

CAPÍTULO 11

ANÁLISE DA VARIABILIDADE AMBIENTAL DA CHUVA NO MUNICÍPIO DE CHAPADA GAÚCHA, MINAS GERAIS

Evaldo de Paiva Lima

Doutor em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa
Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Endereço: Rua Antônio Falcão, 402 - Boa Viagem, Recife – PE, Brasil
E-mail: evaldo.lima@embrapa.br

Givanildo de Gois

Doutor em Ciência Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Endereço: Prédio do CEGEA, Bloco 1T, Sala 18, Campus - BR 364, Km 9,5 - Sentido Acre, Porto Velho – RO, Brasil
E-mail: givanildogois@gmail.com

Fabrizio do Nascimento Garritano

Mestrado em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Endereço: Prédio do CCMN, Bloco I, Sala 20 - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ, Brasil
E-mail: fkbgarritano@hotmail.com

RESUMO: Os objetivos deste estudo são: i) verificar a variabilidade anual e mensal da chuva, e ii) avaliar a ocorrência do Índice de Precipitação Padronizada, nas escalas de tempo de três (SPI-3) e doze (SPI-12) meses, no município de Chapada Gaúcha, MG. Foi utilizada uma série de 26 anos (1990-2015) de dados de precipitação coletados numa propriedade rural. O SPI-3 representou os trimestres de janeiro a março, abril a junho, julho a setembro e, outubro a dezembro, e o SPI-12 representou os meses de janeiro a dezembro. A análise descritiva e exploratória da série temporal de chuva permitiram identificar a ocorrência de chuvas inferiores as medianas nos meses de janeiro e novembro, e que a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a março, indicando uma baixa variabilidade temporal mensal da chuva no município. Entretanto, a utilização do índice SPI para diferentes escalas permitiu identificar que existe o predomínio da classe “próximo da normal” na distribuição trimestral (SPI-3) e anual (SPI-12). Na escala trimestral (SPI-3), considerando o período entre julho e setembro, houve o maior número de eventos da classe “extremamente seco”.

PALAVRAS-CHAVE: Parâmetros Estatísticos; Índice De Seca; SPI; Cerrado.

ABSTRACT: The objectives of this study are: i) to verify the annual and monthly variability of the rain, and ii) to evaluate the occurrence of the Standardized Precipitation Index, in the time scales of three (SPI-3) and twelve (SPI-12) months, in the municipality of Chapada Gaúcha, MG. A series of 26 years (1990-2015) of precipitation data collected on a rural property was used. The SPI-3 represented the quarters from January to March, April to June, July to September, and October to December, and the SPI-12 represented the months from January to December. The descriptive and exploratory analysis of the rainfall time series allowed us to identify the occurrence of rainfall below the median in the months of January and November, and that the rainy season occurs between the months of October to March, indicating a low monthly temporal variability of rainfall in the municipality. However, the use of the SPI index for different scales made it possible to identify that there is a predominance of the “close to normal” class in the quarterly (SPI-3) and annual (SPI-12) distribution. On the quarterly scale (SPI-3), considering the period between July and September, there was the highest number of events in the “extremely dry” class.

KEYWORDS: Statistical Parameters; Drought Index; SPI; Cerrado.

1. INTRODUÇÃO

A seca é um evento climático que faz parte da variabilidade do clima, podendo ocorrer em praticamente todas as zonas climáticas da Terra, e apresenta características distintas de uma região para a outra. Esse evento climático compromete, por exemplo, o abastecimento de água, o planejamento agrícola e a dessedentação animal e, portanto, dada a sua severidade, pode acarretar prejuízos socioeconômicos e ambientais. O monitoramento da frequência, duração e intensidade da seca é essencial na aplicação de medidas de mitigação de seus efeitos.

A literatura documenta diversas metodologias para quantificar os índices de seca, porém um dos índices mais utilizados na investigação da ocorrência e magnitude das secas é o Índice de Precipitação Padronizada (*Standardized Precipitation Index* – SPI, em inglês), que foi proposto por McKee *et al.* (1993, 1995).

O Índice de Precipitação Padronizada é uma ferramenta capaz de quantificar e monitorar a seca em diferentes escalas de tempo e suas características como a intensidade, magnitude e frequência (Lyra *et al.*, 2017). Gois *et al.* (2015) comentam que é um dos métodos preconizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para caracterizar as anomalias de chuva no Brasil. Segundo Kim *et al.* (2014), os resultados decorrentes da aplicação do índice SPI indica condições de seca ou umidade excessiva e corresponde a uma informação essencial para o gerenciamento de recursos hídricos.

Oliveira-Júnior *et al.* (2018) mostraram a eficácia do índice SPI para compreender a dinâmica espacial das secas intensas no estado do Rio de Janeiro em diferentes anos hidrológicos e sob a influência do modo de variabilidade climática El Niño-Oscilação Sul (ENOS) na categoria super forte.

Baseado no exposto, os objetivos principais deste estudo são: i) verificar a variabilidade anual e mensal da chuva, e ii) avaliar a ocorrência do Índice de Precipitação Padronizada (SPI), nas escalas de tempo de três (SPI-3) e doze (SPI-12) meses, para a condição climática do município de Chapada Gaúcha, MG.

