

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 101-105, 1996.
 Recebido para publicação em 01/12/95. Aprovado em 01/03/96.

JSSN 0104-1347

VARIABILIDADE INTERANUAL DA ESTAÇÃO CHUVOSA NO ESTADO DE SÃO PAULO

INTERANNUAL VARIABILITY OF THE RAINY SEASON IN THE STATE OF SÃO PAULO

Clóvis Angeli Sansigolo¹

RESUMO

A variabilidade interanual dos eventos relacionados à estação chuvosa no Estado de São Paulo foi analisada através de registros diários de precipitação, usando métodos diretos simples, visando planejamento e gerenciamento agrícola. Resultados probabilísticos sobre o início, fim e duração das chuvas, assim como distribuição das quantidades e risco de veranicos são apresentados para um conjunto de dez estações.

Palavras-chave: estação chuvosa, São Paulo, variabilidade interanual.

SUMMARY

The interannual variability of the events related to the rainy season in the State of São Paulo is analysed through daily rainfall data, by using simple and direct methods, aiming at the agricultural planning and management. Probabilistic results on the start, end and duration of rains, as well as the distribution of amounts and risk of dry spells are presented for a 10 stations set.

Key words: rainy season, São Paulo, interannual variability.

INTRODUÇÃO

As precipitações controlam a produção das culturas nos trópicos sazonalmente secos. Do ponto de vista agrícola, as principais questões sobre a estação chuvosa são as relativas ao seu início, fim e duração, além da distribuição das quantidades e risco de veranicos.

A maioria dos estudos agroclimáticos envolvendo precipitação tem sido feitos com acumulações sobre períodos de cinco, sete ou dez dias, devido principal-

mente ao grande volume de dados a ser manipulado (STERN et al, 1982). Além disso, as necessidades hídricas das plantas podem ser normalmente supridas pela água armazenada no solo durante períodos de cerca de dez dias. Muitas informações agrônomicamente úteis são perdidas com estas acumulações, notadamente sobre o risco de veranicos e o início e fim da estação chuvosa. Portanto, uma análise detalhada dos registros de precipitação deve partir, no mínimo, de dados diários.

A definição de uma data para o início das chuvas é complexa devido à natureza intermitente e irregular das precipitações tropicais (GARbutt et al, 1981; JACKSON & WEINAND, 1994). Além disso, o evento pode ser definido de diferentes formas em função dos diferentes objetivos. A definição mais usual, baseada somente nas quantidades, leva frequentemente a falsas datas de início, e outros critérios devem ser incluídos para contornar este problema (HILLS & MORGAN, 1981; STERN et al, 1982). Também a definição do fim ou término da estação chuvosa depende do tipo particular de aplicação, e uma possibilidade seria a primeira ocorrência de uma longa sequência de dias secos (HILLS & MORGAN, 1981; STERN et al, 1982).

Estabelecidas as datas para o início e fim da estação chuvosa, sua duração é calculada pelo período decorrido entre as mesmas.

Os diversos estudos publicados sobre a climatologia das precipitações no Estado de São Paulo, incluindo os de MONTEIRO (1973) e AZEVEDO (1974), foram baseados somente na distribuição dos totais mensais durante o ano.

O objetivo deste trabalho é um estudo detalhado da variabilidade interanual dos eventos relacionados à estação chuvosa no Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados diários de precipitação usados neste estudo foram referentes aos registros, no período de

1940 a 1992, de dez estações situadas no Estado de São Paulo (Figura 1): oito hidrometeorológicas do DAEE/SP, incluindo Araraquara, Avaré, Bauru, Franca, Marília, Ourinhos, Pindorama e Ribeirão Preto, uma agrometeorológica da ESALQ/USP, em Piracicaba e uma climatológica do IAG/USP, em São Paulo.

