

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

CLAUDIANA GOULART DOS REIS

**ESPACIALIZAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE VERANICOS
EXTREMOS EM REGIÕES DE MINAS GERAIS: UMA ABORDAGEM BAYESIANA**

Alfenas/MG

2020

CLAUDIANA GOULART DOS REIS

**ESPACIALIZAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE VERANICOS
EXTREMOS EM REGIÕES DE MINAS GERAIS: UMA ABORDAGEM BAYESIANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estatística Aplicada e Biometria, área de concentração em Estatística Aplicada e Biometria da Universidade Federal de Alfenas-MG, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Linha de Pesquisa: Modelagem Estatística e Estatística Computacional.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Beijo.

Coorientador: Prof. Dr. Davi Butturi-Gomes.

Alfenas/MG

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central – Campus Sede

Reis, Claudiana Goulart dos
R375e Espacialização da probabilidade de ocorrência de veranicos extremos em
regiões de Minas Gerais: uma abordagem bayesiana / Claudiana Goulart dos Reis
– Alfenas, MG, 2021.
67 f.: il. –

Orientador: Luiz Alberto Beijo.
Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) – Universidade
Federal de Alfenas, 2020.
Bibliografia.

1. Distribuição (Teoria da probabilidade). 2. Precipitação (Meteorologia).
I. Beijo, Luiz Alberto. II. Título.

CDD- 519.2

Ficha Catalográfica elaborada por Marlom Cesar da Silva
Bibliotecário-Documentalista CRB6/2735

**Especialização da probabilidade de ocorrência de veranicos extremos em regiões de Minas Gerais:
uma abordagem Bayesiana**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Estatística Aplicada e Biometria pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Estatística Aplicada e Biometria.

Aprovada em: 29 de outubro de 2020.

Prof. Dr. Luiz Alberto Beijo

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

Prof. Dr. Gilberto Rodrigues Liska

Instituição: Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Prof. Dr. Denismar Alves Nogueira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Alberto Beijo, Professor do Magistério Superior**, em 29/10/2020, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Denismar Alves Nogueira, Professor do Magistério Superior**, em 29/10/2020, às 11:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gilberto Rodrigues Liska, Usuário Externo**, em 29/10/2020, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0400049** e o código CRC **9BBAB51E**.

*Dedico este estudo ao meu pai Gabriel
(in memoriam), a minha mãe Júlia e
aos meus irmãos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amados pais Júlia e Gabriel (*in memorian*), pelo apoio e incentivo aos meus estudos desde a infância.

Aos meus queridos irmãos Carlos Henrique e João Paulo, por estarem sempre presentes.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Alberto Beijo, por todo o seu apoio, paciência, confiança e conhecimentos compartilhados.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Davi Butturi-Gomes, por sua disposição em contribuir em etapas fundamentais à execução deste estudo.

Ao Prof. Dr. Fabricio Goecking Avelar, por sua atenção, incentivo e ensinamentos.

Agradeço à Universidade Federal de Alfenas, aos Professores e funcionários do Departamento de Estatística, pela disponibilidade e contribuição para a minha formação.

Aos membros das bancas do exame de qualificação e da banca de defesa de mestrado, professores Denismar Alves Nogueira e Gilberto Rodrigues Liska, pela participação na banca, sugestões valiosas e contribuições para o desenvolvimento deste estudo.

Ao meu namorado Henrique, por todo apoio e compreensão para concluir esta etapa na minha formação.

Agradeço aos meus companheiros de mestrado Lara, Daiane, Nalva, Valdeline, Saditt, Frank, Vinícius e Matheus, pela amizade e contribuições que pude receber.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram nessa jornada de construção do conhecimento científico.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e a CAPES, sendo o presente trabalho realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A ocorrência de veranicos extremos, ou seja, longos períodos de dias consecutivos sem chuva, tende a provocar danos e prejuízos à sociedade de uma forma geral. A variabilidade climática de uma região exerce importante influência nas diversas atividades socioeconômicas. Neste sentido, a previsão da ocorrência de veranicos extremos apresenta grande relevância para as atividades humanas, principalmente para o setor agropecuário, subsidiando o planejamento agrícola para a otimização do uso eficiente dos recursos hídricos nas áreas cultiváveis, bem como, para o manejo adequado de plantações e pastagens. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo principal espacializar a probabilidade de ocorrência de veranicos máximos para as estações chuvosa e seca em diferentes regiões de Minas Gerais via inferência Bayesiana, inicialmente comparando-se diferentes estruturas de distribuição *a priori* para o ajuste da distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) aos conjuntos de dados de veranico máximo anual. As séries históricas foram construídas a partir dos dados de precipitação diária acumulada de postos pluviométricos da região de estudo, sendo obtidos junto aos registros do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para obtenção das marginais das distribuições *a posteriori*, foi aplicado o método Monte Carlo via Cadeia de Markov por meio do *software* R e do *freeware* OpenBugs. Posteriormente, foi aplicada a estrutura de *priori* mais eficiente para calcular a probabilidade de ocorrência de veranicos extremos para diferentes níveis de retorno e, assim, construir mapas a partir da espacialização desta variável. Foi observado que a incorporação de informação *a priori* de Belo Horizonte ou Lavras permitiu que melhores resultados fossem obtidos na análise de veranicos máximos na maioria dos municípios analisados. Os valores mais expressivos de probabilidade de ocorrência de veranicos máximos na estação seca ocorreram predominantemente na porção próxima ao limite entre as mesorregiões Central Mineira e Metropolitana de Belo Horizonte, enquanto para a estação chuvosa os maiores valores de probabilidade ficaram concentrados nas regiões Campo das Vertentes, Metropolitana de Belo Horizonte e Sul/Sudoeste de Minas. A região com maior vulnerabilidade para a produção agrícola em função da ocorrência de veranicos com duração acima de 60 e 70 dias sem uma precipitação superior a 1 e 5 mm na estação seca, respectivamente, está localizada junto aos municípios de Bom Despacho, Curvelo e Sete Lagoas.

Palavras-chaves: Distribuição GEV. Precipitação. Tempo de retorno.

ABSTRACT

The occurrence of extreme dry spells, that is, long periods of consecutive days without rain, tends to cause damage and losses to society in general. The climatic variability of a region has an important influence on the various socioeconomic activities. Therefore, the prediction of the occurrence of extreme dry spells has great importance for human activities, mainly for the agricultural sector, subsidizing agricultural planning to optimize the efficient use of water resources in cultivable areas, as well as for the proper management of plantations and pastures. Thus, the present work has as main objective to spatialize the probability of occurrence of maximum summer for the rainy and dry seasons in different regions of Minas Gerais using Bayesian inference, initially comparing different prior distribution structures for the adjustment of the Generalized Distribution of Extreme Values (GEV) to the annual maximum dry spells data sets. The historical series were constructed from the accumulated daily precipitation data of pluviometric stations in the study region, being obtained from the records of the Meteorological Database for Teaching and Research (BDMEP) of the National Institute of Meteorology (INMET). To obtain the marginals of the posterior distributions, the Markov chain Monte Carlo method was applied using software R and freeware OpenBugs. Subsequently, the most efficient informative prior structure was applied to calculate the probability of occurrence of extreme dry spells for different return periods in each season in the region to build maps from the spatialization of this variable. It was observed that the insertion of prior information from Belo Horizonte or Lavras made it possible to obtain better results in the analysis of maximum dry spells in most of the analyzed cities. The most significant values of probability of occurrence of maximum summer in the dry season were observed predominantly in the portion close to the limit between the regions Central Mineira and Metropolitan de Belo Horizonte. The highest probability values for the rainy season were concentrated in the regions Campo das Vertentes, Metropolitana de Belo Horizonte and Sul/Sudoeste de Minas. The areas with the greatest vulnerability for agricultural production due to the occurrence of dry spells over 60 and 70 days without a rainfall greater than 1 and 5 mm during the dry season, respectively, were estimated for the region close to Bom Despacho, Curvelo and Sete Lagoas.

Key words: GEV Distribution. Precipitation. Return period.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos postos pluviométricos utilizados.	21
Figura 2 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (Modelos selecionados após o ajuste da GEV para as séries de veranicos máximos com ambos os valores limites de veranico para municípios de Minas Gerais nas estações seca e chuvosa.	39
Figura 3 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 1 mm para municípios de Minas Gerais para a estação seca.	41
Figura 4 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 5 mm para municípios de Minas Gerais para a estação seca.	42
Figura 5 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 1 mm para municípios de Minas Gerais para a estação chuvosa.	44
Figura 6 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 5 mm para municípios de Minas Gerais para a estação chuvosa.	45
Figura 7 – Gráficos de dispersão das séries de veranico máximo (dias) de municípios de MG para a estação seca.	53
Figura 8 – Gráficos de dispersão das séries de veranico máximo (dias) de municípios de MG para a estação chuvosa.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem de área das classes climáticas observadas em cada mesorregião.	22
Tabela 2 – Localização geográfica, período e tamanho das séries de dados de veranicos máximos anuais dos municípios da região de estudo.	24
Tabela 3 – Valores dos hiperparâmetros obtidos via distribuição GEV ajustada aos dados de veranico máximo anual (dias) dos municípios de Lavras e Belo Horizonte.	26
Tabela 4 – Estatísticas descritivas das séries de veranicos máximos anuais (dias) da estação seca.	32
Tabela 5 – Estatísticas descritivas das séries de veranicos máximos anuais (dias) da estação chuvosa.	33
Tabela 6 – Resultados dos testes de Ljung-Box e Mann-Kendall (valor p) das séries de veranicos máximos anuais (dias) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa.	34
Tabela 7 – Resultados do Erro Médio de Predição (EMP) e Critério de Informação do Desvio (DIC) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa das mesorregiões Campo das Vertentes (CV) e Central (CE).	35
Tabela 8 – Resultados do Erro Médio de Predição (EMP) e Critério de Informação do Desvio (DIC) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa das mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte (MB) e Oeste de Minas (OM).	36
Tabela 9 – Resultados do Erro Médio de Predição (EMP) e Critério de Informação do Desvio (DIC) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa das mesorregiões Sul/Sudoeste de Minas (SM) e Zona da Mata (ZM).	37
Tabela 10 – Valores dos critérios de convergência* para as cadeias dos parâmetros da distribuição GEV e das preditivas de probabilidades de ocorrência de veranicos máximos para as estações seca e chuvosa.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- B1Var** - Informação *a priori* de Belo Horizonte com variância multiplicada por 1
- B2Var** - Informação *a priori* de Belo Horizonte com variância multiplicada por 2
- B4Var** - Informação *a priori* de Belo Horizonte com variância multiplicada por 4
- CE** - Central Mineira
- Chuv** - Chuvosa
- CV** - Campo das Vertentes
- DIC** - Critério de Desvio de Informação
- EMP** - Erro Médio de Predição
- GEV** - Generalizada de Valores Extremos
- GW** - Geweke
- HW** - Heidelberger-Welch
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia
- L1Var** - Informação *a priori* de Lavras com variância multiplicada por 1
- L2Var** - Informação *a priori* de Lavras com variância multiplicada por 2
- L4Var** - Informação *a priori* de Lavras com variância multiplicada por 4
- LB** - Ljung-Box
- MB** - Metropolitana de Belo Horizonte
- MCMC** - Monte Carlo via Cadeias de Markov
- MK** - Mann-Kendall
- NI** - *Priori* não informativa.
- NI_t** - *Priori* não informativa com tendência.
- OM** - Oeste de Minas
- RL** - Raftery-Lewis

Sec - Seca

SM - Sul/Sudeoeste de Minas

TVE - Teoria de Valores Extremos

ZM - Zona da Mata

LISTA DE SÍMBOLOS

$F_{M_n}(x)$	- Função de distribuição dos máximos.
$F_{GEV}(x)$	- Função de probabilidade acumulada da distribuição GEV.
$f(x)$	- Função de densidade de probabilidade.
α	- Parâmetro posição.
β	- Parâmetro escala.
ξ	- Parâmetro forma.
α_1	- Parâmetro posição com tendência incorporada.
$P(\theta)$	- Distribuição <i>a priori</i> de θ .
$P(\theta \mathbf{x})$	- Distribuição <i>a posteriori</i> de θ .
\mathbf{x}	- Vetor de observações.
$L(\alpha(t), \beta, \xi \mathbf{x})$	- Função de verossimilhança para a distribuição GEV.
$P(X > x)$	- Probabilidade de ocorrência por período de veranicos acima de um determinado valor x .
x_p	- Nível de retorno.
w_{ij}	- Fator de ponderação.
d_{ij}	- Distância euclidiana.
k	- Expoente da distância.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Veranicos	14
2.2	Teoria de Valores Extremos	15
2.3	Inferência Bayesiana	17
2.4	Espacialização de variáveis climáticas	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Caracterização da área de estudo	21
3.2	Dados de precipitação	23
3.3	Análise descritiva e testes preliminares	24
3.4	Estimação via Inferência Bayesiana	24
3.4.1	<i>Prioris</i> informativas	26
3.5	Probabilidade de ocorrência de veranicos e níveis de retorno da distribuição GEV	27
3.6	Análise de convergência das cadeias	27
3.7	Avaliação de desempenho de modelos	28
3.8	Espacialização da probabilidade de ocorrência de veranicos	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Estatística descritiva	31
4.2	Testes preliminares	34
4.3	Seleção de modelos	35
4.4	Espacialização da probabilidade de ocorrência de veranicos máximos	40
5	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICES	53

1 INTRODUÇÃO

A variabilidade climática de uma região exerce importante influência sobre diversas atividades socioeconômicas, sobretudo na produção agropecuária e na saúde da população. A configuração dos elementos integrados que compõem o clima é determinante para a consolidação das formas de vida e, conseqüentemente, para a fixação do ser humano e de suas atividades no meio. Dentre tais elementos climáticos, a precipitação apresenta elevado impacto no desenvolvimento das atividades humanas, visto que variações pluviométricas podem interferir nos resultados socioeconômicos do país e provocar prejuízos às populações. Neste sentido, a previsão da ocorrência de veranicos, isto é, sequências de dias sem chuva ou com chuva abaixo de um determinado limite, apresenta grande relevância no planejamento agropecuário e na otimização do uso eficiente dos recursos hídricos em áreas cultiváveis (MENEZES *et al.*, 2015).

O comportamento dinâmico das variáveis hidrológicas em razão da variação espacial e temporal apresenta tendências que podem ser representadas por meio de leis Estatísticas. O estudo dos padrões de variabilidade espacial de veranicos na região pode ser realizado a partir de modelagem probabilística e da geração de mapas que reconstituem a distribuição espacial da variável analisada e viabilizam a visualização espacial das áreas mais afetadas por este fenômeno (PERTUSSATTI; LIMA; LEMOS, 2013).

Aproximadamente todo o estado de Minas Gerais apresenta duas estações bem definidas: seca e chuvosa. A estação chuvosa ocorre no período de outubro a março e o declínio da estação seca é marcado pelas primeiras pancadas de chuva que ocorrem em geral na segunda quinzena de setembro. Em contrapartida, principalmente em fevereiro é comum a ocorrência de veranicos, períodos consecutivos de dias sem chuva que ocorrem durante a estação chuvosa. Embora o trimestre de novembro a janeiro historicamente seja o mais chuvoso do ano, nos últimos anos os veranicos têm sido mais frequentes entre os meses de janeiro e fevereiro, sendo que a presença deste fenômeno neste período está associada à ocorrência de ondas de calor, com temperaturas mais elevadas em todas as regiões do estado (INMET, 2017).

A precipitação total como única fonte de água é suficiente para a expansão da agricultura na zona intertropical do estado, ainda que o desenvolvimento neste setor seja afetado pela ocorrência de veranicos (CARVALHO *et al.*, 2000). Embora existam diferentes estudos de comportamento do período chuvoso incluindo anomalias de precipitação para o estado, faltam

estudos que abordem a análise espacial de veranicos sob o enfoque da análise Bayesiana. Portanto, a realização deste estudo é fundamental devido ao potencial de contribuição da melhoria na gestão dos setores cujas atividades são afetadas pela disponibilidade e distribuição sazonal da precipitação.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo foi espacializar a probabilidade de ocorrência de veranicos máximos nas estações chuvosa e seca em diferentes regiões do estado de Minas Gerais via inferência Bayesiana. Especificamente, objetivou-se:

- (a) realizar o ajuste da distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV, do inglês *Generalized Extreme Values*) aos dados de veranicos máximos por período;
- (b) utilizar a metodologia Bayesiana e avaliar diferentes estruturas de *priori* para estimar dos parâmetros da distribuição GEV;
- (c) predizer a probabilidade de ocorrência de veranicos considerando a melhor estrutura de *priori* avaliada no item (b); e
- (d) espacializar, para diferentes regiões do estado de Minas Gerais, os resultados obtidos gerando mapas de probabilidade de ocorrência de veranicos máximos para cada estação e para cada valor limite estabelecido de precipitação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção é apresentado o referencial teórico acerca dos conceitos de veranicos, teoria de valores extremos, inferência Bayesiana e espacialização de variáveis utilizadas para a execução deste estudo.

2.1 Veranicos

O termo veranico caracteriza períodos consecutivos de interrupção da precipitação que ocorrem durante um determinado período. No entanto, sua definição é bastante variável de acordo com a metodologia utilizada em cada análise. Estudos que abordam a análise de frequência e intensidade de veranicos são requeridos principalmente em regiões onde recursos hídricos apresentam períodos de escassez e os ecossistemas são mais sensíveis à disponibilidade de água. Assim, diversos autores ao redor do mundo têm utilizado veranicos como tema de estudo, investigando a probabilidade de ocorrência, espacialização e influência nos diversos setores de atividade humana, relação com clima e outros fatores (PERTUSSATTI; LIMA; LEMOS, 2013).