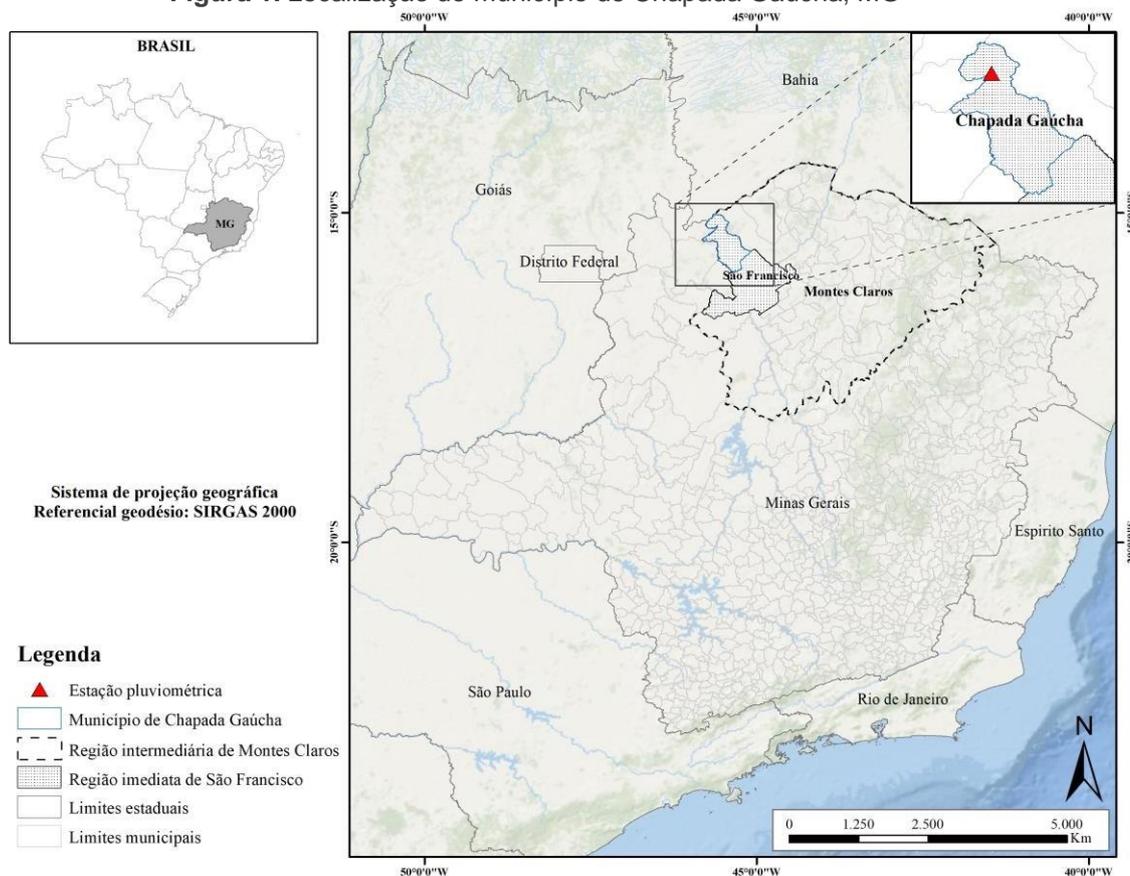
2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende uma propriedade rural localizada no município

de Chapada Gaúcha, MG, sendo que esse município pertence à Região Geográfica Intermediária de Montes Claros e à Região Geográfica Imediata de São Francisco (Figura 1). O município de Chapada Gaúcha possui área de 3.255,19 km² e uma população estimada de 14.217 habitantes em 2021, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os limites do município são: Formoso, Arinos, Urucuia, Pintópolis, São Francisco, Januária, em Minas Gerais; e Cocos, na Bahia. Segundo Nimer (1989), a região apresenta dois tipos climáticos, o tropical quente semiúmido, com média de 4 a 5 meses secos, e o semiárido, com média de 6 meses secos durante o ano.

Para o presente estudo foram utilizados dados de precipitação de uma propriedade rural, cuja coordenadas geográficas da estação pluviométrica utilizada na coleta são: 15°11'51,0" Sul e 45°34'48,6" Oeste. A série de precipitação possui 26 anos de dados e foi coletada no período de 1990 a 2015.

Figura 1. Localização do município de Chapada Gaúcha, MG



2.1 Consistência da série temporal de dados de chuva

Após verificada a ausência de falhas na série temporal realizou-se a estatística descritiva da série por meio dos seguintes parâmetros: média (\bar{x}), mediana (Md), desvio padrão (D_P), valor mínimo (Vmi) e máximo (Vma), amplitude total (At), limite inferior (Li) e superior (Ls), coeficiente de variação (CV), quartil inferior (Q_1) e superior (Q_3), amplitude interquântica (AIQ). Também são apresentados gráficos de caixa (*boxplot*) nas escalas mensal e anual. Todas as análises estatísticas foram feitas no *software* R versão 4.1.1 (R Development Core Team, 2021).

2.2 Cálculo do índice de precipitação padronizada

Esse índice é baseado na metodologia proposta por McKee et al. (1993, 1995) e quantifica o déficit ou o excesso de chuva em multi escala temporal. O SPI foi determinado nas escalas de tempo de três (SPI-3) e doze (SPI-12) meses. O SPI-3 representou os trimestres de janeiro a março (Jan-Mar), abril a junho (Abr-Jun), julho a setembro (Jul-Set) e, outubro a dezembro (Out-Dez), eo SPI-12 representou os meses de janeiro a dezembro (Jan-Dez).

O primeiro procedimento para o cálculo do SPI é a determinação da probabilidade de distribuição de frequência da série histórica pluviométrica, a qual é calculada por meio da distribuição Gama incompleta. A função normal inversa (Gaussiana) é aplicada a essa probabilidade.

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade (FDP), conforme Equação (1):

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

em que, $\alpha > 0$ = parâmetro de forma (adimensional); $\beta > 0$ = parâmetro de escala (mm); $x > 0$ = total de precipitação (mm); $\Gamma(\alpha)$ = função gama, que é definida pela Equação 2:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

Os parâmetros e a função de densidade de probabilidade gama foram ajustados para distribuição de frequência dos totais de precipitações pluviais. Foram calculados os parâmetros de forma e escala, respectivamente, α e β , da função de

densidade de probabilidade gama estimados na escala de tempo mensal e anual. Segundo Thom (1966) e Assis et al. (1996), o método da máxima verossimilhança é o mais indicado para as estimativas dos parâmetros de α (Eq. 3) e β (Eq. 4):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (4)$$

em que, A é definido pela Equação 5:

$$A = \text{Ln}(\bar{X}) - \frac{1}{N} \sum \text{Ln}(X) \quad (5)$$

em que, \bar{X} = média aritmética da precipitação pluvial (mm); Ln = logaritmo neperiano e N = número de observações de precipitação.

Os parâmetros de forma e escala, foram calculados para encontrar a probabilidade cumulativa (Equação 6) de um evento de precipitação observado para a escala de tempo anual.

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

Substituindo $t = x/\beta$, a Eq. 6 transforma-se na função gama incompleta (Eq. 7):

$$F(\beta t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^{\beta t} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

Desde que a função gama é indeterminada para $x = 0$ e uma distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto (Equação 8):

$$F(x) = P_0 + (1 - P_0) G(x) \quad (8)$$

em que, P_0 = probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros); $G(x)$ = distribuição cumulativa teórica, onde os parâmetros são estimados em dias chuvosos.