Métodos diretos simples foram utilizados para análise desses dados diários de precipitação. Cada ano provém um número para algum evento ou característica de interesse. As observações resultantes foram analisadas supondo-se serem de uma amostra aleatória simples, com uma distribuição singular. As estimativas de probabilidade dos diversos eventos foram feitas diretamente a partir de sua frequência relativa de ocorrência, ou alternativamente, uma distribuição pôde ser ajustada.

As precipitações acumuladas por pentadas foram analisadas através da Distribuição Gama, com parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (THOM, 1966; SHENTON & BOWMAN, 1973).

Complementando a análise de distribuição das quantidades, teve-se a relativa aos riscos de diferentes seqüências de dias secos (veranicos). Para a análise de risco, as observações foram codificadas em dias secos e chuvosos (com limite igual a 1 mm) e os cálculos foram feitos tomando-se o maior valor no período de interesse (STERN et al, 1982).

O início das chuvas definiu-se no primeiro dia após uma data arbitrária de referência, 1^a de setembro, antes da qual nunca se observou o evento (início), com 20 mm acumulados em um ou dois dias

consecutivos e condicionados à não ocorrência de dez dias secos nos 30 dias seguintes.

O fim das chuvas foi determinado pela primeira ocorrência de uma seqüência de dez ou mais dias secos após uma data arbitrária de referência, 30 de janeiro, antes da qual nunca se observou o evento (fim).

As taxas médias de evapotranspiração, usadas em balanços hídricos, e relevantes para gerenciamento e planejamento agrícola, também foram incluídas neste estudo. As estimativas por pentadas foram obtidas a partir das médias mensais, calculadas pelo método Penman-Monteith, através de interpolação com uma função cúbica de tendência quadrática (SANSIGOLO, 1987). As médias mensais de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e horas de brilho solar, usadas nos cálculos de evapotranspiração, são referentes a Piracicaba, Pradópolis, Salto Grande e Votuporanga, no período de 1976-92 (Figura 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações mensais e o número de dias chuvosos para as dez localidades selecionadas, assim como as médias e desvios padrões regionais encontram-se na Tabela 1. A homogeneidade espacial pode ser verificada através dos pequenos desvios padrões espaciais.

As precipitações médias esperadas pela Distribuição Gama, acumuladas por pentadas durante a estação chuvosa, encontram-se na Tabela 2, assim como as taxas médias (quatro estações) de evapotranspiração potencial. Também neste caso observa-se uma grande homogeneidade no conjunto das estações selecionadas, e durante a estação chuvosa, entre as pentadas n^o 58 e 13, as taxas de evapotranspiração potencial são aproximadamente iguais às precipitações médias. Os percentis 25, 50 e 75 das precipitações por pentada, são mostrados, como exemplo, para Piracicaba, na Figura 2.

A matriz de correlação entre as precipitações sazonais (outubro-fevereiro) nas diversas localidades, mostrada na Tabela 3, apresenta valores entre 0,2 e 0,7, exceto com Franca, quando os coeficientes de correlação ficam entre -0,1 e -0,2.

A análise das seqüências de dias secos que complementa a das quantidades, é mostrada para Piracicaba, na Figura 3, onde se dispunha de uma série mais longa, de 1917 a 1993 (SANSIGOLO, 1989). Nota-se que durante a estação chuvosa são desprezíveis as probabilidades de seqüências de 15 ou mais dias secos em 30, mas existe uma razoável probabilidade (~40%) de se ter pelo menos sete dias secos.

Os pontos percentuais das distribuições empíricas de probabilidade acumulada para o início e fim das chuvas, assim como duração da estação, são mostrados na Tabela 4. As datas médias encontradas foram: 27 de setembro (dia 271) para o início potencial, isto

