015. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba.

PRELA-PANTANO, A.; ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas menores que 5° C na região do médio Paranapanema. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 279-284, 2009.

QUADROS, L. E.; QUEIROZ, M. M. F.; BOAS, M. A. V. Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 401-410, 2011.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 15 out. 2015.

RODRIGUES, J. A.; SANTOS FILHO, J.; CHAVES, L. M. Funções densidade de probabilidade para a estimativa de precipitação mensal. **Semina: Ciências**

Exatas e Tecnológicas, v. 34, n. 1, p. 03-08, 2013.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, A. F.; RAMOS, C. M. C.; ZIMBACK, C. R. L. Variabilidade temporal e mapeamento dos dados climáticos de Botucatu-SP. **Irriga**, v. 15, n. 2, p. 131-139, 2010.

SETTE, D. M.; RIBEIRO, H. Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana. **InterfaceHS - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 37-51, 2011.

STEPHENSON, A. G. evd: Extreme Value Distributions. **R News**, v. 2, n. 2, p. 31-32. 2002. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

TSAY, R. S. **Analysis of financial time series**. Chicago: Wiley, 2002. 448 p.

VIEIRA JOSÉ, J.; ALMEIDA, ALMEIDA, B. M.; PERBONI, A.; FERNANDES, R. D. M.; DUARTE, S. N.; MARQUES, P. A. Variabilidade espacial de precipitação diária máxima anual em diferente tempo de retorno no estado de São Paulo, Brasil. **Irriga**, Edição Especial 01, p. 151-158, 2014.

WUERTZ, D.; SETZ, T.; CHALABI, Y. **fBasics: Rmetrics – Markets and Basic Statistics R package version 3011.87**. 2014. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=fBasics>>. Acesso em: 22 dez. 2015.