



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Probabilidade de Chuva em Piracicaba, SP, Através da Distribuição Densidade de Probabilidade Gama

Janilson Pinheiro de Assis<sup>1</sup>, Roberto Pequeno de Sousa<sup>2</sup>, Ben Deivide de Oliveira Batista<sup>3</sup>, Paulo César Ferreira Linhares<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Vegetais e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), e-mail: janilson@ufersa.edu.br. <sup>2</sup>Departamento de Ciências Vegetais e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), e-mail: rpequeno@ufersa.edu.br. <sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo Dr. e-mail: bendeivide@gmail.com. <sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo Dr. Departamento de Ciências Vegetais e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), e-mail: paulolinhares@ufersa.edu.br.

Artigo recebido em 15/11/2017 e aceito em 28/05/2018

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar 110 ajustes das distribuições densidade de probabilidade gama da série histórica da precipitação pluviométrica, para o período de 1917 a 2002, em Piracicaba, SP. Para cada série de dados, foi determinado os parâmetros de forma e escala da distribuição gama para os períodos pentadial, decendial e mensal. O período chuvoso foi considerado os dias de precipitação pluviométrica maiores ou iguais a 5 mm. Para verificar a qualidade do ajuste dos dados de observação, foram utilizados os testes de aderência de qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov, em que os resultados foram não significativos (valor  $p \geq 0,10$ ), verificando uma ótima estimação para os dados de precipitação pluvial.

Palavras-chaves: chuva, modelagem, probabilidade, aderência.

### Probability of Rain in Piracicaba, SP, by Distributing Probability Density Gamma

### ABSTRACT

The purpose of this paper was study 110 adjustments gamma probability density distributions of the time series of rainfall, from 1917 through 2002, in Piracicaba, SP, Brazil. The shape and scale parameters of gamma distribution were obtained in the time series of rainfall in five-day, ten-day and monthly periods. The rainy season was considered the days of rainfall greater than or equal to 5 mm. The chi-square and Kolmogorov-Smirnov test were used to verify the quality of the data set on observation, and the results of goodness of fit were not significant ( $p\text{-value} \geq 0,10$ ), verifying a good estimation for the rainfall data.

Keywords: rainfall, modeling, probability, fitted.

### Introdução

Existem regiões onde a chuva é suficiente, mas em outras localidades existem problemas com sua distribuição, o que acarreta períodos de deficiência hídrica, havendo a necessidade de maior eficiência no seu uso e de um melhor planejamento das atividades agrícolas, para o adequado desenvolvimento das plantas nos períodos críticos. Em geral, a agricultura depende mais da distribuição das chuvas do que propriamente do seu volume, o que torna importante o conhecimento das épocas seca

e úmida do ano para a adequação da data de semeadura ou plantio, de acordo com o ciclo da cultura.

O conhecimento das probabilidades de ocorrência de chuva é de fundamental importância no planejamento agrícola, pois ao se estudar a influência das suas variações sobre as diferentes estratégias de uso do sistema agrícola, possibilita obter subsídios para o processo de tomada de decisão e assim otimizar as atividades agrícolas, permitindo então o plantio em época adequada, o planejamento de

irrigação, aplicação de adubos e defensivos, a utilização de máquinas agrícolas, a colheita etc. É através da agrometeorologia operacional que se obtém valores de estimativas que irão permitir a tomada de decisão, tais como: preparo do solo, sementeira, irrigação e colheita.

A maioria dos trabalhos que estudaram o comportamento da precipitação pluvial, não analisaram períodos inferiores a um mês, sendo assim há carência de informações quanto a distribuição em períodos inferiores ao mensal. Essa informação é importante e útil tanto no planejamento em curto prazo, como é o caso de práticas agrônomicas cuja umidade do solo e/ou do ar são condicionante do crescimento vegetal, como no planejamento agrícola de médio e longos prazos. Este último define regiões e épocas mais adequadas para a sementeira de culturas.

Sendo assim, torna-se importante a previsão de chuva em um determinado nível de probabilidade, para períodos curtos (cinco e dez dias) e para períodos longos (trinta dias). Essas informações possibilitam a programação das atividades agrícolas (sementeira, irrigação e tratamentos culturais) com maior segurança, diminuindo assim os riscos advindo de secas ou excessos de chuvas.

A probabilidade de ocorrência de chuva é um elemento representativo de utilidade muito importante da precipitação pluviométrica. Essa probabilidade é em condições tropicais mais elevada no verão que no inverno, e representa um tipo de previsão climatológica para determinados períodos de um ano médio, mas não para cada ano em particular.

A aplicação de técnicas estatísticas a dados meteorológicos tem a vantagem de compactar o enorme volume de dados, medidos, por exemplo, em uma estação, em uma simples tabela ou uma equação, capaz de sumariar todas as informações de modo a facilitar as inferências sobre os dados.

A precipitação pluvial de uma determinada localidade pode ser estimada, dentre outras formas, em termos probabilísticos, através do emprego de modelos teóricos de distribuição de probabilidade ajustadas a uma série histórica de dados. Os modelos ajustados, após a comprovação da aderência dos dados à distribuição teórica, podem fornecer informações úteis para o planejamento de diversas atividades.

Uma distribuição bastante empregada de acordo com a literatura é a distribuição Gama. Seu uso freqüente se deve ao fato de que as precipitações,

sob o ponto de vista estatístico, não são distribuídas uniformemente em torno do valor médio, mas sim, de maneira irregular, com grande desvio em relação a este valor médio (Krepper et al., 1989).

Muitos estudos mostram que a distribuição gama representa adequadamente o comportamento da chuva, dentre os quais podem ser citados aqueles conduzidos por Thom (1958) e Castro (1996). Thom (1958) afirma que a distribuição gama pode ser considerada como a mais adequada para períodos curtos de chuva. Castro (1996) verificou que a Distribuição Gama foi adequada para estimar a probabilidade de precipitação em Viçosa, MG.

