



**JAIME DOS SANTOS FILHO**

**FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE  
PARA ESTIMAÇÃO DE VERANICOS NO  
MUNICÍPIO DE LAVRAS - MG**

**LAVRAS – MG**

**2013**

**JAIME DOS SANTOS FILHO**

**FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA ESTIMAÇÃO DE  
VERANICOS NO MUNICÍPIO DE LAVRAS - MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Joel Augusto Muniz

**LAVRAS – MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Santos Filho, Jaime dos.

Funções densidade de probabilidade para estimação de veranicos  
no município de Lavras, MG / Jaime dos Santos Filho. – Lavras :  
UFLA, 2013.

110 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Joel Augusto Muniz.

Bibliografia.

1. Distribuição log-normal. 2. Distribuição de probabilidade. 3.  
Precipitação pluviométrica. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD – 519.24

**JAIME DOS SANTOS FILHO**

**FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA ESTIMAÇÃO DE  
VERANICOS NO MUNICÍPIO DE LAVRAS - MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 19 de julho de 2013.

Dr. Augusto Ramalho de Moraes	UFLA
Dr. Renato Ribeiro de Lima	UFLA
Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo	UFRB
Dr. Lurimar Smera Batista	IFBA

Dr. Joel Augusto Muniz  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2013**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, razão de tudo o que somos e fazemos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Ciências Exatas (DEX).

Ao Instituto Federal da Bahia (IFBA).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Ao meu orientador, Dr. Joel Augusto Muniz, pela oportunidade, valiosos ensinamentos e convivência amiga.

Aos professores e a todos os funcionários do DEX.

Aos membros da banca examinadora, pelas críticas e sugestões que tanto contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos meus queridos pais, mãe (*in memorian*) e irmãos pela amizade, carinho e incentivo.

Excluído: *memoriam*

Á minha esposa, pelos sacrifícios e concessões.

À minha linda filha, Ana Livia, sentido de minha vida, motivo de minhas alegrias, obrigada por seu amor.

Aos amigos do DINTER: Ângela, Azly, Cleide, Edmary, Isabel, José Otaviano (*in memorian*), Marcinho, Norma, Regilson, Tânia e Walter, pelo companheirismo, amizade e momentos de alegria.

Excluído: *memoriam*

Agradeço aos colegas Nelson, Luís Vasquez, em especial ao colega Jailson, pela participação nos bons momentos vivenciados.

Enfim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, meus eternos agradecimentos.

*Jaime dos Santos Filho.*

## RESUMO

O conhecimento sobre a duração, quantidade e distribuição da precipitação pluviométrica é fundamental no manejo de recursos hídricos, erosão hídrica e para o planejamento de culturas agrícolas. O veranico, fenômeno que se caracteriza por períodos de interrupção da precipitação pluviométrica, durante a estação chuvosa, tem influência direta sobre a produtividade das culturas agrícolas, principalmente quando sua ocorrência coincide com fases na qual a planta é mais sensível à deficiência hídrica. Neste trabalho, foi avaliado o potencial da utilização das distribuições de probabilidade exponencial, gama, Gumbel, log-normal, Pareto e Weibull na modelagem dos períodos de veranicos ocorridos no município de Lavras, no Estado de Minas Gerais, além da identificação da frequência de ocorrência, duração e o período médio deste fenômeno. Foram utilizados dados reais de uma série histórica de precipitação diária, coletados no período de 01/01/1970 a 31/12/2010, sendo avaliadas a ocorrência e duração dos períodos de veranicos, obtidos dos registros pluviométricos da Estação Climatológica Principal de Lavras - MG, situada no Câmpus da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A aderência das probabilidades estimadas às frequências observadas foi verificada via teste de Kolmogorov-Sminorv. Com exceção das distribuições Pareto e exponencial, todas as distribuições analisadas apresentaram aderência à ocorrência de veranicos. Entretanto, os resultados obtidos indicaram que o modelo log-normal ajustou-se mais adequadamente aos dados observados.

Excluído: a

Excluído: o

Excluído:

Excluído: exponencial

Palavras-chave: Distribuição log-normal. Distribuição de probabilidade. Precipitação pluviométrica.

## **ABSTRACT**

Knowledge on the duration, quantity and distribution of rainfall is fundamental in the management of water resources, water erosion and for planning agricultural crops. The veranico, phenomenon characterized by interrupting periods of rainfall during the rainy season, presents direct influence on the productivity agricultural crops, especially when this period coincides with phase in which the plant is more sensitive to water deficiency. In this work we evaluated the potential of using exponential probability, gamma, Gumbel, lognormal, Pareto and Weibull distributions in modeling the veranico periods in the municipality of Lavras, Minas Gerais, Brazil, in addition to identifying the frequency of occurrence, duration and average period of this phenomenon. We used real data from a historical series of daily precipitation, collected between 01/01/1970 and 12/31/2010, evaluating the occurrence and duration the veranico periods obtained from rainfall records of the Estação Climatológica Principal de Lavras, Minas Gerais, located on the Universidade Federal de Lavras campus, in Lavras, in an agreement with the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). The adherence of the estimated probabilities of the frequencies observed was verified via the Kolmogorov-Sminorv test. With the exception of the Pareto and exponential distributions, all the analyzed distribution presented adherence to the occurrence of veranicos. However, the results obtained indicated that the lognormal model adjusted more adequately to the data observed.

Keywords: Lognormal distribution. Probability distribution. Rainfall.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação gráfica da função densidade de probabilidade exponencial para diferentes valores do parâmetro $\beta$ .....	36
Figura 2	Representação gráfica da função densidade de probabilidade Weibull para diferentes valores dos parâmetros $\alpha$ e $\beta$ .....	39
Figura 3	Representação gráfica da função densidade de probabilidade Gumbel, para os parâmetros $\mu = 0,5$ e $\alpha = 2$ .....	41
Figura 4	Representação gráfica da distribuição de probabilidade Gumbel para diferentes valores de $\lambda$ .....	42
Figura 5	Representação gráfica da distribuição cumulativa da função Gumbel para diferentes valores de $\lambda$ .....	42
Figura 6	Representação gráfica da função densidade de probabilidade gama para alguns valores dos parâmetros $\alpha$ e $\beta$ .....	45
Figura 7	Representação gráfica da função densidade de probabilidade log-normal para alguns valores dos parâmetros $\mu$ e $\sigma$ .....	48
Figura 8	Representação gráfica da função densidade de probabilidade Pareto tipo I para alguns valores dos parâmetros $\alpha$ e $\beta$ .....	50
Figura 9	Representação gráfica da função densidade de probabilidade Pareto tipo II para alguns valores dos parâmetros $\alpha$ e $\beta$ .....	51
Figura 10	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010 .....	64
Figura 11	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010 .....	65

Figura 12	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010 .....	65
Figura 13	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010 .....	66
Figura 14	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de março, no período de 1970 a 2010 .....	66

## **ANEXOS**

Figura 1	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010 .....	87
Figura 2	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gama para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010 .....	87
Figura 3	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010 .....	88

Figura 4	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010 .....	88
Figura 5	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010 .....	89
Figura 6	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010 .....	89
Figura 7	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010 .....	90
Figura 8	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010 .....	90
Figura 9	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010 .....	91
Figura 10	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010 .....	91

Figura 11 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010 .....	92
Figura 12 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010 .....	92
Figura 13 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010 .....	93
Figura 14 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010 .....	93
Figura 15 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010 .....	94
Figura 16' Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010 .....	94
Figura 17 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010 .....	94

Figura 18 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010 .....	95
Figura 19 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010 .....	95
Figura 20 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010 .....	96
Figura 21 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbell para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010 .....	96
Figura 22 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010 .....	96
Figura 23 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010 .....	97
Figura 24 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010 .....	97

Figura 25	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010.....	98
Figura 26	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010 .....	98
Figura 27	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbell para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010 .....	99
Figura 28	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010 .....	99
Figura 29	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010 .....	100
Figura 30	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010 .....	100
Figura 31	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de março, no período de 1970 a 2010 .....	101

Figura 32	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de março, no período de 1970 a 2010. ....	101
Figura 33	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de março, no período de 1970 a 2010. ....	102
Figura 34	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbell para o mês de março, no período de 1970 a 2010. ....	102
Figura 35	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de março, no período de 1970 a 2010. ....	103
Figura 36	Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de março, no período de 1970 a 2010. ....	103
Figura 37	Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de outubro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG. ....	106
Figura 38	Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de novembro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG. ....	107

Figura 39	Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de dezembro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG .....	107
Figura 40	Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de janeiro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG .....	108
Figura 41	Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG .....	108
Figura 42	Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de março, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG .....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Categorias de classificação do índice de severidade de seca de Palmer (PSDI) .....	23
Tabela 2	Categorias de classificação do índice padronizado de precipitação (SPI).....	24
Tabela 3	Valores mínimos, médios e máximos da duração, em dias sem chuva, de veranicos, nos meses chuvosos do município de Lavras, MG, no período de janeiro de 1970 a dezembro de 2010....	60
Tabela 4	Estimativas dos parâmetros dos seis modelos probabilísticos, nível de significância (valor $p$ ) do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, critério de informação de Akaike (AICc) corrigido utilizados para descrever a ocorrência de veranicos nos seis meses chuvosos da região de Lavras, MG.....	62
Tabela 5	Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama e log-normal, para o mês de outubro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG.....	66
Tabela 6	Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell, Weibull e log-normal, para o mês de dezembro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG .....	67
Tabela 7	Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell, Weibull e log-normal, para o mês de janeiro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG .....	67

Tabela 8	Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell e log-normal, para o mês de fevereiro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG.....	67
Tabela 9	Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell e log-normal, para o mês de março, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG.....	68
Tabela 10	Número de vezes de ocorrências de veranicos observados no período de 1970 a 2010, no período chuvoso do município de Lavras, MG, em função da quantidade de veranicos (em dias).....	69
Tabela 11	Número de vezes de ocorrência de veranicos registrados por mês no período de 1970 a 2010, no período chuvoso do município de Lavras, MG, em função da duração de veranicos (em dias).....	70

**ANEXOS**

Tabela 1	Quantidade e duração (em dias sem chuvas) de veranicos registrados nos meses chuvosos do município de Lavras, MG, no período de 1970 á 2010 .....	104
----------	---	-----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	21
<b>2.1</b>	<b>O fenômeno da seca</b> .....	21
<b>2.2</b>	<b>Modelagem de fenômenos meteorológicos</b> .....	25
<b>2.3</b>	<b>Veranico</b> .....	28
<b>2.4</b>	<b>Modelos probabilísticos contínuos utilizados em processos hidrológicos</b> .....	34
<b>2.4.1</b>	<b>Distribuição Exponencial</b> .....	35
<b>2.4.2</b>	<b>Distribuição Weibull</b> .....	37
<b>2.4.3</b>	<b>Distribuição Gumbel</b> .....	40
<b>2.4.4</b>	<b>Distribuição Gama</b> .....	43
<b>2.4.5</b>	<b>Distribuição Log-normal</b> .....	47
<b>2.4.6</b>	<b>Distribuição Pareto</b> .....	49
<b>2.5</b>	<b>Estimação dos parâmetros dos modelos probabilísticos</b> .....	52
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	54
<b>3.1</b>	<b>Material</b> .....	54
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	55
<b>3.2.1</b>	<b>Modelagem probabilística</b> .....	56
<b>3.2.2</b>	<b>Estimação dos parâmetros</b> .....	56
<b>3.2.3</b>	<b>Ajuste dos modelos</b> .....	56
<b>3.2.4</b>	<b>Seleção do modelo</b> .....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	60
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	74
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75
	<b>ANEXOS</b> .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de recursos hídricos são projetados, considerando-se que a vazão ou a precipitação sejam fenômenos contínuos, de modo que as características estatísticas essenciais dos processos hidrológicos, tais como suas medidas de posição e variabilidade, permanecem constantes ao longo do tempo.

Tal suposição deixa de ter validade, quando são considerados aspectos como a mudança climática e a modificação natural das coberturas vegetais, em função dos desmatamentos e construções. Essas mudanças influenciam na periodicidade dos fenômenos climáticos.

O déficit, recorrente e prolongado de água, provoca o surgimento da seca, que é um fenômeno climático que ocorre periodicamente por toda terra, trazendo como consequência impactos negativos na economia mundial, refletindo diretamente na qualidade de vida da população do planeta. Por esse motivo, tem havido preocupação crescente em criar mecanismos eficazes para descrever e prever tais fenômenos.

Dentre esses fenômenos, destaca-se o veranico, que se caracteriza por períodos de interrupção da precipitação pluviométrica. Durante a estação chuvosa, tem influência direta sobre a produtividade das culturas, principalmente, quando seu período de ocorrência coincide com a fase na qual a planta é mais sensível à deficiência hídrica.

A modelagem dos fenômenos hidrológicos tem sido motivo de estudo de muitos pesquisadores, seja utilizando a técnica de séries temporais, redes neurais artificiais ou teoria das probabilidades para prever a ocorrência de precipitações prováveis, de secas, entre outros. No caso do município de Lavras, o conhecimento sobre a ocorrência de veranicos, pode contribuir para a análise de tendências do regime de chuvas na região, com vista a dar suporte para melhorar o planejamento agrícola das culturas.

Excluído: se

Excluído: d

Desse modo, objetivou-se neste trabalho estudar o fenômeno veranico no município de Lavras, estado de Minas Gerais, com a finalidade de:

Excluído: o

Excluído: d

Excluído: foi

- a) Modelar a ocorrência de veranicos, no período chuvoso, por meio da utilização de modelos probabilísticos contínuos.
- b) Estudar o ajustamento das distribuições de probabilidade exponencial, gama, Gumbel, log-normal, Pareto e Weibull aos dados de ocorrência de veranicos no município de Lavras – MG.
- c) Determinar estimativas prováveis de duração e da ocorrência de veranicos no município de Lavras – MG, com vistas a auxiliar atividades agrícolas a obter melhor aproveitamento da água.

Excluído: ;

Excluído: -

Excluído: ;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A necessidade de prever as alterações do clima é objeto de estudo cada vez mais constante, principalmente, quando se trata da precipitação pluviométrica, pois sua ocorrência em excesso ou déficit ocasiona prejuízos e transtornos à população.

### 2.1 O fenômeno da seca

A seca, além de ser um problema climático, é uma situação que gera dificuldades sociais para as pessoas que habitam uma região. Com a falta de água, torna-se difícil o desenvolvimento da agricultura e pecuária. Dessa forma, a seca provoca a falta de recursos econômicos, gerando fome, miséria e a migração da população para os centros urbanos.

Para Palmer (1965), a seca é o intervalo de tempo (meses ou até mesmo anos) em que a precipitação pluvial é pequena em relação ao climatologicamente esperado ou apropriado.

De acordo com Pereira e Paulo (2011), a seca é um desequilíbrio natural e temporário na disponibilidade de água que consiste em precipitação persistentemente abaixo da média, com frequência, duração e severidade incertas, cuja ocorrência imprevisível ou difícil de prever, e que resulta em redução da disponibilidade dos recursos hídricos e da capacidade de resposta dos ecossistemas. Deve-se salientar a imprevisibilidade do início e fim das secas e da sua severidade, o que lhes confere características de fenômeno aleatório e de desastre.

Para *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO (2009), a seca pode ser definida como sendo um período de tempo anormalmente seco, cuja persistência pode produzir um desequilíbrio

hidrológico sério, por exemplo, danos nas culturas, limitação no fornecimento de água, etc. Além disso, é uma característica recorrente do clima, acontecendo em todas as zonas climáticas. Pode ser subdividida em meteorológica, hidrológica e agrícola. A sua severidade depende do grau da deficiência da água, da duração e do tamanho da área afetada.

Excluído: m

Diversas metodologias têm sido utilizadas para a análise de secas. Elas são baseadas em uma ou mais variáveis, e utilizam índices de seca para identificar e monitorar as secas em várias escalas temporais (PEREIRA; PAULO, 2011). As mais utilizadas atualmente são: o índice de Palmer, PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) (PALMER, 1965) e o índice normalizado de precipitação, SPI (*Standardized Precipitation Index*) (MCKEE; DOESKEN; KLEIST, 1993).