Ceballos, Martinez-Fernández e Luengo-Ugidos (2004), por exemplo, descreveram veranicos genericamente como n dias consecutivos sem uma precipitação relevante, definindo para um dia seco os valores de 0,1 mm, que corresponde a usual precisão da quantidade mínima de chuva que pode ser detectada por pluviômetros oficiais na Espanha, e de 10 mm, devido ao efeito pequeno que a precipitação abaixo deste nível provoca no teor de água no solo considerando uma profundidade maior do que 5 centímetros a partir da superfície. Para Soares e Nóbrega (2010), dia seco é aquele em que ocorre uma precipitação menor do que 5 mm, de modo que um dia não é considerado como sendo chuvoso quando a precipitação é pequena e relativamente pouco importante para as culturas, conforme metodologia utilizada por Wolf (1977) e Peron e Neto (1986). E para Minuzzi *et al.* (2005), veranico é o período de pelo menos três dias secos consecutivos com precipitação inferior a 1 mm.

Sleiman e Silva (2008) concluíram que a distribuição temporal da precipitação é o principal fator para determinação da quantidade de veranicos em uma área após a verificação de que o total de veranicos em um período para certos locais no Rio Grande do Sul não está relacionada com a quantidade de chuva e sim em como a distribuição dessa chuva ocorre ao longo do tempo. E um outro aspecto importante e pouco explorado que tem recebido atenção na

literatura é a modelagem de veranicos extremos, sendo um dos fenômenos limitantes da produção agrícola de sequeiro (LANA *et al.*, 2006; VICENTE-SERRANO; BEGUERÍA-PORTUGUÉS, 2003). Neste sentido, uma importante ferramenta para lidar com esta questão é a previsão da duração máxima de veranicos para um determinado período de tempo e que necessita de estudos regionais detalhados.

2.2 Teoria de Valores Extremos

A Teoria de Valores Extremos (TVE) é uma área da Estatística e Probabilidade utilizada na modelagem de eventos que ocorrem com pouca frequência, cujo estudo é considerado um dos mais importantes nos últimos 50 anos para as ciências aplicadas (COLES *et al.*, 2001).

A utilização da TVE foi impulsionada a partir do trabalho de Fisher e Tippett (1928), que descreveram os três tipos possíveis (I, II, III) de distribuições assintóticas dos valores extremos, Gumbel, Fréchet e Weibull, respectivamente. Entretanto, o primeiro a estudar e normalizar a aplicação destas distribuições foi Gumbel, cuja metodologia proposta é amplamente utilizada na análise de máximos anuais das observações de vazões de rios (BAUTISTA, 2002).

Segundo Coles *et al.* (2001) os extremos dos bancos de dados podem ser coletados a partir da seleção de blocos de máximos (ou mínimos) de cada período de uma série de dados ou pontos que ultrapassam um limiar estabelecido previamente (alto ou baixo), denominado *Peaks Over Threshold* (POT).

Seja uma sequência de variáveis aleatórias X_1, X_2, \dots, X_n . O máximo do bloco M_n é definido como

$$M_n = \text{máx}(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (2.1)$$

Se a sequência for composta por variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, então é possível encontrar a função de distribuição dos máximos (ou mínimos):

$$\begin{aligned} F_{M_n}(x) &= P(M_n \leq x) \\ &= P(X_1 \leq x \cap X_2 \leq x \cap \dots \cap X_n \leq x) \\ &= P(X_1 \leq x) \times P(X_2 \leq x) \times \dots \times P(X_n \leq x) \\ &= [F(x)]^n, \end{aligned} \quad (2.2)$$

para $x \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{N}$.

Tomando-se as constantes de normalização $a_n > 0$ e $b_n \in \mathbb{R}$, de acordo com o teorema de Fisher e Tippett (1928) determina-se que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P = \{a_n^{-1} (M_n - b_n) \leq x\} = \lim_{n \rightarrow \infty} F^n(a_n + b_n x) \rightarrow G(x), \quad (2.3)$$

em que $G(x)$ é uma função de distribuição não-degenerada.

Considerando-se $G(x)$ uma função de distribuição não-degenerada, α e β os parâmetros de posição e escala respectivamente, então a teoria assintótica de valores extremos (FISHER; TIPPETT, 1928; GNEDENKO, 1943) determina que $G(x)$ assume uma das seguintes três formas:

(a) Distribuição Gumbel (Tipo I)

$$G(x) = \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right] \right\} \text{ para } \alpha \in \mathbb{R}, \beta > 0 \text{ e } -\infty < x < \infty \quad (2.4)$$

(b) Distribuição Fréchet (Tipo II)

$$G(x) = \exp \left\{ - \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{-\xi} \right\} \text{ para } \alpha \in \mathbb{R}, \beta > 0, \xi > 0 \text{ e } x > 0 \quad (2.5)$$

(c) Distribuição Weibull (Tipo III)

$$G(x) = \exp \left\{ - \left[- \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^\xi \right] \right\} \text{ para } \alpha \in \mathbb{R}, \beta > 0, \xi > 0 \text{ e } x \leq 0 \quad (2.6)$$

A distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) foi introduzida por Jenkinson (1955), incorporando as três formas assintóticas de valores extremos máximos em uma única expressão. A função de probabilidade acumulada da distribuição GEV é dada por:

$$F_{GEV}(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, \quad (2.7)$$

em que $-\infty < x < \frac{\alpha - \beta}{\xi}$ para $\xi < 0$, $-\infty < x < \infty$ para ξ tendendo a zero, $\frac{\alpha - \beta}{\xi} < x < \infty$ para $\xi > 0$, sendo α, β e ξ os parâmetros de posição, escala e forma, respectivamente, com $\beta > 0$ e $\xi \neq 0$.

A distribuição GEV com ou sem a presença de tendência incorporada ao parâmetro posição (α) apresenta a seguinte função de densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \left[1 + \xi \left(\frac{x + \alpha(t)}{\beta} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \alpha(t)}{\beta} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{\xi}\right)} \right\} \quad (2.8)$$

que é definida em $-\infty < x < \frac{\alpha(t)-\beta}{\xi}$, para $\xi < 0$ e $\frac{\alpha(t)-\beta}{\xi} < x < \infty$, para $\xi > 0$. Se a distribuição GEV é estacionária (sem tendência), $\alpha(t) = \alpha$; se a distribuição é não-estacionária, o parâmetro posição passa a ser uma função linear indexada no tempo t (número de anos em que se inicia a tendência somado a um tempo de retorno estabelecido), $\alpha(t) = \alpha + \alpha_1 t$, sendo α_1 o parâmetro posição com tendência incorporada.

Almeida (2018) comparou o método da máxima verossimilhança com a metodologia Bayesiana, avaliando diferentes distribuições *a priori*, na previsão da ocorrência de ventos máximos, por semestre, em Sorocaba e Bauru (SP) e observou que a abordagem Bayesiana foi mais eficaz para estimar os parâmetros e realizar previsões para as distribuições GEV e Gumbel, fornecendo resultados mais acurados e precisos.

Pertussatti, Lima e Lemos (2013) realizaram uma análise estatística da ocorrência de veranicos no estado do Mato Grosso e da variabilidade espaço-temporal de diversas características dos veranicos. No entanto, na pesquisa não foi abordada a incerteza nos estimadores dos parâmetros dos modelos estudados e como a mesma se propaga para a probabilidade de ocorrência de um certo veranico ao longo da estação chuvosa, propondo, assim, a utilização de métodos Bayesianos onde a incerteza é melhor incorporada nos modelos desenvolvidos.

Katz, Parlange e Naveau (2002) anteciparam que as incertezas nas estimativas de extremos hidrológicos poderiam ser mais realisticamente quantificadas por meio do uso de métodos Bayesianos. Butturi-Gomes, Beijo e Avelar (2019), utilizando a inferência Bayesiana, avaliaram o desempenho preditivo da distribuição GEV para duração máxima, em número de dias, de períodos secos em diferentes cenários de tamanho da amostra e graus de informações *a priori* disponíveis. Os autores concluíram que melhores desempenhos das previsões intervalares ocorreram nos níveis crescentes de informações *a priori*.

Em estudos climáticos, o paradigma Bayesiano já foi implementado através do modelo de avaliações climáticas (MIN; HENSE, 2006; KNUTTI, 2010). Mishra, Özger e Singh (2011), com o propósito de analisar as mudanças climáticas de períodos secos e úmidos mensais, empregaram uma rede neural Bayesiana para diminuir a escala de precipitação de modelos climáticos globais.

2.3 Inferência Bayesiana

A teoria da inferência Bayesiana é recente, surgindo no meio científico na década de 30 e tendo como base alguns estudos de Jeffreys (1939). No entanto, os métodos Bayesianos passaram algumas décadas sem se popularizarem em razão da exigência de resoluções de

integrais complexas e somente na década de 90 este desafio foi superado de modo alternativo por meio do trabalho de Gelfand *et al.* (1990), em que foram obtidos resultados muito satisfatórios utilizando-se um recurso de simulação dinâmica (algoritmo Amostrador de Gibbs) que utiliza a teoria das Cadeias de Markov elaborado por Geman e Geman (1984).

Na abordagem clássica, os parâmetros desconhecidos são fixos e as análises são restritas às informações contidas na amostra dos dados, enquanto a metodologia Bayesiana consiste de utilização de informação *a priori* e dos dados amostrais e do cálculo da densidade *a posteriori* dos parâmetros que passam a ser considerados aleatórios e, portanto, assumem distribuições *a priori*. Para tanto, a utilização de informação *a priori* requer a especificação de uma distribuição *a priori* para o parâmetro de interesse que deve representar probabilisticamente o conhecimento que se tem sobre o parâmetro antes do experimento ser realizado.

Utilizando-se a distribuição *a priori* ($P(\theta)$) e a função de verossimilhança ($L(\mathbf{x} | \theta)$), por meio do Teorema de Bayes torna-se possível obter a distribuição *a posteriori* de θ ($P(\theta | \mathbf{x})$), de modo que o processo de inferência é realizado a partir desta distribuição (BOX; TIAO, 2011). A expressão do teorema de Bayes é dada por:

$$P(\theta | \mathbf{x}) = \frac{L(\mathbf{x} | \theta) P(\theta)}{\int L(\mathbf{x} | \theta) P(\theta) d\theta}, \quad (2.9)$$

sendo $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ a amostra ou o vetor \mathbf{x} de observações.

Resolvendo-se a integral do denominador, obtém-se a marginal que não depende de θ , possibilitando-se que este parâmetro seja considerado como uma constante. Portanto, estas expressões podem ser representadas em termos de proporcionalidade

$$P(\theta | \mathbf{x}) \propto L(\theta; \mathbf{x}) P(\theta). \quad (2.10)$$

A distribuição *a priori* pode ser classificada quanto ao nível de informação de θ como informativa ou não informativa, sendo a primeira utilizada quando o pesquisador já possui um certo conhecimento prévio do que está sendo estudado, inclusive informações a respeito de locais próximos à região de estudo e, a segunda, quando ele possui pouca ou nenhuma informação para incorporar às análises e, portanto, não prioriza nenhum valor do parâmetro no espaço paramétrico.

Para realizar um processo de inferência no contexto Bayesiano sobre um parâmetro, é necessário obter a sua marginal *a posteriori* integrando-se a distribuição conjunta *a posteriori*

em relação aos demais parâmetros e, assim, encontrar as estimativas pontuais e as estimativas intervalares, que são chamadas de regiões ou intervalos de credibilidade. Considerando os infinitos intervalos possíveis com o mesmo grau de credibilidade, aquele cuja probabilidade *a posteriori* é máxima é definido como intervalo HPD (*Highest Posterior Density*) (PAULINO; TURKMAN; MURTEIRA, 2003).

Como a solução analítica das integrais para obter as marginais *a posteriori* geralmente é complexa são utilizadas técnicas iterativas como os algoritmos Amostrador de Gibbs e Metropolis-Hastings por meio da técnica Monte Carlo via Cadeias de Markov (MCMC).

Em termos práticos, admite-se que há convergência quando a cadeia se torna estacionária, indicando que as distribuições condicionais completas estão suficientemente próximas das distribuições marginais e a análise desta convergência pode ser realizada com a utilização de três critérios (NOGUEIRA; SÁFADI; FERREIRA, 2004):

- (a) Critério de Raftery e Lewis (1992), no qual é definido o número de iterações suficientes para que a convergência seja atingida via algoritmo Metropolis-Hastings, de modo que o método fornece estimativas para o *burn-in* (total de iterações descartadas) e para o *thin* (distância mínima entre iterações para minimizar a autocorrelação amostral);
- (b) Critério de Geweke *et al.* (1991), no qual a convergência da cadeia é atingida quando a diferença padronizada entre as médias *a posteriori* não é significativa;
- (c) Critério de Heidelberger e Welch (1983), no qual é avaliada a estacionariedade da cadeia e se o tamanho inicial da amostra é adequado para estimar a média com precisão.

2.4 Espacialização de variáveis climáticas

Tanto em áreas urbanas quanto rurais, o conhecimento da distribuição espaço-temporal da precipitação é essencial para melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos durante os períodos secos e para as tomadas de decisão pertinentes à defesa civil durante eventos de chuvas excessivas (MINUZZI *et al.*, 2005).

Atualmente, uma das principais áreas de pesquisa em Hidrologia e Climatologia tem como base a geração de mapas para auxiliar na implantação de projetos agrícolas e ambientais a partir da análise de técnicas de interpolação espacial visando reconstituir a distribuição espacial da variável (ÁVILA; MELLO; VIOLA, 2009).

Embora existam algumas divergências, a delimitação do espaço geográfico em que atua o veranico e a avaliação de sua intensidade, periodicidade e duração, bem como as exigências hídricas de cada espécie e cultivares, contribuem para o conhecimento prévio das condições climáticas de uma região para programação das atividades agropecuárias (CASTRO NETO; VILELA, 1986).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os processos para obtenção dos dados, a caracterização da área de estudo e são detalhados os procedimentos utilizados para aplicação da metodologia Bayesiana e para a geração dos mapas de probabilidade de ocorrência de veranicos máximos.

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende 18 municípios de Minas Gerais pertencentes a 6 mesorregiões: Campo das Vertentes, Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas e Zona da Mata, de acordo com o mapa da Figura 2.

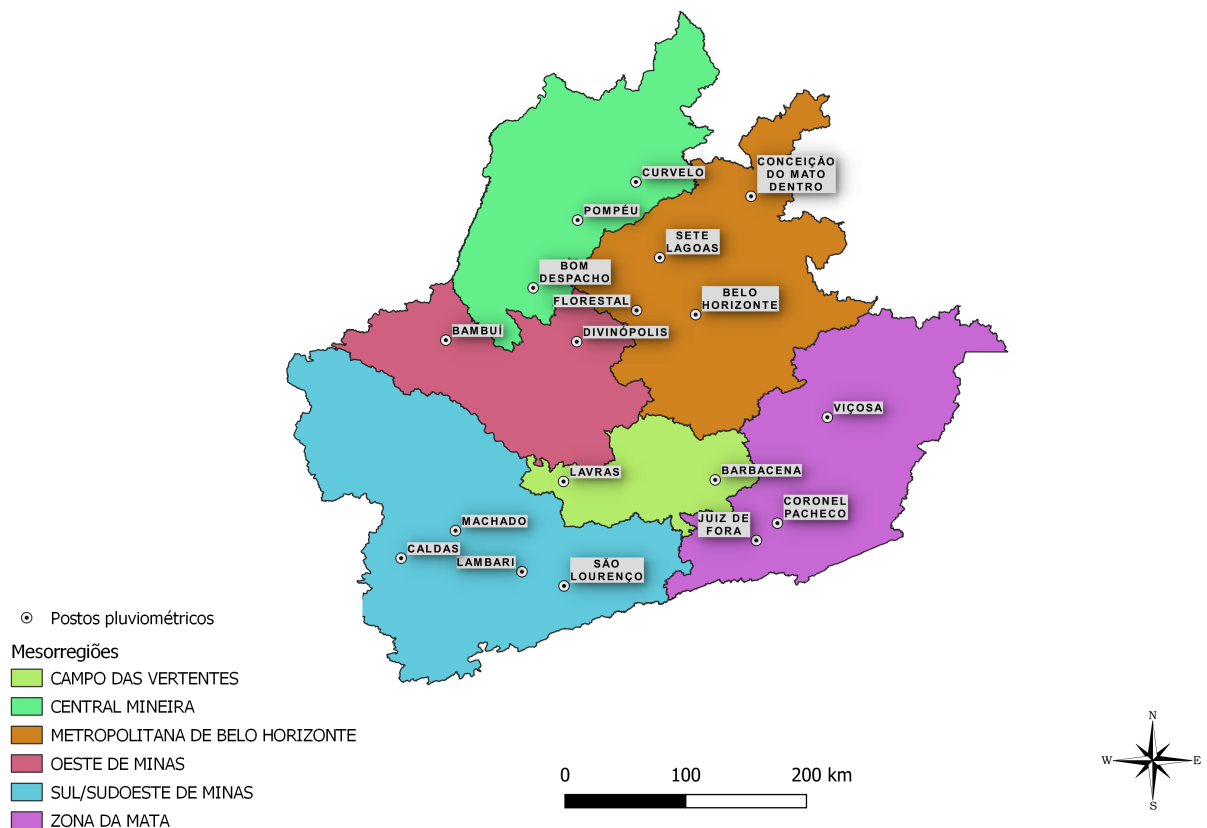


Figura 1 – Localização dos postos pluviométricos utilizados.

Fonte: Da autora.

Conforme a classificação de Köppen os tipos climáticos que prevalecem nestas mesorregiões são (ANTUNES, 1986):

- Aw: clima tropical úmido de savana, que predomina em altitudes mais baixas e apresenta inverno seco e verão chuvoso, cuja temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C e a precipitação do mês mais seco é inferior a 60 mm;
- Cwa: clima temperado quente, apresentando inverno seco e verão chuvoso e predominância em regiões serranas do centro e sul do estado e ao norte das Serras do Espinhaço e Cabral, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C e a do mês mais quente superior a 22 °C;
- Cwb: clima temperado chuvoso ou subtropical de altitude, apresentando inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C e predominando nas regiões de altitudes mais elevadas das Serras da Canastra, Espinhaço e Mantiqueira.

A Tabela 1 apresenta as porcentagens de cada uma das três classes climáticas observadas nas 6 mesorregiões.

Tabela 1 – Porcentagem de área das classes climáticas observadas em cada mesorregião.