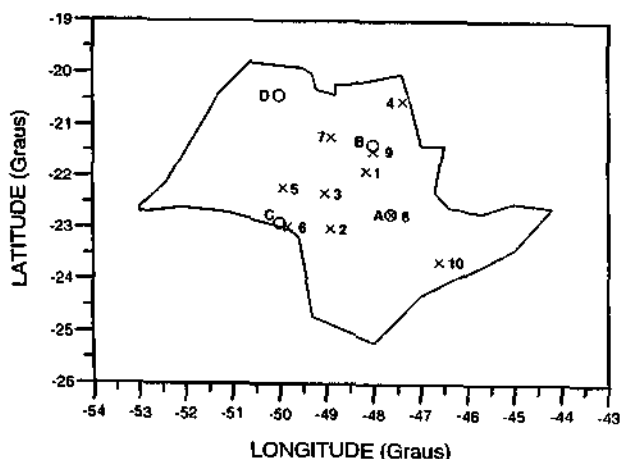


Figura 1 - Distribuição espacial das Estações Meteorológicas no Estado de São Paulo (X - Precipitação: 1 - Araraquara, 2 - Avaré, 3 - Bauru, 4 - Franca, 5 - Marília, 6 - Ourinhos, 7 - Pindorama, 8 - Piracicaba, 9 - Ribeirão Preto, 10 - São Paulo. 0 - Evapotranspiração: A - Piracicaba, B - Pradópolis, C - Salto Grande, D - Votuporanga).

Tabela 1 - Precipitações médias mensais em mm (A) e número de dias chuvosos (B), para as diferentes estações meteorológicas, e respectivas médias e desvios padrões espaciais do conjunto das estações (C e D).

LOCAL		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
Araraquara	(A)	234	216	160	59	44	42	27	23	54	125	163	234	1380
	(B)	15	14	10	5	4	4	2	2	5	9	11	14	95
Avaré	(A)	202	182	133	70	68	57	60	37	69	139	122	178	1325
	(B)	13	12	10	5	5	4	4	3	6	8	8	11	89
Bauru	(A)	214	194	137	66	46	50	40	24	54	123	127	192	1267
	(B)	13	12	9	4	4	4	3	2	5	8	8	12	84
Franca	(A)	271	228	192	83	41	27	21	16	61	157	215	265	1547
	(B)	17	15	13	7	4	3	2	2	5	10	13	16	107
Marília	(A)	224	219	128	66	68	55	40	27	66	139	134	216	1397
	(B)	13	12	9	5	4	4	3	2	5	8	8	10	83
Ourinhos	(A)	197	185	133	71	62	63	58	42	65	140	120	182	1339
	(B)	12	11	8	4	4	4	4	2	5	8	7	10	79
Pindorama	(A)	228	213	158	64	47	33	22	19	52	118	143	221	1325
	(B)	13	12	10	5	3	3	2	2	4	8	9	13	84
Piracicaba	(A)	229	190	132	57	42	41	29	25	50	119	133	196	1244
	(B)	17	14	12	6	5	5	4	4	6	10	11	15	109
Rib. Preto	(A)	196	181	133	50	32	27	20	17	36	107	131	207	1147
	(B)	12	11	8	4	3	2	2	2	3	7	8	12	74
São Paulo	(A)	213	204	154	77	57	48	42	37	70	130	131	180	1341
	(B)	15	14	12	8	6	5	5	5	7	11	11	14	205
Médias e Desvios	(A)	221	201	146	66	51	44	36	27	58	130	142	207	1331
	(C)	22	17	20	10	12	12	15	9	11	14	28	28	105
	(B)	14	13	10	5	4	4	3	3	5	9	9	13	92
	(D)	1,9	1,5	1,7	1,3	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,3	2,0	2,1	14

é, a primeira ocorrência de 20 mm em um ou dois dias após a data de referência, e 12 de outubro (dia 286), para o início efetivo, definido como no caso anterior, mas condicionado à não ocorrência de uma sequência de 10 ou mais dias secos nos 30 dias seguintes. Os erros padrões de estimativa foram, respectivamente, para o início potencial e efetivo, de dois e três dias. Somente em dois casos, estas datas diferiram significativamente da média: em Franca, cujo início efetivo ocorreu sete dias antes e em Ribeirão Preto, 12 dias após.