Vários estudos de ajuste de distribuição densidade de probabilidade ou estimativas de probabilidade utilizando modelos teóricos de probabilidade em relação a uma série histórica de dados climáticos têm sido desenvolvidos, destacando os benefícios no planejamento de atividades que minimizam os riscos climáticos, dentre os quais podem ser citados: precipitação pluvial (Ávila et al., 1996; Castro, 1996; Botelho e Morais, 1999; Catalunha et al., 2002; Dourado Neto et al., 2005; Junqueira Junior et al., 2007; Sampaio et al., 2007; Silva et al., 2007; Lima et al., 2008; Martin et al., 2008; Oliveira et al., 2008; Ávila et al., 2009; Melo e Silva, 2009; Moreira et al. 2010; Dallacort et al., 2011; Hartmann et al., 2011; Rodrigues et al., 2014; Kist e Virgens Filho, 2015), temperatura do ar (Assis et al., 2004; Sansigolo, 2008; Araújo et al., 2010) e radiação solar (Assis et al., 2004).

O uso de funções densidade de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados a que elas se relacionam. Algumas têm boa capacidade de estimação para pequeno número de dados, outras requerem grande série de observações. Devido ao número de parâmetros de sua equação, algumas podem assumir diferentes formas, enquadrando-se em um número maior de situações, ou seja, são mais flexíveis. Desde que respeitado o aspecto da representatividade dos dados, as estimativas dos seus parâmetros para uma determinada região podem ser estabelecidas como de uso geral, sem prejuízo da precisão na estimação da probabilidade (Catalunha et al., 2002).

O presente trabalho teve por objetivo estimar as probabilidades de chuva pentadial, decenal e mensal através da função densidade de probabilidade Gama, utilizando-se os dados de precipitação pluvial em Piracicaba, SP, tornando possível assim fazer previsões seguras do volume de chuva ocorrida no local para qualquer porcentagem solicitada, bem

como estimar a quantidade de precipitação pluvial provável para totais pentadial, decendial e mensal.

### Material e métodos

Os dados utilizados e analisados no presente estudo foram fornecidos pela área de agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas e oriundos da Estação Agrometeorológica de Piracicaba, SP, situada no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, estado de São Paulo. A Estação Agrometeorológica de Piracicaba, SP, possui a seguinte localização geográfica: latitude: 22°42’30” S; longitude de 47°38’30” W; altitude: 546 metros; e altitude da cuba do barômetro de mercúrio de 548 metros (Villa Nova, 2003). A série histórica de chuva utilizada nesse trabalho abrangeu o período de 1 de janeiro de 1917 a 31 de dezembro de 2002 num total de 86 anos.

Foram considerados para análise índices de precipitação pluviométrica acima de 5 mm diário de chuva. Os anos bissextos foram desconsiderados. A distribuição densidade de probabilidade escolhida para a análise foi a distribuição gama (Hastings e Peacock, 1975).

Segundo Botelho e Morais (1999), uma variável aleatória contínua  $x$  com  $(0 < x < \infty)$  se distribui segundo uma distribuição gama de parâmetros  $(\alpha > 0 \text{ e } \beta > 0)$ : com  $\beta$ ,  $\alpha$  e  $\Gamma(\alpha) > 0$ , sendo o  $\beta$  o parâmetro de escala,  $\alpha$  o parâmetro de forma e  $\Gamma(\alpha)$  a função gama incompleta do parâmetro  $\alpha$ , definida por Thom (1958).

Algumas formas de estimar os parâmetros da distribuição gama foram desenvolvidas, contribuindo, junto com a sua flexibilidade de formas, para sua utilização em diversas áreas. Mas o principal método para estimar seus parâmetros é o método da máxima verossimilhança, que deve satisfazer à condição  $\alpha > 0$  (por definição). (Thom, 1958; Catalunha et al., 2002).

O teste de aderência por Kolmogorov-Smirnov foi introduzido por Kolmogorov e Smirnov em 1933. Como metodologia para sua aplicação, pode-se considerar  $F(x)$  a proporção dos valores

esperados menores ou iguais a  $x$  e  $S(x)$  a proporção dos valores observados menores ou iguais a  $x$ , em que Dobs (módulo do desvio máximo observado) é dado por:  $Dobs = \text{Max } |F(x) - S(x)|$ .

Para isto compara-se Dobs com D<sub>tab</sub> (desvio máximo tabelado, encontrado em tabelas adequadas que é função do número de observações da série numérica); se Dobs for menor, existe concordância entre as frequências observadas e esperadas, a amostra provém de uma população que segue a distribuição de probabilidade sob teste, do contrário a amostra é modelada por outra distribuição teórica. No teste de aderência do qui-quadrado ( $\chi^2$ ), a hipótese é testada fazendo-se comparação entre as frequências observadas e as frequências teóricas ou esperadas, em cada classe de frequência teóricas ou esperadas, em cada classe de frequência dos dados, através da estatística teste  $\chi^2$  (Campos, 1983). Os valores críticos ou tabelados de  $\chi^2$  para alguns níveis de significância são descritos por tabelas próprias, sendo função do número de graus de liberdade. Os testes de aderência de qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov, foram utilizados ao nível de significância de 10% de probabilidade.

### Resultados e discussão

Os níveis de probabilidade de precipitação pluviométrica geralmente recomendados para fins de irrigação variam de 75 % a 80 % (Doorenbos e Pruitt, 1984), ou de 50 a 90 % (Dastane, 1984), dependendo da necessidade da cultura, do estágio de desenvolvimento e da disponibilidade hídrica. Sendo assim, conforme os resultados mostrados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, possibilita que qualquer indivíduo interessado em obter informações sobre os níveis adequados de probabilidade de riscos baixo, médio ou alto para aquela atividade agrícola, faça um melhor planejamento para a instalação desse sistema. Portanto, o modelo da distribuição gama por apresentar um bom ajuste aos dados de chuva de Piracicaba, SP, permite a obtenção de estimativas de precipitação pluviométrica provável pentadial, decendial e mensal, em diferentes níveis de probabilidade, bem como a obtenção da estimação de probabilidades de ocorrência desse evento climático.