Mesorregião	Área observada da classe climática (%)		
	Cwa	Cwb	Aw
Campo das Vertentes	46,65	53,34	0,01
Central Mineira	90,30	8,18	1,52
Metropolitana de Belo Horizonte	50,60	19,83	29,57
Oeste de Minas	77,51	17,17	5,33
Sul/Sudoeste de Minas	43,36	56,07	0,57
Zona da Mata	51,35	33,73	14,92

Fonte: (SÁ JÚNIOR, 2009).

No Campo das Vertentes encontra-se a unidade de relevo Planalto do Leste e Sul de Minas, com relevo acidentado e possuindo variações de 1000 metros de altitude, que podem estar relacionadas à ocorrência de precipitação do tipo orográfica (MINUZZI; MENDONÇA; SEDIYAMA, 2005).

Com relação à vegetação, nas mesorregiões Central Mineira e Oeste de Minas predomina o bioma Cerrado, enquanto nas mesorregiões Sul/Sudoeste de Minas e Zona da Mata prevalece o bioma Mata Atlântica. As mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte e Campo das Vertentes apresentam a ocorrência dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, com a presença da

classe de vegetação Campos Rupestres de Altitude nas áreas próximas à Serra do Espinhaço (GUIMARÃES; REIS; LANDAU, 2010).

De modo geral, o regime pluvial do estado de Minas Gerais é influenciado pelo aspecto dinâmico da atmosfera, o que inclui os sistemas meteorológicos de micro, meso e grandes escalas, sendo estes a Zona de Convergência do Atlântico Sul e as Frentes Frias – principais responsáveis pela precipitação pluvial – e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior, cuja variação das suas posições pode ocasionar maiores períodos de estiagens. Além da irregularidade na distribuição das chuvas, a região também é afetada pela ocorrência de veranicos e a influência deste fenômeno sobre a produtividade das culturas pode ser acentuada, principalmente nos casos em que a planta se encontra nas fases mais sensíveis à deficiência hídrica (MINUZZI *et al.*, 2005). A umidade relativa média mensal apresenta variações entre 52 % no extremo norte do estado e 84 % na parte sul, com o mês mais úmido sendo dezembro e agosto sendo o mês mais seco (ANTUNES, 1986).

3.2 Dados de precipitação

Os dados de precipitação acumulada diária, expressos em altura de lâmina d'água (mm) foram obtidos a partir das séries históricas de postos pluviométricos automáticos e convencionais de 18 municípios de Minas Gerais pertencentes às mesorregiões Campo das Vertentes (CV), Central Mineira (CE), Metropolitana de Belo Horizonte (MB), Oeste de Minas (OM), Sul/Sudoeste Mineiro (SM) e Zona da Mata (ZM), disponibilizadas para acesso no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme Tabela 2. Os dados foram organizados de modo que a variável aleatória do estudo fosse o veranico máximo anual, por período, considerando-se duas definições de veranico, ou seja, o número máximo de dias consecutivos com precipitação inferior aos valores limites de 1 e 5 mm nas estações seca e chuvosa.

Tabela 2 – Localização geográfica, período e tamanho das séries de dados de veranicos máximos anuais dos municípios da região de estudo.

Mesorregião (IBGE)	Localidade	Latitude	Longitude	Área (km ²)	Período	Tamanho (anos)
Campo das Vertentes	Barbacena	-21,2515	-43,8006	759,2	1991-2018	28
	Lavras	-21,2647	-45,0385	564,7	1968-2019	52
Central Mineira	Bom Despacho	-19,6845	-45,2861	1223,9	1982-2018	37
	Curvelo	-18,7527	-44,4303	3298,8	1981-2019	39
	Pompéu	-19,2257	-45,0141	2551,1	1989-2015	27
Metropolitana de Belo Horizonte	Belo Horizonte	-19,9027	-43,9599	331,4	1961-2018	58
	Florestal	-19,8880	-44,4318	191,4	1961-2017	57
	Sete Lagoas	-19,4569	-44,2413	537,6	1993-2015	23
	Conceição do Mato Dentro	-19,0344	-43,4221	1726,8	1991-2018	28
Oeste de Minas	Bambuí	-20,1110	-45,9989	1455,8	1972-2017	46
	Divinópolis	-20,1237	-44,9307	708,1	1996-2019	24
Sul/Sudoeste de Minas	Caldas	-21,8908	-46,3637	711,4	1992-2018	27
	Lambari	-22,0009	-45,3777	213,1	1991-2010	20
	Machado	-21,6659	-45,9201	586,0	1991-2018	28
	São Lourenço	-22,1172	-45,0343	58,0	1980-2016	37
Zona da Mata	Coronel Pacheco	-21,6047	-43,2931	131,5	1967-2007	41
	Juiz de Fora	-21,7455	-43,4647	1435,7	1969-2018	50
	Viçosa	-20,7404	-42,8855	299,4	1991-2017	27

Fonte: (IBGE, 2010)

3.3 Análise descritiva e testes preliminares

Para a análise descritiva das séries de dados foram estimadas as medidas de posição (mínimo, máximo, média, mediana, primeiro e terceiro quartis) e de dispersão (coeficiente de variação) para os veranicos máximos anuais de cada município.

Foi verificada a pressuposição de independência dos dados e a existência de tendência com a aplicação dos testes de Ljung-Box (LJUNG; BOX, 1978) e de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), respectivamente, às séries de veranicos máximos, ambos ao nível de 5% de significância.

Os testes foram realizados via Sistema Computacional Estatístico R (R CORE TEAM, 2020), com a utilização dos pacotes *lawstat* (GASTWIRTH *et al.*, 2019) e *Kendall* (MCLEOD, 2011).

3.4 Estimação via Inferência Bayesiana

Assumindo-se que há independência entre os dados, a função de verossimilhança para a distribuição GEV é dada por:

$$L(\alpha(t), \beta, \xi | \mathbf{x}) = \frac{1}{\beta^n} \prod_{i=1}^n \left\{ [1 + \xi w_i]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \right\} \exp \left\{ \sum_{i=1}^n \left\{ - [1 + \xi w_i]^{-\frac{1}{\xi}} \right\} \right\} \quad (3.1)$$

em que $w_i = \left(\frac{x_i - \alpha(t)}{\beta}\right)$. Para a distribuição GEV estacionária, $\alpha(t) = \alpha$; para GEV não-estacionária, $\alpha(t) = \alpha + \alpha_1 t$, sendo α_1 o parâmetro posição com tendência incorporada.

Considerando-se uma *priori* não informativa, para a estimação dos parâmetros da distribuição GEV foram adotadas diferentes distribuições *a priori* para cada um dos parâmetros, sendo $\alpha \sim Normal(a, b)$, $\beta \sim Lognormal(c, d)$, $\xi \sim Normal(e, f)$ e $\alpha_1 \sim Normal(g, h)$, conforme as expressões das funções de densidade de probabilidade (3.2), (3.3), (3.4) e (3.5), respectivamente:

$$f(\alpha) = \sqrt{\frac{b}{2\pi}} \exp\left\{-\frac{b(\alpha - a)^2}{2}\right\} \quad (3.2)$$

$$f(\beta) = \sqrt{\frac{d}{2\pi}} \beta^{-1} \exp\left\{-\frac{d(\log(\beta) - c)^2}{2}\right\} \quad (3.3)$$

$$f(\xi) = \sqrt{\frac{f}{2\pi}} \exp\left\{-\frac{f(\xi - e)^2}{2}\right\} \quad (3.4)$$

$$f(\alpha_1) = \sqrt{\frac{h}{2\pi}} \exp\left\{-\frac{h(\alpha_1 - g)^2}{2}\right\} \quad (3.5)$$

em que b , f e h representam o hiperparâmetro da precisão (inverso da variância) da distribuição normal e d o hiperparâmetro da precisão lognormal.

Deste modo, os hiperparâmetros para a *priori* não informativa foram definidos da seguinte forma: $\alpha \sim Normal(a = 0; b = 0,00001)$, $\beta \sim Lognormal(c = 0; d = 0,04)$ e $\xi \sim Normal(e = 0; f = 0,01)$. Para os casos em que a tendência foi analisada, considerou-se $\alpha_1 \sim Normal(g = 0; h = 0,001)$.

A distribuição *a posteriori* conjunta da distribuição GEV estacionária foi obtida a partir do produto da expressão (3.1) com as distribuições *a priori* propostas a partir de (3.2), (3.3) e (3.4). Quando incorporada a tendência, foi incluído no produto a expressão (3.5).

Para a obtenção das marginais das distribuições *a posteriori* foi utilizado o método MCMC por meio do *freeware* OpenBugs, que utiliza os algoritmos iterativos Metropolis-Hastings e Amostrador de Gibbs. O processo de estimação foi realizado via *software* R, utilizando-se os pacotes *evd* (STEPHENSON, 2002), *evdbayes* (STEPHENSON; RIBATET., 2014), *extRemes* (GILLELAND; KATZ, 2016) e *R2OpenBUGS* (STURTZ; LIGGES; GELMAN, 2005).

3.4.1 *Prioris* informativas

Com o objetivo de avaliar diferentes estruturas de *prioris* e, assim, refinar a influência das informações *a priori*, inicialmente foi realizada a estimação Bayesiana com *priori* não informativa dos parâmetros da distribuição GEV para cada uma das séries de veranico máximo anual (estações seca e chuvosa), dos municípios de Belo Horizonte (MG) e Lavras (MG), visto que ambos possuem uma série de dados mais longa em comparação aos demais municípios das regiões consideradas no estudo, além de terem um posicionamento mais centralizado entre as regiões. Foram utilizadas as séries de dados completas e as séries reduzidas, nas quais as 15 observações finais foram destinadas ao cálculo do veranico máximo provável para os tempos de retorno de 3, 6, 9, 12 e 15 anos. Os valores das estimativas obtidas para cada parâmetro da GEV e sua respectiva variância foram adotados como hiperparâmetros das *prioris* informativas.

Foram utilizadas as distribuições *a priori* informativas normal e lognormal, sendo $\alpha \sim Normal(a, b)$, $\beta \sim Lognormal(c, d)$ e $\xi \sim Normal(e, f)$. Nos casos da GEV com tendência foi utilizada uma *priori* não informativa para o parâmetro α_1 . Para o hiperparâmetro de precisão das distribuições normal e lognormal foram utilizados os inversos das variâncias obtidas com os ajustes. Para analisar os efeitos da flexibilização da variância, os respectivos valores de variância obtidos foram multiplicados por 1, 2 e 4, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores dos hiperparâmetros obtidos via distribuição GEV ajustada aos dados de veranico máximo anual (dias) dos municípios de Lavras e Belo Horizonte.

Localidade	Valor Limite	med			VAR		
		α_0	$log(\beta_0)$	ξ_0	α_0	$log(\beta_0)$	ξ_0
Belo Horizonte (1961-2018)	Sec V1	51,150	2,981	0,162	9,4310	0,0166	0,0151
	Sec V5	71,668	3,284	0,072	19,0445	0,0180	0,0250
	Chuv V1	13,861	1,524	0,171	0,5625	0,0180	0,0216
	Chuv V5	17,985	1,751	-0,057	0,7709	0,0132	0,0108
Belo Horizonte (1961-2003)	Sec V1	48,695	2,945	0,171	11,9508	0,0234	0,0196
	Sec V5	70,385	3,387	0,139	34,7982	0,0346	0,0562
	Chuv V1	10,741	0,982	0,307	0,2959	0,0350	0,0380
	Chuv V5	17,121	1,755	-0,014	1,1067	0,0193	0,0174
Lavras (1968-2019)	Sec V1	43,300	2,758	-0,057	7,1449	0,0161	0,0174
	Sec V5	53,592	2,947	-0,016	10,3234	0,0180	0,0219
	Chuv V1	11,192	1,158	0,127	0,3215	0,0228	0,0342
	Chuv V5	14,876	1,407	-0,045	0,4638	0,0169	0,0196
Lavras (1968-2004)	Sec V1	44,890	2,884	-0,098	12,8953	0,0262	0,0289
	Sec V5	55,157	3,108	0,139	20,5300	0,0269	0,0364
	Chuv V1	12,902	1,400	0,235	0,6241	0,0286	0,0353
	Chuv V5	13,981	1,330	0,065	0,6022	0,0282	0,0357

Fonte: Da autora.

Para avaliar o desempenho dos modelos ajustados e determinar qual o melhor estrutura de *priori* para estimação dos parâmetros da distribuição GEV foram calculados níveis de retorno de veranicos máximos.

3.5 Probabilidade de ocorrência de veranicos e níveis de retorno da distribuição GEV

A probabilidade de ocorrência por período de veranicos acima de um determinado valor x será obtida pela equação:

$$P(X > x) = 1 - \exp \left\{ - \left[1 + \hat{\xi} \left(\frac{x - \widehat{\alpha}(t)}{\hat{\beta}} \right) \right]^{-\frac{1}{\hat{\xi}}} \right\}, \quad (3.6)$$

em que x corresponde a um valor de número máximo de dias sem precipitação do período, e $0 < x < \infty$.

Considerando-se o evento “número máximo de dias sem precipitação excede um determinado valor x ”, o período de retorno T é definido como o valor médio do tempo aleatório entre ocorrências consecutivas deste evento, sendo inversamente proporcional à probabilidade de ocorrência associada a este evento.

O nível de retorno (x_p) associado ao período de retorno T é obtido a partir da solução da equação:

$$\hat{x}_p = \widehat{\alpha}(t) - \frac{\hat{\beta}}{\hat{\xi}} \left\{ 1 - [-\ln(1-p)]^{-\hat{\xi}} \right\} \quad (3.7)$$

A estimativa (\hat{x}_p) do nível de retorno para períodos de retorno $T = \frac{1}{p}$ é obtida após a substituição das cadeias *a posteriori* dos parâmetros da distribuição GEV, o que resulta em uma distribuição preditiva.

3.6 Análise de convergência das cadeias

A partir do método MCMC, para cada uma das estruturas de *priori* foi realizado um processo com 40000 iterações, descartando-se (*burn*) 10000 das primeiras iterações e realizando-se saltos (*thin*) a cada 5 iterações, obtendo-se uma cadeia final com 6000 iterações. Com a utilização do pacote *coda* (PLUMMER *et al.*, 2006), a convergência das cadeias geradas foi validada de acordo com os seguintes critérios (NOGUEIRA; SÁFADI; FERREIRA, 2004):

- (a) Critério de Raftery e Lewis, no qual é verificado se o Fator de Dependência é próximo de 1,0.

- (b) Critério de Geweke, no qual é verificada a convergência se o módulo da estatística é menor que 1,96;
- (c) Critério de Heidelberger-Welch, no qual é possível concluir que a série é estacionária se o valor-p do teste é maior que 5%.

3.7 Avaliação de desempenho de modelos

Para selecionar qual é o melhor tipo de *priori* para cada localidade em cada período, as séries foram divididas em duas partes para que fosse obtido o erro médio de predição (EMP) para os tempos de retorno de 3, 6, 9, 12 e 15 anos nas séries com tamanho superior a 27 dados e tempos de retorno de 2, 4, 6 e 8 anos nas demais séries.

O erro médio de predição (EMP) é dado por:

$$EMP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right| \times 100\% \quad (3.8)$$

em que x_i é o número máximo observado de dias sem precipitação e \hat{x}_i o número máximo de dias sem precipitação previsto para o i -ésimo tempo de retorno.

A comparação entre os ajustes dos modelos Bayesianos foi realizada utilizando-se o critério de informação do desvio (DIC, do inglês *Deviance Information Criterion*). O desvio (*Deviance*) é definido como:

$$D(\theta) = -2 \ln L(\theta) + C \quad (3.9)$$

em que θ é o vetor de parâmetros do modelo, $L(\theta)$ é a função de verossimilhança e C é uma constante que pode ser cancelada e, assim, não interfere na comparação de dois modelos. Desta forma, o critério DIC introduzido por Spiegelhalter *et al.* (2002) é definido como:

$$DIC = D(\hat{\theta}) + 2p_D \quad (3.10)$$

em que $D(\theta)$ é o desvio avaliado na média *a posteriori* e p_D é o número efetivo de parâmetros do modelo, definido por:

$$p_D = \bar{D} - D(\hat{\theta}) \quad (3.11)$$

em que $\bar{D} = E[D(\hat{\theta})]$ corresponde ao desvio médio *a posteriori* que mede a qualidade do ajuste do modelo aos dados.

Analisando-se dois modelos A e B, as melhores previsões serão realizadas pelo modelo que apresenta o menor valor de DIC, conforme o critério estabelecido por Spiegelhalter *et al.* (2002) na equação:

$$D = |DIC_A - DIC_B| \quad (3.12)$$

Deste modo, se $D < 5$, a diferença entre os modelos não é substancial; se $5 \leq D \leq 10$, a diferença entre os modelos é substancial; e se $D > 10$, pode-se definitivamente descartar o modelo com maior valor de DIC (SPIEGELHALTER *et al.*, 2002).

De acordo com a utilização desse critério, quando a diferença entre os modelos não for substancial, ou seja $D < 5$, foi selecionado, como melhor modelo, aquele que apresentou menor valor de Erro Médio de Predição.

3.8 Espacialização da probabilidade de ocorrência de veranicos

As previsões de probabilidade de ocorrência de veranicos extremos foram obtidas de modo independente para cada um dos 18 municípios, adotando-se a respectiva estrutura de *priori* com melhor desempenho no ajuste da distribuição GEV. Para a espacialização dessas probabilidades para os demais municípios que compõem as mesorregiões da área do estudo foram realizadas interpolações espaciais simples utilizando-se centroides que representam o ponto central de cada um dos municípios.

Considerando-se o pressuposto de que os municípios mais próximos entre si apresentam probabilidades de ocorrência de veranicos extremos mais semelhantes do que os mais distantes, os pesos utilizados em cada interpolação foram ponderados por meio do cálculo do inverso da distância euclidiana ao quadrado, de acordo com o fator de ponderação w_{ij} expresso na equação (CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2004):

$$w_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^k} \quad (3.13)$$

em que k é o expoente da distância que corresponde ao nível de suavização, sendo adotado o valor 2, e d_{ij} é o valor da distância euclidiana entre as coordenadas geográficas (p, q) do ponto

central do município com posto pluviométrico localizado (j) ao i -ésimo município de vizinhança, expresso por:

$$d_{ij} = \sqrt{(p_i - p_j)^2 + (q_i - q_j)^2}. \quad (3.14)$$

Desta forma, a equação geral para a interpolação utilizada foi

$$\hat{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3.15)$$

em que z_j corresponde ao valor de probabilidade predito para cada valor de duração de veranico máximo estabelecido para cada um dos 18 postos pluviométricos.