O fim da estação chuvosa, definido em função da primeira ocorrência de uma sequência de dez dias secos após a data de referência (30 de janeiro), teve como média dia 4 de março (dia 64), com um erro padrão de cinco dias. Datas significativamente diferentes da média ocorreram em Ourinhos, Ribeirão Preto e São Paulo, nos dois primeiros casos, respectivamente oito e 11 dias antes e no último (São Paulo), 20 dias após.

A duração da estação chuvosa foi 144 dias, 117 dias ou menos em 1/5 dos anos e 171 dias ou menos

em 2/5 dos anos. O fim das chuvas é suficientemente pequena (0,05), permitindo-se supor independência entre as mesmas. Assim, tornam-se simples as respostas para as questões relativas à duração, como por exemplo, qual seria a duração prevista, dado que o início ocorreu em 1º de novembro (dia 305). A duração média, dada esta data de início, pode ser estimada em 124 dias, período decorrido entre 1º de novembro e a data média para o final (dia 64), da mesma forma, 144 dias para 80% dos anos.

CONCLUSÕES

Conclui-se que boas estimativas probabilísticas sobre a variabilidade interanual dos eventos relacionados à estação chuvosa, incluindo o

início, fim e duração das chuvas, distribuição das quantidades e risco de veranicos, imprescindíveis para planejamento e gerenciamento agrícola, são obtidas a partir de registros diários de precipitação, através de um método direto de análise, para as dez localidades selecionadas no Estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, D. C. **Chuvas no Brasil - regime, variabilidade e probabilidade de alturas mensais e anuais**. Porto Alegre, RS, 1974, 240 p. Dissertação (Mestrado em Hidrologia), Instituto de Pesquisas Hidrológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1974.
- GARBUTT, D. J., STERN, R. D., DENNETT, M. D., et al. A comparison of the rainfall climate of eleven places in West Africa using a two-part model for daily rainfall. **Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology**, Amsterdam, ser.

Tabela 2 - Precipitações esperadas pela Distribuição Gama e taxas de evapotranspiração potencial ETP (mm), acumuladas por pentadas durante a estação chuvosa, para as 10 estações selecionadas.

Pên- tada	Local										Mê- dia	ETP
	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	32	28	25	27	21	27	28	24	20	20	25	20
2	25	21	25	30	29	21	18	20	23	23	24	21
3	29	23	27	37	35	21	25	32	17	27	27	21
4	31	30	22	33	21	25	32	31	15	27	27	22
5	30	22	18	34	21	18	32	24	22	23	24	22
6	18	20	20	36	20	14	24	24	14	17	21	22
7	20	18	20	26	27	22	29	25	25	27	24	22
8	20	17	17	38	27	17	23	18	14	22	21	22
9	33	23	23	34	28	18	26	18	13	20	24	22
10	29	27	25	36	24	15	25	23	16	27	25	22
11	32	23	27	24	39	22	35	27	21	26	28	22
12	21	20	16	33	14	15	19	17	19	19	19	21
A*13	18	16	15	29	17	16	14	12	9	14	16	20
B	55	6	8	5	3	8	8	2	2	5	4	19
56	8	7	7	5	10	6	6	6	0	9	6	20
57	10	12	15	12	10	13	9	11	9	13	11	21
C	58	11	6	7	16	7	7	10	9	10	9	21
59	14	9	15	19	16	17	14	10	6	14	13	21
60	12	10	6	16	8	8	9	8	8	11	10	22
61	16	21	20	27	27	23	16	10	0	16	19	22
62	15	8	9	17	10	9	14	2	9	12	12	22
63	18	11	12	29	14	17	17	10	10	13	15	22
64	21	11	12	27	14	12	13	8	11	12	14	22
65	26	16	15	24	17	12	23	15	20	16	18	22
66	17	7	8	26	12	8	17	5	13	12	22	22
67	24	22	16	25	20	14	16	20	19	17	19	22
68	21	21	16	17	13	14	19	22	16	23	18	21
69	26	19	17	21	15	14	18	15	12	17	17	21
70	27	18	20	42	27	26	26	26	19	18	25	21
71	27	18	21	38	16	17	28	21	21	19	23	20
72	32	23	23	21	29	23	29	24	21	20	25	19
73	22	19	26	24	17	19	20	20	13	17	20	19

*A - Fim das chuvas, B - Início potencial, C - Início efetivo.