A distribuição de probabilidade cumulativa $F(x)$ é transformada em uma distribuição normal para a variável Z aleatória, com média zero e variância um, onde a variável Z é correspondente ao valor do SPI. As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky e Brier (1958), onde os dados de precipitação estão ordenados em ordem crescente de magnitude de forma que os valores são baixos, o tamanho da amostra é dado pela Equação 9:

$$P_0 = \frac{m}{n+1} \quad (9)$$

em que, m = número de ordem dos valores de zero em uma série climatológica; n = tamanho da amostra.

Uma vez que, seria desnecessário reproduzir vários gráficos para cada localidade e cada ano para todas as estações nas escalas de tempo e durante cada mês, o valor de SPI ou Z é obtido facilmente pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), a qual converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável Z . Em que, Z é definido pelas Equações 10 e 11:

$$Z = \text{SPI} = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0 < F(x) \leq 0,5 \quad (10)$$

$$Z = \text{SPI} = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0,5 < F(x) \leq 1 \quad (11)$$

Sendo t definido pelas Equações 12 e 13:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(F(x))^2} \right]}, \text{ para } 0 < F(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (F(x))^2} \right]}, \text{ para } 0,5 < F(x) \leq 1 \quad (13)$$

em que, $C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$; $C_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; e $d_3 = 0,001308$.

Os cálculos dos valores do SPI na escala de tempo anual para o município de Chapada Gaúcha, MG, foram classificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos períodos secos e úmidos do Índice de Precipitação Padronizada (SPI), segundo McKEE et al. (1993, 1995)

SPI	Classe
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo da normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
$\leq -2,00$	Extremamente seco

2.3 El niño-oscilação sul

O *Oceanic Niño Index* (ONI) é uma medida da variabilidade do ENOS (Terassi *et al.*, 2018). Os períodos quentes (vermelhos) e frios (azuis) são baseados em um limiar de +/- 0,5°C para uma média mensal de três meses de anomalias da TSM, por meio da *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) versão 5 na região Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W)], com base em períodos de 30 anos atualizados a cada 5 anos (Tabela 2).

As informações sobre as fases do ENOS foram obtidas na base de dados da *National Oceanic and Atmospheric Administration / Climate Prediction Center* (NOAA/CPC), conforme National Oceanic and Atmospheric Administration (2019).

Tabela 2. Valores médios do ONI, com base em um limite de $\pm 0,5$ °C da TSM do Pacífico Equatorial na região El Niño 3.4, para 3 meses consecutivos de TSM nos anos de El Niño, La Niña e Neutro classificados, respectivamente, como quente (vermelho), frio (azul) e neutros (preto) no período de 1990 a 2015

Anos	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	1,2	1,5
1992	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1
1993	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	1,0	1,1
1995	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,3	0,8	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4
1998	2,2	1,9	1,4	1,0	0,5	-0,1	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6
1999	-1,5	-1,3	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2002	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,1
2003	0,9	0,6	0,4	0,0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	0,9	0,9
2007	0,7	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,5	-1,3	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	0,0	0,3	0,5	0,6	0,7	1,0	1,4	1,6
2010	1,5	1,2	0,8	0,4	-0,2	-0,7	-1,0	-1,3	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,0
2012	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
2015	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	2,6

Fonte: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Característica da precipitação mensal e anual

A análise descritiva da chuva, no município de Chapada Gaúcha, MG, apresenta a ocorrência de chuvas inferiores as medianas (Md) nos meses de janeiro e novembro, porém a situação contrária, com médias superiores as medianas, foi observada nos meses de fevereiro a outubro, e dezembro (Tabela 3). Nos meses de abril a outubro foram observados valores mínimos iguais a zero, e nos meses de fevereiro e novembro os valores foram máximos (Vma), respectivamente, 520,00 e 525,00 mm.

Os meses mais secos do ano apresentaram elevados coeficientes de variação

(CV), sendo maio (144,17%), junho (354,32%), julho (509,90%), agosto (307,82%) e setembro (202,87%), indicando uma alta variabilidade temporal das chuvas. Entretanto, nesse mesmo período, o desvio padrão (Dp) apresentou os menores valores, variando entre 2,16 mm (julho) e 41,04 mm (setembro). Vale destacar que, os meses de novembro (42,44%) e dezembro (43,73%) apresentarem os menores CV, que coincidem com os meses de maiores médias históricas (274,81 e 276,15 mm, respectivamente).

Foram observados valores iguais a zero para os quartis inferior (Q1) e superior (Q3), e conseqüentemente da amplitude interquartílica (AIQ), nos meses de junho, julho e agosto, que estão entre os meses mais secos do ano. Entretanto, valores elevados da AIQ foram observados nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro.

Tabela 3. Estatística descritiva dos parâmetros: média (\bar{x}), mediana (Md), valor mínimo (Vmi) e máximo (Vma), amplitude total (At), limite inferior (Li) e superior (Ls), coeficientes de variação (CV), desvio padrão (Dp), quartil inferior (Q₁) e superior (Q₃), amplitude interquartilica (AIQ) da série temporal de chuva no período de 1990 a 2015 no município de Chapada Gaúcha, MG

Meses	\bar{x}	Md	Valores			Limites		
			Vmi	Vma	At	Li	Ls	
			(mm)					
Jan	224,88	238,50	42,00	492,00	450,00	-198,00	638,00	
Fev	210,81	180,00	40,00	520,00	480,00	-116,50	531,50	
Mar	239,08	235,50	5,00	445,00	440,00	-12,50	479,50	
Abr	83,69	66,50	0,00	292,00	292,00	-81,63	223,38	
Mai	19,88	0,00	0,00	112,00	112,00	-59,25	98,75	
Jun	2,08	0,00	0,00	29,00	29,00	0,00	0,00	
Jul	0,42	0,00	0,00	11,00	11,00	0,00	0,00	
Ago	2,31	0,00	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	
Set	20,23	3,50	0,00	197,00	197,00	-34,88	58,13	
Out	112,27	101,00	0,00	320,00	320,00	-116,38	304,63	
Nov	274,81	285,00	49,00	525,00	476,00	-54,75	583,25	
Dez	276,15	271,50	66,00	472,00	406,00	-109,50	656,50	

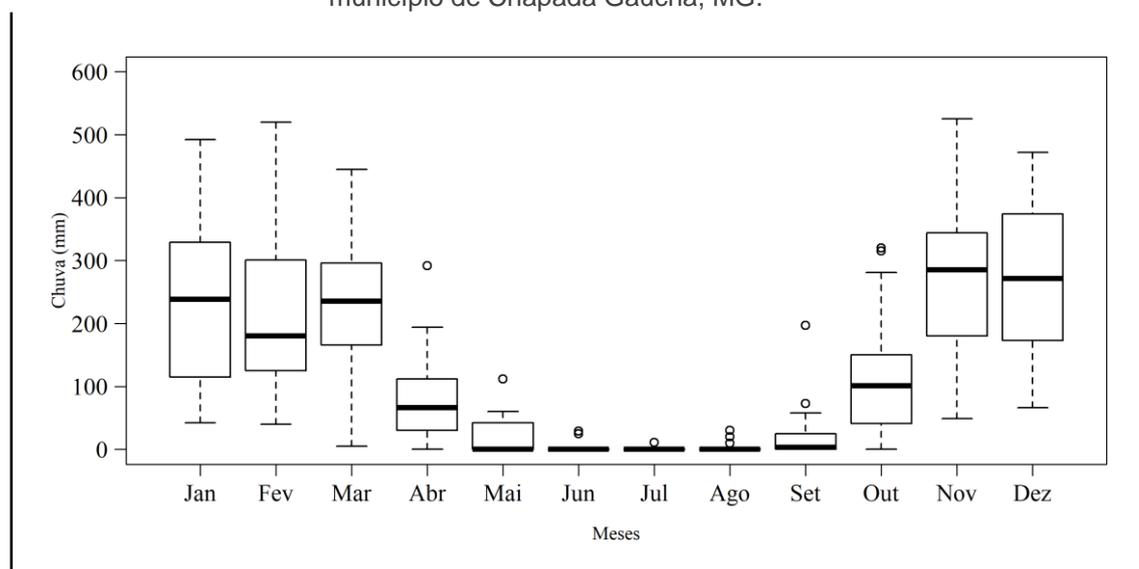
Meses	CV	Dp	Quartis		AIQ
			Q ₁	Q ₃	
			(mm)		
Jan	55,32	124,40	115,50	324,50	209,00
Fev	56,43	118,95	126,50	288,50	162,00
Mar	51,28	122,60	172,00	295,00	123,00
Abr	78,49	65,69	32,75	109,00	76,25
Mai	144,17	28,67	0,00	39,50	39,50
Jun	354,32	7,36	0,00	0,00	0,00
Jul	509,90	2,16	0,00	0,00	0,00
Ago	307,82	7,10	0,00	0,00	0,00
Set	202,87	41,04	0,00	23,25	23,25
Out	85,07	95,51	41,50	146,75	105,25
Nov	42,44	116,63	184,50	344,00	159,50
Dez	43,73	120,75	177,75	369,25	191,50

Em relação a análise exploratória da chuva mensal (Figura 2), observa-se que a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a março, indicando uma baixa variabilidade temporal mensal da chuva no município de Chapada Gaúcha, MG. Porém, nos meses de abril a setembro (estação seca) foi observada uma elevada variabilidade das chuvas na região. Destaca-se a presença de *outliers*, principalmente, durante a estação seca no período de estudo. Gois et al. (2019) também registraram *outliers* durante a estação seca e ressaltam que a variabilidade de sistemas meteorológicos em multiescala, tais como: circulações das brisas vale/montanha, convecção local, Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Sistemas Frontais

(SF), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e Alta da Bolívia (AB), contribuem para o surgimento de *outliers* nas séries temporais de chuva.

Os resultados obtidos nesse estudo foram semelhantes aos obtidos por Gois et al. (2019) no município de Resende, RJ, para os meses de maio a agosto (período seco). Em que, os menores acumulados de chuva foram superiores à mediana, registradas no intervalo entre 23,1 e 45,5 mm, respectivamente. Destaque para a maior assimetria positiva observada na estação seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março). O mês de janeiro sobressai em relação aos demais meses do ano, com assimetria negativa quanto à chuva, isso se deve a elevada altitude da região, e índices pluviométricos altos, que compreendem o período de transição entre as estações da primavera e do verão, ressaltando-se a importância dos sistemas meteorológicos que atuam na geração de chuvas no estado do Rio de Janeiro, como a ZCAS, convecção local, CCM e SF, principais mecanismos formadores de chuva (Kodama, 1993; Carvalho et al., 2002; Zandonadi et al., 2015).

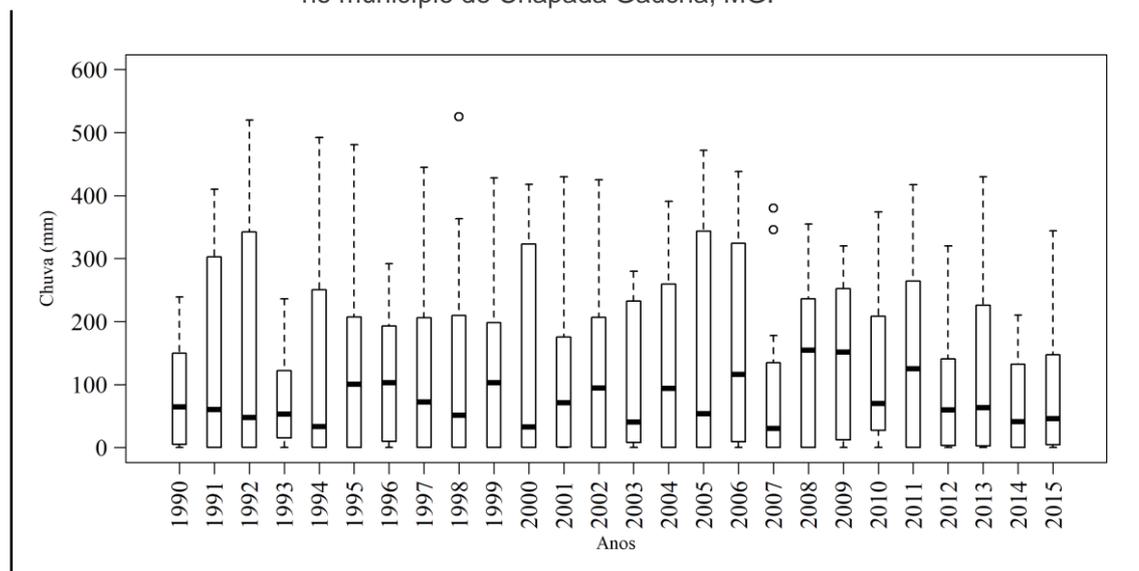
Figura 2. Boxplot (valor mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil, valor máximo e, em alguns meses, *outliers* “circunferências”) da chuva mensal (mm), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.



Na análise exploratória anual da chuva no município de Chapada Gaúcha, MG (Figura 3), observa-se uma alta variabilidade da mediana da chuva ao longo da série temporal, sendo as mais elevadas nos anos, consecutivos, de 2008 e 2009. Além de que, as medianas apresentaram valor superior ao primeiro quartil (Q_1) e inferior ao terceiro quartil (Q_3). A amplitude interquartílica (AIQ) foi superior a 300 mm nos anos

de 1991, 1992, 2000, 2005 e 2006. Houve também a presença de *outliers* nos anos de 1998 e 2007.

Figura 3. Boxplot (valor mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil, valor máximo e, em alguns anos, *outliers* “circunferências”) da variabilidade anual da chuva (mm), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.



Na Figura 4 observa-se a chuva acumulada anual para Chapada Gaúcha, MG. A chuva média anual, no período de 1990 a 2015, foi de 1.466,62 mm (linha tracejada vermelha). De forma geral, observa-se que a chuva acumulada anual foi bastante variável e foi inferior a 1.000 mm somente em dois anos da série temporal (1993 e 2014). Entretanto, quatorze anos da série (1991, 1992, 1994, 1998, 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2013), que representam aproximadamente 54% dos anos da série desse estudo, apresentaram a chuva acumulada anual superior a média anual.

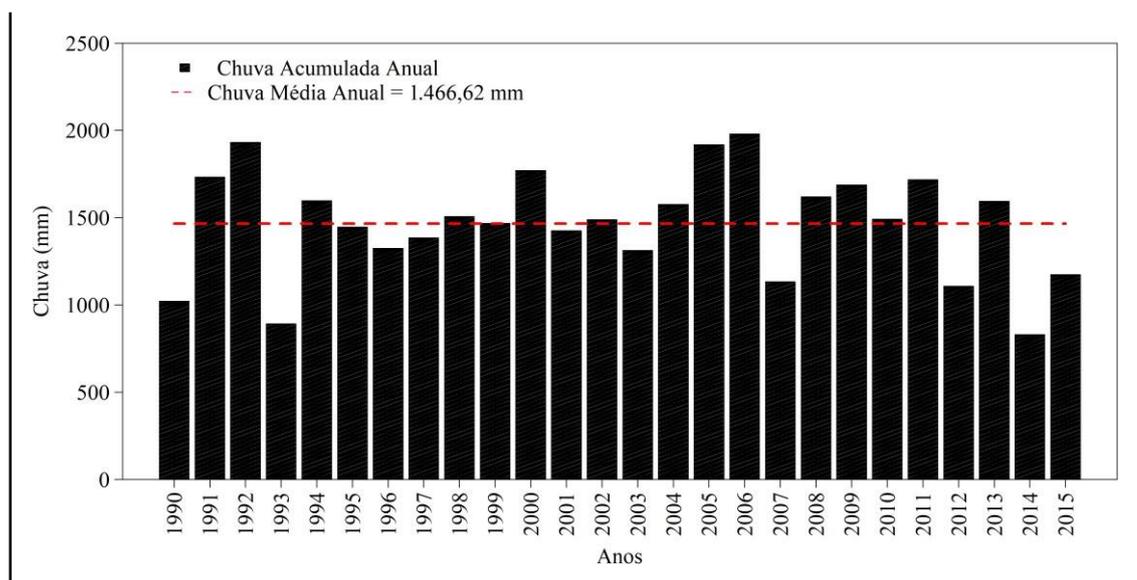
Procurou-se relacionar os anos em que a chuva acumulada esteve acima da média com as informações que apresentam as intensidades dos eventos de El Niño e La Niña, baseados nos valores médios do ONI (Tabela 2). Segundo o Golden Gate Wheeler Service (2021), os anos de 2004-2005 e 2006-2007 foram classificados como El Niño fraco; os anos de 1994-1995, 2002-2003 e 2009-2010 como El Niño moderado; 1991-1992 como El Niño forte; e 1997-1998 como El Niño muito forte. Entretanto, os anos de 2000-2001, 2005-2006 e 2008-2009 foram classificados como La Niña fraca; 2011-2012 como La Niña moderada; e os anos de 2007-2008 e 2010-2011 como La Niña forte.

Observou-se que o comportamento foi diverso e não foi possível estabelecer

como, por exemplo, as intensidades dos eventos de El Niño forte (1991-1992), El Niño muito forte (1997- 1998) e La Niña forte (2007-2008 e 2010-2011) influenciaram a chuva acumulada acima da média no município de Chapada Gaúcha, MG. Entretanto, Grimm *et al.* (2000) complementam dizendo que eventos de El Niño e La Niña influenciam de forma significativa a chuva em escala sazonal nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, principalmente nas estações da primavera e outono.

Não podemos deixar de mencionar também que a chuva no município em questão está associada a variabilidade de sistemas meteorológicos em multiescala, a exemplo dos citados anteriormente.

Figura 4. Chuva acumulada anual (mm), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.



3.2 Índice de precipitação padronizada na escala trimestral e anual

A Figura 5 apresenta a distribuição anual do Índice de Precipitação Padronizada na escala de três meses (SPI-3), de janeiro a março, para Chapada Gaúcha, MG, no período de 1990 a 2015. Também utilizou-se linhas tracejadas na cor azul para destacar os anos que foram extremamente seco ($\leq -2,00$) ou extremamente úmido ($\geq 2,00$). Dessa forma, observa que não houveram anos extremamente secos ou úmidos no município em estudo. Apenas dois anos (1994 e 2000) foram considerados muito úmidos, e quatro anos (1992, 2004, 2005 e 2011) foram moderadamente úmidos, que representa uma frequência relativa de 7,69% e

15,38%, respectivamente. Quinze anos(1990, 1991, 1995, 1997, 1998, 1999, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012 e 2013), que representa uma frequência relativa de 57,69% dos anos da série, foram classificados na classe “próximo da normal”. Entretanto, quatro anos da série (1993, 1996, 2001 e 2014) foram classificados como moderadamente seco, e apenas um (2015) como muito seco. Para esta série, o número de eventos moderadamente úmidos coincidiu com o número de eventos moderadamente seco. A Tabela 4 apresenta a frequência absoluta, em cada uma das classes, nas escalas de tempo de três (SPI-3) e doze (SPI-12) meses no município de Chapada Gaúcha, MG. De forma geral, observa-se que a classe “próximo da normal” apresentou o maior número de eventos nas escalas de tempo de três e doze meses.

Figura 5. Distribuição anual do SPI-3 (Jan-Mar), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.

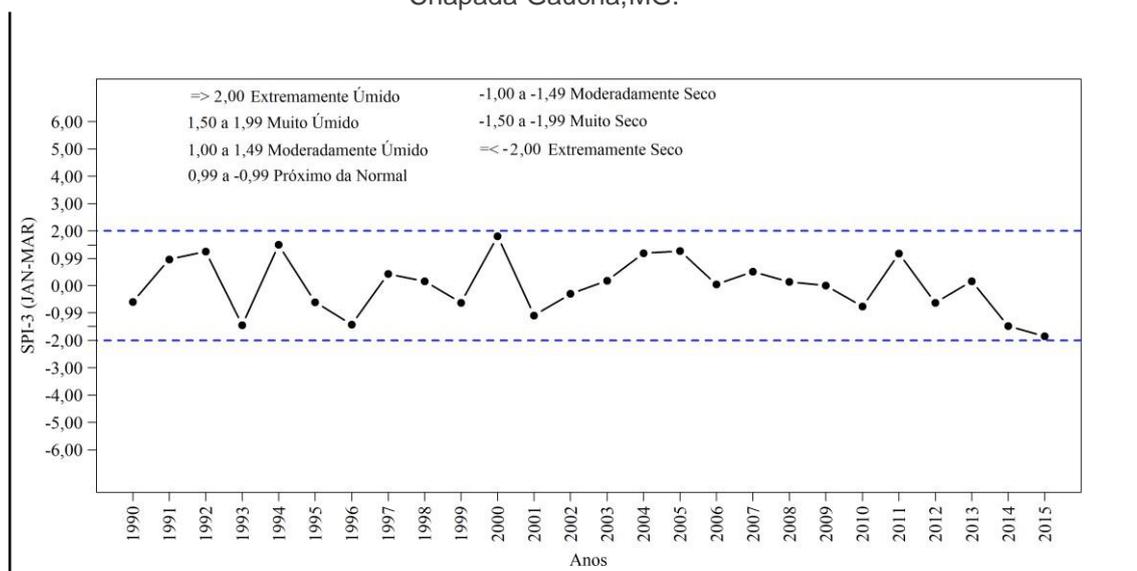


Tabela 4. Frequência absoluta, em cada uma das classes, nas escalas de tempo de três (SPI-3) e doze (SPI-12) meses no município de Chapada Gaúcha, MG

SPI	SPI-3 (Jan-Mar)	SPI-3 (Abr-Jun)	SPI-3 (Jul-Set)	SPI-3 (Out-Dez)	SPI-12 (Jan-Dez)
≥ 2	0	1	1	0	0
1,50 a 1,99	2	1	0	1	1
1,00 a 1,49	4	1	4	2	2
0,99 a -0,99	15	19	11	18	18
-1,00 a -1,49	4	2	0	3	2
-1,50 a -1,99	1	1	0	1	1
$\leq -2,00$	0	1	10	1	2
Total	26	26	26	26	26

A distribuição anual do SPI-3 é apresentada de abril a junho (Figura 6), de julho a setembro (Figura 7), e de outubro a dezembro (Figura 8) para Chapada Gaúcha, MG. Observa-se que, o índice SPI-3 reflete a distribuição sazonal e interanual da chuva, no município de Chapada Gaúcha, MG, para todos os trimestres. De maneira geral, verificou-se na Figura 6 e na Tabela 4 o maior número de eventos na classe “próximo da normal”, com um total de dezenove eventos (1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1999, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014), que representaram uma frequência relativa de 73,08%. Na Figura 6 observou-se também um evento moderadamente seco (1992 e 1998), um evento muito seco (2000) e um extremamente seco (1990). O trimestre de julho a setembro (Figura 7) apresentou o maior número de eventos na classe “extremamente seco”, com um total de dez eventos (1994, 1995, 1997, 1998, 1999, 2000, 2005, 2007, 2011 e 2014), que representaram uma frequência relativa de 38,46%. Observou-se os valores médios do ONI do trimestre “JAS” (Tabela 2) para verificar se o comportamento era de ano neutro, de El Niño ou La Niña. Dos anos em que o SPI-3 (Jul-Set) esteve classificado como extremamente seco três ocorreram em ano neutro [1994 (0,4), 2005 (-0,1) e 2014 (0,1)], um foi de El Niño [1997 (1,9)] e seis foram em ano de La Niña [1995 (-0,5), 1998 (-1,1), 1999 (-1,1), 2000 (-0,5), 2007 (-0,8) e 2011 (-0,6)], que corresponderam 60% dos eventos. Embora o SPI-3, no trimestre em questão, caracterize o município como sendo seco, ainda conseguiu registrar um evento extremamente úmido (2008) e quatro moderadamente úmidos (1990, 1993, 2002 e 2010). Para o período de 1990 a 2015, não foram identificados eventos nas classes “muito úmido”, “moderadamente seco” e “muito seco” na região de estudo (Figura 7). Na Figura 8, observou-se três eventos moderadamente seco (1990, 2012 e 2014), um muito seco (1993) e um evento extremamente seco (2007).

Figura 6. Distribuição anual do SPI-3 (Abr-Jun), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.

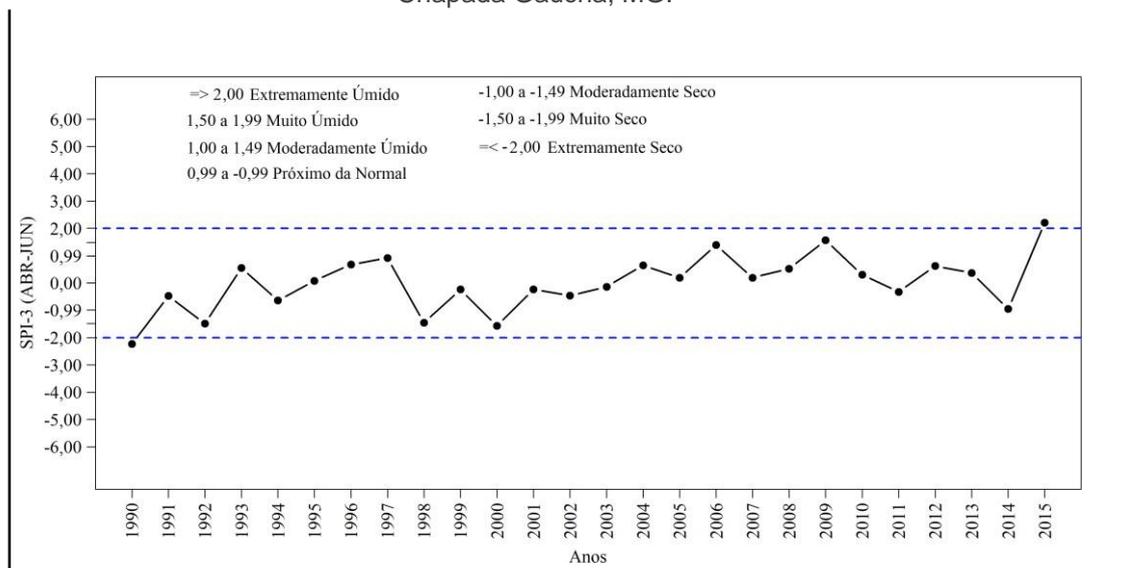


Figura 7. Distribuição anual do SPI-3 (Jul-Set), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.

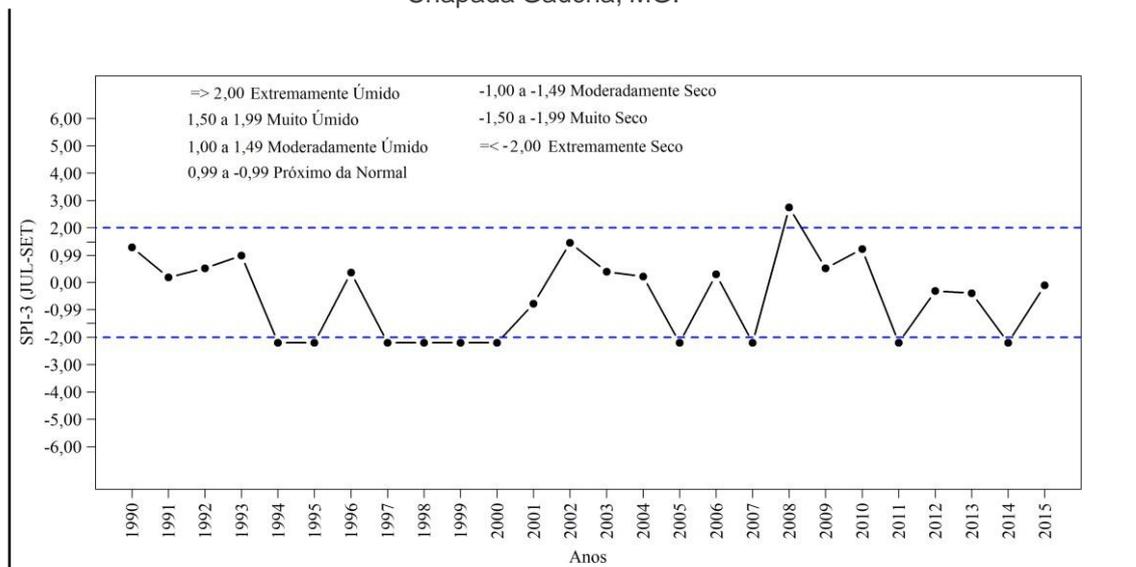
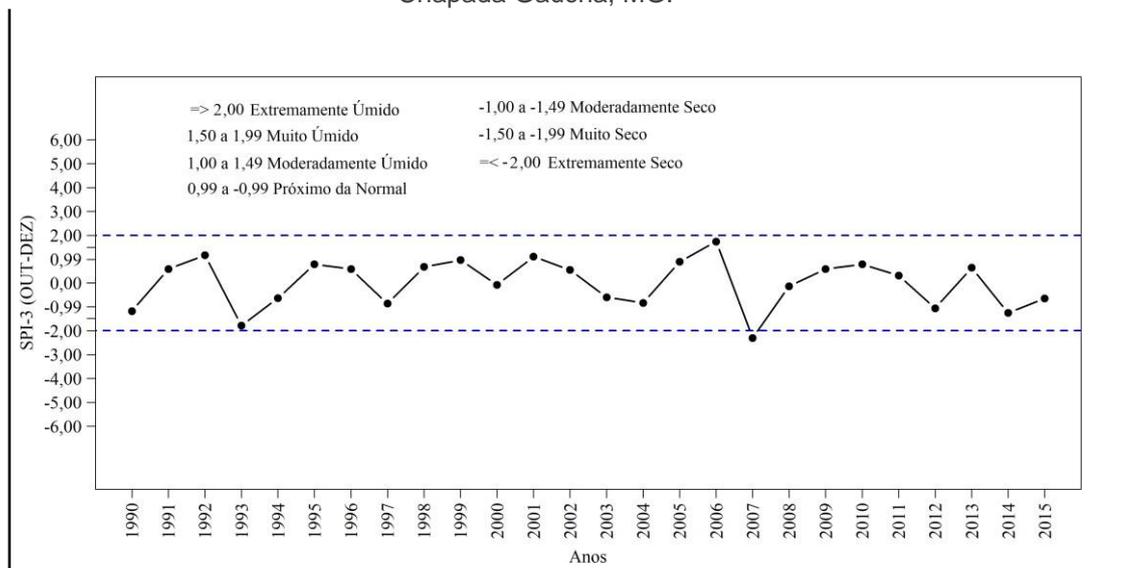


Figura 8. Distribuição anual do SPI-3 (Out-Dez), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.