Para a geração dos mapas no *software* R foram utilizados os pacotes *rgdal* (BIVAND; KEITT; ROWLINGSON, 2019) para leitura e gravação das classes de dados espaciais, *sp* (PEBESMA; BIVAND, 2005; BIVAND; PEBESMA; GOMEZ-RUBIO, 2013) para manipulação, conversão e plotagem dos dados em uma das classes, *rgeos* (BIVAND; RUNDEL, 2019) para sobreposições e outras tarefas de análise geoespacial e *plotrix* (LEMON, 2006) para funções especializadas para a plotagem dos mapas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentam-se as estatísticas descritivas, os testes preliminares, a distribuição dos modelos selecionados entre as mesorregiões e os mapas com a probabilidade de ocorrência de diferentes durações de veranico máximo para os valores limite de 1 e 5 mm nas estações seca e chuvosa.

4.1 Estatística descritiva

Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados os resultados das estatísticas descritivas das séries de veranicos máximos anuais para as estações seca e chuvosa de cada município do estudo, considerando-se uma precipitação inferior aos valores limites de 1 mm (V1) e 5 mm (V5).

Tabela 4 – Estatísticas descritivas das séries de veranicos máximos anuais (dias) da estação seca.

Mesorregião	Localidade	Valor limite	Mín.	1º Qu.	Mediana	Méd.	3º Qu.	Máx.	C.V.	
Campo das Vertentes	Barbacena	V1	26,0	34,0	50,0	49,3	59,0	86,0	36,8	
		V5	33,0	55,8	67,0	69,7	83,8	107,0	26,9	
	Lavras	V1	20,0	39,0	48,0	51,2	64,0	92,0	35,0	
		V5	26,0	46,0	60,0	63,8	80,5	114,0	35,1	
Central Mineira	Bom Despacho	V1	26,0	47,0	56,5	65,8	86,0	128,0	28,5	
		V5	49,0	64,8	97,5	92,0	112,0	130,0	28,5	
	Curvelo	V1	34,0	69,0	93,0	92,3	109,0	167,0	32,5	
		V5	50,0	92,0	112,0	113,1	141,0	174,0	30,2	
	Pompéu	V1	38,0	56,5	83,0	78,7	95,5	121,0	30,7	
		V5	51,0	85,0	96,0	97,3	115,5	146,0	26,6	
Metropolitana de Belo Horizonte	Belo Horizonte	V1	25,0	45,0	55,0	65,0	81,0	162,0	43,4	
		V5	42,0	64,0	81,0	87,9	111,0	174,0	38,2	
	C. do Mato Dentro	V1	13,0	20,0	22,0	24,4	30,2	39,0	28,1	
		V5	54,0	73,5	97,5	100,2	115,2	164,0	28,9	
	Florestal	V1	27,0	42,5	52,0	64,3	82,0	165,0	47,4	
		V5	39,0	61,5	71,0	86,8	115,5	179,0	44,1	
	Sete Lagoas	V1	41,0	62,0	87,0	83,2	105,5	128,0	31,4	
		V5	64,0	87,0	96,0	99,6	110,5	166,0	22,1	
	Oeste de Minas	BambuÍ	V1	29,0	41,0	49,0	55,4	64,8	115,0	38,1
			V5	34,0	64,0	72,5	76,7	91,0	130,0	29,8
Divinópolis		V1	36,0	49,8	54,0	63,1	70,5	113,0	36,0	
		V5	42,0	53,8	70,0	76,8	98,8	129,0	33,6	
Sul/Sudoeste de Minas	Caldas	V1	21,0	30,5	39,0	41,2	52,0	64,0	32,3	
		V5	24,0	44,0	63,0	60,5	75,0	98,0	35,1	
	Lambari	V1	20,0	38,0	42,0	44,1	47,0	97,0	38,2	
		V5	27,0	42,0	47,0	56,7	68,0	98,0	38,3	
	Machado	V1	23,0	36,5	46,0	44,0	51,0	64,0	25,9	
		V5	32,0	43,0	50,0	55,3	66,5	112,0	38,2	
	São Lourenço	V1	21,0	29,2	39,5	40,2	47,8	68,0	30,6	
		V5	29,0	41,8	48,0	54,0	64,8	112,0	32,4	
Zona da Mata	Coronel Pacheco	V1	21,0	34,0	41,0	43,3	52,5	81,0	32,6	
		V5	22,0	46,0	62,0	63,6	79,5	106,0	35,1	
	Juiz de Fora	V1	20,0	32,0	39,0	41,6	49,0	83,0	36,5	
		V5	25,0	40,0	56,0	62,4	84,0	123,0	41,0	
	Viçosa	V1	28,0	46,0	53,0	58,0	65,0	130,0	38,3	
		V5	36,0	66,0	87,0	83,6	100,0	138,0	29,1	

Fonte: Da autora.

A partir da Tabela 4 foi possível observar que, durante a estação seca, com valor limite de precipitação de 1 mm, o menor valor de veranico máximo anual entre os municípios foi de 13 dias para Conceição do Mato Dentro, enquanto o maior valor foi de 167 dias para Curvelo. Para o valor limite de 5 mm, o menor valor de veranico máximo anual foi de 22 dias para Coronel Pacheco, enquanto o maior valor foi de 179 dias para Florestal.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas das séries de veranicos máximos anuais (dias) da estação chuvosa.

Mesorregião	Localidade	Valor limite	Mín.	1º Qu.	Mediana	Méd.	3º Qu.	Máx.	C.V.	
Campo das Vertentes	Barbacena	V1	6,0	11,0	15,0	14,6	17,0	23,0	28,6	
		V5	7,0	15,8	18,0	17,2	19,0	27,0	24,6	
	Lavras	V1	8,0	10,0	12,0	13,3	16,2	23,0	31,3	
		V5	10,0	13,0	17,0	17,0	19,0	28,0	27,4	
Central Mineira	Bom Despacho	V1	9,0	14,0	15,0	16,2	19,0	25,0	22,9	
		V5	12,0	17,0	21,0	22,3	25,8	41,0	31,6	
	Curvelo	V1	11,0	17,0	21,0	22,4	26,0	62,0	38,3	
		V5	12,0	21,0	26,0	26,8	30,0	63,0	32,8	
	Pompéu	V1	10,0	14,0	17,0	17,6	20,5	26,0	27,7	
		V5	11,0	18,0	21,0	22,4	26,0	39,0	31,3	
Metropolitana de Belo Horizonte	Belo Horizonte	V1	9,0	12,0	16,0	17,1	19,0	36,0	38,1	
		V5	10,0	17,0	20,0	20,9	25,0	38,0	31,6	
	C. do Mato Dentro	V1	10,0	15,0	19,0	19,5	22,0	38,0	31,2	
		V5	13,0	20,0	22,0	24,4	30,2	39,0	28,1	
	Florestal	V1	8,0	12,5	15,0	17,0	18,0	55,0	45,5	
		V5	10,0	16,0	19,0	21,0	24,0	70,0	45,6	
	Sete Lagoas	V1	11,0	13,0	17,0	18,3	21,5	38,0	35,8	
		V5	16,0	19,5	23,0	23,9	26,0	39,0	22,8	
	Oeste de Minas	BambuÍ	V1	8,0	11,0	13,0	13,9	16,0	23,0	27,2
			V5	10,0	15,0	17,0	18,6	21,8	47,0	35,1
Divinópolis		V1	6,0	13,0	17,0	16,1	19,0	26,0	27,9	
		V5	11,0	16,8	21,0	20,3	23,0	31,0	25,3	
Sul/Sudoeste de Minas	Caldas	V1	5,0	8,5	11,0	12,0	15,0	21,0	38,6	
		V5	10,0	11,5	16,0	15,3	17,0	23,0	27,5	
	Lambari	V1	9,0	10,0	10,0	11,4	12,0	17,0	22,1	
		V5	10,0	11,0	14,0	13,7	16,0	19,0	19,9	
	Machado	V1	6,0	10,0	11,0	12,3	14,5	20,0	30,8	
		V5	7,0	12,5	16,0	16,8	19,5	27,0	29,1	
	São Lourenço	V1	7,0	9,0	12,0	12,1	13,8	20,0	28,2	
		V5	8,0	12,0	13,5	15,0	18,0	23,0	27,7	
Zona da Mata	Coronel Pacheco	V1	8,0	12,0	15,0	16,5	19,5	32,0	36,4	
		V5	10,0	16,0	18,0	19,7	23,0	36,0	29,5	
	Juiz de Fora	V1	9,0	12,0	15,0	15,2	17,0	32,0	32,9	
		V5	11,0	16,0	18,0	19,3	22,0	34,0	28,0	
	Viçosa	V1	5,0	12,0	16,0	15,0	18,0	22,0	29,5	
		V5	12,0	17,0	19,0	20,7	22,0	36,0	28,9	

Fonte: Da autora.

Na estação chuvosa, a Tabela 5 mostra que, para o valor limite de 1 mm, o menor valor de veranico máximo anual foi de 5 dias para Caldas e Viçosa, enquanto o maior valor foi de 62 dias para Curvelo. Para o valor limite de 5 mm, o menor valor de veranico máximo anual foi de 7 dias para Barbacena e Machado, enquanto o maior valor foi de 70 dias para Florestal. O coeficiente de variação apresentou valores entre 22,1 e 47,4 % para a estação seca (Tabela 4) e entre 19,9 e 45,6% para a estação chuvosa, sendo as maiores variabilidades observadas em Florestal.

4.2 Testes preliminares

A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes de Ljung-Box e Mann-Kendall para as séries de veranicos máximos, considerando-se os limites de 1 e 5 mm, para cada município. Com o teste de Ljung-Box é possível observar que todas as séries de veranicos máximos são independentes a um nível de 1% de significância.

Tabela 6 – Resultados dos testes de Ljung-Box e Mann-Kendall (valor p) das séries de veranicos máximos anuais (dias) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa.

Mesorregião	Localidade	Sec V1		Sec V5		Chuv V1		Chuv V5	
		LB	MK	LB	MK	LB	MK	LB	MK
Campo das Vertentes	Barbacena	0,0830	0,1358	0,2414	0,1963	0,4329	0,0086	0,8222	0,0845
	Lavras	0,3879	0,7690	0,6298	0,6310	0,5683	0,3302	0,7196	0,3352
Central Mineira	Bom Despacho	0,6334	0,2017	0,5336	0,2530	0,0183	0,8932	0,4947	0,2844
	Curvelo	0,4703	0,7436	0,6658	0,6471	0,7970	0,7033	0,8463	0,2941
	Pompéu	0,8695	0,5871	0,5544	0,3479	0,9214	0,6949	0,8827	0,8997
Metropolitana de Belo Horizonte	Belo Horizonte	0,4161	0,3651	0,6648	0,8780	0,4265	0,0525	0,8129	0,1759
	Florestal	0,6258	0,7534	0,6258	0,7534	0,2449	0,8006	0,3747	0,3555
	Sete Lagoas	0,4360	0,4920	0,3826	0,8118	0,3055	0,0184	0,6117	0,0314
	C. do Mato Dentro	0,6741	1,0000	0,4634	0,7820	0,7234	0,0710	0,5701	0,5382
Oeste de Minas	Bambuí	0,2630	0,5221	0,7607	0,0992	0,2990	0,1531	0,4996	0,0503
	Divinópolis	0,8542	0,2427	0,6725	0,4872	0,5486	0,6002	0,9289	0,1286
Sul/Sudoeste de Minas	Caldas	0,9893	0,4124	0,1818	0,8532	0,1970	0,0097	0,6841	0,4697
	Lambari	0,5721	0,0907	0,7184	0,1076	0,2748	0,6122	0,7245	0,5887
	Machado	0,7528	0,9334	0,2788	0,6163	0,7450	0,0289	0,6824	0,0062
	São Lourenço	0,8246	0,8123	0,1115	0,8820	0,8856	0,9642	0,5570	0,5806
Zona da Mata	Coronel Pacheco	0,0116	0,9660	0,4312	0,3197	0,3721	0,8418	0,1200	0,6175
	Juiz de Fora	0,9158	0,6610	0,1510	0,9641	0,4372	0,1982	0,8315	0,8393
	Viçosa	0,6332	0,8516	0,3743	0,9070	0,1164	0,0027	0,4792	0,0738

Fonte: Da autora.

Pelo teste de Mann-Kendall, a um nível de significância de 5%, observa-se que, durante o período chuvoso, não há estacionariedade nas séries anuais de veranico máximo para os limites de 1 mm dos municípios de Barbacena, Caldas, Machado, Sete Lagoas e Viçosa. Porém, quando se analisa as séries de veranicos máximos para os limites de 5 mm, o teste de Mann-Kendall indicou presença de tendência, apenas, nos municípios de Machado e Sete Lagoas. Analisando-se os gráficos de dispersão destas localidades (Apêndice A), apresentados na Figura 8, pode-se observar que as séries apresentam uma suspeita de tendência positiva, ou seja, o número máximo de dias sem chuvas está aumentando com o passar do tempo. O teste de Mann-Kendall também foi realizado para as séries de dados desconsiderando-se o conjunto de observações finais destinado ao cálculo dos níveis de retorno e o resultado do teste apresentou presença de tendência a um nível de significância de 5% somente para a série do município de Machado para o valor limite de 1 mm de precipitação na estação chuvosa ($p - valor = 0,0261$). Para este caso, realizou-se um ajuste de modelo da GEV com *priori* não informativa com tendência.

4.3 Seleção de modelos

Nas Tabelas 7, 8 e 9 são apresentados os valores obtidos de DIC e o erro médio de predição (EMP) após os ajustes da distribuição GEV para *priori* não informativa (NI), *priori* não informativa com tendência (NI_t) e com informação *a priori* de Belo Horizonte (B1Var, B2Var, B4Var) e Lavras (L1Var, L2Var, L4Var) com variâncias multiplicadas por 1, 2 e 4.

Tabela 7 – Resultados do Erro Médio de Predição (EMP) e Critério de Informação do Desvio (DIC) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa das mesorregiões Campo das Vertentes (CV) e Central (CE).

Localidade	<i>Priori</i>	Sec V1		Chuv V1		Sec V5		Chuv V5	
		EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC
Barbacena (CV)	NI	171,10	79,5	8,14	53,0	12,95	75,2	23,83	46,7
	B1Var	47,72	77,3	6,93	52,6	41,29	78,7	8,98	56,5
	B2Var	46,99	77,1	5,52	52,0	29,49	76,9	6,42	55,2
	B4Var	46,95	77,3	7,70	51,8	20,66	75,3	11,94	52,6
	L1Var	27,05	78,1	13,85	51,6	16,79	80,2	17,62	52,4
	L2Var	30,49	77,9	13,98	51,4	15,13	78,1	20,34	51,0
	L4Var	35,00	77,7	13,48	51,5	13,81	76,5	22,21	49,5
Lavras (CV)	NI	19,51	291,8	9,28	180,5	6,17	305,7	9,44	195,1
	B1Var	28,59	290,6	17,55	182,0	15,29	306,4	4,83	197,0
	B2Var	24,65	290,6	14,27	180,9	10,22	305,4	6,14	195,4
	B4Var	22,16	290,9	11,95	180,4	8,44	305,5	7,84	194,8
Bom Despacho (CE)	NI	20,35	186,8	8,73	111,2	4,66	191,1	13,86	133,1
	B1Var	21,11	183,5	11,70	110,9	6,89	191,1	16,38	130,5
	B2Var	21,20	184,3	10,38	110,4	5,89	190,8	16,05	131,0
	B4Var	21,00	185,0	9,60	110,4	5,10	190,9	15,64	131,5
	L1Var	26,50	184,2	8,40	121,0	11,04	195,8	22,80	136,0
	L2Var	25,19	184,7	7,75	116,1	9,47	194,2	19,29	134,3
	L4Var	23,58	185,2	7,72	113,0	8,06	192,9	16,65	133,3
Curvelo (CE)	NI	13,96	218,5	27,88	156,2	14,00	222,5	11,50	159,8
	B1Var	21,15	230,3	11,34	165,2	17,77	225,6	8,21	161,8
	B2Var	16,97	226,8	13,33	161,9	16,59	224,1	5,41	160,5
	B4Var	13,07	223,3	16,54	159,1	15,76	223,2	4,61	159,8
	L1Var	25,78	232,8	14,94	182,2	25,95	236,0	18,77	175,8
	L2Var	20,25	227,8	14,20	176,0	22,24	231,6	12,74	170,8
	L4Var	15,23	223,6	15,38	169,5	19,31	227,6	8,30	166,1
Pompéu (CE)	NI	22,51	116,8	19,44	75,8	52,10	120,8	8,39	79,9
	B1Var	5,77	118,6	6,38	73,5	16,71	118,1	17,46	77,2
	B2Var	7,22	118,2	6,40	73,8	17,85	118,7	16,35	77,3
	B4Var	9,98	117,8	6,60	74,3	20,01	119,4	14,84	77,7
	L1Var	7,67	120,4	14,76	78,8	13,67	121,0	29,08	83,3
	L2Var	5,01	119,1	10,77	77,9	13,84	120,4	25,48	81,5
	L4Var	5,72	118,1	7,87	77,0	16,53	120,2	21,39	80,1

Fonte: Da autora.

Tabela 8 – Resultados do Erro Médio de Predição (EMP) e Critério de Informação do Desvio (DIC) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa das mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte (MB) e Oeste de Minas (OM).