**1 - Araraquara, 2 - Avaré, 3 - Bauru, 4 - Franca, 5 - Marília, 6 - Ourinhos, 7 - Pindorama, 8 - Piracicaba, 9 - Ribeirão Preto, 10 - São Paulo.

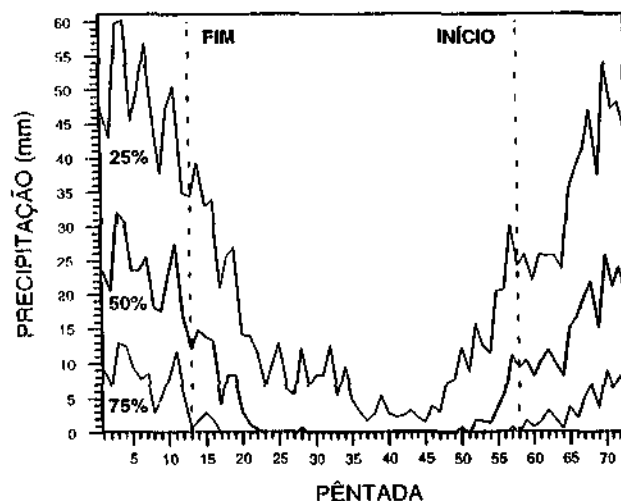


Figura 2 - Precipitações esperadas pela Distribuição Gama, nas 73 pentadas do ano, em três níveis de probabilidade, e datas do início efetivo e fim da estação chuvosa em Piracicaba, SP.

Tabela 3 - Matriz de correlação ($r \times 100$) entre precipitações sazonais (outubro-fevereiro) nas diversas localidades do Estado de São Paulo.

LOCAL	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100									
2	51	100								
3	65	23	100							
4	-20	-6	-9	100						
5	62	59	65	-10	100					
6	61	58	59	-3	58	100				
7	53	35	55	-21	48	45	100			
8	42	19	48	-24	33	51	35	100		
9	71	31	60	-2	57	63	51	22	100	
10	56	27	38	-17	27	57	54	44	64	100

*1 - Araraquara, 2 - Avaré, 3 - Bauru, 4 - Franca, 5 - Marília, 6 - Ourinhos, 7 - Pindorama, 8 - Piracicaba, 9 - Ribeirão Preto, 10 - São Paulo.

Cambridge, v. 17, p. 1-16, 1981.

JACKSON, I. J., WEINAND, H. Towards a classification of tropical rainfall stations. *International Journal of Climatology*, Sheffield, v. 14, p. 263-286, 1994.

MONTEIRO, C. A. F. *Dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto Geográfico da Universidade de São Paulo, 1973. 130 p. (Relatório Técnico).

SANSIGOLO, C. A. *Climatologia das precipitações, taxas de evaporação e balanços hídricos nas áreas de ocorrência de latossolos roxo no Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1987. 50 p. (Relatório Técnico).

SANSIGOLO, C. A. *Análise das precipitações diárias de Piracicaba, São Paulo*. In: VI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Maceió, AL. *Anais ...*, Alagoas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p. 224-231.

SHENTON, L. R., BOWMAN, K. O. Comments on the gamma distribution and uses in rainfall data. In: 3rd Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences, Boulder, *Preprints ...*, Boston: American Meteorological Society, 1973. p. 122-129.

STERN, R. D., DENNETT, M. D., DALE, I. C. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically usefull results. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v. 18, p. 223-236, 1982.

THOM, H. C. S. *Some methods of climatological analysis*. Genebra: Organização Meteorológica Mundial, 1966. 51 p. (Nota Técnica nº 81).

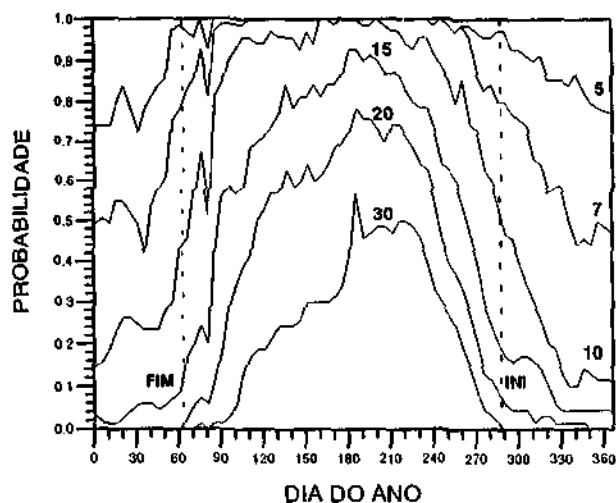


Figura 3 - Probabilidades das diferentes seqüências de cinco, sete, dez, 15, 20 e 30 dias secos nos 30 dias seguintes à data plotada do início efetivo (INI) e fim (FIM) da estação chuvosa em Piracicaba, SP.

Tabela 4 - Pontos percentuais das distribuições empíricas de probabilidade acumulada (dia do ano*) para o início potencial (A), efetivo (B), fim (C) e duração em dias (D) da estação chuvosa nas diversas localidades do Estado de São Paulo.

LOCAL	PERCENTIL							
		10	20	25	50	75	80	90
Araraquara	(A)	249	257	259	272	284	287	295
	(B)	258	268	272	286	301	304	314
	(C)	38	48	51	66	81	85	94
	(D)	108	122	126	147	167	172	185
Avaré	(A)	246	254	257	269	282	285	293
	(B)	252	262	266	284	301	305	316
	(C)	28	40	44	63	81	85	97
	(D)	97	114	120	145	171	177	193
Bauru	(A)	248	257	260	274	287	291	299
	(B)	262	271	274	288	302	305	314
	(C)	36	46	49	64	78	81	91
	(D)	103	116	120	141	161	166	179
Franca	(A)	249	256	259	270	281	284	291
	(B)	255	264	267	279	292	295	304
	(C)	41	51	55	70	85	88	98
	(D)	121	133	137	156	175	179	191
Marília	(A)	249	256	259	270	281	283	290
	(B)	258	267	271	285	299	302	312
	(C)	32	42	46	61	77	80	90
	(D)	106	119	123	143	163	168	181
Ourinhos	(A)	251	257	259	268	277	279	285
	(B)	258	266	268	280	292	295	303
	(C)	29	38	41	56	70	73	83
	(D)	106	118	122	142	161	165	178
Pindorama	(A)	250	257	260	272	283	286	294
	(B)	262	271	274	289	304	307	317
	(C)	36	45	49	64	79	82	92
	(D)	105	117	122	141	160	165	177
Piracicaba	(A)	246	253	256	268	280	283	290
	(B)	260	270	273	288	303	307	317
	(C)	33	44	47	63	79	82	93
	(D)	99	113	118	139	160	166	179
Rib. Preto	(A)	251	260	264	278	293	296	306
	(B)	267	278	282	298	314	318	328
	(C)	29	37	40	53	65	68	76
	(D)	82	96	101	122	143	147	161
São Paulo	(A)	243	251	255	268	281	284	293
	(B)	254	264	268	284	300	303	314
	(C)	40	55	61	84	107	112	127
	(D)	112	130	137	166	195	202	221
MÉDIAS	(A)	248	256	259	271	283	286	294
	(B)	258	268	271	286	301	304	314
	(C)	34	44	48	64	80	84	94
	(D)	104	117	123	144	166	171	184

* 1º jan. = 1 31 dez. = 366