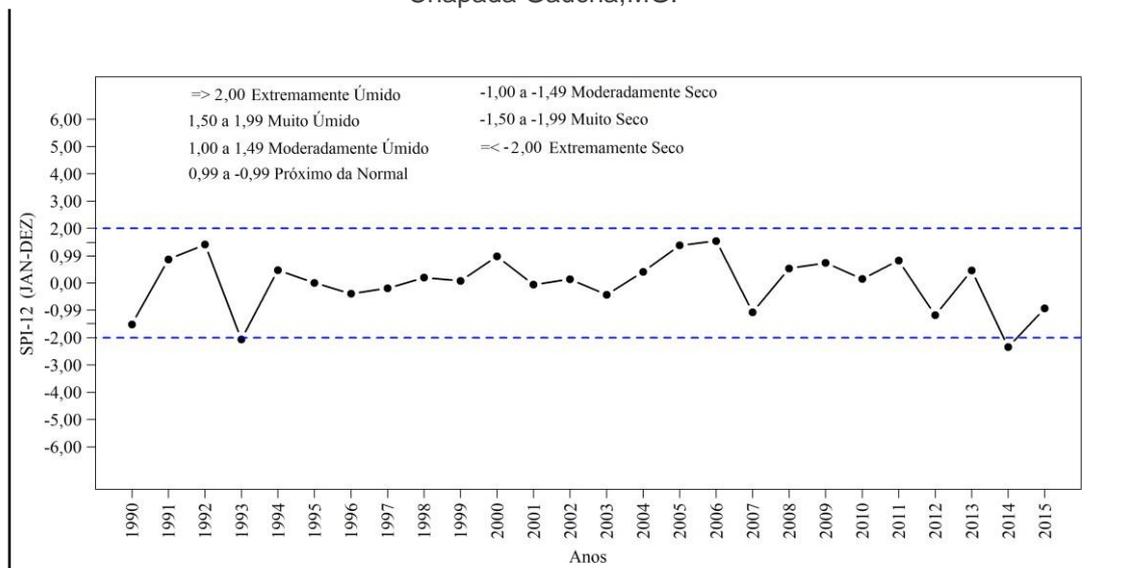


A Figura 9 apresenta a distribuição anual do Índice de Precipitação Padronizada na escala de doze meses (SPI-12), de janeiro a dezembro, para o município de Chapada Gaúcha, MG, no período de 1990 a 2015. Da mesma forma, também utilizou-se linhas tracejadas na cor azul para destacar os anos que foram extremamente seco ($\leq -2,00$) ou extremamente úmido ($\geq 2,00$).

Observa-se que não houveram anos extremamente úmidos no município em estudo. Apenas um ano (2006) foi considerado muito úmido, e dois anos (1992 e 2005) foram moderadamente úmidos, que representa uma frequência relativa de 3,85% e 7,69%, respectivamente. Observou-se também dois eventos moderadamente seco (2007 e 2012), um muito seco (1990) e dois eventos extremamente secos (1993 e 2014).

Dezoito anos (1991, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013 e 2015), que representa uma frequência relativa de 69,23% dos anos da série, foram classificados na classe “próximo da normal”, sendo onze anos consecutivos (1994-2004). Terassi et al. (2019) avaliaram a aplicação do índice SPI, em uma série histórica de 1976 a 2012, nas escalas anual, semestral, trimestral e mensal para a vertente paranaense da bacia hidrográfica do rio Itararé (BHRI). Os resultados dos índices SPI-12 mostraram que 71,1%, dos anos da série histórica da BHRI, foram próximo da normal.

Figura 9. Distribuição anual do SPI-12 (Jan-Dez), para o período de 1990 a 2015, no município de Chapada Gaúcha, MG.



4. CONCLUSÃO

A análise descritiva da série temporal de chuva no município de Chapada Gaúcha, MG, permitiu identificar a ocorrência de chuvas inferiores as medianas nos meses de janeiro e novembro, porém a situação contrária, com médias superiores as medianas, foi observada nos meses de fevereiro a outubro, e dezembro. Em relação a análise exploratória da chuva mensal, observa-se que a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a março, indicando uma baixa variabilidade temporal mensal da chuva no município. Entretanto, a chuva acumulada anual é bastante variável e os eventos de EL Niño e La Niña podem ter influência na variabilidade anual da chuva no município, porém suas relações precisam ser melhor estabelecidas.

Na utilização do índice SPI em diferentes escalas verificou-se que existe o predomínio da classe “próximo da normal” na distribuição trimestral (SPI-3) e anual (SPI-12) no município de Chapada Gaúcha, MG, com destaque para dezenove eventos, que corresponderam a 73,08%, no trimestre de abril a junho. No SPI-3, de julho a setembro, ocorreram dez eventos (38,46%) extremamente secos, mostrando que esse é o trimestre de maior susceptibilidade a seca na região de estudo.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. (Ed.). **Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables**. New York: Dover Publications, 1965. 1046 p.
- ASSIS, F. N. de; ARRUDA, H. V. de; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996. 161 p.
- CARVALHO, L. M. V.; JONE, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.
- GOIS, G., DELGADO, R. C., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do standardized precipitation index (SPI) para os episódios de El Niño Forte no Estado do Tocantins, Brasil. **Irriga**, v. 20, n. 2, p.371-387, 2015.
- GOIS, G.; FREITAS, W. K.; TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; PORTZ, A. Variabilidade anual e mensal da chuva e da temperatura do ar no município de Resende, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 67-88, 2019.
- GOLDEN GATE WHEATER SERVICE. **El Niño and La Niña Years and Intensities**. 2021. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em 12 dez. 2021.
- GRIMM, A. M., BARROS, V. R., DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- KIM, C. J.; PARK, M. J.; LEE J. H. Analysis of climate change impacts on the spatial and frequency patterns of drought using a potential drought hazard mapping approach. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 1, p. 61-80, 2014.
- KODAMA, Y. M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontalzone, the SPCZ, and the SACZ), Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 70, n. 4, p. 813-835, 1993.
- LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; CUNHAZERI, G.; ZERI, M. Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 129, n. 2, p. 157-171, 2017.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9., 1995, Dallas. **Proceedings...** Boston: American Meteorological Society, 1995. p. 233-236.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY,

8., 1993, Anaheim. **Proceedings...** Boston: American Meteorological Society, 1993. p. 179-184.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. 2019.
Disponível em:
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1989.
OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; TERASSI, P. M. B.; SILVA JÚNIOR, C. A.;
BLANCO, C. J. C.; SOBRAL, B. S.; GASPARINI, K. A. C. Drought severity based on
the SPI index and its relation to the ENSO and PDO climatic variability modes in the
regions North and Northwest of the State of Rio de Janeiro - Brazil. **Atmospheric
Research**, v. 212, n. 1, p. 91-105, 2018.

PANOFSKY, H. A.; BRIER, G. W. **Some applications of statistics to
meteorology**. University Park: Pennsylvania State University, 1958. 224 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2021). **R: A language and environment for
statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL
<https://www.R-project.org/>.

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; GALVANI, E. Variabilidade
do Índice de Precipitação Padronizada na região Norte do estado do Paraná
associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de
Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 11-25, 2018.

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; GALVANI, E.; SOBRAL, B.
S.; BIFFI, V. H. R. Standardized Precipitation Index Aplicado à Identificação do
Padrão das Chuvas na Vertente Paranaense da Bacia Hidrográfica do Rio Itararé.
Revista Brasileira de Meteorologia, v.34, n. 4, p. 557-571, 2019.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World
Meteorological Organization, 1966. 53 p. (WMO. Technical note, 81).

ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J. A.
Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theoretical and
Applied Climatology**, v.119, n. 1, p. 741-756, 2015.