Tabela 1: Valores das precipitações pluviiais, pentadiais no primeiro semestre, mínimas prováveis, em função de níveis de probabilidade, estimados através da Distribuição Densidade de Probabilidade Gama.

MÊS	PÊNTADA	PROBABILIDADE (1º SEMESTRE)								
		1%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	99%
JANEIRO	P1	166,53	115,44	92,74	61,51	35,92	18,79	9,29	5,70	1,95
	P2	142,63	100,66	81,85	55,68	33,81	18,68	9,89	6,39	2,47
	P3	163,84	115,81	94,26	64,27	39,16	21,73	11,57	7,51	2,93
	P4	180,06	124,43	99,75	65,86	38,20	19,78	9,66	5,87	1,96
	P5	119,12	85,59	70,44	49,13	30,97	18,01	10,15	6,88	2,97
	P6	159,36	111,65	90,35	60,85	36,38	19,67	10,14	6,42	2,37
FEVEREIRO	P1	167,69	117,63	95,27	64,27	38,53	20,91	10,82	6,88	2,56
	P2	172,28	117,64	93,55	60,70	34,26	17,06	7,93	4,64	1,42
	P3	107,43	76,04	61,96	42,33	25,87	14,42	7,71	5,03	1,98
	P4	157,24	109,10	87,71	58,25	34,09	17,88	8,88	5,46	1,88
	P5	167,39	115,30	92,23	60,61	34,90	17,88	8,62	5,19	1,69
	P6	89,00	61,51	49,31	32,56	18,89	9,78	4,78	2,90	0,97
MARÇO	P1	156,57	102,22	78,77	47,70	24,08	10,14	3,79	1,87	0,38
	P2	127,91	88,87	71,51	47,58	27,93	14,71	7,34	4,54	1,58
	P3	121,24	87,88	72,73	51,32	32,91	19,59	11,35	7,85	3,56
	P4	119,80	82,81	66,40	43,86	25,46	13,19	6,45	3,93	1,31
	P5	120,14	84,69	68,81	46,74	28,32	15,59	8,22	5,30	2,03
	P6	135,94	95,71	77,71	52,70	31,84	17,47	9,17	5,89	2,24
ABRIL	P1	111,52	79,00	64,40	44,04	26,96	15,06	8,08	5,28	2,09
	P2	67,91	49,68	41,36	29,55	19,29	11,76	7,02	4,96	2,36
	P3	112,70	78,21	62,88	41,77	24,45	12,83	6,37	3,92	1,35
	P4	88,65	61,52	49,46	32,86	19,24	10,10	5,01	3,09	1,06
	P5	106,79	72,24	57,07	36,51	20,15	9,71	4,33	2,45	0,69
	P6	62,34	44,74	36,79	25,61	16,10	9,33	5,24	3,54	1,52
MAIO	P1	85,30	61,35	50,51	35,27	22,27	12,99	7,34	4,98	2,16
	P2	96,24	64,44	50,56	31,85	17,16	7,97	3,39	1,85	0,48
	P3	78,97	57,45	47,66	33,80	21,83	13,12	7,69	5,37	2,48
	P4	78,13	56,64	46,88	33,09	21,23	12,65	7,34	5,08	2,30
	P5	93,06	64,26	51,49	33,96	19,67	10,16	4,95	3,00	1,00
	P6	113,38	76,35	60,13	38,21	20,86	9,89	4,32	2,41	0,65
JUNHO	P1	91,81	64,88	52,80	35,99	21,92	12,16	6,47	4,20	1,64
	P2	67,29	48,87	40,50	28,66	18,46	11,05	6,45	4,48	2,06
	P3	92,70	66,58	54,77	38,18	24,04	13,96	7,86	5,32	2,29
	P4	111,59	74,66	58,53	36,82	19,79	9,17	3,88	2,11	0,54
	P5	102,40	69,75	55,37	35,80	20,09	9,92	4,56	2,65	0,79
	P6	72,69	51,79	42,38	29,22	18,10	10,28	5,63	3,73	1,53

Tabela 2: Valores das precipitações pluviiais, pentadiais no segundo semestre, mínimas prováveis, em função de níveis de probabilidade, estimados através da Distribuição Densidade de Probabilidade Gama.