Excluído: ,

O índice de seca de Palmer (PDSI) foi desenvolvido com o objetivo de identificar e avaliar a severidade das secas na região das “*Great Plains*”, nos EUA. Este índice baseia-se no balanço hídrico do solo, em cujo cálculo são utilizadas a precipitação, a evapotranspiração potencial calculada pelo método de Thornthwaite e a capacidade utilizável do solo (PEREIRA; PAULO, 2011). Ele considera que o total de precipitação pluvial, requerido para manter uma área sob condições de economia estável, é dependente da média dos elementos meteorológicos e das condições hídricas dos meses precedentes e do atual para a área em questão em um determinado período. Palmer baseou seu índice sobre o conceito de oferta e demanda da equação do balanço hídrico. O índice acusa uma seca quando a precipitação pluvial de uma região diminui consideravelmente em relação ao que seria climatologicamente esperado (PALMER, 1965).

Para a classificação do Índice de Severidade dos períodos de seca, Palmer (1965) considerou 11 categorias, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 Categorias de classificação do índice de severidade de seca de Palmer (PSDI)

PSDI	Categoria de classificação
$\geq 4,00$	Extremamente úmido
3,0 a 3,99	Muito úmido
2,0 a 2,99	Moderadamente úmido
1,0 a 1,99	Ligeiramente úmido
0,5 a 0,99	Úmido incipiente
0,49 a -0,49	Próximo do normal
-0,5 a -0,99	Seca incipiente
-1,0 a -1,99	Ligeiramente seco
-2,0 a -2,99	Moderadamente seco
-3,0 a -3,99	Muito seco
$\leq -4,00$	Extremamente seco

Fonte: Palmer (1965)

O índice normalizado de precipitação, SPI, baseia-se na distribuição de probabilidades utilizada para modelar a precipitação e pode ser calculado em diferentes escalas de tempo. Por ser um índice normalizado, permite adequada comparação entre diferentes locais e climas. Como existem diferentes índices de seca com distintas metodologias de cálculo, faz-se necessária uma avaliação de desempenho sobre qual índice apresenta melhores resultados a uma dada região.

O SPI é um índice desenvolvido por McKee, Doesken e Kleist (1993) com o propósito de definir e monitorar secas locais, sendo baseado em séries longas da precipitação. Foi concebido, também, para identificar períodos de seca e severidade de secas em variadas escalas temporais. Embora tenha sido concebido para a identificação de períodos secos, também, pode ser usado na identificação de períodos úmidos. As escalas temporais mais analisadas são geralmente a mensal (SPI-1 mês) e trimestral (SPI-3 meses), embora se calculem, também, SPI anual (SPI-12 meses) (SOUSA, 2009).

O SPI é calculado considerando a distribuição de probabilidades da precipitação pluvial do período escolhido. Desse modo, os valores do índice SPI

Excluído: com base n

obtidos dependem da função de distribuição escolhida, dos valores da amostra, a partir dos quais são determinados os parâmetros da distribuição e, também, do método de estimação (SOUSA, 2009).

Considerando o índice, o evento seca começa, quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor - 1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos. Dentro de sua escala, magnitudes menores ou iguais a - 2 indicam seca extrema, e maiores ou iguais a 2, umidade extrema, como pode ser visualizado na Tabela 2.

Excluído: om base n

Tabela 2 Categorias de classificação do índice padronizado de precipitação (SPI)

SPI	Categoria de classificação
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Severamente úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
1,49 a 0,99	Umidade incipiente
0,99 a -0,99	Seca incipiente
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,49 a -1,99	Severamente seco
$\leq - 2,00$	Extremamente seco

Fonte: Blain (2005)

De acordo com Sousa (2009), as secas podem ser classificadas em quatro diferentes categorias, em função dos seus efeitos. Estas categorias são: meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica.

A seca meteorológica é uma medida do desvio da precipitação em relação ao valor normal; caracteriza-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação pluvial e a evaporação, a qual depende de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar, intensidade da radiação solar e insolação. A definição de seca meteorológica deve ser considerada como dependente da região, uma vez que as condições

Excluído: ,

atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação podem ser muito diferentes de região para região.

A seca hidrológica caracteriza-se pelos baixos índices de precipitação, mas bem distribuída. Ela está relacionada com a redução dos níveis médios de água nos reservatórios e com a depleção de água no solo. As chuvas são suficientes apenas para dar suporte à agricultura de subsistência e às pastagens. Este tipo de seca ocorre, posteriormente, à seca meteorológica e agrícola, dado que é necessário um período maior para que as deficiências na precipitação se manifestem nos diversos componentes do sistema hidrológico.

A seca agrícola, também conhecida como seca verde, acontece quando há chuvas abundantes, mas mal distribuídas em termos de tempo e espaço. A seca efetiva ocorre, quando há baixa precipitação e má distribuição de chuvas, tornando difícil a alimentação das populações e dos rebanhos e impossibilitando a manutenção dos reservatórios de água para consumo humano e animal. Ela está associada à falta de água causada pelo desequilíbrio entre a água disponível no solo, a necessidade das culturas e a transpiração das plantas. Este tipo de seca está relacionado com as características das culturas, da vegetação natural, ou seja, dos sistemas agrícolas em geral.

A seca socioeconômica está associada ao efeito conjunto dos impactos naturais e sociais que resultam da falta de água, em decorrência do desequilíbrio entre o fornecimento e a procura dos recursos de água e que vai afetar diretamente as populações.

Excluído: devido ao

## 2.2 Modelagem de fenômenos meteorológicos

Sansigolo (2004) define a seca como um fenômeno climático regional causado pelo déficit de precipitação em relação à evapotranspiração potencial.

A previsão de períodos de secas é baseada na modelagem de precipitações pluviiais, que são observações da quantidade de chuva em diferentes tempos. Em decorrência do desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, vários métodos com abordagens diferentes daquelas tradicionalmente utilizadas surgiram para tentar descrever tais fenômenos. A modelagem dos fenômenos hidrológicos tem sido motivo de estudo de vários pesquisadores, seja por meio de séries temporais, teoria das probabilidades ou redes neurais naturais.

Excluído: através

Izama (1965) pela introdução de uma nova distribuição gama bidimensional, baseada na função modificada de Bessel, analisou dados estatísticos de quantidade de chuva no Distrito de Kanto no Japão. Observou que a frequência de distribuição de chuvas pode ser ajustada por uma Gama tipo I.

Excluído: através da

Cruz et al. (2004) desenvolveram, em linguagem DELPHI 5.0, um programa computacional e simularam veranicos com diferentes durações para identificar suas respectivas probabilidades de ocorrência para dezembro, janeiro e fevereiro no Estado do Rio de Janeiro. Com os resultados obtidos, pôde-se concluir que, em geral, as maiores probabilidades de ocorrência de veranicos são previstas para o mês de dezembro, diminuindo para janeiro e, em seguida, para fevereiro.

Ramirez, Velho e Ferreira (2005) compararam uma rede neural artificial com um modelo de regressão linear múltipla para prever a precipitação diária em seis cidades do Estado de São Paulo. Os dados foram coletados durante o período de 1997-2002. Os resultados mostraram que as previsões obtidas pelas redes neurais naturais foram superiores aos obtidos pelo modelo de regressão linear.

Excluído: através das

Beijo, Muniz e Castro Neto (2005) realizaram um trabalho com o objetivo de determinar as estimativas pontuais e intervalares da precipitação diária máxima provável para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50 e 75 anos, para períodos de quinze dias, um mês e um ano na região de Lavras (MG),

utilizando-se a distribuição de valores extremos do tipo I. Verificaram que nos períodos mensal e anual houve um bom ajuste da distribuição, com exceção dos meses de julho e agosto. Ao analisar os períodos de quinze dias, observaram que o ajuste ocorreu somente na estação chuvosa.

Minuzzi et al. (2005) analisaram dados do Estado de Minas Gerais com objetivo de caracterizar o início do período chuvoso (IPC), a quantidade de chuvas durante o período chuvoso (PC) e a ocorrência e duração dos veranicos em anos de ocorrência da fase quente do fenômeno climático El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Observaram a existência de uma característica marcante do El Niño em ocasionar chuvas abaixo da média no nordeste do Estado e chuvas acima da média climática no sudoeste de Minas Gerais. Em função da influência do fenômeno El Niño, no período chuvoso, identificaram regiões homogêneas de ocorrência do fenômeno veranicos em Minas Gerais.

No estudo feito por Nadarajah e Gupta (2006), utilizou-se a distribuição gama bivariada de McKay's e a distribuição gama bivariada de Kibble's para estudar as variáveis hidrológicas, intensidade e duração. O estudo possibilitou a dedução exata da distribuição da grandeza intensidade *versus* duração.

Silva et al. (2007), ao estudarem a descrição da variação da probabilidade de ocorrência de precipitação diária, em Santa Maria, RS, utilizando os modelos gama, Weibull, exponencial e log-normal, observaram que as distribuições gama e Weibull apresentaram melhores resultados do que as demais distribuições na descrição deste fenômeno.

Fischer, Diniz e Marques (2008) apresentaram um modelo de previsão climatológica para o Número de Dias de Chuva (NDC) de algumas estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, utilizando as temperaturas da superfície do mar como variáveis preditoras, para o período de 1982 a 2005. Concluíram que a série de dados prevista e a observada seguem um mesmo padrão de

distribuição dessa variável, embora existam alguns valores previstos que apresentam diferenças dos observados, essas não são significativas.

Hung et al. (2009), utilizando dados de 4 anos, de 75 estações, testaram e aplicaram diferentes tipos de RNAs para um estudo de melhoria do desempenho da previsão de chuva e gestão de inundações em Bangkok, Tailândia. Os testes preliminares mostraram que o modelo generalizado da RNA *feedforward*, utilizando a função de transferência tangente hiperbólica, alcançou a melhor generalização para a previsão da chuva.

Silva (2011) estudou a pluviometria da cidade de Passo Fundo no Rio Grande do Sul, utilizando as distribuições bivariadas de Crovelli, Gumbel tipo I e Gama beta tipo II. O teste  $\chi^2$  evidenciou o bom ajuste dos modelos gama bivariado de Crovelli e Gama beta tipo II em relação às condições pluviométricas da região.

Rodrigues et al. (2012), considerando os modelos gama e log-normal, analisaram a distribuição da precipitação mensal na cidade de Bento Gonçalves, no estado do Rio Grande do Sul. Os dados utilizados correspondiam às precipitações pluviométricas mensais no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2011. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi empregado para verificar a aderência dos modelos gama e log-normal aos dados da precipitação pluvial, sendo constatado que ambos os modelos apresentaram aderência em nível de 5% de significância.

Excluído: à

### 2.3 Veranico

De acordo com Assad, Martins e Pinto (2013), o veranico é um fenômeno meteorológico, com período de estiagem durante a estação chuvosa, acompanhado por calor intenso (25-35°C), forte insolação, baixa umidade

relativa e com uma duração mínima de quatro dias – às vezes prolongada há várias semanas, comum nas regiões meridionais do Brasil.

Assis, Ferreira e Silva (2007) observaram que, com a ocorrência de veranicos em agosto de 2005, na cidade de Pelotas, no período mais crítico, metade da população ficou submetida a uma situação de desconforto térmico.

Para Minuzzi et al. (2006), a ocorrência de longos períodos secos (veranicos) é considerada como fator limitante para a agricultura. Na literatura foram encontradas diferentes considerações sobre a contagem de dias secos, para efeito de estimativa de duração de um veranico. Alguns autores consideram dia seco aqueles cuja precipitação pluviométrica seja inferior a um determinado valor. Outros consideram dia sem chuva aquele em que o índice da evapotranspiração real é maior do que o índice de chuva ocorrida nesse mesmo dia. Santana, Lacerda e Simões (2005) consideram os dias secos como aqueles sem chuva ou com precipitação inferior a 2 mm/dia. Assad e Sano (1988) e Chatfield (1966) recomendam o valor de 1,0 mm de chuva diária e abaixo deste valor como dia seco. Silva, Oliveira e Cavalcanti (1981) consideram dia sem chuva aquele em que o índice da evapotranspiração real é maior do que o índice de chuva ocorrida nesse mesmo dia. Castro Neto e Villella (1986) consideram dia seco aquele em que a precipitação pluvial é inferior a 3 mm. Sansigolo (1989) adota como veranico o período de sete dias com precipitação inferior a 5 mm.

Quanto à duração de dias secos, segundo Mota, Agendes e Silva (1994), alguns autores consideram o veranico um período de curta estiagem, de aproximadamente 10 a 20 dias durante o período chuvoso. Os efeitos negativos desse período podem ser observados até 5 dias após o início da chuva.

De acordo com Castro Neto e Villella (1986), a maior parte do Estado de Minas Gerais apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa, que vai de outubro até março, e outra, caracterizada por um período de seca, que se estende de abril a setembro. É durante o período chuvoso que as principais culturas

anuais são cultivadas e são dependentes da precipitação pluvial, como fonte de água.

De acordo com a definição de veranico, este pode ser considerado como uma seca agrícola, também conhecida como "seca verde", que acontece quando há chuvas abundantes, mas mal distribuídas em termos de tempo e espaço. Uma vez que a ocorrência do veranico se dá em pleno período chuvoso. O veranico acaba sendo um fator limitante para a produção agrícola, pois a estiagem da precipitação pluviométrica atinge as culturas em sua fase reprodutiva, afetando a produção final, fato de grande importância econômica.

Excluído: . U

No planejamento e gerenciamento das atividades mecanizadas, a ocorrência de dias secos, durante o período chuvoso ou "vice e versa", influenciam decisivamente no cronograma rural, principalmente nas atividades de preparo do solo, semeadura, aplicação de defensivos, irrigação e colheita (CASTRO NETO; VILLELA, 1986). Além disso, normalmente os veranicos no período de crescimento e florescimento, bem como períodos chuvosos no período de colheita, causam perdas significativas de produtividade, que aumentam à medida que os mesmos se intensificam. Para Santos e Carlesso (1998), a melhoria da gestão dos recursos hídricos depende da sensibilidade e do nível de responsabilidade do poder público em criar estratégias para enfrentar essa realidade.

De acordo com Assad et al. (1993), as grandes flutuações que podem ser observadas nos totais anuais e nas médias mensais da precipitação pluviométrica sugerem que as análises da oferta pluviométrica não podem ser feitas apenas com base nestas observações. Para a construção de um bom índice a ser usado na análise pluviométrica, com aplicação na agricultura, é preciso levar em conta a análise da distribuição e a frequência de ocorrência da precipitação e regionalizá-las.

De acordo com Assad e Sano (1988), para regionalizar as precipitações mensais ou os veranicos, tem que ser utilizado algum método de interpolação dos valores em cada estação pluviométrica, e estes têm que ser conhecidos e estar georreferenciados por meio de latitude e longitude ou outros sistemas de coordenadas.

Excluído: a

Excluído: e

Bernardes, Aguilar e Abe (1988) estudaram a frequência, estimaram a probabilidade e analisaram a distribuição temporal da ocorrência de diferentes períodos de veranicos no Estado do Paraná. Observaram que o maior veranico teve duração de 55 dias e que no mês de setembro acontece a maior concentração destes períodos, havendo uma diminuição nos meses de outubro, dezembro, janeiro e fevereiro.

Assad et al. (1993), analisando os dados de precipitação pluviométricas, de series históricas iguais ou superiores a 20 anos de 100 estações pluviométricas na região dos cerrados brasileiros, identificaram os Estados de Piauí, Bahia (sudoeste baiano) e Minas Gerais (norte de Minas) como as regiões mais críticas ao fenômeno veranicos após a estimação da probabilidade de ocorrência deste fenômeno, utilizando as funções de distribuição Gumbel e Weibull. Para a região de Barreiras, Bahia, a função Weibull descreveu melhor o conjunto de dados.

Carvalho et al. (2000) realizaram um estudo com dados diários de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima coletados nas estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizadas na bacia hidrográfica do Rio Verde Grande para estimar as perdas relativas na produção de milho, provocadas por deficiência hídrica na fase de floração, e espacializar os períodos de veranico, em dias, para perdas de 10, 20, 30 e 50%. Verificaram que a duração do veranico, na bacia do Rio Verde Grande, variou de 2 a 4 dias, de 3 a 7 dias, de 4 a 9 dias e de 5 a 11 dias, para

perdas na produção de milho, na fase de floração em outubro, de 10, 20, 30 e 50%, respectivamente.