Localidade	Priori	Sec V1		Chuv V1		Sec V5		Chuv V5	
		EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC
Belo Horizonte (MB)	NI	9,15	352,6	25,63	236,7	35,37	383,2	11,82	252,9
	L1Var	12,19	351,0	34,96	238,2	19,16	383,4	20,29	255,4
	L2Var	10,73	351,3	32,47	237,3	23,93	382,9	17,53	253,9
	L4Var	9,33	351,7	30,11	236,7	28,33	382,8	15,16	253,0
Florestal (MB)	NI	19,04	268,9	10,08	185,6	21,39	277,4	12,19	194,2
	B1Var	23,41	266,1	4,13	183,4	15,77	277,6	15,44	192,9
	B2Var	22,86	266,8	5,03	184,1	17,40	277,3	14,64	192,9
	B4Var	22,28	267,4	6,54	184,6	18,88	277,1	13,96	193,2
	L1Var	29,58	267,1	9,68	189,9	27,56	275,4	21,13	194,1
	L2Var	27,42	267,4	5,70	187,9	26,12	275,9	19,10	193,7
	L4Var	25,36	267,7	3,60	186,4	24,49	276,3	17,02	193,6
Sete Lagoas (MB)	NI	15,58	143,1	19,64	88,7	12,28	139,3	10,74	93,5
	B1Var	29,05	142,1	25,89	86,9	12,97	140,4	8,18	94,9
	B2Var	27,04	141,7	25,43	87,1	12,68	139,0	8,70	93,4
	B4Var	24,57	141,6	24,90	87,4	12,50	138,7	9,15	92,6
	L1Var	33,64	144,3	37,37	90,9	17,58	148,2	20,09	106,3
	L2Var	30,36	142,9	35,01	88,8	14,38	143,8	15,62	101,4
Conceição do Mato Dentro (MB)	NI	6,35	119,9	14,92	84,5	13,98	125,5	27,00	88,9
	B1Var	6,10	118,0	25,66	83,2	4,50	126,2	15,76	87,7
	B2Var	6,60	118,5	24,24	83,3	5,19	125,0	13,51	87,3
	B4Var	6,66	119,0	22,47	83,4	6,00	124,5	10,72	87,2
	L1Var	17,05	118,0	35,81	91,1	13,73	135,3	27,32	95,2
	L2Var	14,96	118,4	32,40	89,4	9,43	131,3	22,87	92,2
Bambuí (OM)	NI	9,09	238,8	25,47	138,2	12,23	257,2	7,77	167,2
	B1Var	12,21	236,9	13,44	139,5	19,77	255,8	4,91	168,9
	B2Var	11,02	237,3	19,63	138,1	16,22	255,9	4,97	167,7
	B4Var	10,24	237,7	22,80	137,8	14,20	256,6	5,46	167,0
	L1Var	8,86	237,4	23,86	138,1	8,59	255,7	13,60	164,8
	L2Var	8,38	237,5	24,97	137,9	9,37	256,0	11,85	165,5
Divinópolis (OM)	NI	16,50	140,3	10,56	101,8	10,30	150,1	25,52	98,9
	B1Var	16,56	138,3	11,98	101,4	10,41	148,6	23,12	97,1
	B2Var	16,63	138,5	11,30	101,1	9,06	148,9	24,40	97,2
	B4Var	16,71	138,8	10,98	101,1	8,82	148,9	25,19	97,5
	L1Var	19,48	139,6	20,78	107,9	15,44	148,0	34,14	100,4
	L2Var	18,69	139,2	17,69	105,7	14,38	148,3	32,32	99,5
L4Var	18,14	139,1	14,59	103,7	13,20	148,6	30,46	98,8	

Fonte: Da autora.

Tabela 9 – Resultados do Erro Médio de Predição (EMP) e Critério de Informação do Desvio (DIC) para os valores limites de veranicos de 1 e 5 mm para as estações seca e chuvosa das mesorregiões Sul/Sudoeste de Minas (SM) e Zona da Mata (ZM).

Localidade	Priori	Sec V1		Chuv V1		Sec V5		Chuv V5	
		EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC	EMP (%)	DIC
Caldas (SM)	NI	34,23	76,1	49,30	55,1	88,48	85,7	14,04	51,2
	B1Var	45,93	77,1	31,09	57,0	74,06	86,8	24,03	53,5
	B2Var	38,74	76,3	28,29	55,6	63,28	86,1	19,26	52,3
	B4Var	28,82	75,5	25,30	54,7	54,90	85,7	12,76	51,0
	L1Var	18,47	74,7	9,27	54,2	44,37	85,0	6,65	48,2
	L2Var	15,55	74,6	9,99	53,6	43,64	85,4	5,99	48,6
	L4Var	13,50	74,6	11,58	53,4	43,97	85,7	5,83	49,2
Lambari (SM)	NI	45,14	84,5	19,56	49,6	199,80	91,4	11,44	48,2
	B1Var	63,94	84,1	41,96	51,3	98,31	93,3	29,39	58,8
	B2Var	59,02	83,9	35,31	50,4	88,56	92,6	20,36	55,8
	B4Var	53,36	83,7	27,80	49,6	80,91	91,9	7,88	51,5
	L1Var	46,26	83,8	15,99	47,1	61,91	90,1	5,58	49,4
	L2Var	45,14	83,7	14,90	47,5	61,35	90,5	4,48	48,2
	L4Var	42,88	83,5	14,19	48,0	61,04	90,7	6,84	47,6
Machado (SM)	NI	12,64	104,7	12,74	69,2	17,73	101,4	12,94	72,6
	NI _t	-	-	44,74	63,6	-	-	-	-
	B1Var	55,28	100,0	16,98	69,7	42,00	107,2	15,69	74,8
	B2Var	43,30	98,8	11,40	68,8	24,54	104,0	11,09	73,2
	B4Var	29,30	97,6	7,53	68,3	16,09	102,0	11,62	72,0
	L1Var	25,36	96,5	6,11	66,5	16,43	101,5	12,48	70,3
	L2Var	19,64	96,1	6,38	66,7	16,50	100,9	12,85	70,6
L4Var	16,19	96,2	6,40	67,2	17,49	100,6	13,02	71,0	
São Lourenço (SM)	NI	13,44	149,0	27,09	82,0	25,16	159,9	8,23	107,0
	B1Var	48,75	155,8	12,36	91,8	53,66	167,9	18,25	112,5
	B2Var	32,88	152,1	13,37	86,0	33,12	162,6	10,10	109,3
	B4Var	20,11	149,7	22,62	82,7	29,35	160,7	7,53	107,5
	L1Var	20,23	151,8	17,58	84,3	31,87	161,1	6,97	104,9
	L2Var	14,03	150,0	22,83	82,7	29,21	159,9	7,23	105,3
	L4Var	12,01	149,2	25,49	82,0	27,55	159,6	7,52	105,8
Coronel Pacheco (ZM)	NI	25,60	194,2	51,14	148,3	8,06	211,3	35,68	148,3
	B1Var	53,47	196,8	19,58	145,6	12,46	213,9	21,84	147,0
	B2Var	40,91	194,1	22,85	146,1	6,36	211,7	22,28	147,2
	B4Var	33,18	193,9	26,90	146,7	6,05	211,1	23,58	147,3
	L1Var	29,81	194,0	15,38	148,8	7,17	209,9	12,41	148,3
	L2Var	27,45	193,6	19,05	147,8	7,03	210,2	16,20	147,4
	L4Var	25,95	193,5	23,96	147,4	7,30	210,5	20,42	147,2
Juiz de Fora (ZM)	NI	12,44	217,4	10,90	155,7	14,21	245,7	14,84	168,0
	B1Var	37,56	221,0	9,52	153,6	12,68	244,8	14,89	165,5
	B2Var	26,83	218,5	9,09	154,1	10,83	245,1	14,35	166,2
	B4Var	19,24	217,4	9,08	154,6	9,08	246,2	13,96	166,7
	L1Var	19,04	218,6	7,72	154,1	11,02	243,3	5,77	167,5
	L2Var	16,55	217,6	7,50	154,3	11,97	243,8	6,89	167,3
	L4Var	14,92	217,2	7,36	154,6	12,67	244,3	8,18	167,3
Viçosa (ZM)	NI	23,79	83,9	9,65	63,1	24,41	91,0	15,08	63,1
	B1Var	18,79	83,9	8,93	62,9	22,05	91,1	15,79	60,2
	B2Var	20,47	82,9	6,40	61,8	21,52	90,6	17,22	60,6
	B4Var	22,16	82,9	5,78	60,9	22,78	90,7	18,23	61,1
	L1Var	25,96	82,1	11,68	63,0	18,62	95,7	29,80	60,9
	L2Var	25,95	82,2	10,75	62,1	19,80	93,8	27,99	61,1
	L4Var	25,75	82,6	10,14	61,4	21,20	91,8	25,80	61,4

Fonte: Da autora.

De acordo com as Tabelas 7, 8 e 9, para a estação seca com valor limite de 1 mm, como

sendo os melhores modelos analisados entre os 18 municípios foram selecionados 8 modelos com *priori* não informativa, 7 modelos com informação a *priori* de Lavras e 3 com informação a *priori* de Belo Horizonte. Para o valor limite de 5 mm, foram selecionados 5 modelos com *priori* não informativa, 7 modelos com informação a *priori* de Lavras e 6 com informação a *priori* de Belo Horizonte.

No caso da estação chuvosa com valor limite de 1 mm, foram selecionados 5 modelos com *priori* não informativa, 7 modelos com informação a *priori* Lavras e 6 com informação a *priori* de Belo Horizonte. E para o valor limite de 5 mm, foram selecionados 5 modelos com *priori* não informativa, 6 modelos com informação a *priori* de Lavras e 7 com informação a *priori* de Belo Horizonte.

Os municípios de Bom Despacho, Belo Horizonte, Caldas e Lambari apresentaram melhores modelos somente com *priori* informativa de Lavras ou *priori* não informativa. Já os municípios de Lavras, Curvelo, Conceição do Mato Dentro e Divinópolis apresentaram melhores modelos somente com *priori* informativa de Belo Horizonte ou *priori* não informativa. Foi possível observar que entre os 72 modelos selecionados com melhor desempenho, somente 23 destes foram modelos que utilizaram *priori* não informativa, indicando que a inserção de informação a *priori* de Belo Horizonte ou Lavras possibilitou a obtenção de melhores resultados nos ajustes dos modelos analisados. No caso das séries de dados de Lambari (20 anos) e de Caldas (27 anos), para todos os valores limite de veranico e ambas as estações, os melhores modelos foram provenientes da utilização de Lavras como *priori* informativa.

A Figura 2 apresenta mapas com a distribuição dos modelos selecionados entre as mesorregiões.

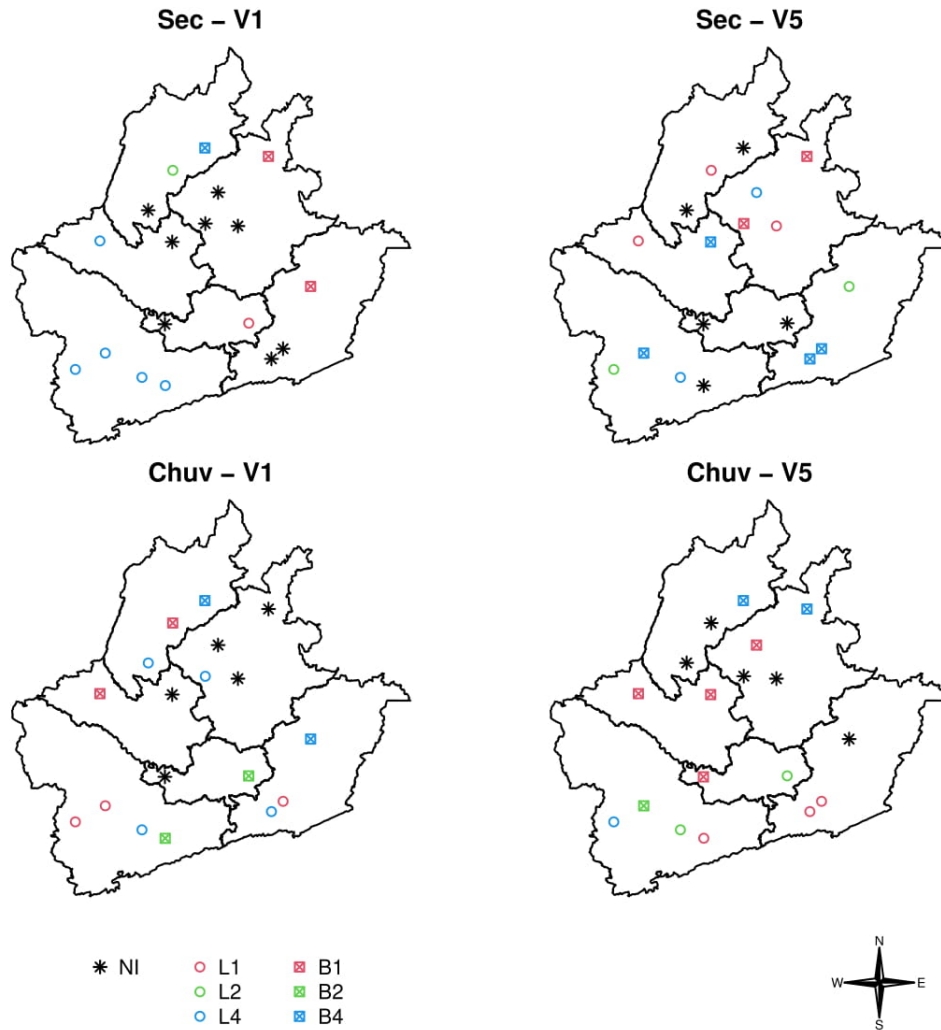


Figura 2 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (Modelos selecionados após o ajuste da GEV para as séries de veranicos máximos com ambos os valores limites de veranico para municípios de Minas Gerais nas estações seca e chuvosa.

Fonte: Da autora.

Considerando-se os ajustes de todos os modelos analisados, na Tabela 10 é possível observar que para ambos os valores limites de veranico nas estações seca e chuvosa de cada município não houve indícios de ausência de convergência das cadeias *a posteriori* dos parâmetros, visto que as estatísticas de Geweke (GW), em valores absolutos, são menores que 1,96, o fator de Raftery e Lewis (RL) é próximo de 1,0 e o valor-p do teste de Heidelberger e Welch (HW) é maior que 0,05.

Tabela 10 – Valores dos critérios de convergência* para as cadeias dos parâmetros da distribuição GEV e das preditivas de probabilidades de ocorrência de veranicos máximos para as estações seca e chuvosa.

Localidade	Sec V1			Chuv V1			Sec V5			Chuv V5		
	GW (máx)	RL (máx)	HW (mín)	GW (máx)	RL (máx)	HW (mín)	GW (máx)	RL (máx)	HW (mín)	GW (máx)	RL (máx)	HW (mín)
Barbacena (CV)	1,80	1,03	0,095	1,51	1,05	0,134	1,52	1,03	0,063	1,59	1,05	0,050
Lavras (CV)	1,38	1,05	0,142	1,56	1,04	0,289	1,38	1,02	0,076	1,39	1,06	0,063
Bom Despacho (CE)	1,77	1,02	0,068	1,62	1,06	0,128	1,83	1,06	0,051	1,79	1,06	0,057
Curvelo (CE)	1,68	1,04	0,105	1,84	1,06	0,056	1,84	1,05	0,053	1,61	1,05	0,051
Pompéu (CE)	1,63	1,03	0,052	1,90	1,06	0,084	1,29	1,05	0,139	1,52	1,04	0,051
Belo Horizonte (MB)	1,45	1,03	0,074	1,90	1,05	0,054	1,81	1,06	0,051	1,76	1,04	0,053
Florestal (MB)	1,92	1,03	0,087	1,80	1,05	0,064	1,62	1,04	0,070	1,76	1,03	0,0710
Sete Lagoas (MB)	1,56	1,03	0,056	1,86	1,06	0,073	1,85	1,05	0,069	1,86	1,05	0,069
C. do Mato Dentro (MB)	1,86	1,03	0,052	1,75	1,03	0,054	1,82	1,06	0,054	1,88	1,04	0,063
BambuÍ (OM)	1,23	1,03	0,101	1,90	1,05	0,051	1,58	1,05	0,103	1,51	1,05	0,150
Divinópolis (OM)	1,58	1,04	0,085	1,58	1,06	0,094	1,76	1,04	0,123	1,95	1,05	0,081
Caldas (SM)	1,82	1,03	0,094	1,90	1,05	0,072	1,50	1,04	0,090	1,84	1,04	0,085
Lambari (SM)	1,48	1,04	0,156	1,93	1,07	0,051	1,88	1,03	0,057	1,50	1,04	0,056
Machado (SM)	1,66	1,03	0,067	1,90	1,06	0,095	1,42	1,04	0,052	1,74	1,03	0,106
São Lourenço (SM)	1,75	1,03	0,085	1,65	1,05	0,051	1,54	1,02	0,053	1,62	1,05	0,058
Coronel Pacheco (ZM)	1,84	1,04	0,064	1,65	1,04	0,128	1,92	1,03	0,051	1,88	1,06	0,080
Juiz de Fora (ZM)	1,65	1,04	0,128	1,71	1,08	0,052	1,50	1,04	0,130	1,42	1,05	0,123
Viçosa (ZM)	1,78	1,04	0,052	1,62	1,04	0,052	1,29	1,06	0,056	1,22	1,04	0,117

*Valores máximos dos critérios de Geweke (GW) e Raftery-Lewis (RL) e valor mínimo do critério de Heidelberg-Welch (HW).

Fonte: Da autora.

4.4 Espacialização da probabilidade de ocorrência de veranicos máximos

As Figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam mapas com a probabilidade de ocorrência de diferentes durações (em dias) de veranico máximo para os valores limites de 1 mm na estação seca, 5 mm na estação seca, 1 mm na estação chuvosa e 5 mm na estação chuvosa, respectivamente, para os municípios 1- Curvelo, 2- Pompéu, 3- Bom Despacho, 4- Bambuí, 5- Divinópolis, 6- Conceição do Mato Dentro, 7- Sete Lagoas, 8- Florestal, 9- Belo Horizonte, 10-Lavras, 11- Barbacena, 12- Viçosa, 13- Coronel Pacheco, 14- Juiz de Fora, 15- Caldas, 16- Machado, 17- Lambari, 18- São Lourenço.