MÊS	PÊNTADA	PROBABILIDADE (2º SEMESTRE)								
		1%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	99%
JULHO	P1	64,04	44,30	35,54	23,50	13,66	7,10	3,48	2,12	0,72
	P2	66,51	45,99	36,89	24,38	14,16	7,35	3,60	2,19	0,74
	P3	113,97	75,74	59,11	36,81	19,46	8,79	3,60	1,91	0,46
	P4	77,08	54,06	43,77	29,52	17,69	9,59	4,96	3,15	1,17
	P5	51,52	37,99	31,80	22,96	15,22	9,47	5,79	4,16	2,06
	P6	80,88	55,89	44,80	29,58	17,15	8,88	4,33	2,63	0,88
AGOSTO	P1	69,10	49,44	40,57	28,13	17,57	10,10	5,61	3,76	1,58
	P2	59,81	42,41	34,60	23,70	14,54	8,15	4,39	2,88	1,15
	P3	46,82	33,03	26,86	18,26	11,08	6,12	3,23	2,09	0,81
	P4	56,32	40,80	33,75	23,80	15,24	9,06	5,24	3,62	1,63
	P5	98,41	67,97	54,48	35,94	20,83	10,77	5,25	3,19	1,06
	P6	92,55	61,83	48,43	30,40	16,28	7,50	3,15	1,71	0,43
SETEMBRO	P1	109,68	74,26	58,71	37,61	20,81	10,06	4,50	2,56	0,73
	P2	86,64	60,82	49,28	33,28	19,98	10,87	5,64	3,60	1,34
	P3	133,38	89,91	70,86	45,09	24,68	11,75	5,15	2,88	0,79
	P4	70,88	51,46	42,64	30,17	19,41	11,61	6,77	4,70	2,15
	P5	73,26	50,91	40,97	27,27	16,02	8,44	4,22	2,61	0,91
	P6	82,81	58,88	48,11	33,07	20,40	11,51	6,26	4,13	1,67
OUTUBRO	P1	82,31	60,83	50,98	36,91	24,57	15,37	9,44	6,82	3,42
	P2	110,34	76,67	61,69	41,06	24,11	12,70	6,34	3,92	1,36
	P3	93,46	66,65	54,57	37,66	23,37	13,30	7,31	4,85	2,00
	P4	104,55	74,95	61,59	42,82	26,87	15,53	8,68	5,85	2,49
	P5	84,03	59,53	48,54	33,20	20,33	11,36	6,10	3,99	1,58
	P6	117,36	81,24	65,21	43,16	25,13	13,09	6,44	3,93	1,33
NOVEMBRO	P1	90,45	63,85	51,92	35,33	21,47	11,87	6,29	4,07	1,57
	P2	85,92	61,09	49,93	34,33	21,18	11,96	6,50	4,29	1,74
	P3	117,40	81,44	65,46	43,46	25,43	13,33	6,61	4,07	1,40
	P4	121,03	83,54	66,92	44,10	25,51	13,16	6,39	3,87	1,28
	P5	137,19	94,30	75,33	49,35	28,29	14,40	6,88	4,11	1,32
	P6	130,82	90,60	72,75	48,18	28,09	14,65	7,22	4,42	1,50
DEZEMBRO	P1	157,26	107,29	85,27	55,25	31,12	15,45	7,15	4,17	1,26
	P2	137,98	95,37	76,46	50,50	29,30	15,18	7,42	4,51	1,51
	P3	151,43	104,84	84,16	55,72	32,45	16,91	8,32	5,09	1,72
	P4	144,56	101,03	81,61	54,76	32,57	17,47	8,92	5,61	2,03
	P5	164,26	114,18	91,90	61,20	35,96	18,97	9,48	5,87	2,05
	P6	164,05	114,78	92,79	62,36	37,17	20,01	10,26	6,47	2,36

Tabela 3: Valores das precipitações pluviiais, decendiais, mínimas prováveis, em função de níveis de probabilidade, estimados através da Distribuição Densidade de Probabilidade Gama.

MÊS	DECÊNDIO	PROBABILIDADE								
		1%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	99%
JAN	D1	253,08	178,07	144,51	97,91	59,08	32,35	16,94	10,86	4,12
	D2	299,68	207,29	166,29	109,95	63,92	33,20	16,27	9,93	3,34
	D3	259,92	184,55	150,68	103,38	63,59	35,76	19,35	12,71	5,11
FEV	D1	312,80	209,32	164,14	103,31	55,56	25,76	10,92	5,95	1,53
	D2	212,80	152,30	125,01	86,72	54,22	31,19	17,34	11,64	4,91
	D3	202,45	140,84	113,43	75,62	44,53	23,55	11,81	7,33	2,57
MAR	D1	203,37	143,00	115,99	78,51	47,31	25,85	13,50	8,64	3,26
	D2	180,87	130,61	107,84	75,72	48,20	28,41	16,27	11,16	4,96
	D3	210,34	145,27	116,42	76,81	44,50	23,00	11,21	6,80	2,27
ABR	D1	122,99	87,58	71,64	49,35	30,54	17,32	9,46	6,27	2,56
	D2	140,38	95,58	75,85	49,00	27,47	13,54	6,21	3,60	1,07
	D3	99,01	68,54	55,01	36,42	21,21	11,05	5,43	3,32	1,12
MAI	D1	95,18	69,33	57,57	40,90	26,48	15,97	9,41	6,58	3,07
	D2	108,90	77,39	63,22	43,43	26,76	15,08	8,19	5,39	2,18
	D3	142,69	93,08	71,69	43,35	21,84	9,17	3,41	1,68	0,34
JUN	D1	108,03	76,26	62,02	42,21	25,65	14,18	7,52	4,86	1,88
	D2	127,24	88,40	71,13	47,33	27,79	14,64	7,30	4,51	1,57
	D3	107,33	74,38	59,75	39,62	23,13	12,09	5,97	3,66	1,25
JUL	D1	76,72	54,05	43,90	29,80	18,03	9,91	5,21	3,35	1,28
	D2	118,27	80,55	63,93	41,32	23,18	11,43	5,25	3,05	0,91
	D3	72,43	50,91	41,28	27,93	16,81	9,18	4,79	3,06	1,15
AGO	D1	72,49	53,23	44,43	31,91	20,98	12,92	7,80	5,56	2,70
	D2	74,69	50,71	40,17	25,84	14,39	7,02	3,18	1,83	0,53
	D3	111,03	76,35	61,01	40,00	22,95	11,70	5,60	3,35	1,08
SET	D1	72,49	53,23	44,43	31,91	20,98	12,92	7,80	5,56	2,70
	D2	74,69	50,71	40,17	25,84	14,39	7,02	3,18	1,83	0,53
	D3	111,03	76,35	61,01	40,00	22,95	11,70	5,60	3,35	1,08
OUT	D1	72,49	53,23	44,43	31,91	20,98	12,92	7,80	5,56	2,70
	D2	74,69	50,71	40,17	25,84	14,39	7,02	3,18	1,83	0,53
	D3	111,03	76,35	61,01	40,00	22,95	11,70	5,60	3,35	1,08
NOV	D1	72,49	53,23	44,43	31,91	20,98	12,92	7,80	5,56	2,70
	D2	74,69	50,71	40,17	25,84	14,39	7,02	3,18	1,83	0,53
	D3	111,03	76,35	61,01	40,00	22,95	11,70	5,60	3,35	1,08
DEZ	D1	72,49	53,23	44,43	31,91	20,98	12,92	7,80	5,56	2,70
	D2	74,69	50,71	40,17	25,84	14,39	7,02	3,18	1,83	0,53
	D3	111,03	76,35	61,01	40,00	22,95	11,70	5,60	3,35	1,08

Tabela 4: Valores das precipitações pluviiais, mensais, mínimas prováveis, em função de níveis de probabilidade, estimados através da Distribuição Densidade de Probabilidade Gama.