Hernandez et al. (2003) simularam pelo software VERANICO 1.0 as probabilidades de ocorrência de veranicos de diferentes durações para um período de 21 anos e estudaram os seus efeitos em seis culturas cultivadas na região de Palmeira d'Oeste – SP: três culturas anuais (algodão, feijão e milho) e três perenes (banana, citros e uva). Os resultados das simulações mostraram que as frequências dos veranicos simulados apresentaram comportamento semelhante no período de dezembro a março, caracterizado pelas altas frequências de ocorrência de veranicos com duração reduzida. Para os meses de abril, maio, setembro, outubro e novembro, ocorreu uma maior distribuição das frequências simuladas dos veranicos. Entretanto, evidenciou-se uma tendência de concentração das maiores frequências para os veranicos de menor intensidade. Para os meses de junho a agosto (período seco) foi verificada uma dispersão nos valores das frequências simuladas para os veranicos de diferentes durações, com sensível aumento das frequências simuladas para veranicos mais longos.

Excluído: através do

Excluído: ,

Segundo Cruz et al. (2004), ao conhecer as características pluviométricas de uma região, tem-se em mãos um conjunto de ferramentas fundamentais para um bom planejamento e gerenciamento da atividade agrícola. Assim, ao iniciar o planejamento dos sistemas de produção, é importante conhecer o comportamento dos elementos climáticos em cada localidade, especialmente do regime pluviométrico.

Arai et al. (2009) estudaram a distribuição da precipitação pluvial na região de Dourados, MS. Com os resultados obtidos, concluíram que o período chuvoso fica compreendido entre os meses de outubro a março e que a ocorrência de períodos secos de sete dias na estação chuvosa é maior na segunda quinzena de cada mês.

Soares e Nóbrega (2009) desenvolveram um trabalho para identificar possíveis tendências na ocorrência de veranicos na Microrregião Geográfica do Pajeú-Pe, constatando, a partir das séries históricas de precipitação de seis diferentes postos pluviométricos, no período de 1965 a 2004, que está ocorrendo uma tendência de aumento do tamanho máximo e do tamanho médio dos veranicos nessa Microrregião. Porém, a variável quantidade de veranicos não apresentou tendência significativa.

Leal et al. (2006) estudaram o fenômeno de veranico em três municípios de Goiás (Itumbiara, Goiatuba e Quirinópolis). Os dados utilizados foram provenientes do banco de dados mantido pelo Núcleo de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás. Pelo estudo ficou caracterizada a existência deste fenômeno nos três municípios e este pode ser considerado como de caráter extremo, pois as perdas no setor agrícola, o mais importante da economia da região, foram muito grandes.

Excluído: , sendo que

Menezes et al. (2008), a partir de séries climatológicas de precipitação de diferentes postos pluviométricos no Estado da Paraíba, verificaram a distribuição temporal dos veranicos e suas correlações com as anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico Sul e Atlântico Norte e Sul, durante os veranicos mais longos. Concluíram que os veranicos das microrregiões do Litoral e Brejo são mais influenciados pelas condições de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical, enquanto os veranicos das microrregiões do Cariri/Curimataú e Sertão, na parte central e oeste do Estado, são influenciados pelas anomalias de TSM do Pacífico Equatorial.

Soares et al. (2010), estudando o comportamento e a frequência da precipitação pluviométrica no sertão de Pernambuco, observaram a ocorrência de veranicos durante a estação chuvosa. No posto de Verdejante, foi registrada a ocorrência de média anual histórica de pluviometria de 492 mm e 390 mm são precipitados na quadra chuvosa (aproximadamente 79% do total anual), mais

Excluído: , sendo que

precisamente em 15 dias, visto que, para esse posto, foi obtida uma média de 105 dias sem chuva no período chuvoso.

O acesso a informações relacionadas com as variáveis climáticas pode facilitar a tomada de decisão pelos produtores e profissionais da agricultura. Vários estudos mostram que a definição das épocas de plantio, por meio da análise da quantidade e distribuição pluvial e do balanço hídrico do solo, pode contribuir para diminuir o risco de deficiência hídrica das culturas, causado pela diminuição de água, não apenas no arroz de sequeiro (SILVA et al., 1995; STEINMETZ; REYNIERS; FOREST, 1985), mas também em outras culturas (ASSAD, 1986).

#### 2.4 Modelos probabilísticos contínuos utilizados em processos hidrológicos

A modelagem probabilística pode ser destacada como uma das técnicas empregadas na análise de vários fenômenos hidrológicos, incluindo a precipitação pluviométrica. Vários estudos de modelagem, envolvendo este tipo de dado, estão disponíveis na literatura.

As variáveis duração, intensidade e magnitude de precipitação pluviométrica são importantes elementos que servem para descrever os fenômenos hidrológicos, que são caracterizados pela Teoria das Probabilidades.

De acordo com Silva e Chaves (2011), diversos modelos univariados, discretos e contínuos, têm sido utilizados para descrever o comportamento desses dados e grande parte desses estudos apontam a distribuição gama, como a distribuição mais adequada na determinação de totais mensais de precipitação.

Dentre as diferentes distribuições univariadas contínuas que podem ser encontrados na literatura, para descrever o comportamento dos fenômenos meteorológicos, as mais estudadas são as distribuições normal, exponencial, gama, Gumbel, Pareto, log-normal e Weibull.

Excluído: através da

Excluído: ,

Minuzzi et al. (2006) desenvolveram um estudo sobre veranicos em Minas Gerais com o objetivo de caracterizar o período chuvoso e analisar a relação entre algumas de suas variáveis e o comportamento e a duração desse fenômeno. Testaram as distribuições normal, gama e Weibull, sendo a última a mais representativa para identificar o início do período chuvoso.

Souza, Lundren e Assis Netto (2010) estudando dados mensais de precipitação pluviométrica na região semi-árida do Estado de Pernambuco, utilizaram as distribuições de probabilidades: normal, exponencial, log-normal, beta, gama e Weibull para modelar os dados. Concluíram que as distribuições normal e exponencial não foram úteis para modelar nenhum dos meses de estudo e a distribuição log-normal se mostrou adequada para os meses de julho, agosto, setembro e outubro. A utilização da distribuição gama não é indicada para ajustar aos meses de fevereiro e março. Com a distribuição de Weibull não foi possível modelar apenas o mês de fevereiro. O uso da distribuição Beta é recomendado para ajustar todos os meses do ano.

#### 2.4.1 Distribuição Exponencial

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição exponencial, quando sua função de densidade de probabilidade para  $x > 0$  é dada por, Mood, Graybill e Boes (1974):

$$f(x) = \beta \exp(-\beta x) \quad (1)$$

em que  $x > 0$  e  $\beta > 0$  é um parâmetro de escala. A função de distribuição correspondente a (1) é:

Excluído: ,

$$F(x) = 1 - \exp(-\beta x) \quad (2)$$

Se  $X_1, \dots, X_n$  é uma amostra aleatória de (1), o estimador de máxima verossimilhança para o parâmetro  $\beta$  é:

$$\hat{\beta} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (3)$$

Na Figura 1 são ilustradas algumas formas da distribuição exponencial.

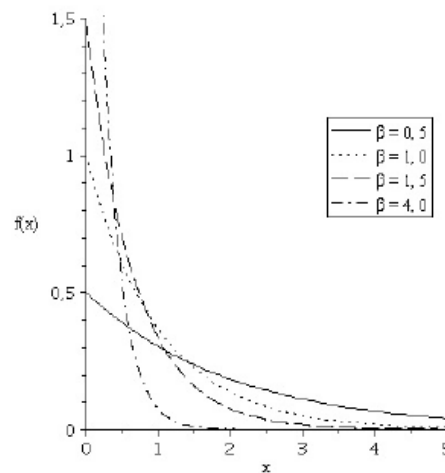


Figura 1 Representação gráfica da função densidade de probabilidade exponencial para diferentes valores do parâmetro  $\beta$

Shiau (2006) analisou as secas ocorridas em Wushantou, no sul de Taiwan, no período de 1932 a 2001, utilizando a distribuição exponencial. Verificou via critério gráfico P-P plot, que o modelo apresentou um bom ajuste.

Yang e Nadarajah (2008) analisaram a magnitude da seca, obtida pelo produto, período de seca pela intensidade da seca. Para descrever o período de seca, utilizaram a distribuição exponencial e, para descrever a intensidade da seca, usaram as distribuições exponencial, gama, Pareto, Weibull e log-normal. O modelo exponencial descreveu adequadamente os dados de duração de seca, porém apresentou ajuste inferior em relação aos demais modelos analisados, na descrição da intensidade de seca.

Excluído: ,

Shiau e Morrades (2009) utilizaram o modelo exponencial para descrever período de seca em Abadan, localizada no sul do Iran e em Anzali, no norte do Iran. Para verificar a qualidade de ajuste da distribuição foram usados critérios gráficos, que indicaram a adequação do modelo aos dados analisados.

#### 2.4.2 Distribuição Weibull

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição Weibull quando sua função densidade de probabilidade para  $x > 0$  é dada por:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad (4)$$

em que  $\alpha > 0$  é um parâmetro de forma e  $\beta > 0$  é um parâmetro de escala. A função de distribuição correspondente a (4) é

$$F(x) = 1 - \exp\left[-(\beta x)^{\alpha}\right]. \quad (5)$$

Se  $X_1, \dots, X_n$  é uma amostra aleatória de (4), as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  podem ser obtidas resolvendo o sistema de equações não lineares, Mood, Graybill e Boes (1974),

$$\hat{\beta} = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i^{\hat{\alpha}} \right)^{1/\hat{\alpha}} \quad (6)$$

$$\hat{\alpha} = \left[ \left( \sum_{i=0}^n x_i^{\hat{\alpha}} \log x_i \right) \left( \sum_{i=0}^n x_i^{\hat{\alpha}} \right)^{-1} - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \log x_i \right]^{-1} \quad (7)$$

A distribuição Weibull reduz-se a exponencial quando  $\alpha = 1$  e é denominada distribuição Rayleigh caso  $\alpha = 2$ .

Algumas formas da densidade Weibull podem ser observadas na Figura 2, para diferentes valores paramétricos.

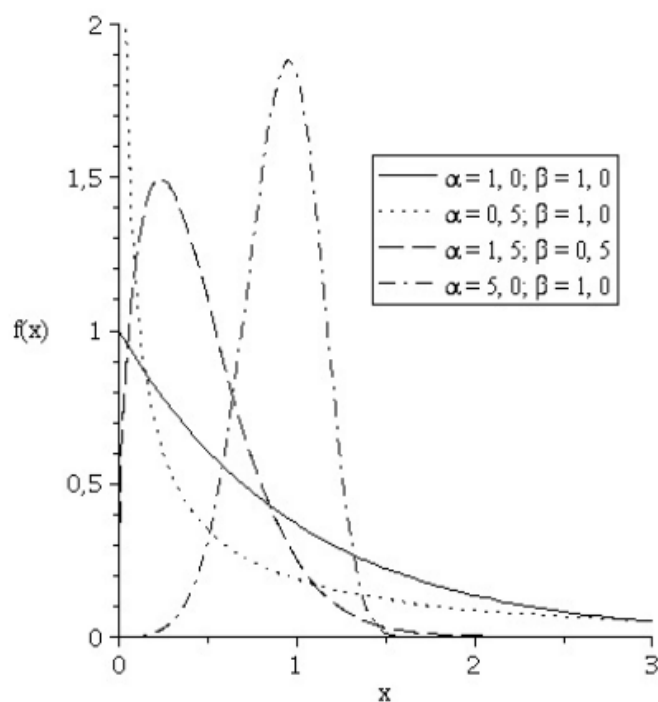


Figura 2 Representação gráfica da função densidade de probabilidade Weibull para diferentes valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$

Vieira et al. (2010), usando a distribuição Weibull, estudaram o comportamento da precipitação pluvial no período da estação chuvosa, entre 1977 a 2006, na região de Diamantina, MG. Concluíram, pelo teste Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 5%, que o modelo em estudo apresentou bom ajuste.

Excluído:

### 2.4.3 Distribuição Gumbel

A distribuição Gumbel ou valor extremo surge quando se toma o logaritmo de uma variável com a distribuição Weibull. Isto é, se a variável  $X$  tem uma distribuição Weibull, então a variável  $Y = \log(X)$  tem uma distribuição Gumbel.

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição Gumbel quando sua função densidade de probabilidade para  $+\infty > x > -\infty$  é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ - \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) - \exp \left[ - \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \right\} \quad (8)$$

em que  $\alpha > 0$  é um parâmetro de escala e  $-\infty > \beta > +\infty$  é um parâmetro de posição. A função de distribuição correspondente a (8) é

Excluído: sendo

$$F(x) = \exp \left\{ - \exp \left[ - \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

Se  $X_1, \dots, X_n$  é uma amostra aleatória de (8), as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i - \frac{\sum_{i=0}^n x_i \exp \left( - \frac{x_i}{\hat{\alpha}} \right)}{\sum_{i=0}^n \exp \left( - \frac{x_i}{\hat{\alpha}} \right)} \quad (10)$$

$$\hat{\beta}^2 = -\hat{\alpha} \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \exp \left( -\frac{x_i}{\hat{\alpha}} \right) \right] \quad (11), \text{ ver Gumbel (1960).}$$

A Figura 3 mostra a distribuição Gumbel com parâmetros  $\mu = 0,5$  e  $\alpha = 2$ .

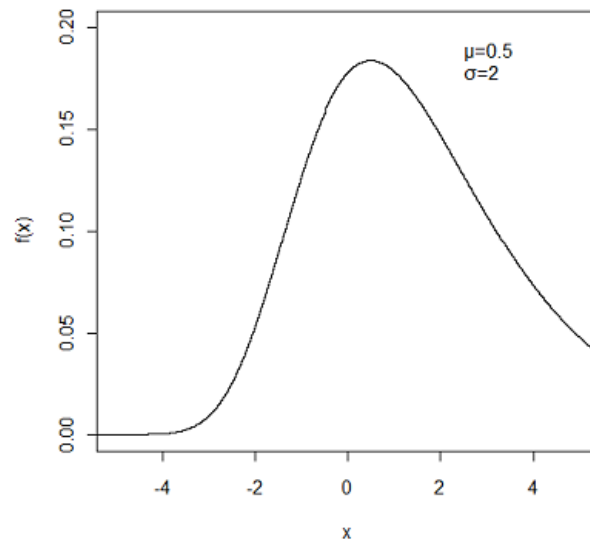


Figura 3 Representação gráfica da função densidade de probabilidade Gumbel, para os parâmetros  $\mu = 0,5$  e  $\alpha = 2$

Nas Figuras 4 e 5 podem ser observadas, respectivamente, as representações das distribuições de probabilidade e a distribuição cumulativa para diferentes valores de  $\lambda$  da função Gumbel.

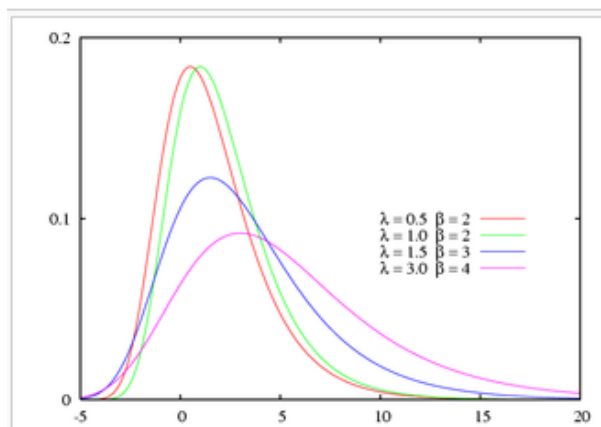


Figura 4 Representação gráfica da distribuição de probabilidade Gumbel para diferentes valores de  $\lambda$

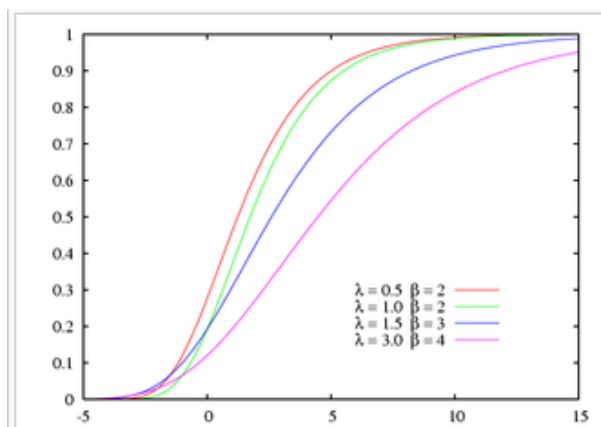


Figura 5 Representação gráfica da distribuição cumulativa da função Gumbel para diferentes valores de  $\lambda$

Quadros, Queiroz e Vilas-Boas (2001) ajustaram as séries históricas de precipitação máximas para diferentes durações obtidas de pluviógrafos no município de Cascavel, Pr, período de 1972 a 1985, pela distribuição Gumbel

Excluído: o

Excluído: á

para efeito de comparação com a distribuição generalizada de valores extremos. Observaram que a distribuição Gumbel subestima a distribuição generalizada de valores extremos para grandes períodos de retorno.

Beijo et al. (2003) estimaram a precipitação pluvial diária máxima esperada em diferentes níveis de probabilidade para a região de Jaboticabal, SP, utilizando a distribuição de Gumbel com as estimativas dos parâmetros, obtidas pelo método dos momentos e pelo método da máxima verossimilhança. Concluíram com base no teste Kolmogorov-Smirnov que houve um bom ajuste da distribuição de Gumbel para os dados estudados no período de janeiro de 1956 a dezembro de 2001.

Hartmann, Moala e Mendonça (2011) observaram que a distribuição Gumbel apresentou um bom ajuste aos dados da precipitação pluvial diária máxima, para a região de Presidente Prudente.

#### 2.4.4 Distribuição Gama

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição gama quando sua função densidade de probabilidade para  $x > 0$  é dada por Magalhães (2006):

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta x) \quad (12)$$

em que  $\alpha > 0$  é um parâmetro de forma,  $\beta > 0$  é um parâmetro de escala e  $\Gamma(\cdot)$  representa a função matemática gama, definida por:

Excluído: sendo

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} \exp(-t) dt \quad (13)$$

A função de distribuição correspondente à densidade gama (14) pode ser expressa por:

Excluído: a

$$F(x) = \frac{\gamma(\alpha, \beta x)}{\Gamma(\alpha)} \quad (14)$$

em que  $\gamma(\alpha, \cdot)$  representa a função gama incompleta,

Excluído: sendo

$$\gamma(\alpha, x) = \int_0^x t^{\alpha-1} \exp(-t) dt \quad (15)$$

O modelo exponencial apresentado anteriormente é um caso particular da distribuição gama quando  $\alpha = 1$ .

Se  $X_1, \dots, X_n$  é uma amostra aleatória de (13), as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  podem ser obtidas resolvendo o sistema de equações não lineares,

$$\frac{n\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} - \sum_{i=0}^n x_i = 0 \quad (16)$$

$$n \log \left( \frac{n\hat{\alpha}}{\sum_{i=0}^n x_i} \right) - n\psi(\hat{\alpha}) + \sum_{i=0}^n \log x_i = 0 \quad (17)$$

em que  $\Psi(\cdot)$  é a função digama,

Excluído: sendo

$$\psi(\alpha) = \frac{d \log(\Gamma(\alpha))}{d\alpha} \quad (18)$$

Em decorrência de sua versatilidade, a gama é uma das distribuições mais utilizadas na Estatística. Dependendo dos valores dos parâmetros, esse modelo recebe nomes especiais. Para  $\alpha = 1$ , tem-se a distribuição exponencial. Caso  $\alpha = n/2$  com  $n$  inteiro positivo e  $\beta = 1/2$ , tem-se o importante modelo qui-quadrado, com  $n$  graus de liberdade. Quando  $\alpha = n$  com  $n$  inteiro positivo, a distribuição gama reduz-se ao modelo Erlang de ordem  $n$ .

Excluído: Devido a

Para exemplificar a versatilidade do modelo gama, é apresentado na Figura 6 o gráfico de sua densidade para alguns valores paramétricos.

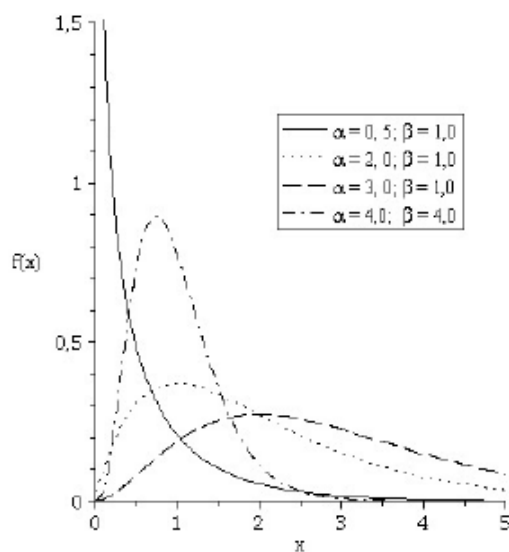


Figura 6 Representação gráfica da função densidade de probabilidade gama para alguns valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$

Botelho e Morais (1999) estudaram as precipitações pluviométricas ocorridas na cidade de Lavras – MG, obtendo um bom ajuste do modelo gama a série histórica de trinta anos com dados diários.

Morais et al. (2001) também consideraram a distribuição gama satisfatória para descrever tal fenômeno, sugerindo que a mesma seja utilizada para o dimensionamento de sistemas de irrigação suplementar, em Lavras-MG.

Araújo et al. (2001) avaliaram o potencial da distribuição gama na previsão de precipitações para o município de Boa Vista, no Estado de Roraima. Verificaram um bom ajuste dos valores mensais de precipitação pluviométrica, exceto para os meses secos, de janeiro e fevereiro. Utilizaram em seu estudo os dados de precipitação pluviométrica mensal de uma série histórica compreendida entre os anos de 1923 a 1997.

Sampaio et al. (2007) usaram as distribuições gama e log-normal para estudar a distribuição da precipitação mensal para o Estado do Paraná. Verificaram que a distribuição gama teve um ajuste melhor do que a distribuição log-normal.

Excluído: ,

Segundo Botelho e Morais (1999), o grande problema encontrado em trabalhos que envolvem a distribuição gama é a estimativa dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ , em virtude da complexidade e extensão dos cálculos envolvidos. Vários métodos podem ser usados, como o método dos quadrados mínimos, o método dos momentos e o da máxima verossimilhança, porém todos possuem limitações, seja por problemas matemáticos ou por produzirem estimativas ineficientes.

Excluído: devido à

Além do estudo de modelagem de precipitação pluviométrica, a distribuição gama tem sido usada para descrever outras variáveis meteorológicas como evapotranspiração e pressão de vapor. Dentre os estudos desenvolvidos com esta distribuição podemos citar: Assis (1993), Botelho e Morais (1999) e Mattos e Silva (2013).

### 2.4.5 Distribuição Log-normal

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição log-normal quando sua função densidade de probabilidade para  $x > 0$  é dada por:

Excluído: -

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (19)$$

em que  $-\infty > \mu > +\infty$  é um parâmetro de escala e  $\sigma > 0$  é um parâmetro de forma. A função de distribuição correspondente a (20) é

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\log x - \mu}{\sigma}\right) \quad (20)$$

tal que  $F(\cdot)$  representa a função de distribuição normal padrão.

Se  $X_1, \dots, X_n$  é uma amostra aleatória de (21), as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros  $\mu$  e  $\sigma^2$  são:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \log x_i \quad (21)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left( \log x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \log x_i \right)^2 \quad (22)$$

Algumas formas possíveis da densidade log-normal com dois parâmetros podem ser visualizadas na Figura 7.

Excluído: -

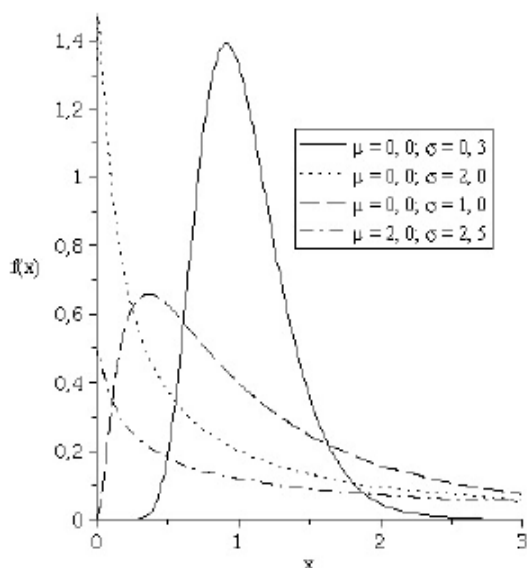


Figura 7 Representação gráfica da função densidade de probabilidade log-normal para alguns valores dos parâmetros  $\mu$  e  $\sigma$

Excluído: -

Cruciani, Machado e Sentelhas (2002), analisaram dados de pluviogramas da cidade de Piracicaba, SP, do período de 1966 a 2000, com o objetivo de determinar a distribuição temporal de chuvas intensas de 60 e de 120 min de duração. No estudo utilizaram a distribuição de probabilidade log-normal, com 2 parâmetros e a distribuição binomial negativa truncada. Concluíram, pelo teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ), em nível de significância de 0,05, que chuvas intensas de 60 e de 120 min de duração, representativos dos meses chuvosos (de outubro a março), apresentaram distribuição temporal do tipo exponencial negativa, em 85,7 e 50,7% dos casos, respectivamente.

Excluído: ndo

Excluído: a

Sampaio et al. (2007), utilizando as distribuições gama e log-normal, estimaram a precipitação provável para o Estado do Paraná. Considerando os testes Qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov com 5% de significância,

Excluído: -

Excluído: om base n

concluíram que a distribuição gama ajustou-se mais adequadamente aos dados estudados.

#### 2.4.6 Distribuição Pareto

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição Pareto tipo I quando sua função densidade de probabilidade para  $x > 0$  é dada por, Johnson, Kotz e Balakrishnan (1994):

$$f(x) = \alpha \beta^\alpha x^{-(\alpha+1)} \quad (23)$$

em que  $x \geq \beta > 0$ ,  $\alpha > 0$  é um parâmetro de forma e  $\beta > 0$  é um parâmetro de escala. A função de distribuição correspondente a (24) é

$$F(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha \quad (24)$$

em que  $x \geq \beta$  verificar se existe coerência.

Se  $X_1, \dots, X_n$  é uma amostra aleatória de (24), as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são:

$$\hat{\beta} = \min\{x_i\}_{i=1}^n \quad (25)$$

$$\hat{\alpha} = n \left[ \sum_{i=1}^n \log \left( \frac{x_i}{\hat{\beta}} \right) \right]^{-1} \quad (26)$$

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição Pareto tipo II quando sua função densidade de probabilidade é da forma:

$$f(x) = \alpha \beta^\alpha (x + \beta)^{-(\alpha+1)} \quad (27)$$

em que  $\alpha > 0$  e  $x \geq \beta > 0$ ,  $\alpha$  é um parâmetro de forma e  $\beta$  é um parâmetro de escala.

Nas Figuras 8 e 9 são ilustradas algumas formas das densidades Pareto tipo I e tipo II para diferentes valores paramétricos.

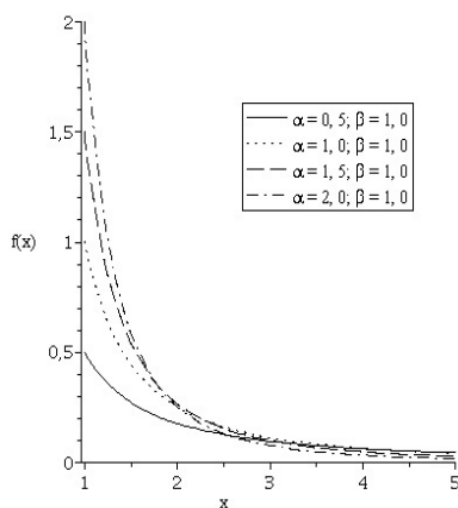


Figura 8 Representação gráfica da função densidade de probabilidade Pareto tipo I para alguns valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$

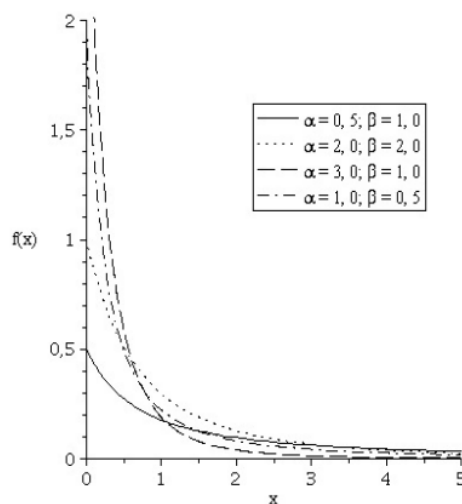


Figura 9 Representação gráfica da função densidade de probabilidade Pareto tipo II para alguns valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$

Nadarajah e Ali (2008) obtiveram um bom ajuste ao modelaram a precipitação diária máxima anual utilizando a distribuição Pareto tipo II. Os dados consistiam das medições diárias do índice pluviométrico de quatorze estações meteorológicas situadas na Flórida, no período compreendido de 1901 até 2003.

Excluído: obtiveram

Todas as distribuições apresentadas, bem como o procedimento para obtenção dos respectivos estimadores de máxima verossimilhança dos parâmetros podem ser encontradas em Azzalini (1996), Bolfarine e Sandoval (2001), Degroot e Schervish (2002), Johnson, Kotz e Balakrishnan (1994), Magalhães (2006) e Mood, Graybill e Boes (1974).

## 2.5 Estimação dos parâmetros dos modelos probabilísticos

Os métodos da verossimilhança e dos momentos são os mais comumente utilizados, mas, segundo Thom (1958), deve-se preferir o da máxima verossimilhança, em virtude das boas propriedades assintóticas dos seus estimadores, que são consistentes e assintoticamente eficientes. Embora o método dos momentos seja largamente utilizado para ajustar distribuições de frequências em climatologia, são casos excepcionais as situações em que ele se mostra totalmente eficiente para estimar parâmetros climatológicos, cuja principal exceção é a distribuição normal em que os estimadores dos momentos são conjuntamente suficientes e, portanto, são idênticas às estimativas de máxima verossimilhança. Infelizmente, a distribuição da maioria das variáveis hidrológicas apresenta algum grau de assimetria, dentre elas a precipitação mensal total. Portanto, o uso do método dos momentos possui alguma perda de eficiência na estimação; ainda, de acordo com o autor, para os casos em que  $\alpha < 10$ , o método dos momentos produz estimativas inaceitáveis para ambos,  $\alpha$  e  $\beta$ ; para as situações em que o valor de  $\alpha$  é próximo de 1, as estimativas de momentos usam somente 50% da informação contida na amostra para estimar  $\beta$  e somente 40% para estimar  $\alpha$  (SOCCOL; CARDOSO; MIQUELLUTI, 2010).

O método da máxima verossimilhança é um método utilizado para estimar os parâmetros de um modelo estatístico. A partir de um conjunto de dados e de um modelo estatístico, a estimativa por máxima verossimilhança estima valores para os diferentes parâmetros do modelo.

Este método busca os valores para os parâmetros de maneira a maximizar a probabilidade dos dados amostrados, sendo dado o modelo assumido.

As definições de estimação, estimador e estimativa são apresentados a seguir para formalizar os conceitos apresentados.

Definição 1. A estimação é o processo que consiste no uso de dados da amostra (dados amostrais) para estimar valores de parâmetros populacionais para o qual não se conhece o valor absoluto, tais como média, desvio padrão.

Definição 2. Um estimador (ou uma estatística) é uma variável aleatória, função das observações usadas para estimar um parâmetro da população que segue uma distribuição de probabilidades.

Definição 3. Estimativa é o valor assumido pelo estimador em uma amostra.

Várias estatísticas  $T$  poderão ser usadas como estimadores de um parâmetro  $\theta$ . A escolha da estatística que será o melhor estimador para o parâmetro pode ser feita utilizando basicamente os critérios: o estimador precisa ser justo, consistente e eficiente (COSTA NETO, 1978).

*Um Estimador  $T$  é um estimador justo (não tendencioso) de um parâmetro  $\theta$  quando o valor esperado de  $T$  é igual ao valor do parâmetro  $\theta$  a ser estimado:  $E(T) = \theta$ .*

*Um Estimador  $T$  é um estimador consistente de um parâmetro  $\theta$  quando, além de ser um estimador justo, a sua variância tende a zero à medida que o tamanho da amostra aleatória aumenta:*

$$\lim_{n \rightarrow \infty} V(T) = 0 \quad (28)$$

Se há dois Estimadores justos de um parâmetro o mais eficiente é aquele que apresentar a menor variância.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material

Os dados utilizados no presente estudo referem-se à série histórica da precipitação pluviométrica diária, foram fornecidos pela área de Agrometeorologia do Departamento de Engenharia e obtidos dos registros pluviométricos da Estação Climatológica Principal de Lavras, Estado de Minas Gerais, situada no Câmpus da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A Estação Climatológica está situada nas coordenadas geográficas de 21°14'30" de latitude Sul, 45°00'10" de longitude Oeste de Greenwich e altitude de 918,84 metros. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região apresenta características de transição entre Cwb – Mesotérmico e Cwa, temperado úmido. O clima caracteriza-se, ainda, por apresentar inverno seco (abril – setembro) e verão quente e com chuvas predominantes (outubro – março). Caracterizado por uma precipitação média anual de 1529,7 mm, a evaporação total no ano de 1034,3 mm e umidade relativa média diária anual de 76,2%, segundo Dantas, Carvalho e Ferreira (2007).

As observações referem-se às precipitações pluviais diárias expressas em altura da lâmina d'água (mm), abrangendo um período de janeiro de 1970 até dezembro de 2010, num total de 41 anos. Inicialmente realizou-se uma análise exploratória dos dados, sendo observados alguns valores discrepantes, que foram eliminados. Esta análise é necessária para controlar os dados, uma vez que algumas medições foram feitas manualmente, e problemas relacionados como ausência de observações, descontinuidade de observações e registros irreais podem ser detectados na série histórica. A retirada de tais valores não compromete a base de dados, uma vez que, de acordo com a Organização

Excluído: ,

Excluído: ,

Mundial de Meteorologia, existe a necessidade de uma série de no mínimo 30 anos de dados pluviométricos como sendo representativa (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO, 2013).

Da série de observações das precipitações pluviais diárias foram analisados os dados do período chuvoso, que é compreendido pelos meses: outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março.

Para avaliar a ocorrência de veranicos, estes foram convenionados como uma sequência de, no mínimo de quatro dias consecutivos, com ocorrência de precipitações pluviométricas abaixo de 1 mm.

A ocorrência de veranicos foi feita pela contagem do número de dias secos (aqueles em que a precipitação pluviométrica é menor que 1 mm) e períodos contínuos sem precipitação (quantidade de dias secos sucessivos).

### 3.2 Métodos

Para estudo da ocorrência e duração dos períodos de veranico e modelagem probabilística foram utilizados os modelos probabilísticos:

- a) Exponencial;
- b) Gama;
- c) Gumbel;
- d) Weibull;
- e) Log-normal; e
- f) Pareto.

Foram estudadas as variáveis respostas número de ocorrência de veranico por mês e duração (dias) de cada veranico.

### 3.2.1 Modelagem probabilística

A modelagem probabilística é uma importante ferramenta utilizada para estudar fenômenos aleatórios. A modelagem dos fenômenos hidrológicos tem sido motivo de estudo de muitos pesquisadores, seja através de Séries Temporais, Redes Neurais ou Teoria das Probabilidades.

Para análise das distribuições, é necessário o estudo de densidades que, na sua maioria, dependem de funções especiais ou expansões em série. Desse modo, foram feitas rotinas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), para obtenção das densidades estudadas e ajuste das mesmas.

### 3.2.2 Estimação dos parâmetros

A estimação dos parâmetros dos modelos foi feita a partir de suas distribuições marginais utilizando o método da máxima verossimilhança, conforme Yue (2001).

### 3.2.3 Ajuste dos modelos

#### Teste de qui-quadrado

Para verificar a qualidade do ajuste das distribuições descritas pelos modelos, foi utilizado o gráfico de probabilidade observada versus a probabilidade esperada.

Para contornar a subjetividade apresentada pelo teste gráfico, foi utilizado o teste de aderência de qui-quadrado para avaliar a adequabilidade dos modelos probabilísticos ao conjunto de dados observados. A estatística do teste é:

$$x_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i} \quad (29)$$

em que,

- $Fe_i$ : é a frequência esperada de elementos na classe  $i$ ;
- $Fo_i$ : é a frequência observada de elementos na classe  $i$ ;
- $k$ : é o número de classes.

A distribuição da estatística  $X^2c$  é aproximada por uma distribuição qui-quadrado com  $(k - 1)$  graus de liberdade. Quando o modelo a ser testado envolve a estimação de parâmetros desconhecidos, a partir da mesma amostra com a qual será feito o teste de aderência,  $X^2c$  tem distribuição aproximada de qui-quadrado com  $(k - t - 1)$  números de graus de liberdade, em que  $t$  é o número de parâmetros estimados no modelo pelo método da máxima verossimilhança.

Para cada resultado, avaliam-se as hipóteses:

Excluído: ou

$$H_0: f = f_0 \quad (30)$$

$$H_1: f \neq f_0 \quad (31)$$

a amostra observada é proveniente de uma distribuição de probabilidades especificadas, ( $H_0$ ) ou não ( $H_1$ ). O critério para avaliar essas hipóteses, ao nível de significância  $\alpha = 5\%$ , consiste em rejeitar  $H_0$  se  $X^2c > X^2\alpha$ , o que é equivalente a obter um valor  $p$  menor que 0,05.

O teste de qui-quadrado é sensível à presença de classes com pequenos valores das frequências esperadas, sendo recomendado usar classes com frequências superiores a 5. Uma alternativa é agrupar as classes cujas frequências sejam inferiores a esse valor (FERREIRA, 2005). Deste modo, para a aplicação do teste, as classes são agrupadas conforme essa metodologia.

### Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov

O teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov (KS-test) é utilizado para verificar a aderência de distribuições. Além de não depender do número de classes do agrupamento dos dados, esse teste oferece mais vantagens computacionais.

Excluído: , a

O referido teste, utilizado para avaliar a aderência das distribuições estudadas, baseia-se na discrepância entre as distribuições,  $D_n = \sqrt{n} \sup_x |F_n(x) - F_0(x)|$  em que  $F_n(x)$  representa a distribuição teórica e  $F_0(x)$  a distribuição ajustada. Essa estatística é usada para testar a hipótese nula  $H_0: F = F_0$  versus hipótese alternativa  $H_1: F \neq F_0$ . O p-valor correspondente dado por  $P(K > dn)$  e  $dn$  representa o valor observado de  $D_n$  e  $K$  e a variável aleatória especificada pela função de densidade:

Excluído: e

Excluído: e

Excluído: sendo que

$$P(K \subseteq x) = \frac{\sqrt{2\pi}}{x \sum_{i=1}^{\infty} \exp\left\{- (2i-1)^2 \frac{\pi^2}{8x^2}\right\}} \quad (32)$$

(KVAM; VIDA KOVIC, 2007).

#### 3.2.4 Seleção do modelo

Como mecanismo de escolha do modelo com melhor ajuste foi utilizado o critério de informação de Akaike corrigido (AICc), conforme Bozdogan (1987), o qual apresenta estimador:

$$AIC_c = -2L + 2p + 2 \frac{p(p+1)}{n-p-1} \quad (33)$$

em que  $L$  representa o logaritmo neperiano (natural) do máximo da função de verossimilhança;  $p$  é o número de parâmetros do modelo e  $n$  representa o tamanho da amostra. De acordo com esse critério, o melhor dentre os modelos considerados na construção do problema é aquele que apresenta o menor valor de AICc.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após exame cuidadoso da série de precipitações foi observada a ocorrência de veranicos em quase todos os anos, dentro do período chuvoso de Lavras, em alguns anos, houve repetição de veranicos (com tempo de duração menor) no mesmo mês.

Excluído: o

Excluído: à

Tabela 3 Valores mínimos, médios e máximos da duração, em dias sem chuva, de veranicos, nos meses chuvosos do município de Lavras, MG, no período de janeiro de 1970 a dezembro de 2010

Meses	Mínimo	Médio	Máximo
Outubro	4,000	7,247	21,000
Novembro	4,000	5,904	15,000
Dezembro	4,000	5,529	10,000
Janeiro	4,000	6,511	18,000
Fevereiro	4,000	6,468	19,000
Março	4,000	7,175	22,000

Pela análise da Tabela 3, observa-se que a duração média dos veranicos ocorridos no município de Lavras, no período chuvoso, foram, respectivamente, 7, 6, 6, 7, 6 e 7 dias, correspondentes a, aproximadamente, 20% dos dias desses meses sem chuva. Também, nota-se uma variabilidade muito grande nos dados, com ocorrências de períodos mínimos veranicos de 4 dias e períodos máximos de 22 dias.

Esses períodos sem ocorrência de chuvas podem afetar em muito a agricultura da região, logo o conhecimento desse fenômeno pode contribuir para um melhor manejo.

Menezes et al. (2008) e Nobre et al. (2004) encontraram veranicos com duração média de 6,7 dias para o Estado da Paraíba e a Microrregião de Araripina, respectivamente, equivalentes às encontradas em Lavras.

Diniz et al. (2006a, 2006b) encontraram valor médio de 25 dias para os maiores veranicos, na Microrregião de Petrolina.

Comportamento semelhante foi observado por Soares e Nóbrega (2010) que observaram, em média, 6 a 7 veranicos por estação chuvosa com duração média de 9 a 18 dias e que os maiores veranicos tiveram duração média de 14 a 36 dias, no sertão de Pernambuco.

Menezes et al. (2008, 2010) identificaram, no Sertão e no Alto Sertão Paraibano, veranicos máximos próximos aos encontrados em Lavras, com média de 12,6 e 15,1 dias, respectivamente.

Na Tabela 4 são apresentadas as estimativas dos parâmetros, obtidas pelo método da máxima verossimilhança, encontradas nos ajustes das distribuições exponencial, gama, Gumbel, Weibull, log-normal e Pareto para os meses estudados. Verifica-se que a aderência das distribuições probabilísticas aos dados de ocorrência de veranicos foi rejeitada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de significância de 5%, na maioria das situações, por apresentarem valores menores que 0,05, indicando rejeição de aderência. Para selecionar a distribuição com melhor ajuste foi utilizado o AICc.

Excluído: s

Excluído: de

Excluído: ,

Excluído: n

Excluído: p

Tabela 4 Estimativas dos parâmetros dos seis modelos probabilísticos, nível de significância (valor p) do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, critério de informação de Akaike (AICc) corrigido utilizados para descrever a ocorrência de veranicos nos seis meses chuvosos da região de Lavras, MG

Modelo	Parâmetro	Meses					
		Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar
Exponencial	$\hat{\beta}$	0,138	0,169	0,181	0,154	0,155	0,139
	valor p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gama	$\hat{\alpha}$	5,089	8,373	12,635	7,873	6,869	4,779
	$\hat{\beta}$	0,702	1,418	2,285	1,209	1,062	0,666
	valor p	0,011	0,006	0,023	0,421	0,068	0,018
	AICc				212,664	285,921	
Gumbell	$\hat{\alpha}$	2,272	1,436	1,142	1,723	1,745	2,349
	$\hat{\beta}$	5,740	4,956	4,799	5,431	5,326	5,623
	valor p	0,005	0,003	0,015	0,211	0,060	0,012
	AICc				208,298	278,389	
Weibull	$\hat{\alpha}$	8,229	6,644	6,145	7,324	7,307	8,151
	$\hat{\beta}$	2,107	2,622	3,422	2,530	2,334	2,093
	valor p	0,000	0,001	0,016	0,057	0,005	0,003
	AICc				224,454		
Log-normal	$\hat{\mu}$	1,879	1,715	1,670	1,809	1,792	1,862
	$\hat{\sigma}$	0,429	0,333	0,276	0,347	0,367	0,447
	valor p	0,013	0,008	0,032	0,289	0,087	0,026
	AICc				208,259	277,931	
Pareto	$\hat{\alpha}$	2,029	3,045	3,525	2,368	2,463	2,100
	$\hat{\beta}$	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	valor p	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,001
	AICc						

Pela análise da Tabela 4, pode-se observar que a distribuição log-normal apresentou o melhor ajuste para os dados referentes aos meses de outubro, janeiro, fevereiro e março, dado que apresentou menor valor para o critério de informação de Akaike. A distribuição Gumbel apresentou melhor ajuste para o mês de dezembro.

A distribuição de Gumbel se mostrou quase tão boa quanto a log-normal, porém não conseguiu modelar os meses de outubro e novembro. Esses meses apresentaram comportamento difícil de ser modelado, uma vez que, no mês de outubro, somente as distribuições gama e log-normal apresentaram ajuste, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Excluído: que

Observa-se ainda que para o mês de novembro nenhum dos modelos probabilísticos estudados foram adequadas para descrever os veranicos no município de Lavras, MG, no período de 1970 a 2010.

Excluído: à

Pelos resultados obtidos para as distribuições exponencial e de Pareto, verificou-se que não foi possível modelar nenhum dos meses da estação chuvosa de Lavras, pois essas distribuições não apresentaram aderência à ocorrência de veranicos. Fato semelhante, também, havia sido observado por Souza, Lundren e Assis Netto (2010), ao ajustar as distribuições normal e exponencial à estação chuvosa da região semiárida de Pernambuco.

Excluído: á

A distribuição log-normal, também, foi utilizada para descrever as condições pluviométricas do estado do Paraná, de acordo com o estudo realizado por Sampaio et al. (2007).

Estudos realizados por Mattos e Silva (2013) no estado de Goiás; Botelho e Moraes (1999) no município de Lavras, MG e Assis (1993) no município de Pelotas, RS, também, indicaram resultados satisfatórios na estimação de precipitação pluviométrica pela utilização da distribuição gama.

Pela análise da Tabela 4, observa-se que houve boa aderência dos dados de veranico à distribuição gama. No caso da precipitação pluviométrica, Moraes et al. (2001), também, consideraram a distribuição gama como satisfatória para descrever tal fenômeno, sugerindo que a mesma seja utilizada para o dimensionamento de sistemas de irrigação suplementar, em Lavras, MG.

As Figuras 10, 11, 12, 13 e 14 ilustram o ajuste das funções de probabilidade que apresentaram o melhor ajuste, segundo o teste de

Kolmogorov-Smirnov. São apresentados os gráficos do ajuste da distribuição log-normal para os meses de outubro, janeiro, fevereiro e março, (Figuras 10, 12, 13 e 14) e o gráfico do ajuste da distribuição Gumbel para o mês de dezembro, ver Figura 11.

No Anexo A é possível observar os gráficos do ajuste das funções de distribuição exponencial, gama, Gumbel, Weibull, log-normal e Pareto para todos os meses estudados.

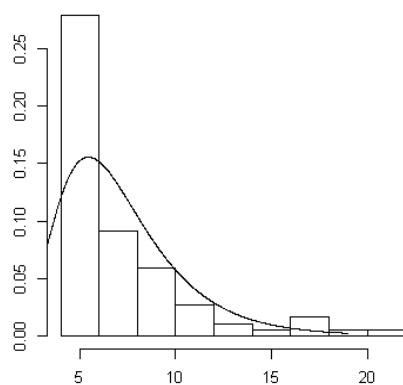


Figura 10 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010

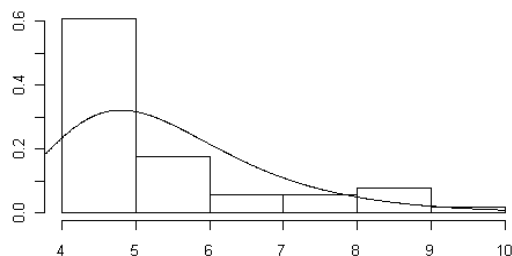


Figura 11 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010

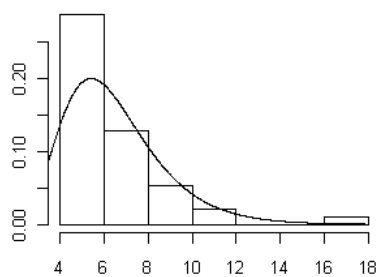


Figura 12 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010

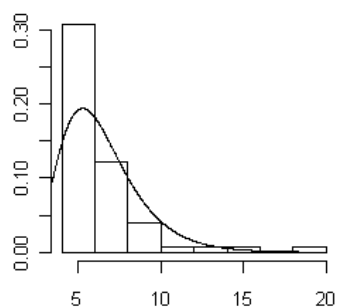


Figura 13 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010

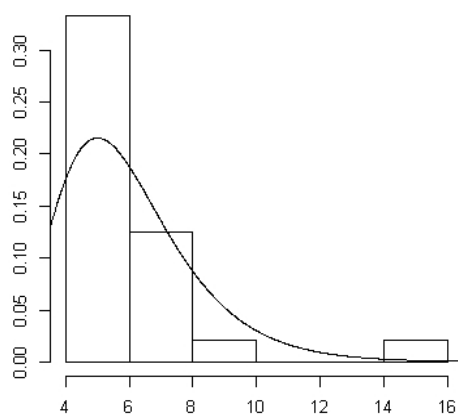


Figura 14 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de março, no período de 1970 a 2010

Nas Tabelas 5 a 9 são apresentados os valores para a duração provável de veranicos, nos meses da estação chuvosa, do município de Lavras, MG, estimados pelas distribuições de probabilidade gama, Gumbel, Weibull e log-normal para os níveis de probabilidade de 1%, 5%, 10%, 90%, 95% e 99%, pois foram as distribuições que apresentaram ajuste aos dados estudados.

Tabela 5 Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama e log-normal, para o mês de outubro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG

Modelos	1%	5%	10%	90%	95%	99%
---------	----	----	-----	-----	-----	-----

Gama	2,3	3,2	3,8	9,6	10,7	13,1
log-normal	2,4	3,2	3,8	11,4	13,3	17,8

Tabela 6 Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell, Weibull e log-normal, para o mês de dezembro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG

Modelos	1%	5%	10%	90%	95%	99%
Gama	2,3	3,2	3,8	9,6	10,7	13,1
Gumbel	3,1	3,5	3,8	7,8	8,2	10,1
Weibull	1,6	2,6	3,2	7,8	8,5	9,6
log-normal	2,8	3,4	3,7	7,6	8,4	10,1

Tabela 7 Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell, Weibull e log-normal, para o mês de janeiro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG

Modelos	1%	5%	10%	90%	95%	99%
Gama	2,3	3,2	3,8	9,6	10,7	13,1
Gumbel	2,8	3,5	4,0	9,3	10,5	13,4
Weibull	1,2	2,3	3,0	10,2	11,3	13,4
log-normal	2,7	3,4	3,9	9,5	10,8	13,7

Tabela 8 Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell e log-normal, para o mês de fevereiro, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG

Modelos	1%	5%	10%	90%	95%	99%
Gama	2,3	3,2	3,8	9,6	10,7	13,1
Gumbel	2,7	3,4	3,9	9,3	10,5	13,4
log-normal	2,6	3,3	3,8	9,6	11,0	14,1

Tabela 9 Estimativas da provável ocorrência (em dias) de veranicos obtidos pelos modelos gama, gumbell e log-normal, para o mês de março, em diferentes níveis de probabilidade fixadas, para o município de Lavras, MG

Modelos	1%	5%	10%	90%	95%	99%
Gama	2,3	3,2	3,8	9,6	10,7	13,1
Gumbel	2,0	3,0	3,7	10,9	12,6	16,4
log-normal	2,3	3,1	3,6	11,4	13,4	18,2

Estes níveis dizem respeito à ocorrência de veranico com duração provável  $P(X > x)$ . Os resultados indicam que, em média, a duração provável dos veranicos do mês de janeiro, com confiança de 95%, é de 10,8 dias. Já, para Carvalho et al. (1999), ao estimarem a ocorrência de veranicos no período de novembro a fevereiro, para os municípios de Seropédica, Vassouras e Pirai, por meio de um programa computacional desenvolvido por Sousa e Peres (1998), verificaram que a probabilidade de ocorrência de veranicos com duração de 7 dias é de 20,0% para Seropédica, de 25,6% para Pirai e 11,8% para Vassouras.

Na Tabela 10 é apresentada a quantidade de ocorrências de veranicos que foi registrada por mês, no período de 1970 a 2010; por exemplo, no mês de outubro, por duas vezes, ocorreram quatro veranicos. Já, quatro veranicos foram observados somente uma vez no mês de fevereiro.

Excluído: ,

Excluído: i

Tabela 10 Número de vezes de ocorrências de veranicos observados no período de 1970 a 2010, no período chuvoso do município de Lavras, MG, em função da quantidade de veranicos (em dias)

Excluído: à

Quantidade de veranicos	Mês					
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
4	2	0	0	0	1	2
3	14	7	3	1	7	9
2	18	22	14	14	11	17
1	7	8	15	16	15	13
0	0	4	9	10	7	0

Observa-se que as maiores frequências são da ocorrência de 1 ou 2 veranicos por mês, sendo observado nos meses de outubro e fevereiro, um menor número de registros.

Arai et al. (2009), ao analisarem os totais anuais de precipitação, no período de 1980 a 2006, em Dourados, MS, observaram a ocorrência de 26 veranicos no mês de janeiro. Ocorrência menor que a registrada em Lavras, MG.

Assad e Castro (1991) encontraram um número equivalente de veranicos no mês de janeiro, ao realizar a análise da pluviometria na região de Sete Lagoas, MG.

A Tabela 11 apresenta a quantidade de veranicos que foi registrada por mês, entre os anos estudados. É possível observar a duração dos veranicos ocorrida no período de 1970 a 2010.

Excluído: s

Tabela 11 Número de vezes de ocorrência de veranicos registrados por mês no período de 1970 a 2010, no período chuvoso do município de Lavras, MG, em função da duração de veranicos (em dias)

Excluído: à

Duração (dias)	Mês					
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
21	1	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	1	0
18	0	0	0	1	0	0
17	3	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
15	1	1	0	0	1	3
14	2	0	0	0	1	2
13	0	1	0	0	0	6
12	3	1	0	0	0	2
11	2	1	0	2	1	4
10	5	1	1	2	3	1
9	6	3	4	3	2	1
8	8	7	3	4	7	8
7	9	6	3	8	8	10
6	12	11	9	8	9	8
5	17	15	13	7	12	12
4	23	26	18	12	17	24
0	0	4	9	10	7	0
Total	93	77	60	57	69	82

Pela análise da Tabela 11, observa-se que os maiores veranicos ocorreram nos meses de outubro e março, com duração de 21 dias, este comportamento é explicado em função destes meses serem de “transição” entre o período seco e o chuvoso. Observa-se, também, que os veranicos são mais frequentes no primeiro (outubro) e último (março) mês da estação chuvosa.

Excluído: ï

Em relação ao tempo de ocorrência dos veranicos, é possível observar que a maior ocorrência deste fenômeno é de duração de 4 a 8 dias, e que não é comum a ocorrência de 4 ou mais veranicos no mesmo mês.

No mês de fevereiro o maior veranico registrado teve a duração de 19 dias, e no mês de janeiro 18 dias. Já, no mês de dezembro o maior veranico teve duração de 10 dias. A análise deste período é importante, pois estes meses são importantes para as culturas da região.

O maior período de veranico ocorreu nos meses de outubro e março, com uma duração de 21 dias sem chuvas. Este fato é preocupante para a região, pois em outubro ou até novembro ocorre a maior parte dos plantios das diferentes culturas; caso ocorram grandes períodos sem chuva, poderá haver grandes dificuldades nos manejos e causar prejuízos no agronegócio.

O fenômeno veranico foi registrado em, aproximadamente, 78% dos anos durante o mês de dezembro, no mês de janeiro houve uma pequena queda na ocorrência deste fenômeno para 76% e em fevereiro a ocorrência subiu para 83%.

Excluído: ,

Foram registrados 60 veranicos no mês de dezembro e, o maior aconteceu em 2010 e teve a duração de 10 dias. Em janeiro registraram-se 57 veranicos e o maior aconteceu em 1990 com duração de 18 dias. Em fevereiro o maior evento foi registrado em 1977 com 19 dias de duração. A quantidade de ocorrências e a duração de veranicos podem ser observadas no Anexo B. No Anexo C são mostrados os gráficos da evolução temporal, onde podemos observar a ocorrência dos veranicos para cada mês estudado.

Excluído: , sendo que

Excluído: ou

Excluído: é

Ferreira (2012) observou, no período chuvoso de Juiz de Fora, MG, que as estiagens com duração de três a seis dias são mais frequentes do que veranicos com duração superior a 15 dias. Fato que é condizente com a ocorrência de veranicos registrada em Lavras.

Os resultados indicam que os veranicos em Lavras são inferiores aos ocorridos no Sertão da Microrregião de Petrolina, conforme o trabalho de Diniz et al. (2006a), que observaram uma frequência média de, aproximadamente, 25 dias consecutivos sem registros de chuvas num período de 120 dias, correspondente à quadra chuvosa de janeiro a abril e que nos anos de 1980, 1981 e 1982 e que ocorreram os maiores veranicos com 45, 41 e 43 dias, respectivamente.

Excluído: a

Santana, Lacerda e Simões (2005), estudando a variabilidade de veranicos sobre o estado de Pernambuco, observaram ocorrências maiores que as registradas em Lavras. Na quadra janeiro a abril, o maior período de dias secos ocorreu no ano de 1951, com 57 dias. Entre fevereiro e maio, ocorreu o maior veranico no ano de 1919, com 85 dias. Já de março a junho, no ano de 1993, o maior veranico, teve duração de 52 dias. O maior veranico registrado entre abril e julho, foi em 1994, com duração de 37 dias.

Esses resultados mostraram semelhança com os obtidos por Leal et al. (2006), que observaram uma situação de emergência no município de Quirinópolis, ao registrar 24 dias sem ocorrência de precipitação pluviométrica.

Viana et al. (2002), estudando as probabilidades de ocorrência de períodos secos e chuvosos em Pentecoste, CE, por meio da cadeia de Markov, verificaram que o mês de janeiro tem alta probabilidade de ocorrência de dias com déficit hídrico. Fato contraditório foi observado em Lavras, onde a ocorrência de veranicos no mês de janeiro foi a menor, sendo observados 57 veranicos com duração de 4 a 18 dias.

Oliveira Filho et al. (2001), ao estudarem o regime pluviométrico na bacia do Araguaia, TO, observaram que os veranicos de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 dias são frequentes entre os meses de dezembro a fevereiro. Características equivalentes de períodos de seca, também, foram encontradas neste estudo em Lavras, MG.

Sousa e Peres (1998) desenvolveram um modelo computacional, usando o método Monte Carlo, no qual foram simuladas a ocorrência de veranicos e a redução de rendimento decorrente deles, na cultura de milho. Com dados da região de Piracicaba avaliaram o modelo e concluíram que é alta a probabilidade de ocorrência de veranicos mais intensos. Fato contraditório foi observado em Lavras, onde a ocorrência de veranicos longos é baixa.

Brunini et al. (2001), ao realizarem um estudo sobre os riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo, também, verificaram que nos meses de fevereiro e março é elevada a incidência de períodos secos, o que pode acarretar prejuízos nas lavouras.

## 5 CONCLUSÕES

A utilização de distribuições probabilísticas contínuas pode ser considerada como uma alternativa viável para a modelagem de veranicos em relação aos demais métodos existentes, como séries temporais e redes neurais.

Os modelos probabilísticos ajustaram de modo adequado a ocorrência e duração dos veranicos do município de Lavras, no período chuvoso de 01/01/1970 á 31/12/2010, explicando de forma satisfatória o comportamento deste fenômeno, sendo a distribuição log-normal a que apresentou o melhor ajuste para descrever o fenômeno veranico. Dessa forma, os resultados obtidos podem ser utilizados como referência para o planejamento agrícola.

Como perspectiva de trabalhos futuros, almeja-se efetuar um estudo comparativo com novos modelos de distribuição de probabilidade contínua, bem como com os métodos séries temporais e redes neurais.

Excluído: a

Excluído: .S

## REFERÊNCIAS

ARAI, F. K. et al. Estudo do comportamento pluvial na região de Dourados, MS. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 105-112, out./dez. 2009.

ARAUJO, W. F. et al. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 563-567, set./dez. 2001.

ASSAD, E. D. **Simulation de irrigation et du drainage pour les pluviales de riz de maiz en soils de bas-fonds a Brasília**. Montpellier: IRAT, 1986. 10 p. (Memories et Travaux, 13).

ASSAD, E. D.; CASTRO, L. H. R. Análise frequencial da pluviometria para a estação de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 397-402, mar. 1991.

ASSAD, E. D. et al. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 993-1003, set. 1993.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; PINTO, H. S. **Sustentabilidade no agronegócio brasileiro**: coleção de estudos sobre diretrizes para uma economia verde no Brasil. Disponível em: <<http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-655.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2013.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 20. ed. Brasília: EMBRAPA, 1988. 434 p.

ASSIS, F. N. Ajuste da função gama aos totais semanais de chuva de Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 131-136, 1993.

ASSIS, S. V. de; FERREIRA, A. T.; SILVA, M. V. da. Situação desconfortante provocada pela ocorrência de veranico. **Revista Eletrônica Mestrado em Educação Ambiental**, Carreiros, v. 18, p. 260-267, jan./jul. 2007.

AZZALINI, A. **Statistical inference**: based on the likelihood. London: Chapman & Hall, 1996. 352 p.

BEIJO, L. A. et al. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-147, 2003.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do Tipo I. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, maio/jun. 2005.

BERNARDES, L. R. M.; AGUILAR, A. P.; ABE, S. Frequência de ocorrências de veranicos no estado do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, ano 6, n. 1, p. 83-108, jun. 1988.

BLAIN, G. C. **Avaliação e adaptação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) e do índice padronizado de precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo**. 2005. 133 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2005.

BOLFARINE, H.; SANDOVAL, C. **Introdução à inferência estatística**. Rio de Janeiro: IMPA, 2001. 125 p. (Coleção Matemática Aplicada).

BOTELHO, V. A. V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos de Município de Lavras, Estado de

Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 697-706, maio/jun. 1999.

BOZDOGAN, H. Model selection and Akaike's information criterion (AIC): the general theory and its analytical extensions. **Psychometrika**, Madison, v. 52, p. 345-370, 1987.

BRUNINI, O. et al. Riscos climáticos para a cultura do milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 519-526, 2001.

CARVALHO, D. F. de et al. Espacialização do período de veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na bacia do rio Verde Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 172-176, 2000.

CARVALHO, D. F. de et al. Estimativas de ocorrência de veranicos em Seropédica, Vassouras e Pirai (RJ), e suas influências no rendimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 323-330, mar./abr. 1999.

CASTRO NETO, P.; VILELLA, E. A. Veranico: um problema de seca no período chuvoso. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 59-62, 1986.

CHAFIELD, C. Wet and dry spells. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 21, p. 308-310, 1966.

COSTA NETO, P. O. **Estatística**. São Paulo: E. Blücher, 1978. 280 p.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira**

de **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002.

CRUZ, E. S. et al. Ocorrência de veranicos no Estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 68-79, jan./abr. 2004.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DEGROOT, M. H.; SCHERVISH, M. J. **Probability and statistics**. 3<sup>rd</sup> ed. Boston: A. Wesley, 2002. 723 p.

DINIZ, M. C. S. et al. Estudo climatológico da ocorrência de veranicos na microrregião de Petrolina, PE. **Revista SODEBRAS**, São Leopoldo, v. 1, n. 3, p. 1-10, mar. 2006a.

DINIZ, M. C. S. et al. Uma visão geral da ocorrência de maior veranico e duração de períodos de estiagens observados na quadra chuvosa na microrregião de Petrolina, PE. **Revista SODEBRAS**, São Leopoldo, v. 1, n. 3, mar. 2006b. Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metab-fisicas/meta-fisica-17/publicacoes/10%20-%20revista-sodebras-veranico-mar-2006.pdf/view>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

FERREIRA, C. de C. M. Estudo do comportamento do período chuvoso em Juiz de Fora, MG. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 5, p. 953-963, 2012. Edição especial.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 664 p.

FISCHER, G. R.; DINIZ, G. B.; MARQUES, J. R. Q. Previsão do número de dias de chuva para a metade sul do Rio Grande do Sul utilizando a Temperatura da Superfície do Mar (TSM). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 146-151, jun. 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Quadro das demandas e propostas de Guiné-Bissau para o desenvolvimento de um programa regional de cooperação entre países da CPLP no domínio da luta contra a desertificação e gestão sustentável das terras: TCP CPLP/FAO - MADRRM**. Rome, 2009. 85 p.

GUMBEL, E. J. Multivariate extremal distributions. **Bulletin de Institut International de Statistique**, Cambridge, v. 37, p. 471-475, 1960.

HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONCA, M. A. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 4, p. 561-568, 2011.

HERNANDEZ, F. B. T. et al. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'oeste, estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 21-30, 2003.

HUNG, N. Q. et al. An artificial neural network model for rainfall forecasting in Bangkok, Thailand. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 13, n. 8, p. 1413-1425, Aug. 2009.

IZAMA, T. Two or multi-dimensional gamma-type distribution and its application to rainfall data. **Meteorological Research Institute**, Tokyo, v. 15, p. 167-200, 1965.

JOHNSON, N. L.; KOTZ, S.; BALAKRISHNAN, N. **Continuous univariate distributions**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Wiley-Interscience, 1994. v. 1, 784 p.

KVAM, P. H.; VIDA KOVIC, B. **Nonparametric statistics with applications to science and engineering**. New York: Wiley, 2007. 420 p.

LEAL, L. do S. M. et al. **Estudo de caso de veranico em três municípios na região sul do estado de Goiás**. Goiânia: SECTEC, 2006. Disponível em: <<http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/downloads/publicacoes/artigos/009.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

LIMPERT, E.; STAHEL, W. A.; ABBT, M. Log-normal distributions across the sciences: keys and clues. **BioScience**, Washington, v. 51, n. 5, p. 341-345, May 2001.

MAGALHÃES, M. N. **Probabilidade e variáveis aleatórias**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2006. 225 p.

MATTOS, A.; SILVA, F. A. **Balço hídrico e disponibilidade de água para o Estado de Goiás**. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 26 maio 2013.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9., 1993, Boston. **Proceedings...** Boston: American Meteorological Society, 1993. p. 233-236.

MENEZES, H. E. A. et al. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 2, p. 152-161, jun. 2008.

MENEZES, H. E. A. et al. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.

MINUZZI, R. B. et al. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.

MINUZZI, R. B. et al. Estudo climático do comportamento do período chuvoso no Estado de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 53, n. 306, p. 266-275, 2006.

MOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. **Introduction to the theory of Statistics**. New York: McGrawHill, 1974. 577 p.

MORAIS, A. R. et al. Estimativa da precipitação provável em Lavras, MG, através da distribuição Gama. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 305-310, 2001.

MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O.; SILVA, J. B. Tendência temporal do índice de seca para o milho e soja no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 83-85, 1994.

NADARAJAH, S.; ALI, M. M. Pareto random variables for hydrological modeling. **Water Resource Management**, Ann Arbor, v. 22, n. 10, p. 1381-1393, Oct. 2008.

NADARAJAH, S.; GUPTA, A. K. Intensity-duration models based on bivariate gama distributions. **Hiroshima Mathematical Journal**, Hiroshima, v. 36, n. 3, p. 387-395, Dec. 2006.

NOBRE, P. et al. Um estudo da variabilidade interanual de veranicos sobre o Sertão de Pernambuco e suas relações com temperatura da superfície do mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2004. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA FILHO, J. C. et al. Caracterização do regime pluviométrico da região do projeto rio Formoso na bacia do Araguaia, TO. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 31, n. 2, p. 221-226, jun. 2001.

PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Washington: Weather Bureau, 1965. 58 p. (Research Paper, 45).

PEREIRA, L. S.; PAULO, A. A. **Indicadores de escassez de água**: índices de secas: comparação entre o índice de Palmer e o SPI. Disponível em: <<http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/publicaciones/cyted,2005/PDF/articulos/12,LS P.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2011.

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. R Version 2.15.3. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 1 mar. 2013.

RAMÍREZ, M. C. V.; VELHO, H. F. de C.; FERREIRA, N. J. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the São Paulo region. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 301, n. 1/4, p. 146-162, Jan. 2005.

RODRIGUES, J. A. et al. Algumas propriedades da distribuição exponencial bivariada Gumbel tipo I com uma aplicação a dados de precipitação pluviométrica. **Revista Brasileira de Biometria**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 435-451, 2012.

SAMPAIO, S. C. et al. Estimativa e distribuição da precipitação mensal provável no Estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 38-53, 2007.

SANSIGOLO, A. S. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. **Climanálise**, São José dos Campos, v. 9, p. 40-43, 1989.

SANSIGOLO, C. A. Análise comparativa dos desempenhos dos índices de seca de Palmer (PDSI) e da precipitação normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917-2001). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 19, n. 3, p. 237-242, 2004.

SANTANA, S. C.; LACERDA, F. F.; SIMÕES, R. de S. **Um estudo da variabilidade de veranicos sobre o estado de Pernambuco**. Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metad-fisicas/metad-fisica-17/publicacoes/12%20-%20simp-climatologia-veranico-2005.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2013.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SHIAU, J. T. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas. **Water Resource Management**, Ann Arbor, v. 20, n. 5, p. 795-815, 2006.

SHIAU, J. T.; MORRADES, R. Copula-Based drought severity-duration-frequency analysis in Iran. **Meteorological Applications**, Malden, v. 16, n. 4, p. 481-489, June 2009.

SILVA, A. P. C. M. **Propriedades das distribuições bivariadas de Crovelli, Gumbel tipo I e gama beta tipo II, com uma aplicação a dados de precipitação pluviométrica**. 2011. 114 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SILVA, A. P. C. M.; CHAVES, L. M. A distribuição beta binomial negativa. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 262-272, abr./jun. 2011.

SILVA, J. C. et al. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2007.

SILVA, M. M. P.; OLIVEIRA, N. F.; CAVALCANTI, N. B. Probabilidade de ocorrência de dias secos e chuvosos. **Boletim Instituto Nacional de Meteorologia**, São José dos Campos, n. 146, p. 51-90, 1981.

SILVA, S. C. da et al. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 80 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 43).

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no sertão de Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1, p. 94-106, jan./mar. 2010.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Detecção de tendências na ocorrência de veranicos na microrregião do Pajeú, PE. **Revista de Geografia**, Recife, v. 26, n. 3, p. 263-275, set./dez. 2009.

SOCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 569-574, 2010.

SOUSA, J. M. B. B. de. **Previsão sazonal de índices de seca com modelos de Markov**. 2009. 66 p. Tese (Doutorado em Ciências Geofísicas) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

SOUSA, S. A. V. de; PERES, F. C. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de rendimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1951-1956, dez. 1998.

SOUZA, I. F.; LUNDREN, W. J. C.; ASSIS NETTO, A. O. Comparação entre distribuições de probabilidades da precipitação mensal no Estado de Pernambuco. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 6, n. 6, p. 1-10, 2010.

STEINMETZ, S.; REYNIERS, F. N.; FOREST, F. Evaluation of the climatic risk on upland rice in Brazil. In: COLLOQUE RESISTANCE A LA RECHERCHES EN MILLIEN INTERTROPICAL, 1., 1984, Dakar. **Proceedings...** Paris: CIRAD, 1985. p. 43-54.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weaher Review**, Washington, v. 86, n. 4, p. 117-122, 1958.

VIANA, T. V. de A. et al. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos em Pentecoste, CE. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 226-229, 2002.

VIEIRA, J. P. G. et al. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 762-767, 2010.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to climatological practices**. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/documents/Guidefulltext.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

YANG, D. W.; NADARAJAH, S. Drought modeling and products of random variables with exponential kernel. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, New York, v. 23, n. 6, p. 811-822, Sept. 2008.

YUE, S. A bivariate gamma distribution for use in multivariate flood frequency analysis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 15, n. 6, p. 1033-1045, Apr. 2001.

## ANEXOS

### ANEXO A – Gráficos de ajuste das funções de probabilidade estudadas

Nas figuras A1 a A6 estão representados os gráficos das funções de distribuição de probabilidade estudadas, para o mês de outubro.

Excluído: á

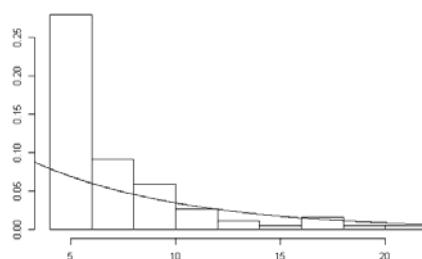


Figura 1 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010

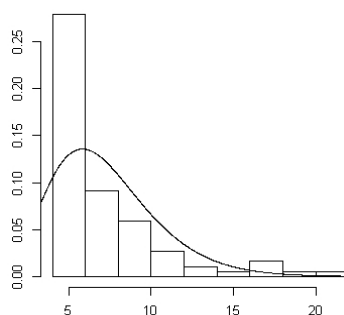


Figura 2 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gama para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010

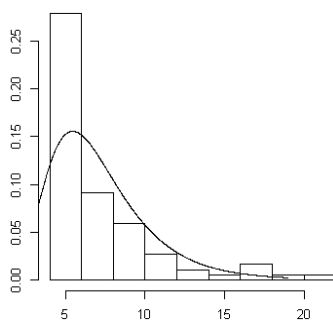


Figura 3 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010

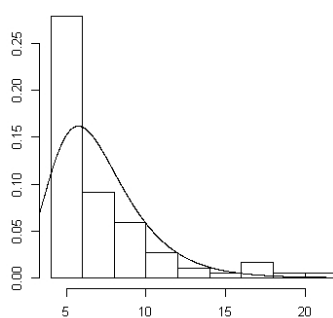


Figura 4 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010

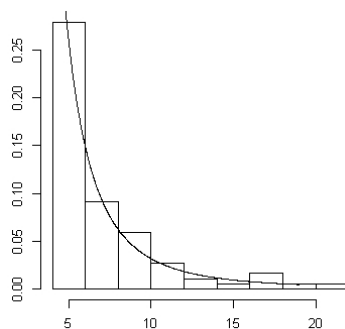


Figura 5 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010

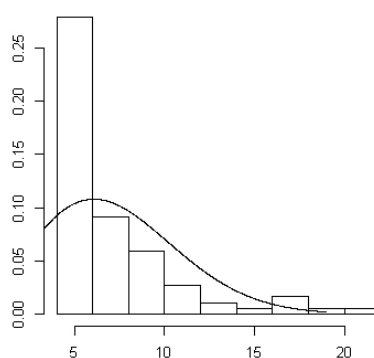


Figura 6 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de outubro, no período de 1970 a 2010

Nas figuras A7 a A12 estão representados os gráficos das funções de distribuição de probabilidade estudadas, para o mês de novembro.

Excluído: á

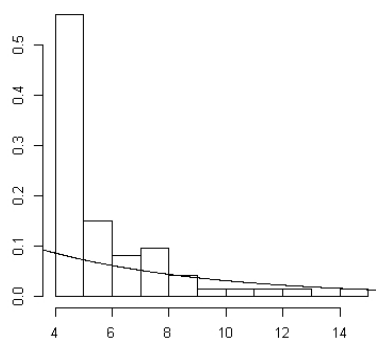


Figura 7 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010

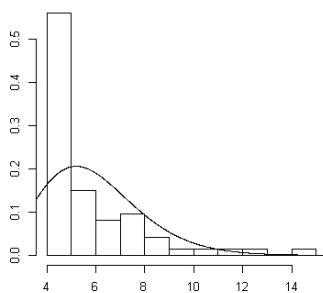


Figura 8 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010

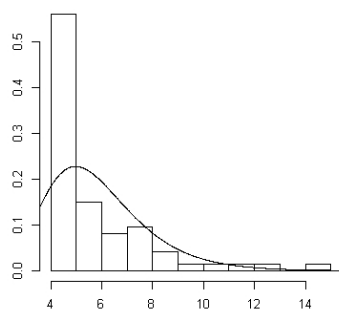


Figura 9 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010

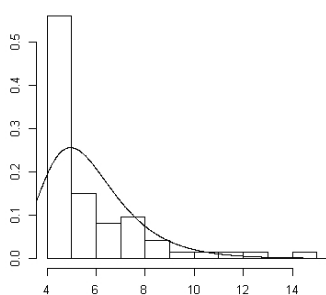


Figura 10 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010

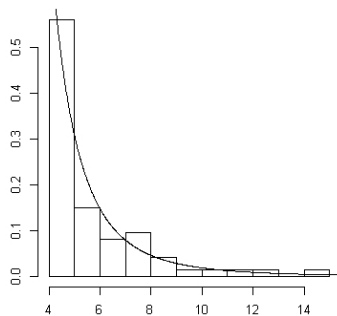


Figura 11 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010

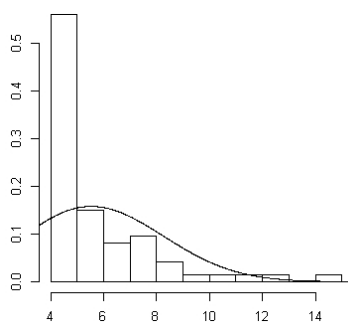


Figura 12 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de novembro, no período de 1970 a 2010

Nas figuras A13 a A18 estão representados os gráficos das funções de distribuição de probabilidade estudadas, para o mês de dezembro.

Excluído: á

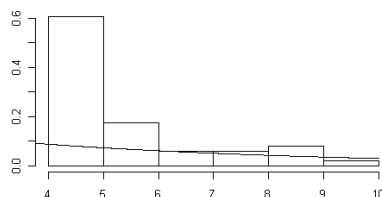


Figura 13 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010

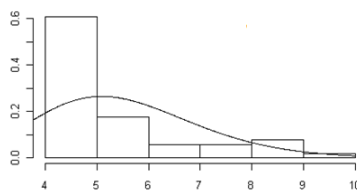


Figura 14 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010

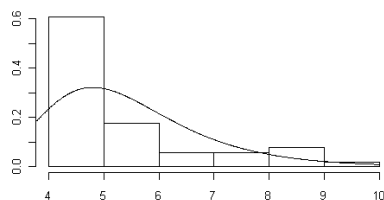


Figura 15 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbel para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010

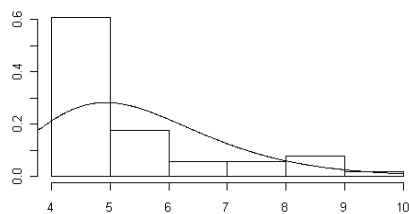


Figura 16' Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010

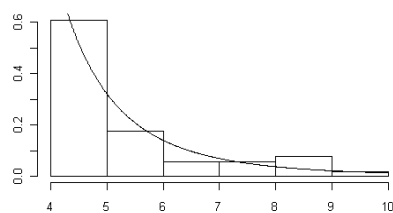


Figura 17 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010

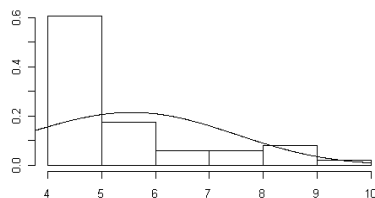


Figura 18 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de dezembro, no período de 1970 a 2010

Nas figuras A19 a A24 estão representados os gráficos das funções de distribuição de probabilidade estudadas, para o mês de janeiro.

Excluído: á

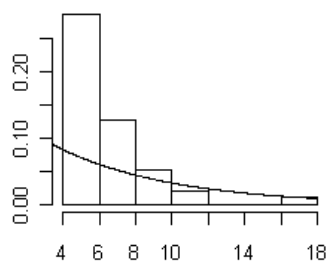


Figura 19 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010

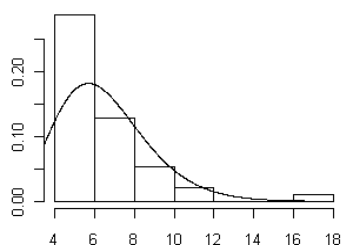


Figura 20 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010

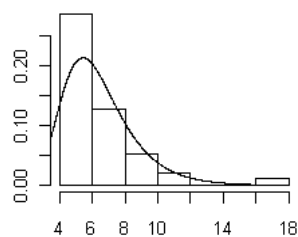


Figura 21 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbell para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010

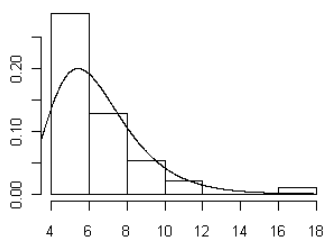


Figura 22 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010

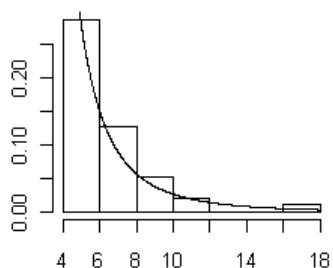


Figura 23 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010

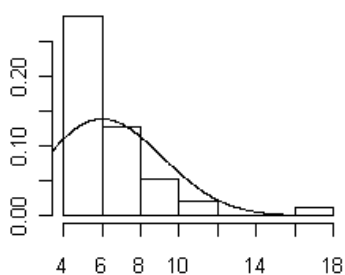


Figura 24 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de janeiro, no período de 1970 a 2010

Nas figuras A25 a A30 estão representados os gráficos das funções de distribuição de probabilidade estudadas, para o mês de fevereiro.