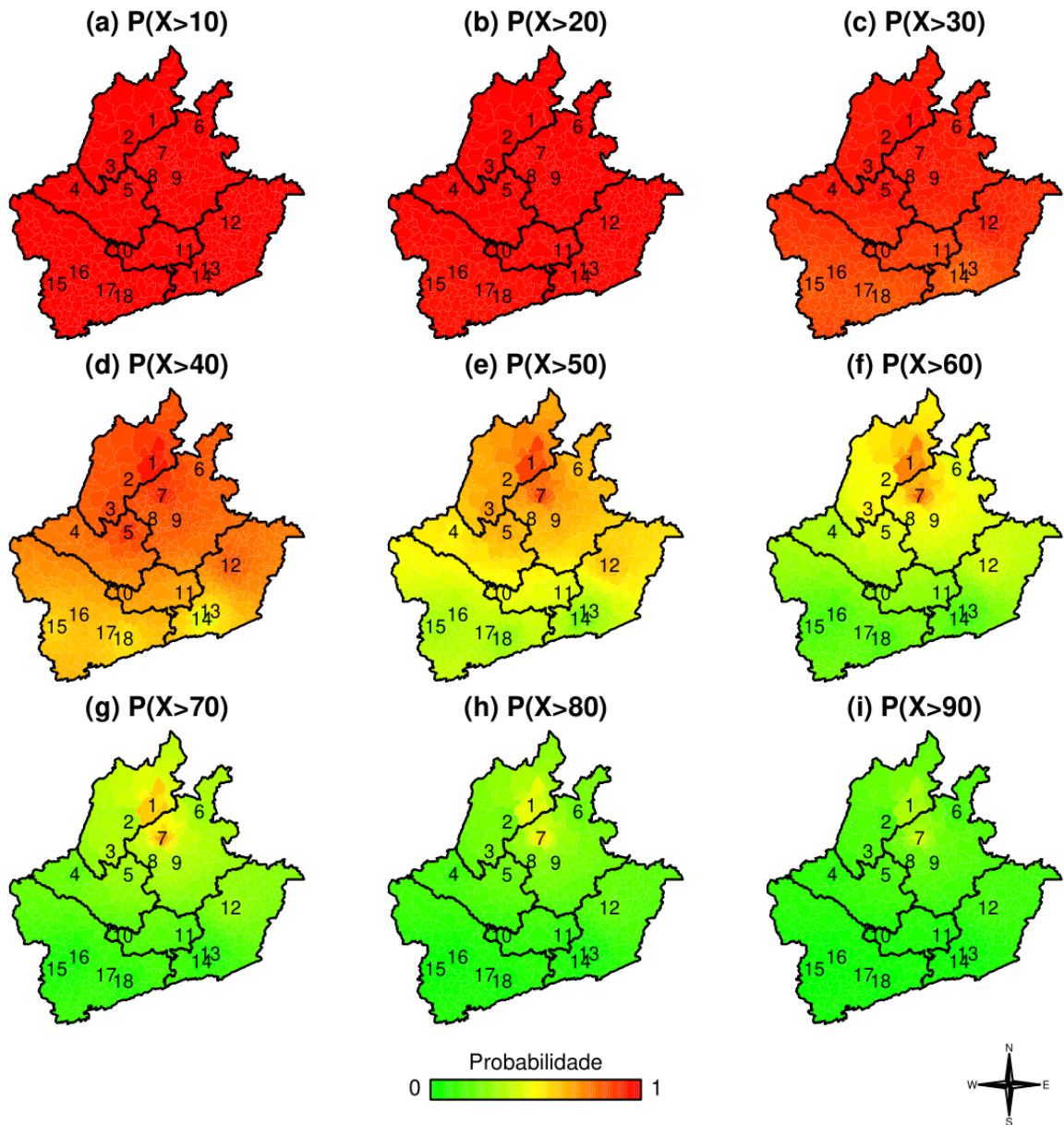


Figura 3 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 1 mm para municípios de Minas Gerais para a estação seca.

Fonte: Da autora.

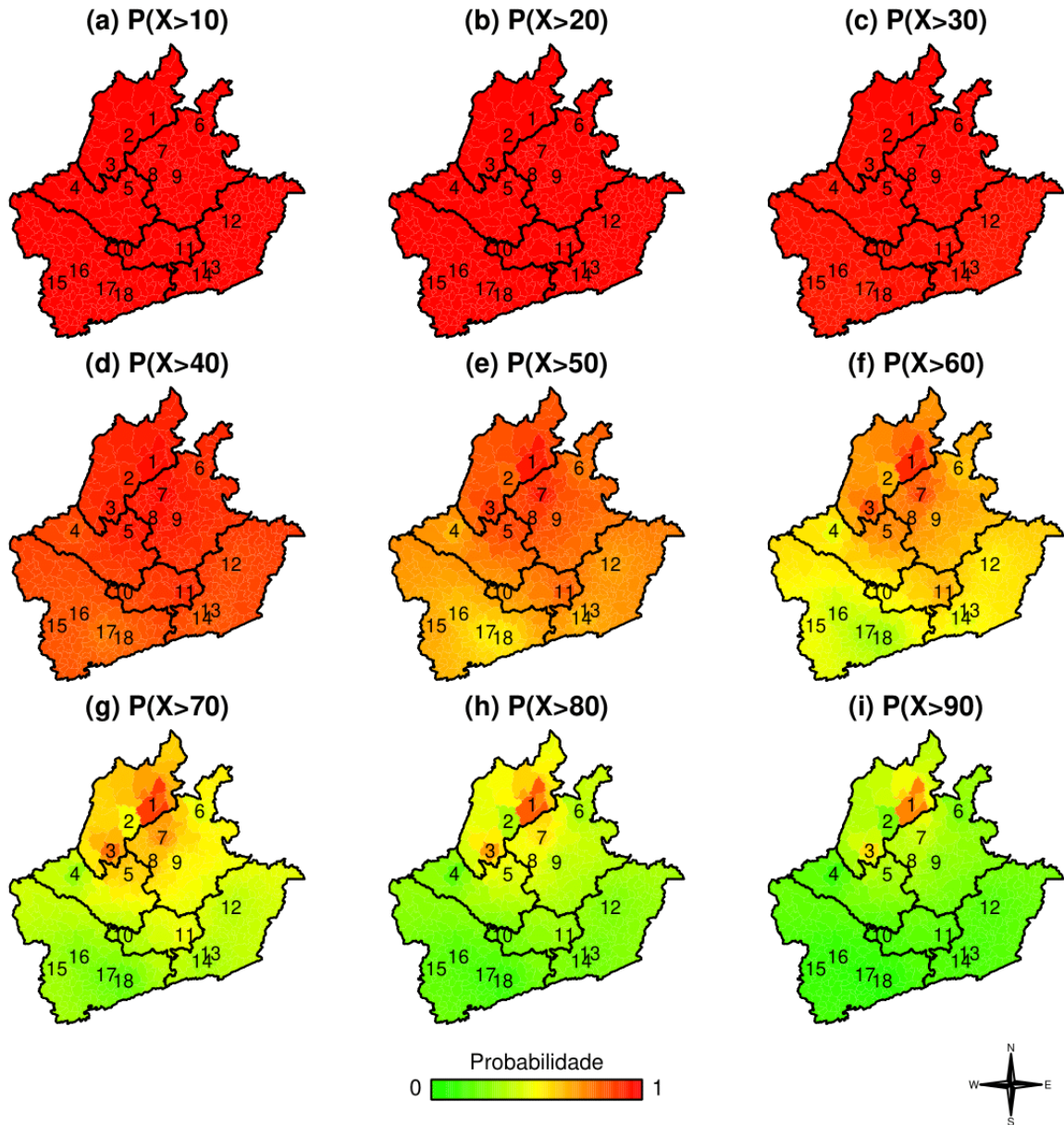


Figura 4 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 5 mm para municípios de Minas Gerais para a estação seca.

Fonte: Da autora.

A Figura 3 mostra que, para veranicos máximos com duração superior a 20 dias no período seco, a probabilidade de ocorrência é de aproximadamente 1. Já para veranicos máximos com duração superior a 70 dias esta probabilidade tende a zero. Na Figura 4 é possível observar que, para veranicos máximos com duração superior a 30 dias a probabilidade de ocorrência também é de aproximadamente 1.

Considerando-se o valor limite de 1 mm, é possível visualizar que há uma concentração dos maiores valores de probabilidade de ocorrência de veranicos máximos para os casos de $x > 40$ (Figura 4d), $x > 50$ (Figura 4e), $x > 60$ (Figura 4f) e $x > 70$ (Figura 4g) dias nas regiões Central Mineira e Metropolitana de Belo Horizonte. Nota-se ainda que há valores menores de

probabilidade na região Sul/Sudoeste de Minas e valores intermediários mais ao centro e na faixa que se estende no sentido noroeste. Este comportamento também é observado de modo semelhante para o valor limite de 5 mm, porém com os maiores valores concentrados na região Central Mineira, conforme a Figura 4. Gois *et al.* (2013) realizaram um estudo para analisar o histórico da ocorrência de secas em 9 mesorregiões do Estado de Minas Gerais no período de 1974-2003 por meio Método dos Decis (MD), identificando que as mesorregiões Oeste de Minas e Central Mineira, apresentaram os maiores registros de secas severas e extremas, totalizando 100 eventos, enquanto os menores valores foram observados na região Metropolitana de Belo Horizonte, Zona da Mata e Sul/Sudoeste de Minas Gerais, sendo 3, 4 e 5 eventos, respectivamente.

Ainda de acordo com os mapas das Figuras 3 e 4, durante a estação seca, existe uma probabilidade maior de que ocorra um período de veranico com duração superior a 40 dias sem que haja precipitação superior a 1 mm e uma probabilidade maior de que ocorra um período com duração superior a 50 dias sem que haja precipitação superior a 5 mm em aproximadamente toda a região de estudo.

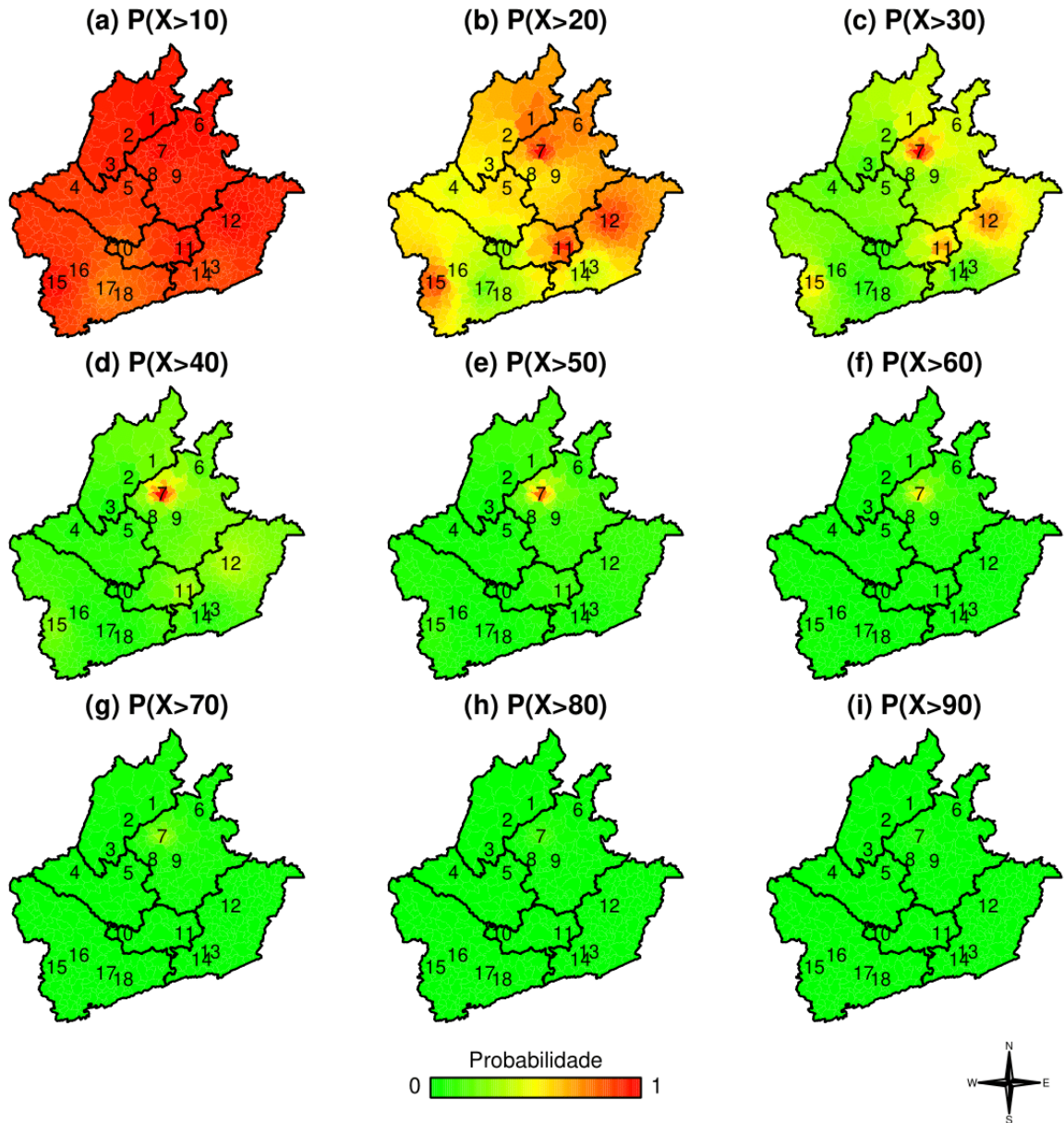


Figura 5 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 1 mm para municípios de Minas Gerais para a estação chuvosa.

Fonte: Da autora.

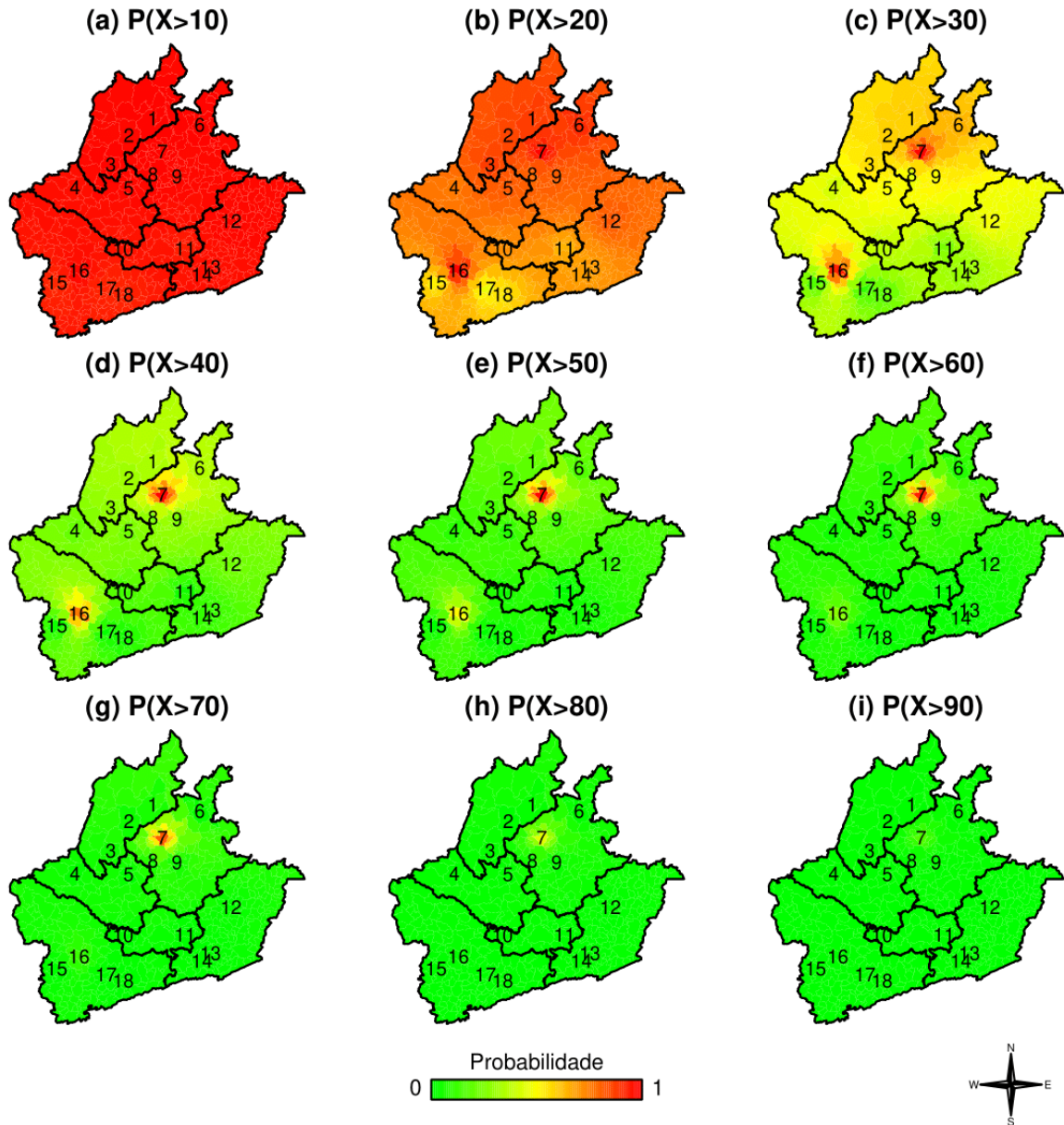


Figura 6 – Probabilidade de ocorrência de veranicos máximos (em dias) para precipitação inferior a 5 mm para municípios de Minas Gerais para a estação chuvosa.

Fonte: Da autora.

Observando-se os mapas das Figuras 5 e 6, durante a estação chuvosa, existe uma probabilidade maior de que ocorra um período de veranico com duração superior a 20 dias sem que haja precipitação superior a 1 mm e uma probabilidade maior de que ocorra um período com duração superior a 30 dias sem que haja precipitação superior a 5 mm, nas regiões mais ao centro e norte. De acordo com Alvarenga (2012), este fato pode ser explicado devido ao período chuvoso começar mais cedo no sul da região sudeste em decorrência de frentes frias. No norte, observa-se um atraso da estação chuvosa de 2 a 3 meses em relação ao sul da região, coincidindo com a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Também é possível observar na Figura 5 que as áreas próximas aos municípios de Sete

Lagoas, Caldas, Machado, Barbacena e Viçosa apresentaram probabilidades mais elevadas para ocorrência de veranicos com duração acima de 30 dias para o limite de precipitação de 1 mm na estação chuvosa. No caso de Sete Lagoas, na Figura 6g este comportamento pode ser observado para a probabilidade de ocorrência de veranicos com duração acima de 70 dias para o limite de precipitação de 5 mm. Estes municípios apresentaram tendência positiva no processo de ajuste da distribuição GEV, indicando que a cada ano ocorre um incremento na duração do veranico máximo naquelas áreas.