MÊS	PROBABILIDADE								
	1%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	99%
Janeiro	504,91	403,46	355,14	283,02	215,00	158,90	117,85	97,21	65,71
Fevereiro	516,77	387,56	327,92	241,95	165,43	107,20	68,64	51,06	27,39
Março	422,84	313,04	262,67	190,61	127,28	79,97	49,40	35,81	18,10
Abril	235,62	162,91	130,65	86,33	50,14	26,01	12,73	7,75	2,60
Mai	232,15	154,79	121,06	75,77	40,38	18,47	7,69	4,13	1,03

Junho	189,63	128,62	101,80	65,39	36,33	17,68	7,97	4,56	1,32
Julho	97,69	154,06	73,72	42,56	19,82	7,35	2,32	1,00	0,15
Agosto	156,29	101,79	78,30	47,23	23,69	9,88	3,64	1,78	0,35
Setembro	275,60	183,09	142,84	88,90	46,95	21,18	8,66	4,60	1,11
Outubro	312,11	233,14	196,75	144,43	98,04	62,93	39,86	29,42	15,50
Novembro	347,08	264,95	226,71	171,04	120,64	81,35	54,52	41,90	24,20
Dezembro	424,45	344,48	306,10	248,34	193,12	146,80	112,19	94,47	66,74

Por exemplo, na Tabela 1 para o período da primeira pênstada do mês de janeiro, de acordo com os valores fixados de probabilidade de 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 95% e 99%, os valores de chuva estimados através do modelo gama foram respectivamente 166,53; 115,44; 92,74; 61,51; 35,92; 18,79; 9,29; 5,70 e 1,95 milímetros de chuva. Por outro lado, conforme os dados da Tabela 2 para a última pênstada do mês de dezembro os valores obtidos foram 164,05; 114,78; 92,79; 62,36; 37,17; 20,01; 10,26; 6,47 e 2,36 milímetros de chuva mostrando assim que quanto maior a

verossimilhança desse evento climático menor é o valor obtido de chuva através do modelo gama. No entanto dependendo do mês analisado, a variabilidade da distribuição de chuva nessa região é menor ou maior, configurando séries mais homogêneas para uma época e menos homogêneas para outras, resultando assim em valores diferentes para as amplitudes de variação de chuva nos diversos períodos avaliados, principalmente nos períodos de maior estiagem, resultados corroborados por Catalunha et. al. (2002), Lyra et al. (2006) e Ribeiro et al. (2007).

Tabela 5: Valores das estimativas dos parâmetros de forma ( $\alpha$ ) e de escala ( $\beta$ ) da distribuição Densidade de Probabilidade Gama para cada pênstada do 1º e 2º Semestres em cada mês do ano.

1º SEMESTRE				2º SEMESTRE			
MÊS	PENTADA	PARÂMETRO FORMA ( $\alpha$ )	PARÂMETRO ESCALA ( $\beta$ )	MÊS	PENTADA	PARÂMETRO FORMA ( $\alpha$ )	PARÂMETRO ESCALA ( $\beta$ )
JAN	P1	1,57	28,62	JUL	P1	1,55	11,10
	P2	1,81	22,73		P2	1,54	11,54
	P3	1,83	25,93		P3	1,16	23,00
	P4	1,54	31,34		P4	1,72	12,62
	P5	2,09	17,49		P5	2,61	6,66
	P6	1,71	26,19		P6	1,54	14,08
FEV	P1	1,72	27,42	AGO	P1	2,02	10,35
	P2	1,41	31,43		P2	1,88	9,33
	P3	1,85	16,89		P3	1,80	7,47
	P4	1,58	26,92		P4	2,24	7,96
	P5	1,50	29,51		P5	1,53	17,16
	P6	1,54	15,49		P6	1,20	18,33
MAR	P1	1,02	33,59	SET	P1	1,32	20,67
	P2	1,60	21,78		P2	1,73	14,12
	P3	2,25	17,09		P3	1,28	25,57
	P4	1,54	20,83		P4	2,28	9,90
	P5	1,79	19,23		P5	1,60	12,46
	P6	1,78	21,88		P6	1,92	12,77
ABR	P1	1,86	17,48	OUT	P1	2,66	10,52
	P2	2,43	9,15		P2	1,60	18,78
	P3	1,59	19,28		P3	1,97	14,22
	P4	1,59	15,17		P4	2,05	15,52
	P5	1,31	20,20		P5	1,87	13,16
	P6	2,07	9,21		P6	1,56	20,28
MAI	P1	2,11	12,47	NOV	P1	1,81	14,40
	P2	1,22	18,90		P2	1,92	13,24
	P3	2,32	10,93		P3	1,58	20,12
	P4	2,25	11,00		P4	1,52	21,17
	P5	1,53	16,24		P5	1,48	24,39
					P6	1,56	22,57

JUN	P6	1,27	21,81	DEZ	P1	1,40	28,79
	P1	1,83	14,54		P2	1,54	24,00
	P2	2,29	9,39		P3	1,56	26,15
	P3	2,08	13,64		P4	1,68	24,02
	P4	1,21	21,99		P5	1,61	27,91
	P5	1,38	18,86		P6	1,69	27,13
	P6	1,95	11,10				