Excluído: á

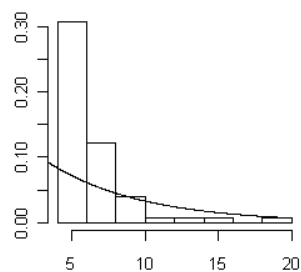


Figura 25 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010

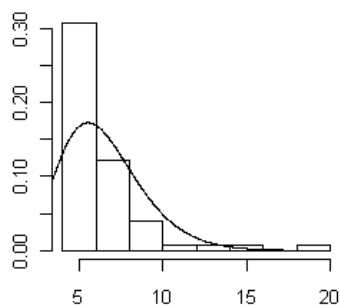


Figura 26 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010

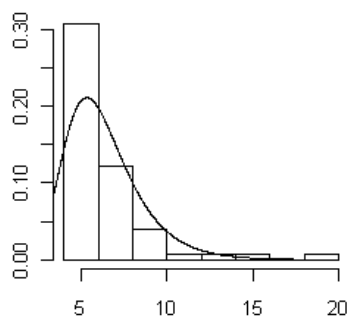


Figura 27 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbell para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010

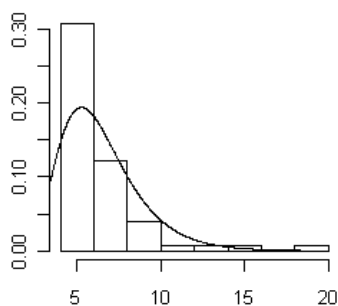


Figura 28 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010

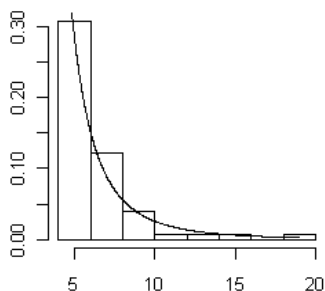


Figura 29 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010

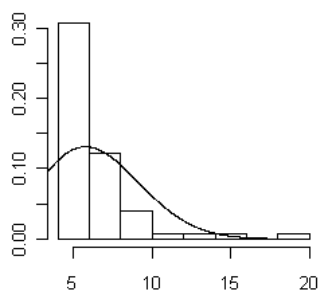


Figura 30 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010

Nas figuras A31 a A36 estão representados os gráficos das funções de distribuição de probabilidade estudadas, para o mês de março.

Excluído: á

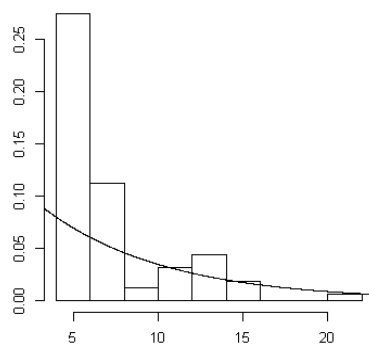


Figura 31 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade exponencial para o mês de março, no período de 1970 a 2010

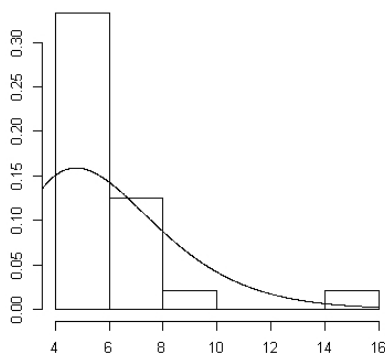


Figura 32 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade gama para o mês de março, no período de 1970 a 2010.

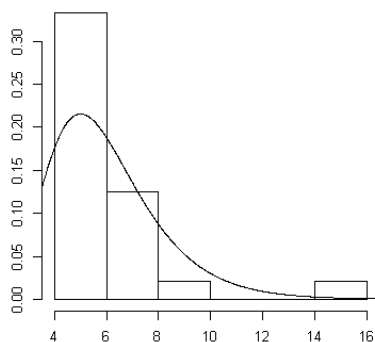


Figura 33 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade log-normal para o mês de março, no período de 1970 a 2010

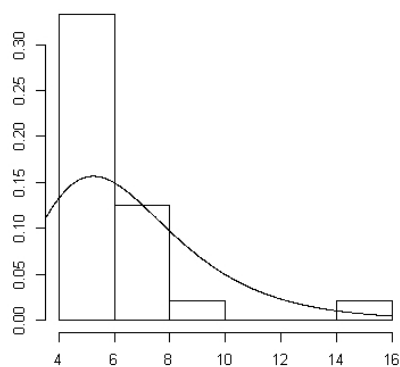


Figura 34 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Gumbell para o mês de março, no período de 1970 a 2010

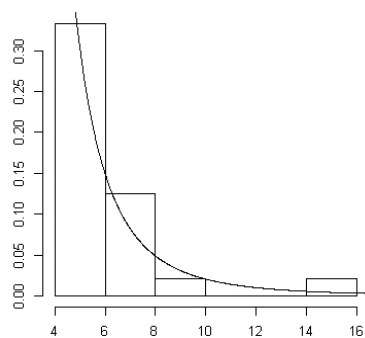


Figura 35 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Pareto para o mês de março, no período de 1970 a 2010

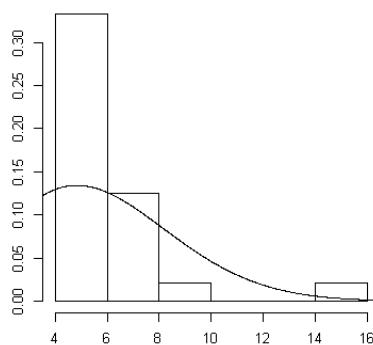


Figura 36 Histograma dos valores da intensidade de ocorrência de veranicos (em dias sem chuva) e curva ajustada pela função de distribuição de probabilidade Weibull para o mês de março, no período de 1970 a 2010

## ANEXO B – Quantidade e duração dos veranicos

Na Tabela B1 vemos a quantidade de ocorrências e a duração dos veranicos registrados em Lavras, por mês.

Tabela 1 Quantidade e duração (em dias sem chuvas) de veranicos registrados nos meses chuvosos do município de Lavras, MG, no período de 1970 á 2010

Anos	Meses					
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
1970	7,5	7,4,4	9,6	0	0	4,5
1971	6,6	4,6	4	7,1	5,6	7,4
1972	12	0	4,6	5,7	4	8
1973	5,4,4	4,4	5,4	5	5,7	7,8,8
1974	4,4,6,4	6,6,5	7	6	10,5	4,4,6
1975	6,4	4,4	9,4	0	0	4,6,10
1976	5,9,6	6	0	11,4	6	6
1977	6,6,7	0	6,7	8,4	19	15,7
1978	10,11	4	5	4,9	4,5,4,4	4
1979	5,14	4,8,4	4	10	5	5,5
1980	7,10,7	6,4,4	4,9,4	4	7,5	4,6,4
1981	5	4	6	5	4,9,5	4,4,4,7
1982	4,5	9,8	0	7	14	12,14
1983	6,6	5,7	0	0	11	13,14
1984	14,4,7	9,4	5	6,9	8,4,5	4,5,4
1985	4,12	15	8,4	7	6	15
1986	9,11,8	5,12	4	4	6	8
1987	4,15	13,4	5	5	10	13,5
1988	5	4,5	6,4	4,4,8	0	4,8,5
1989	4,5,4	5,5	8,5	4	0	4
1990	7,1	6,1	9,5	18,6	8,8	15,5
1991	5,8	6,11	4	6	4,7	5,8,4

1992	7,6,9	5,6	8,5,4	6	10	4,7,7
1993	12,4	6,9	4	4	6	4
1994	6,7,5,4	4,8	5,5	0	4,4,8	13,6,5
1995	5,9	7,4	6	7,6	8	9
1996	5	8,8	4	6,7	6,4	7
1997	17,4	4,7	0	0	8,4,4	22
1998	9	6,4	5	0	8,4	4,6
1999	17,5,4	5,4,5	6,4	6,5	0	11,13
2000	21	0	0	8,4	7	7,5
2001	4,10,8	4	4,5	7,9	5,7,7	4
2002	19,4	5,5	0	5,4	0	11,5
2003	7,1	5,7,4	7,5	0	15,6	8,7
2004	6,8,4	4,8,7	5	7	0	7
2005	5,9,4	6	0	0	6,5	13,5
2006	5,4,8	4	0	11,8	6,5	6,4,4,11
2007	17	5,5	6,4,6	0	4,4,9	11,13
2008	8,8	4	4	5	4	4,8
2009	5,4	5,8	0	0	7	12,4
2010	8,5,4	0	10	4	4,7,5	6

---

### ANEXO C – Evolução temporal dos veranicos

As Figuras C1 a C6 mostram a evolução temporal da duração dos períodos de veranicos, ocorridos nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, registrados no município de Lavras, MG, no período de janeiro de 1970 a dezembro de 2010.

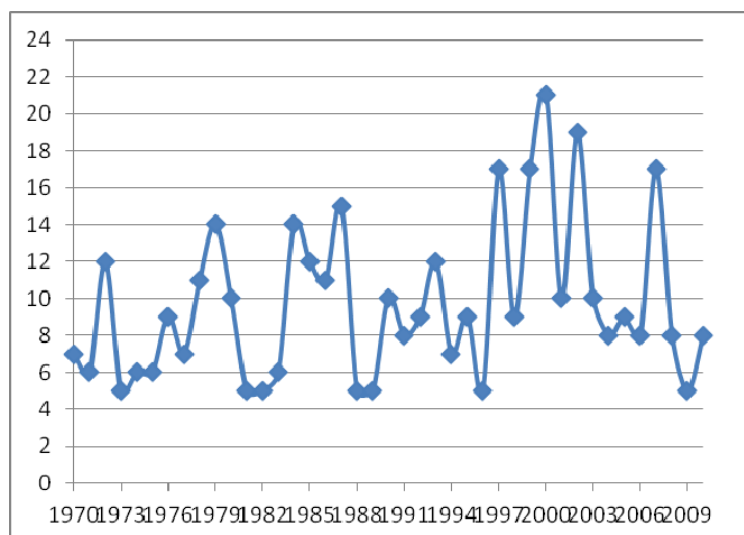


Figura 37 Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de outubro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG

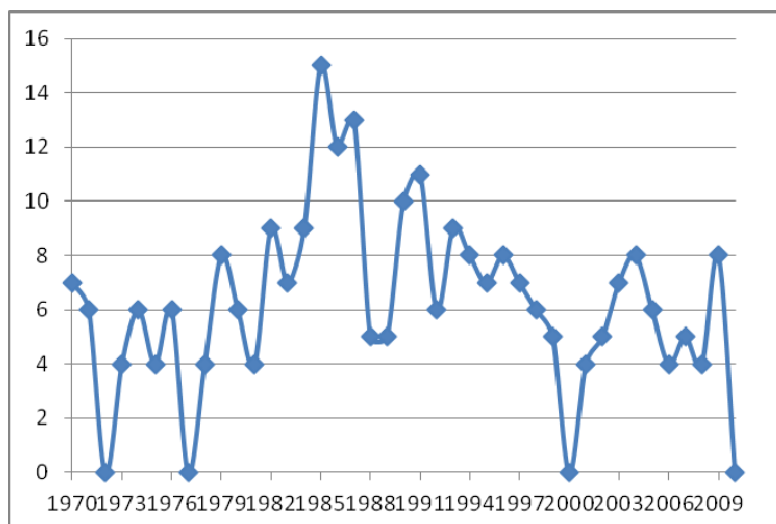


Figura 38 Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de novembro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG

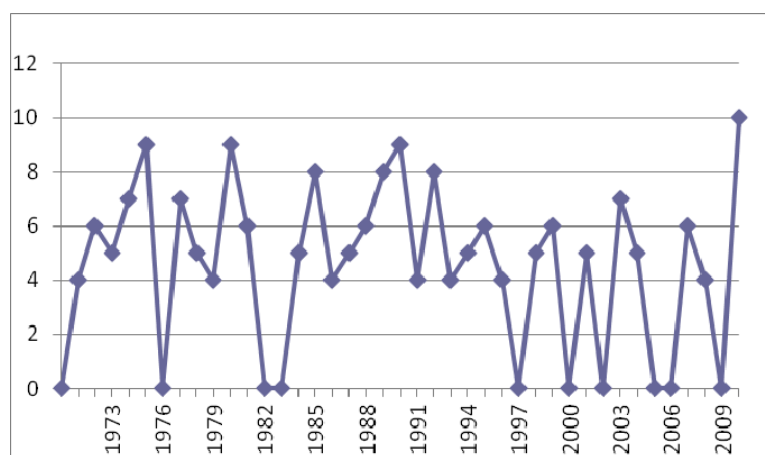


Figura 39 Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de dezembro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG

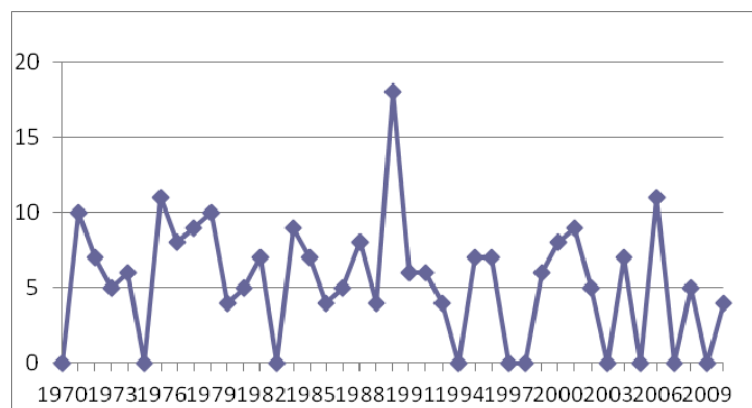


Figura 40 Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de janeiro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG

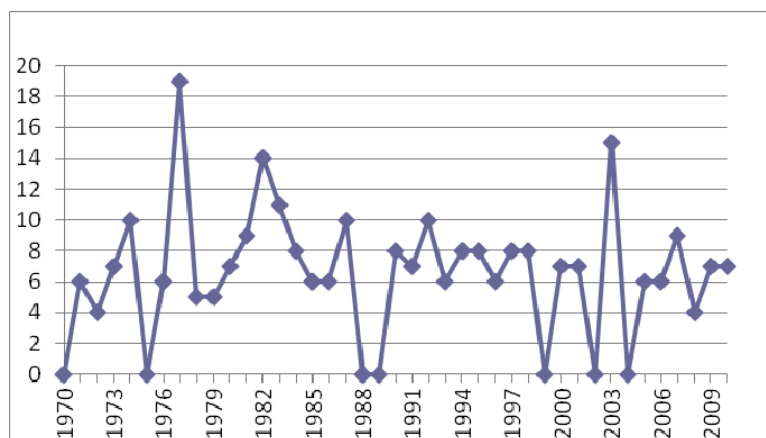


Figura 41 Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de fevereiro, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG

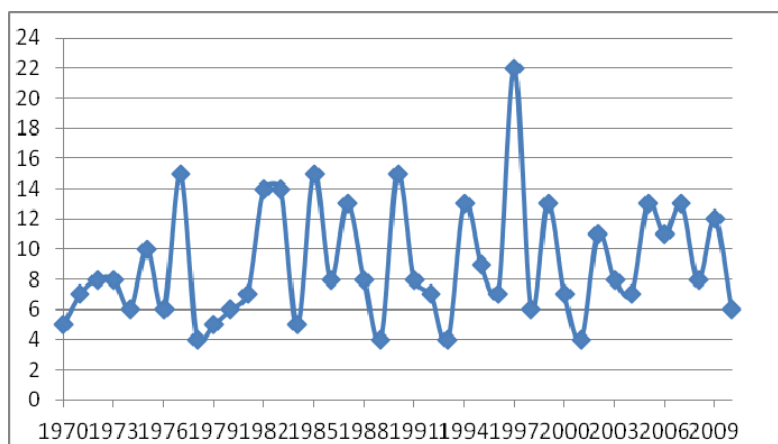


Figura 42 Representação gráfica da evolução temporal de ocorrência da maior duração do período de veranicos no mês de março, no período de 1970 a 2010, no município de Lavras, MG