De acordo com a análise da variabilidade da precipitação para o estado de Minas Gerais no período de 1981 a 2017 realizada por Pereira *et al.* (2018), de modo geral, a duração média da estação chuvosa é menor nas porções norte de Minas Gerais, com um aumento de até 25 dias na parte mais extrema ao sul do estado e a duração média da estação chuvosa estimada foi de aproximadamente 183 dias. Os autores também observaram que a região norte apresenta uma tendência de diminuição da estação chuvosa, a região central do estado não apresentou tendência de redução ou ampliação nesta estação e as regiões ao sul e extremo oeste de Minas Gerais apresentaram uma tendência crescente de dias relacionados à estação chuvosa, o que pode ser um indicativo da ocorrência de um ciclo hidrológico característico variando conforme a posição.

De modo geral, a tendência de aumento na duração de veranicos extremos está em acordo com outros modelos e índices climatológicos (FERNANDEZ; FRANCHITO; RAO, 2019; DOS REIS *et al.*, 2020), que preveem aumento da aridez e alteração de regime de chuvas no Brasil. De fato, é notável que apenas poucas áreas da região de estudo apresentaram tendência, o que pode ser explicado por possíveis erros tipo-II: o tamanho reduzido da sequência de dados associado às previsões mais modestas de aumento da aridez na região sudeste do Brasil (em comparação a outras macrorregiões) podem ter sido fatores limitantes no poder do teste.

5 CONCLUSÕES

A inserção de informação *a priori* de Belo Horizonte ou Lavras possibilitou a obtenção de melhores resultados na análise de veranicos máximos na maioria dos municípios analisados.

De acordo com os resultados obtidos foi possível concluir que, para a estação seca, existe uma probabilidade que tende a 1 de que ocorra um veranico que supere 30 dias de duração em toda a região estudada do estado de Minas Gerais.

Os valores mais expressivos de probabilidade de ocorrência de veranicos máximos na estação seca ocorreram com predominância na porção norte da região estudada, próximo ao limite entre as mesorregiões Central Mineira e Metropolitana de Belo Horizonte. Para a estação chuvosa, os maiores valores de probabilidade se concentraram nas mesorregiões Campo das Vertentes, Metropolitana de Belo Horizonte e Sul/Sudoeste de Minas.

Portanto, a área que apresenta uma maior vulnerabilidade para a produção agrícola devido à presença de veranicos com duração acima de 60 e 70 dias sem uma precipitação superior a 1 e 5 mm na estação seca, respectivamente, está localizada próxima aos municípios de Curvelo, Bom Despacho e Sete Lagoas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. C. **Uma abordagem Bayesiana para a modelagem dos ventos máximos de Sorocaba-SP e Bauru-SP**. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) — Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2018.
- ALVARENGA, L. A. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 2, 2012.
- ANTUNES, F. Caracterização climática do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9–13, 1986.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. d.; VIOLA, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 13, p. 906–915, 2009.
- BAUTISTA, E. A. L. **Distribuição Generalizada de Valores Extremos no Estudo da Velocidade Máxima do Vento em Piracicaba, SP**. 2002. 61 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) — Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. **rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library**. 2019. R package version 1.4-8. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- BIVAND, R.; RUNDEL, C. **rgeos: Interface to Geometry Engine - Open Source ('GEOS')**. 2019. R package version 0.5-2. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=rgeos>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- BIVAND, R. S.; PEBESMA, E.; GOMEZ-RUBIO, V. **Applied spatial data analysis with R, Second edition**. New York: Springer, 2013. Disponível em: <https://asdar-book.org/>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- BOX, G. E.; TIAO, G. C. **Bayesian inference in statistical analysis**. New York: John Wiley & Sons, 2011. v. 40.
- BUTTURI-GOMES, D.; BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. On modeling the maximum duration of dry spells: a simulation study under a Bayesian approach. **Theoretical and Applied Climatology**, Springer, v. 137, n. 1-2, p. 1337–1346, 2019.
- CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: FUCKS, S. D. *et al.* (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 79–122.
- CARVALHO, D. F. *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**, SciELO Brasil, v. 4, n. 2, p. 172–176, 2000.
- CASTRO NETO, P.; VILELA, E. A. Veranico: um problema de seca no período chuvoso. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 138, p. 59–62, 1986.

- CEBALLOS, A.; MARTINEZ-FERNÁNDEZ, J.; LUENGO-UGIDOS, M. Á. Analysis of rainfall trends and dry periods on a pluviometric gradient representative of Mediterranean climate in the Duero Basin, Spain. **Journal of Arid Environments**, Elsevier, v. 58, n. 2, p. 215–233, 2004.
- COLES, S. *et al.* **An introduction to statistical modeling of extreme values**. London: Springer, 2001. v. 208.
- DOS REIS, L. C. *et al.* Analysis of climate extreme indices in the MATOPIBA Region, Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, Springer, p. 1–22, 2020.
- FERNANDEZ, J. P.; FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B. Future changes in the aridity of South America from regional climate model projections. **Pure and Applied Geophysics**, Springer, v. 176, n. 6, p. 2719–2728, 2019.
- FISHER, R. A.; TIPPETT, L. H. C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. **Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, v. 24, n. 2, p. 180–290, 1928.
- GASTWIRTH, J. L. *et al.* **lawstat: Tools for Biostatistics, Public Policy, and Law**. 2019. R package version 3.3. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=lawstat>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- GELFAND, A. E. *et al.* Illustration of Bayesian inference in normal data models using gibbs sampling. **Journal of the American Statistical Association**, Taylor & Francis Group, v. 85, n. 412, p. 972–985, 1990.
- GEMAN, S.; GEMAN, D. Stochastic relaxation, Gibbs distributions, and the Bayesian restoration of images. **IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence**, IEEE, n. 6, p. 721–741, 1984.
- GEWEKE, J. *et al.* **Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments**. Minneapolis: Federal Reserve Bank of Minneapolis, Research Department Minneapolis, MN, 1991. v. 196.
- GILLELAND, E.; KATZ, R. W. extRemes 2.0: An extreme value analysis package in R. **Journal of Statistical Software**, v. 72, n. 8, p. 1–39, 2016.
- GNEDENKO, B. Sur la distribution limite du terme maximum d’une serie aleatoire. **Annals of mathematics**, v. 44, n. 3, p. 423–453, 1943.
- GOIS, G. de *et al.* Variabilidade temporal da seca em diferentes mesorregiões de Minas Gerais. In: CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL, 4., 2013, Vitória da Conquista. **Resumos [...]**. Vitória da Conquista: UESB, 2013. p. 1288–1292.
- GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J. dos; LANDAU, E. C. **Índices pluviométricos em Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 88 p.
- HEIDELBERGER, P.; WELCH, P. D. Simulation run length control in the presence of an initial transient. **Operations Research, INFORMS**, v. 31, n. 6, p. 1109–1144, 1983.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31>. Acesso em: 15 jun. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Nota técnica 004/17 – Estação chuvosa em Minas Gerais**. Belo Horizonte: 5º Distrito de Meteorologia, 2017. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Nota_tecnica_CEDEC_04_17.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.

JEFFREYS, H. **Theory of Probability**. Oxford: Clarendon Press, 1939.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 81, n. 348, p. 158–171, 1955.

KATZ, R. W.; PARLANGE, M. B.; NAVEAU, P. Statistics of extremes in hydrology. **Advances in water resources**, Elsevier, v. 25, n. 8-12, p. 1287–1304, 2002.

KENDALL, M. **Rank Correlation Methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.

KNUTTI, R. The end of model democracy? **Climatic Change**, Springer, v. 102, p. 395–404, 2010.

LANA, X. *et al.* Statistical distributions and sampling strategies for the analysis of extreme dry spells in Catalonia (NE Spain). **Journal of hydrology**, Elsevier, v. 324, n. 1-4, p. 94–114, 2006.

LEMON, J. Plotrix: a package in the red light district of R. **R-News**, v. 6, n. 4, p. 8–12, 2006.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, Oxford University Press, v. 65, n. 2, p. 297–303, 1978.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, JSTOR, p. 245–259, 1945.

MCLEOD, A. **Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test**. 2011. R package version 2.2. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=Kendall>. Acesso em: 15 jun. 2020.

MENEZES, H. E. A. *et al.* Influência de veranico na produção agrícola no município de Santa Filomena, Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 21–25, 2015.

MIN, S. K.; HENSE, A. A Bayesian approach to climate model evaluation and multi-model averaging with an application to global mean surface temperatures from ipcc ar4 coupled climate models. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 33, n. 8, 2006.

MINUZZI, R. B.; MENDONÇA, H. V.; SEDIYAMA, G. C. Variabilidade espacial da precipitação na região do Campo das Vertentes, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: SBA, 2005. p. 2.

MINUZZI, R. B. *et al.* El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do estado de Minas Gerais. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, SciELO Brasil, v. 9, n. 3, p. 364–371, 2005.

MISHRA, A. K.; ÖZGER, M.; SINGH, V. P. Wet and dry spell analysis of global climate model-generated precipitation using power laws and wavelet transforms. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, Springer, v. 25, n. 4, p. 517–535, 2011.

- NOGUEIRA, D.; SÁFADI, T.; FERREIRA, D. Avaliação de critérios de convergência para o método de Monte Carlo via Cadeias de Markov. **Revista Brasileira de Estatística**, IBGE, v. 65, n. 224, 2004.
- PAULINO, C. D.; TURKMAN, M. A. A.; MURTEIRA, B. **Estatística Bayesiana**. Lisboa: Fundação Clouste Gulbenkian, 2003.
- PEBESMA, E. J.; BIVAND, R. S. **Classes and methods for spatial data in R**. 2005. 9–13 p. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- PEREIRA, G. *et al.* Análise da variabilidade da precipitação para o estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2018.
- PERON, A. J.; NETO, P. C. Probabilidade de ocorrência de veranicos na região de Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática, Lavras**, v. 10, n. 3, p. 282–290, 1986.
- PERTUSSATTI, C. A.; LIMA, C. H. R.; LEMOS, G. M. A variabilidade espacial dos veranicos no estado do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 8p.
- PLUMMER, M. *et al.* Coda: Convergence diagnosis and output analysis for MCMC. **R News**, v. 6, n. 1, p. 7–11, 2006. Disponível em: https://www.r-project.org/doc/Rnews/Rnews_2006-1.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- RAFTERY, A. E.; LEWIS, S. **How Many Iterations in the Gibbs Sampler? Bayesian Statistics**. Oxford: Oxford University Press, 1992.
- SÁ JÚNIOR, A. Aplicação da classificação de köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. **Minas Gerais, Brasil, Universidade Federal de Lavras**, 2009.
- SLEIMAN, J.; SILVA, M. E. S. A climatologia de precipitação e a ocorrência de veranicos na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 2008, Rio Claro. **Anais [...]**. Rio Claro: AGETEO, 2008.
- 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, 2010.
- SPIEGELHALTER, D. J. *et al.* Bayesian measures of model complexity and fit. **Journal of the royal statistical society: Series b (statistical methodology)**, Wiley Online Library, v. 64, n. 4, p. 583–639, 2002.
- STEPHENSON, A.; RIBATET., M. **evdbayes: Bayesian Analysis in Extreme Value Theory**. 2014. R package version 1.1-1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=evdbayes>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- STEPHENSON, A. G. evd: Extreme value distributions. **R News**, v. 2, n. 2, p. 0, June 2002. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>. Acesso em: 15 jun. 2020.

STURTZ, S.; LIGGES, U.; GELMAN, A. R2WinBUGS: A package for running WinBUGS from R. **Journal of Statistical Software**, v. 12, n. 3, p. 1–16, 2005. Disponível em: <http://www.jstatsoft.org>. Acesso em: 15 jun. 2020.

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA-PORTUGUÉS, S. Estimating extreme dry-spell risk in the middle Ebro valley (northeastern Spain): a comparative analysis of partial duration series with a general Pareto distribution and annual maxima series with a Gumbel distribution. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, Wiley Online Library, v. 23, n. 9, p. 1103–1118, 2003.

WOLF, J. M. Probabilidades de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa para Brasília, df. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 141–150, 1977.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Representação gráfica das séries de veranico máximo dos 18 municípios nas estações seca e chuvosa para os limites de veranico de 1 e 5 mm.

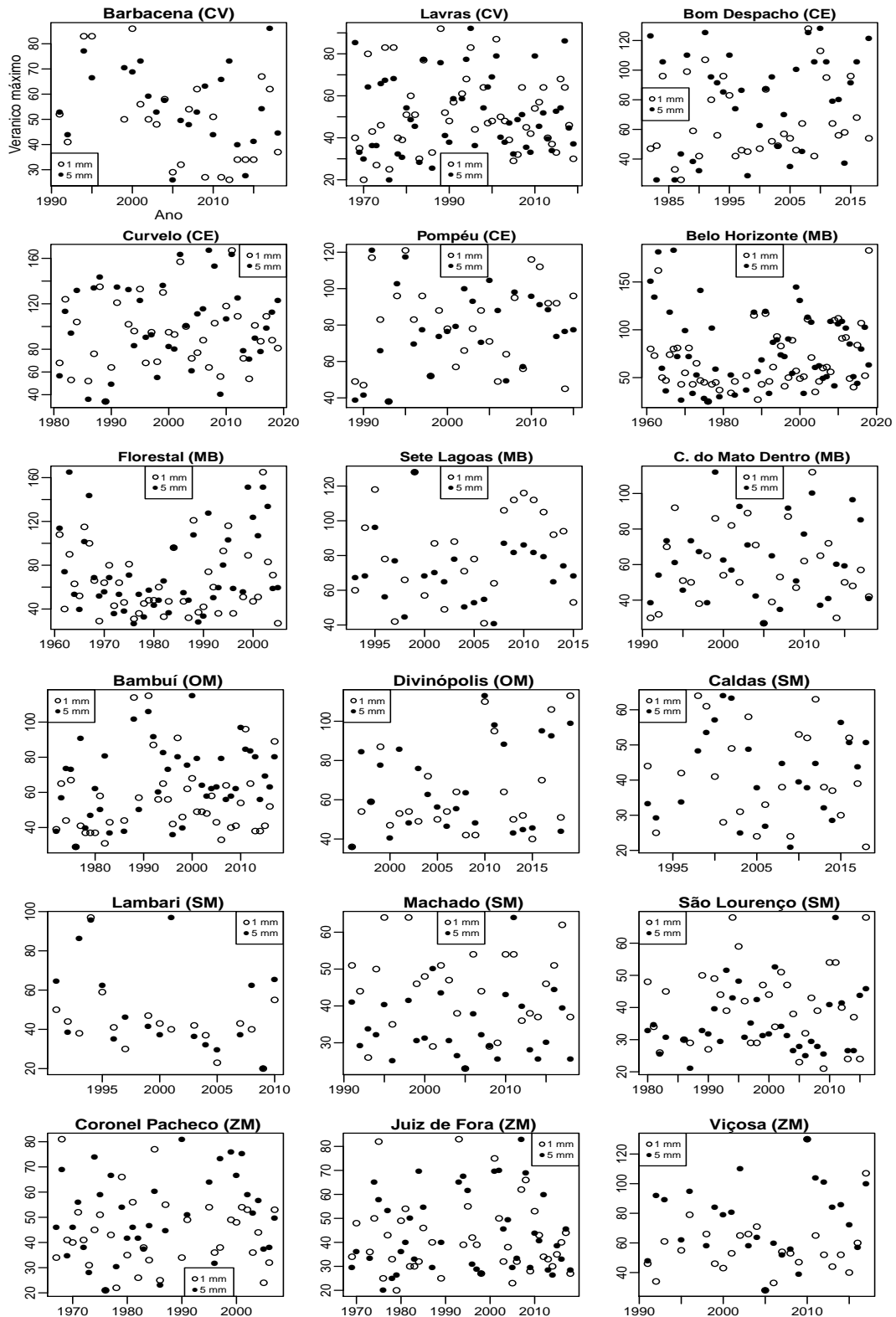


Figura 7 – Gráficos de dispersão das séries de veranico máximo (dias) de municípios de MG para a estação seca. Fonte: Da autora.

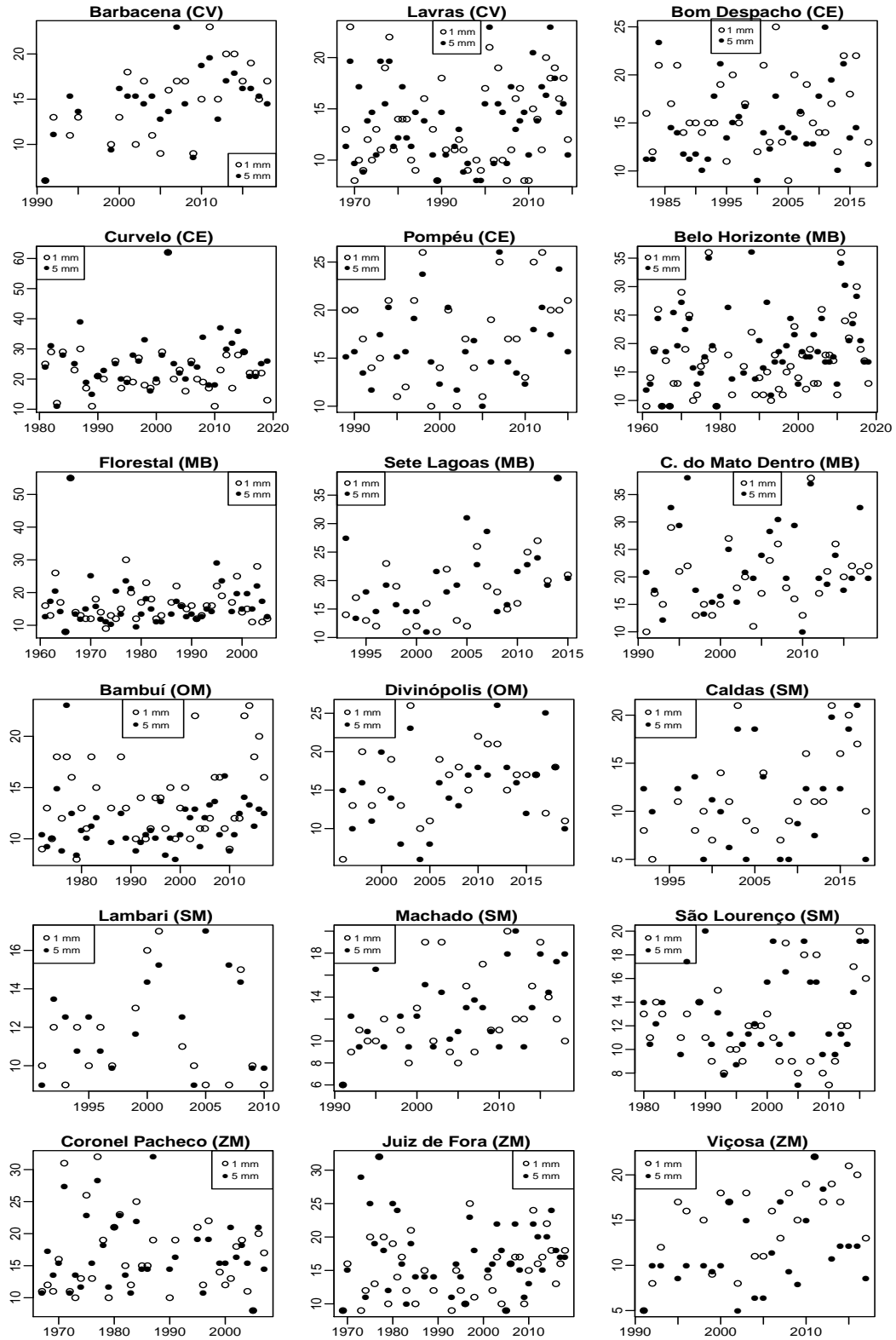


Figura 8 – Gráficos de dispersão das séries de veranico máximo (dias) de municípios de MG para a estação chuvosa.
Fonte: Da autora.

APÊNDICE B - Rotinas utilizadas para a estimação dos parâmetros da distribuição GEV e a geração dos mapas a partir da espacialização das probabilidades de ocorrência de veranicos máximos.

```
#Carregando todos os pacotes utilizados
```

```
library(R2OpenBUGS)
```

```
library(evd)
```

```
library(lawstat)
```

```
library(Kendall)
```

```
library(trend)
```

```
library(extRemes)
```

```
library(coda)
```

```
library(rgdal)
```

```
library(plotrix)
```

```
library(sp)
```

```
library(rgeos)
```

```
library(raster)
```

```
#Rotina para estimação da GEV sem tendência:
```

```
dados<-read.table("max_veran_seco_mach_1.txt",dec=".",
```

```
h=T, na.strings="NA")
```

```
attach(dados)
```

```
dados
```

```
y<-dados$max_vera;y
```

```
x<-dados$Ano;x
```

```
plot(x,y) #Análise gráfica preliminar
```

```
#Testes preliminares e estatísticas descritivas
```

```
Box.test(y,type=("Ljung-Box"))
```

```

MannKendall(y)
pettitt.test(y)
summary(y)
sd(y, na.rm=TRUE);sd
mean(y, na.rm=TRUE)
cv=(sd(y, na.rm=TRUE)/mean(y, na.rm=TRUE))*100;cv

mgev<- fgev(y);mgev #Estimativas obtidas com os estimadores
                    #de máxima verossimilhança da GEV sem a
                    #tendência para chutes iniciais na
                    #estimação Bayesiana

#Estimação Bayesiana com priori NÃO INFORMATIVA

sink("Gev_seco1.txt")
cat("
model {

#Escrevendo a função de verossimilhança para a GEV

  for (i in 1:n) {
    y[i] ~ dgev(mi, sigma, xi)
  }

#Definindo as distribuições a priori para os parâmetros da GEV

  mi ~ dnorm(0.0,0.0001)
  sigma ~ dlnorm(0.0,0.04)
  xi ~ dunif(-0.1,0.1)

aux10<- 1+xi*((10-mi)/sigma)
aux20<- 1+xi*((20-mi)/sigma)

```

```

aux30<- 1+xi*((30-mi)/sigma)
aux40<- 1+xi*((40-mi)/sigma)
aux50<- 1+xi*((50-mi)/sigma)
aux60<- 1+xi*((60-mi)/sigma)
aux70<- 1+xi*((70-mi)/sigma)
aux80<- 1+xi*((80-mi)/sigma)
aux90<- 1+xi*((90-mi)/sigma)

```

```

aux2<- -1/xi

```

```

pr10 <- 1 - exp(-(pow(aux10, aux2)))
pr20 <- 1 - exp(-(pow(aux20, aux2)))
pr30 <- 1 - exp(-(pow(aux30, aux2)))
pr40 <- 1 - exp(-(pow(aux40, aux2)))
pr50 <- 1 - exp(-(pow(aux50, aux2)))
pr60 <- 1 - exp(-(pow(aux60, aux2)))
pr70 <- 1 - exp(-(pow(aux70, aux2)))
pr80 <- 1 - exp(-(pow(aux80, aux2)))
pr90 <- 1 - exp(-(pow(aux90, aux2)))
}
", fill=TRUE)
sink()

```

```

dados_bug<- list(y=y, n=length(y)); dados_bug

```

```

inits <- function(){ list(mi=40.3999, sigma =11.3497, xi=0.0)}
params <- c("mi", "sigma", "xi")
nc = 1 #Numero de cadeias
ni = 40000 #Tamanho da cadeia
nb = 10000 #Numero de simulações que serão descartadas
nt = 5 #Thinning rate

```

```
#Iniciando o Amostrador
```

```
modelo1.bayes = bugs(data = dados_bug, inits = inits ,
                    parameters =c(params , "pr10","pr20",
                                   "pr30","pr40","pr50","pr60",
                                   "pr70","pr80","pr90"),
                    model = "Gev_seco1.txt",
                    n.thin = nt, n.chains = nc,
                    n.burnin = nb, n.iter = ni,
                    codaPkg=FALSE, debug=T)
```

```
print(modelo1.bayes, dig = 2)
```

```
#OBS: comando codaPkg=FALSE para poder salvar as médias
#do y predito em um objeto
```

```
post<-as.mcmc(modelo1.bayes$sims.matrix[,]) #salva a saída
como cadeia mcmc
```

```
summary(post)
```

```
geweke.diag(post) #Diagnóstico de Geweke
raftery.diag(post) #Diagnóstico de Raftery e Lewis
heidel.diag(post) #Diagnóstico de Heidegger e Welch
HPDinterval(post) #Intervalo HPD
```

```
#Salvando as estimativas das probabilidades de ocorrência de
#veranicos máximos
```

```
b<-data.frame(unclass(summary(post)), check.names = FALSE,
              stringsAsFactors = FALSE)
```

```
write.csv(b, "prob-machado-seco-lmm.csv", row.names = FALSE)
```

```

resumo=print(modelo1.bayes ,dig=3) #salva o resumo da
                                     #cadeia MCMC com 3 dígitos

ypr<-dados$max_vera [14:28]; ypr

VoM=c(54,54,62) #Valores observados

ypred_n1<-resumo$mean$nr [1]
ypred_n1
pred_bayes<-c(resumo$mean$nr [1],resumo$mean$nr [6],
resumo$mean$nr [11]) ;pred_bayes

EpB= abs((VoM-pred_bayes)/VoM); EpB
mean(EpB)

#Rotina para estimação da GEV com tendência:

trend<-(1991:2018-1992)/1; trend #Argumento de tendência
                                     #centralizado e escalonado
                                     #numa amplitude de tempo
#1992 indica o ano em que pode ter iniciado a tendência

m1t<- fgev(y, nsloc = trend); m1t #distribuição GEV com a
tendência incorporada no parâmetro posição (não-estacionária)
m2=fgev(y); m2 #distribuição GEV (estacionária)
anova(m1t,m2)

plot(y) #para identificar onde começa a tendência

require(trend)
ysna<-dados$max_vera [1:6]

```

```

plot(ysna)
pettitt.test(ysna)

t0=2
n=length(y);n
ncT=n-t0;ncT

sink("Gev_TREND_LINEAR_NI.txt")
cat("
  model {
    for (i in 1:n) {
      y[i] ~ dgev(mi[i], sigma, eta)
      mi[i] <- mu + beta*x[i]
    }

    mu ~ dnorm(11.192,3.110526)
    sigma ~ dlnorm(1.158,43.85773)
    eta ~ dnorm(0.127,29.21841)
    beta ~ dnorm(0.0,0.001)

#Para fazer preditiva

ncT<-11 #quantidade de dados após o início da tendência

yp3 <- (mu + (beta*(ncT+3))) +((sigma/eta)
  *(pow(-log(1-1/3),-eta)-1))
yp6 <- (mu + (beta*(ncT+6))) +((sigma/eta)
  *(pow(-log(1-1/6),-eta)-1))
yp9 <- (mu + (beta*(ncT+9))) +((sigma/eta)
  *(pow(-log(1-1/9),-eta)-1))
yp12 <- (mu + (beta*(ncT+12))) +((sigma/eta)
  *(pow(-log(1-1/12),-eta)-1))

```

```

yp15 <- (mu + (beta*(ncT+15))) +((sigma/eta)
      *(pow(-log(1-1/15),-eta)-1))
}
", fill=TRUE)
sink()

trend=c(rep(0,t0),seq(1,ncT)); trend
dados_bug<- list(x=trend,y=y,n=length(y)); dados_bug

inits <- function(){ list(mu=8.6685 , sigma=2.4237,
beta=0.1481, eta=0.00)}
params <- c("mu","sigma","eta","beta")
nc = 1 #Numero de cadeias
ni = 50000 #Tamanho da cadeia
nb = 10000 #Numero de simulações que serão descartadas
nt = 10#Thinning rate

#Iniciando o Amostrador

gev.bayes.trend_NL = bugs(data = dados_bug, inits = inits ,
                        parameters =c(params),
                        model = "Gev_TREND_LINEAR_NI.txt" ,
                        n.thin = nt, n.chains = nc ,
                        n.burnin = nb, n.iter = ni ,
                        codaPkg=FALSE, debug=T)

print(gev.bayes.trend_NL, dig = 4)
post_gb_t_NL<-as.mcmc(gev.bayes.trend_NL$sims.matrix[,])
HPDinterval(post_gb_t_NL)

geweke.diag(post_gb_t_NL)
raftery.diag(post_gb_t_NL)

```



```

heidel.diag(post_gb_t_NL)

resumo2_NL=print(gev.bayes.trend_NL,dig=4) #salva o resumo
da cadeia MCMC com 3 dígitos

#Preditiva

ypredl_t_NL<-c(resumo2_NL$mean$yp3 ,resumo2_NL$mean$yp6 ,
resumo2_NL$mean$yp9 ,resumo2_NL$mean$yp12 ,resumo2_NL$mean$yp12)
#salva as médias do y predito objeto "ypredl"

ypr<-dados$max_vera[14:28];ypr
VoM=c(15,17,20,20,20) #Valores observados

EpBt= abs((VoM-ypredl_t_NL)/VoM); EpBt
mean(EpBt)

e_mi=10.5897
e_sig=3.1905
e_xi= 0.0412
mi_Trend=0.0575

ti= 2018-1992-1; ti #Número de anos em que começa a tendência
tr=c(10,15,20,25,30,35,40,50,60)
Tt= ti+tr;Tt
e_mi_final= e_mi +(Tt* mi_Trend); e_mi_final

#Obtendo as probabilidades de ocorrência de veranicos máximos
#com tendência e sem tendência

prob_com_trend=pgev(tr ,loc=e_mi_final , scale=e_sig ,
shape=e_xi ,FALSE); prob_com_trend

```

```

prob_SEM_t=pgev(tr,loc=e_mi, scale=e_sig,
shape=e_xi,FALSE); prob_SEM_t

write.csv(prob_com_trend, "prob-machado-chuv-lmm.csv",
row.names = FALSE)

#Rotina para espacialização e geração dos mapas:

color.gradient <- function(x, colors=c("green","yellow",
"red"), colsteps=100, probs=T) {
  if(!probs){
    return( colorRampPalette(colors) (colsteps)
  [findInterval(x, seq(min(x), max(x),
length.out=colsteps))])})
  else{
    return( colorRampPalette(colors) (colsteps)
  [findInterval(x, seq(0,1, length.out=colsteps))])
  }
} #Função para computar as cores

#Obtendo dados dos mapas

s.g <- readOGR("nova_area_total.shp")
s.m <- readOGR("novo_limites_municipios.shp")

df = apply(s.m@data, 2, as.character)
Encoding(df) = "UTF-8"
s.m@data = as.data.frame(df)

estacao <- c('CURVELO', 'POMPÉU', 'BOM DESPACHO', 'BAMBUÍ',
'DIVINÓPOLIS', 'CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO', 'SETE LAGOAS',
'FLORESTAL', 'BELO HORIZONTE', 'LAVRAS', 'BARBACENA',

```

```
'VIÇOSA', 'CORONEL PACHECO', 'JUIZ DE FORA',
'CALDAS', 'MACHADO', 'LAMBARI', 'SÃO LOURENÇO')
```

```
inmet <- c()
for(i in 1:length(estacao)){
  inmet <- c(inmet, which(s.m@data[,1]==estacao[i]))
}
```

```
predicao<-read.table("pred5chuv.csv", header = TRUE,
sep = ";", dec = ",");predicao
```

```
#Interpolações espaciais
```

```
cent.g <- gCentroid(s.m,byid=TRUE)
cent.inmet <- c()
for(i in 1:length(inmet)){
  cent.inmet <- rbind(cent.inmet,
  c(cent.g@coords[inmet[i],1 ], cent.g@coords[inmet[i],2 ]))
} #Centroides dos municípios
```

```
tau <- 2 #Nível de suavização (tau)
dist.tipo <- 'euclidean' #Tipo da distância
```

```
layout(matrix(c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,10,10),4,3,byrow = T),
heights = c(7,7,7,2.2) ) #Cria a "matriz" de mapas
```

```
#Mapa 1 (Realizando o mesmo procedimento para os mapas de 1 a
9)
```

```
extrap.ret1 <- c()
tipo <- c()
par(mar=c(0,0,1,0))
plot(s.g, main='(a) P(X>10)')
```

```

for(j in 1:nrow(cent.g@coords)){
  if(sum(j == inmet) == 0){
    temps <- rbind( c(cent.g@coords[j,1],
cent.g@coords[j,2]), cent.inmet )
    dist.j <- (1/as.matrix( dist(temps, upper=T,
method=dist.tipo) )[1,-1])^tau
    pesos <- dist.j/sum(dist.j)
    obs.j <- sum(pesos*predicao$ret1)
    extrap.ret1 <- c(extrap.ret1, obs.j)
    tipo <- c(tipo, 'interpolacao')
    polygon(s.m@polygons[[ j ]]
            @Polygons[[1]]@coords[,1],
            s.m@polygons[[ j ]]
            @Polygons[[1]]@coords[,2],
            col=color.gradient(obs.j), border=NA)
  }
  else{
    extrap.ret1 <- c(extrap.ret1,
predicao$ret1[which(inmet==j)] )
    tipo <- c(tipo, 'predicao')
    polygon( s.m@polygons[[ j ]]
            @Polygons[[1]]@coords[,1],
            s.m@polygons[[ j ]]
            @Polygons[[1]]@coords[,2],
            col=color.gradient(predicao$ret1)
            [which(inmet==j)], border=NA)
  }
}
}
lines(s.g)
for(i in 1:length(inmet)){
  text( cent.g@coords[inmet[i], 1 ],
        cent.g@coords[inmet[i], 2 ], labels=as.character(i),

```

```

        cex=.9)
}
final.simples.ret1 <- data.frame(id=1:nrow(cent.g@coords),
prob=extrap.ret1, tipo=tipo )

#Legenda

par(mar=rep(0,4))
plot( c(0,1),c(0,1),type='n',axes=F )
gradient.rect(0.4,0.4,0.6,0.6,col=color.gradient(
seq(0,1,length.out=100)))
text(x=0.615,y=0.52,labels = '1')
text(x=0.385,y=0.52,labels = '0')
text(x=0.5,y=0.78,labels = 'Probabilidade')

#Rosa dos ventos

compassRose<-function(x,y,rot=0,cex=1) {
  oldcex<-par(cex=cex)
  mheight<-strheight("M")
  xlim<-par("usr")
  plotdim<-par("pin")
  xmult<-(xlim[2]-xlim[1])/(plotdim[4]-plotdim[3])
  *plotdim[2]/plotdim[1]
  point.angles<-seq(0,2*pi,by=pi/4)+pi*rot/180
  crspans<-rep(c(mheight*3,mheight/2),length.out=9)
  xpoints<-cos(point.angles)*crspans*xmult+x
  ypoints<-sin(point.angles)*crspans+y
  for(point in 1:8) {
    pcol<-ifelse(point%%2,"black","white")
    polygon(c(xpoints[c(point,point+1)],x),
c(ypoints[c(point,point+1)],y),col=pcol)
  }
}

```

```

}
txtxpoints<-cos(point.angles[c(1,3,5,7)])*1.2
*crspans[1]*xmult+x
txtypoints<-sin(point.angles[c(1,3,5,7)])*1.2
*crspans[1]+y
text(txtxpoints ,txtypoints ,c("E","N","W","S"))
par(oldcex)
}

compassRose(.95,.55,rot=0, cex=0.37)

#Valores das predições/interpolações em cada município
#para cada mapa

FINAL <- data.frame(id=final.simples.ret1$id ,
                    tipo=final.simples.ret1$tipo ,
                    prob1=final.simples.ret1$prob ,
                    prob2=final.simples.ret2$prob ,
                    prob3=final.simples.ret3$prob ,
                    prob4=final.simples.ret4$prob ,
                    prob5=final.simples.ret5$prob ,
                    prob6=final.simples.ret6$prob ,
                    prob7=final.simples.ret7$prob ,
                    prob8=final.simples.ret8$prob ,
                    prob9=final.simples.ret9$prob)

FINAL

```