Em geral o ajuste da distribuição de probabilidade gama foi predominante em todas as séries estudadas, através dos testes de qui-quadrado e de Kolmogorov-Smirnov a um nível de significância maior ou igual a 10% de probabilidade, o que demonstra uma excelente aderência dos dados a esse modelo, permitindo ao pesquisador aceitar a hipótese de nulidade de que a distribuição dos dados obedecem a essa distribuição especial ou teórica de probabilidade, tendo pouco risco de cometer o erro tipo II ou de segunda espécie, o qual consiste em que o pesquisador aceite a hipótese de nulidade quando na realidade ela for falsa, e como consequência

reduz-se também o erro tipo I que é o de rejeitar esta hipótese quando na realidade ela for verdadeira. Isso se deve ao elevado tamanho da amostra usado neste estudo, do rigor dos testes de qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov e do elevado valor do nível descritivo  $p$  adotado que é no mínimo 10 % de probabilidade, o que dá ao investigador um elevado nível de segurança. (Campos, 1983).

As estimativas dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição gama ajustada, são apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7, para os períodos de pênstada (1º e 2º semestres), decêndio e mensal, respectivamente.

Tabela 6: Valores das estimativas dos parâmetros de forma ( $\alpha$ ) e de escala ( $\beta$ ) da distribuição Densidade de Probabilidade Gama para cada decêndio do mês do ano.

MÊS	DECÊNDIO	PARÂMETRO DE FORMA ( $\alpha$ )	PARÂMETRO DE ESCALA ( $\beta$ )
Janeiro	D1	1,77	40,84
	D2	1,55	51,95
	D3	1,90	40,31
Fevereiro	D1	1,21	61,57
	D2	2,03	31,83
	D3	1,62	34,28
Março	D1	1,76	32,92
	D2	2,18	25,95
	D3	1,53	36,69
Abril	D1	1,94	18,83
	D2	1,38	25,91
	D3	1,56	17,11
Maio	D1	1,38	25,91
	D2	1,56	17,11
	D3	2,35	13,09
Junho	D1	1,91	16,82
	D2	1,02	30,70
	D3	1,81	17,19
Julho	D1	1,78	12,31
	D2	1,38	21,80
	D3	1,75	11,74
Agosto	D1	2,52	9,57
	D2	1,35	13,93
	D3	1,48	19,70
Setembro	D1	1,24	25,78
	D2	1,88	20,76
	D3	1,77	16,13
	D1	1,91	24,17

Outubro	D2	2,13	20,74
	D3	1,72	24,85
Novembro	D1	2,27	17,10
	D2	1,52	31,78
	D3	1,79	31,62
Dezembro	D1	1,74	36,17
	D2	2,16	31,82
	D3	2,11	36,59

Tabela 7: Valores das estimativas dos parâmetros de forma ( $\alpha$ ) e de escala ( $\beta$ ) da distribuição Densidade de Probabilidade Gama para cada mês do ano.

MÊS	PARÂMETRO DE FORMA ( $\alpha$ )	PARÂMETRO DE ESCALA ( $\beta$ )
Janeiro	5,76	39,60
Fevereiro	3,04	61,02
Março	2,70	53,55
Abril	1,54	40,91
Mai	1,18	46,31
Junho	1,34	35,51
Julho	0,85	36,29
Agosto	1,01	33,81
Setembro	1,15	55,69
Outubro	2,93	37,68
Novembro	3,59	36,99
Dezembro	6,88	29,47

Pode-se observar que os valores do parâmetro  $\beta$  não excederam o valor 100 em nenhum período, possibilitando assim, a utilização na distribuição gama para o cálculo da estimativa das precipitações prováveis para Piracicaba, SP, pois para Thom (1958), valores superiores a 100 não se utiliza a distribuição gama incompleta.

Para maioria dos períodos de pântada, decêndio e mensal verificou-se maiores valores de  $\alpha$  encontrados no período seco, e os menores no período chuvoso. Já para o parâmetro  $\beta$ , os maiores valores foram encontrados para os períodos de chuvas mais intensas. Esses resultados estão em parte concordando com os obtidos por Botelho e Morais (1999), devido a extrema irregularidade da distribuição da chuva nessa região. Segundo estes autores isso pode ser explicado pela pronunciada assimetria nos períodos dos meses mais secos, visto que a assimetria é inversamente proporcional ao valor de  $\alpha$ . Com relação ao parâmetro  $\beta$ , Galate (1987), encontrou valores menores nos meses menos chuvosos, corroborando com os valores encontrados neste trabalho. As estimativas das variâncias aumentaram rapidamente com o crescimento dos valores de  $\beta$ , sendo este um indicador da variabilidade dos dados, visto que a variância é

diretamente proporcional ao quadrado de  $\beta$ . Portanto, os maiores valores do parâmetro de escala ( $\beta$ ) no período chuvoso, encontrados nesse trabalho, indicam uma maior variabilidade dos dados, nos meses mais chuvosos, devido a grande assimetria das chuvas na região (Medina e Maia Neto, 1989).

Os parâmetros da distribuição densidade de probabilidade gama, tiveram no período de pântadas valores mínimo, médio e máximo de 1,02, 1,73 e 2,66, respectivamente, para  $\alpha$ , e de 6,66, 18,29 e 33,59, respectivamente, para  $\beta$ . Já nos decêndios os valores foram de 1,02, 1,75 e 2,52 para  $\alpha$ , e 9,57, 26,27 e 61,57 para  $\beta$ . E finalmente, no período mensal os valores estimados para  $\alpha$  foram 0,85, 2,66 e 6,88, e para  $\beta$ , 29,47, 42,27 e 61,02. Para Catalunha et. al. (2002), trata-se de valores importantes, pois quando utilizados em outras análises, na cidade de Piracicaba, SP, estes parâmetros, terão uma faixa de abrangência próxima destes valores, norteando o pesquisador em seus resultados.

As Tabelas 1, 2, 3 e 4, mostram as precipitações pluviais pentadial (1° e 2° semestres), decendial e mensal, mínimas prováveis respectivamente, para Piracicaba, SP, nos níveis de 1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 99 % de probabilidade

estimados pela distribuição densidade de probabilidade gama.

Estes dados referem-se à probabilidade específica de ocorrência de uma precipitação pluvial mínima provável. De acordo com os dados das Tabelas 1, 3 e 4, tem-se por exemplo, para o mês de janeiro, considerando a primeira pênstada, o primeiro decêndio e a média mensal, existe a probabilidade de 10% da precipitação acumulada ser igual ou superior a 92,74 mm, 144,51 mm e 355,14 mm, respectivamente, ou seja, num intervalo de 10 anos que em um ano ocorra pelo menos 92,74 mm, 144,50 mm e 355,14 mm nos períodos de 5, 10 e 30 dias, respectivamente. De acordo com Castro (1996), no Brasil é comum se adotar valores médios de precipitação pluvial como parâmetros de dimensionamento de projetos agrícolas. Conforme Marquelli et al. (1988) citados por Castro (1996), a ocorrência do valor médio de precipitação pluvial mensal, se dar entre os níveis de 40 e 50% de probabilidade. Esses níveis são inferiores ao nível de 75% de probabilidade, geralmente recomendado na elaboração de projetos agrícolas. Os valores encontrados neste artigo para a probabilidade de ocorrência de valores médios de precipitação pluvial mensal, por exemplo, ocorrerem próximos ao nível de 75% de probabilidade confirmando o que afirma Saad (1990), de que o nível de 75% de probabilidade é o recomendado para fins de estimativa da exigência hídrica no dimensionamento de sistemas de irrigação, pois a adoção de valores médios de chuva conduz a um subdimensionamento, ao passo que a utilização do nível de 90 % implica no superdimensionamento do sistema de irrigação.

Após a aplicação dos testes de qui-quadrado e de Kolmogorov-Sminorv (Campos, 1983), para avaliar a qualidade do ajuste dos dados de precipitação pentadial, decendial e média mensal, estimados pela distribuição gama aos valores observados nos anos de 1917 a 2002, para Piracicaba, SP, confirmou-se o ajuste para os dois testes aplicados ao nível de probabilidade bastante satisfatório, isto é, de pelo menos 5% de significância.

Sendo assim, menores valores do teste de Kolmogorov-Smirnov fornecem maiores valores do valor-p e, conseqüentemente maior evidência de não rejeição da hipótese de nulidade ( $H_0$ ), isto é, maior aderência dos dados à distribuição sob teste. Neste estudo os resultados mostram que o teste aprovou a distribuição gama nos diversos períodos avaliados, pênstada, decêndio e valores mensais como um

modelo matemático adequado para representação da série de precipitação pluviométrica, na região de Piracicaba, SP. Resultados semelhantes foram obtidos por Catalunha et al. (2002), Murta et al. (2005), Lyra et al. (2006), Ribeiro et al. (2007), Vieira et al. (2010), Dallacort et al. (2011), Rodrigues et al. (2014) e Kist e Virgens Filho (2015), o que possibilita ao investigador o uso dessas informações, para norteá-lo e possibilitar a tomada de decisões racionais, no que se refere a determinação de zoneamentos agrícolas da região, previsões probabilísticas desse evento climático, bem como estimativas de quantidade de chuva caída em um determinado período solicitado. Esses resultados são de extrema importância para as atividades agropecuárias, como por exemplo, no planejamento agrícola, possibilitando o correto local e época para o preparo do solo, o plantio em época adequada, o planejamento de irrigação, aplicação de adubos e defensivos, a utilização de máquinas agrícolas, etc. Assim, pode-se afirmar que o conhecimento das probabilidades de ocorrência de chuvas, permite ao pesquisador ou ao homem comum por meio da agrometeorologia operacional obter valores de estimativas que irão permitir as tomadas de decisão, tais como, preparo do solo, semeadura, irrigação e colheita. Por outro lado, essas informações são também de extrema importância para a construção civil, no turismo, no transporte, no aproveitamento dos recursos hídricos de forma adequada, na defesa civil, no comércio, na indústria, etc. As mudanças climáticas quando ocorrem podem ter efeito sobre a economia brasileira, afetando sobremaneira o valor do produto interno bruto, em razão disso os setores mais afetados podem ser os de serviços e indústria, principalmente aquele voltado para o processamento de alimentos, mais vinculado à agricultura, e por fim o efeito sobre a variação de terras inaptas para práticas agrícolas em função das mudanças climáticas.

## Conclusões

1. A distribuição especial ou teórica de Densidade de Probabilidade Gama apresentou um bom ajuste à série histórica de precipitação pluviométrica média diária, e para totais pentadial e decendial e mensal em Piracicaba, SP;

2. As estimativas de precipitação obtidas pelo método de máxima verossimilhança são consistentes conseguindo reproduzir com bastante fidelidade o regime de chuvas da região de Piracicaba, SP, permitindo assim utilizar-se o

modelo para estimativas da quantidade de precipitação pluvial provável em diferentes níveis de probabilidade e também para obtenção de valores das diferentes probabilidades de chuva em qualquer porcentagem solicitada;

3. O conhecimento da distribuição da precipitação pluvial média diária, e para totais pentadial e decendial e mensal esperadas possibilitam planejar a época adequada de plantio e colheita além de auxiliar no planejamento de obras de engenharia hidráulica e agrícola na região de Piracicaba, SP, minimizando assim o risco de ocorrência de perdas econômicas.

### Referências

- Araújo, E. M., Silva, I. N., Oliveira, J. B., Cavalcante Junior, E. G., Almeida, B. M., 2010. Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatú-Ceará. *Revista Ciência Agrônômica* 41, 36-45.
- Assis, J. P., Neto, D. D., Manfron, P. A., Martin, T. N., Sparovek, G., Timm, L. C., 2004. Ajuste de séries históricas de temperatura e radiação solar global às funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 12, 113-121.
- Ávila, A. M. H., Berlato, M. A., Silva, J. B., Fontana, D. C., 1996. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha* 2, 149-154.
- Ávila, L. F., Mello, C. R., Viola, M. R., 2009. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 906-915.
- Botelho, V. A., Morais, A. R., 1999. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do município de Lavras, Estado de Minas Gerais. *Ciências e Agrotecnologia* 23, 697-706.
- Campos, H., 1983. *Estatística experimental não-paramétrica*, 4 ed. ESALQ, Piracicaba.
- Castro, R., 1996. *Distribuição probabilística de precipitação na região de Botucatu – SP*. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Botucatu, Universidade Estadual Paulista.
- Catalunha, M. J., Sedyama, G. C., Leal, B. G., Soares, C. P. B., Ribeiro, A., 2002. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 10, 153-162.
- Dallacort, R., Martins, J. A., Inoue, M. H., Freitas, P. S. L., Coletti, A. J., 2011. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. *Acta Scientiarum. Agronomy* 33, 193-200.
- Dastane, N. G., 1984. *Effective rainfall in irrigated agriculture*, FAO, Rome. (Irrigation Drainage Paper, 25).
- Doorenbos, J., Pruitt, W. O., 1984. *Crop water requirements*, FAO, Rome. (Irrigation Drainage Paper, 24).
- Dourado Neto, D., Assis, J. P., Timm, L. C., Manfron, P. A., Sparovek, G., Martin, T. N., 2005. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba-SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 13, 273-283.
- Galate, R. S., 1987. *Estudo das precipitações pluviais no município de Belém – PA, através da distribuição gama*. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agrônômica). Piracicaba, Escola Superior de Luiz de Queiroz.
- Hartmann, M., Moala, F. A., Mendonça, M. A., 2011. Estudo das precipitações máximas anuais em presidente prudente. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 561 – 568.
- Hastings, N. A. J., Peacock, J. B., 1975. *Statistical distributions: A handbook for students and practitioners*, Longon Butterworths, England.
- Junqueira Júnior, J. A., Gomes, N. M., Mello, C. R. de, Silva, A. M., 2007. Precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. *Ciência e Agrotecnologia* 31, 842-850.
- Kist, A., Virgens Filho, J. S., 2015. Análise probabilística da distribuição de dados diários de chuva no estado do Paraná. *Revista Ambiente Água* 10, 172-181.
- Krepper, C. M., Scian, B. V., Pierini, J. O., 1989. Time and space variability of rainfall in central East Argentina. *Jornal of Climate*, [S.l.] 2, 39-47.
- Lima, J. S. S., Silva, S. A., Oliveira, R. B. Cecílio, R. A., Xavier, A. C., 2008. Variabilidade temporal

- da precipitação mensal em Alegre – ES. *Revista Ciência Agrônômica* 39, 327-332.
- Lyra, G. B., Garcia, B. I. L., Piedade, S. M. S., Sediya, G. C., Sentelhas, P. C., 2006. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41, 205-215.
- Martin, T. N., Dourado Neto, D., Vieira Junior, P. A., Manfron, P. A., 2008. Homogeneidade espaço-temporal e modelos de distribuição para a precipitação pluvial no estado de São Paulo. *Revista Ceres* 55, 476-481.
- Medina, B. F., Maia Neto, J. M., 1989. Probabilidades de precipitação para a estação chuvosa do estado do Rio Grande do Norte. *Coleção Mossoroense*, Mossoró.
- Mello, C. R., Silva, A. M., 2009. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. *Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 68-74.
- Moreira, P. S. P., Dallacort, R., Magalhães, R. A., Inoue, M. H., Stieler, M. C., Silva, D. J., Martins, J. A., 2010. Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de nova Maringá-MT. *Revista de Ciências Agro-Ambientais* 8, 9- 20.
- Murta, R. M., Teodoro, S. M., Bonomo, P., Chaves, M. A., 2005. Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. *Ciência e Agrotecnologia* 29, 988-994.
- Oliveira, L. F. C., Antonini, J. C. A., Fioreze, A. P., Silva, M. A. S., 2008. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12, 620-625.
- Ribeiro, B. T., Avanzi, J. C., Mello, C. R., Lima, J. M., Silva, M. L. N., 2007. Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa da precipitação provável para região de Barbacena, MG. *Ciência e Agrotecnologia* 31, 1297-1302.
- Rodrigues, J. A., Silva, A. P. C. M., Santos Filho, J., 2014. Uso de distribuições de probabilidade na modelagem de intensidade de secas ocorridas em Laranjeiras do Sul, PR. *Revista Brasileira de Biometria* 32, 570-583.
- Saad, J. C. C., 1990. Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. *Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)*. Piracicaba, Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.
- Sampaio, S. C., Queiroz, M. M. F., Frigo, E., Longo, A. J., Suszek, M., 2007. Estimativa e distribuição de precipitações decendiais para o Estado do Paraná. *Irriga* 12, 38-53.
- Sansigolo, C. A., 2008. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia* 23, 341-346.
- Silva, J. C., Heldwein, A. B., Martins, F. B., Trentin, G., Grimm, E. L., 2007. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11, 67-72.
- Thom, H. C. S., 1958. A note on the gama distribution. *Monthly Weather Review*, Washington 86, 117-122.
- Vieira, J. P. G., Souza, M. J. H., Teixeira, J. M., Carvalho, F. P., 2010. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 762-767.
- Villa Nova, N. A., 2003. Dados meteorológicos do município de Piracicaba, ESALQ/Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba.