

OCORRÊNCIA DE ESTIAGEM E SUAS PROBABILIDADES NA BAIXADA FLUMINENSE¹

DINAH MOCHIEL DE MENEZES², JACQUES ELLIS³ e SVEN KOSTER MUELLER²

SINOPSE.- Foram tabuladas as seqüências de dias consecutivos sem chuva, em período de 30 anos, através dos registros pluviométricos diários na região da Baixada Fluminense. Pela análise estatística, utilizando o modelo da cadeia de Markoff de 1.^a ordem, foram calculadas as probabilidades de ocorrência de estiagens para a região.

As maiores e mais freqüentes estiagens foram observadas nos meses de junho, julho e agosto. Foi verificado que a probabilidade de estiagens maiores do que cinco dias varia de 10% em dezembro a 51% em agosto. Foram identificados como meses de transição abril e setembro.

INTRODUÇÃO

O problema da estiagem e o estudo de sua probabilidade é de grande importância para a agropecuária da região.

Por estiagem entendemos dias consecutivos sem nenhuma precipitação medida ou registrada por aparelhos meteorológicos, considerando, conforme Wisler e Brater (1964), que o termo precipitação inclui todas as formas de água depositada na superfície de terra e proveniente do vapor da atmosfera, sob as formas de neblina, chuva, granizo etc.

O problema da estiagem já chamou a atenção de muitos pesquisadores; nos Estados Unidos, Dakar (1952), com dados climáticos de dez anos, enumerou sete Estados norte-americanos nos quais ocorrem períodos sem chuva em estação de crescimento das plantas, constatando a existência de estiagens com duração de três a quatro semanas em Illinois, Wisconsin e Ohio; Blair e Fite (1964), em Oklahoma, chamaram a atenção para a importância econômica da estiagem prolongada, principalmente quando esta se apresenta com duração anormal comparada com as condições normais da área.

No Brasil, Araújo (1930), com dados climáticos de 15 anos para o Rio Grande do Sul, tabulou e enumerou os dias consecutivos sem chuva; Aragão (1957), com critério de estiagem, estudou a distribuição de alguns insetos vetores de doenças. Em São Paulo, Moretti Filho (1965) mostrou a probabilidade de estiagem, apresentando os prováveis dias secos por mês e por ano nos quais a chuva é insuficiente para suprir as necessidades da planta.

O problema para a região do Km 47 ainda é básico; sabe-se, somente por observação, que há tendência para as estiagens se repetirem em certas épocas do ano. Nosso trabalho objetiva o conhecimento dessas épocas com vista à agricultura em geral e em particular aos estudos das épocas de plantio das culturas econômicas locais.

¹ Aceito para publicação em 8 jul. 1972.

² Eng.^o Agrônomo do Setor de Climatologia Agrícola do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul (IPEACS), Km 47, Campo Grande, GB, ZC-26.

³ Estatístico do Departamento Nacional de Meteorologia, Praça 15 de novembro, 4, 5.^o andar, Rio de Janeiro, GB, ZC-00.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados constam dos registros diários de precipitação no Posto Agrometeorológico do Setor de Climatologia Agrícola do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul (IPEACS), Km 47, da antiga Rodovia Rio-São Paulo, Município de Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro.

Foram tabuladas as seqüências de dias sem chuva em cada mês, em um período de 30 anos (1941 a 1970). Na contagem, não partimos as seqüências que, iniciando-se em um mês, se estenderam até o mês seguinte; em tais casos, computamo-las no mês que continha sua maior extensão; assim, por exemplo, uma seqüência de 42 dias de estiagem iniciada em agosto e se estendendo até setembro, mas tendo sua maior parte contida em setembro, foi computada como uma seqüência de 42 dias em setembro.

Foi usado o modelo da cadeia de Markoff de 1.^a ordem, numa tentativa de descrever as seqüências de dias sem chuva. Tal modelo tem sido utilizado em análises semelhantes, com sucesso, na descrição das seqüências de dias sem precipitação, conforme Weiss (1964), Gabriel e Neumann (1962) e Watterson e Legg (1967). Este modelo assume que a probabilidade de ocorrência de um dia de chuva em um dia qualquer depende somente do estado do tempo no dia anterior. Os parâmetros que definem este modelo de probabilidade são as duas probabilidades condicionais p_0 e $(1 - p_1)$, onde p_0 é a probabilidade de um dia chuvoso sendo o dia anterior sem chuva, e $(1 - p_1)$ é a probabilidade de um dia sem chuva sendo o dia anterior chuvoso:

$$\begin{aligned} p_1 &= \text{Pr } C | C; (1 - p_1) = \text{Pr } S | C \\ p_0 &= \text{Pr } C | S; (1 - p_0) = \text{Pr } S | S \end{aligned}$$

das quais a probabilidade de uma seqüência de dias sem chuva de extensão m é

$$p_0 (1 - p_0)^{m-1}.$$

A distribuição acumulada até m para seqüência de dias sem chuva é

$$1 - (1 - p_0)^m.$$

A probabilidade de uma seqüência de dias sem chuva, maior que m é

$$(1 - p_0)^m.$$

As probabilidades podem também ser expressas em termos de um intervalo de recorrência média ou período de retorno T, dado em anos, de seqüências de extensão maiores que m dias. Conforme Weiss (1964), T é o quociente do número de anos de registro para o número total de seqüências maiores que m dias. Isto, para seqüências de dias sem chuva, é:

$$T = \frac{1 - p_1 + p_0}{Sp_0(1 - p_1)(1 - p_0)^m}$$

onde S é o número de dias no subintervalo para o qual as seqüências são consideradas. Por exemplo, seqüências em setembro deverão ter S = 30, enquanto que para o ano inteiro, S = 365.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados constantes das primeiras colunas do Quadro 1 mostram que os meses de junho, julho e agosto são os

mais secos do ano. O total de chuva nesses meses é sempre inferior ao dos demais; o número de dias de chuvas também é baixo e é um informativo do tipo de precipitação (chuvas moderadas ou fortes de curta duração ou chuvas leves ou chuviscos dando um grande número de dias chuvosos). Quando, em meses comprovadamente chuvosos, ocorrem grandes estiagens, há, logicamente, prejuízos na lavoura, que já tem seus períodos de plantio predeterminados.

Calculados a partir da expressão (1), os dados das colunas intermediárias do Quadro 1 indicam a extensão em dias, para seqüências de dias sem chuva, nos vários meses do ano, correspondentes aos períodos de retorno de 2, 10 e 50 anos. Assim, por exemplo, em janeiro, é esperado ocorrer, em média, em 50 anos, só uma seqüência superior a 15 dias de estiagem.

A última coluna do Quadro 1 mostra as probabilidades de seqüências de dias de estiagem maiores que 5 dias. Essas probabilidades apresentam, também, uma definida marcha anual, variando de 10% em dezembro a 51% em agosto.

QUADRO 1. Dados pluviométricos mensais, número de dias de estiagem nos períodos de retorno e probabilidade de estiagens superiores a cinco dias, baseados nos registros do Posto Agrometeorológico do IPEACS (média de 30 anos, 1941 a 1970)

Meses	Chuvas		Dias de estiagem nos períodos de retorno			Probabilidade de estiagem superior a cinco dias (%)
	Total (mm)	Dias de chuva (n.º)	2 anos	10 anos	50 anos	
Janeiro	209,2	13,7	6	11	15	17
Fevereiro	165,6	12,2	6	11	16	18
Março	196,2	12,7	7	11	16	16
Abril	95,9	9,0	9	15	22	30
Maio	55,6	7,2	10	18	27	38
Junho	33,1	5,5	12	22	32	45
Julho	29,7	6,3	12	22	31	43
Agosto	36,9	5,1	13	25	37	51
Setembro	53,2	7,6	10	18	27	38
Outubro	91,8	12,3	6	19	15	15
Novembro	138,0	13,1	6	10	14	13
Dezembro	185,8	14,9	5	9	12	10

O Quadro 2 apresenta o modelo de probabilidade da cadeia de Markoff de 1.ª ordem. Por ele se verificam os valores das probabilidades condicionais mensais, para o Km 47.

QUADRO 2. Valores das probabilidades condicionais mensais, P_n e $(1 - p_n)$, que definem o modelo da cadeia de Markoff, para o Km 47, Município de Itaguai, 1941 a 1970 (30 anos)

Meses	P_n	$1 - p_n$
Janeiro	0,295	0,307
Fevereiro	0,293	0,308
Março	0,303	0,360
Abril	0,216	0,417
Maio	0,178	0,442
Junho	0,149	0,403
Julho	0,156	0,643
Agosto	0,125	0,408
Setembro	0,178	0,437
Outubro	0,318	0,370
Novembro	0,331	0,364
Dezembro	0,365	0,279

O Quadro 3 apresenta as distribuições de frequência das seqüências observadas e calculadas através do modelo da cadeia de Markoff, utilizando-se o teste X^2 (qui quadrado) para avaliar a bondade do ajustamento. Os resultados obtidos foram satisfatórios; apenas no mês de setembro o valor de X^2 calculado ultrapassou ligeiramente o valor de X^2 do nível de 5%.

QUADRO 3. Avaliação da bondade de ajustamento pelo teste X^2 (qui quadrado)

Meses	X^2 encontrado	G.L.	X^2 0,05
Janeiro	8,286	7	14,067
Fevereiro	7,208	6	12,592
Março	2,375	7	14,067
Abril	6,463	8	15,507
Maio	12,097	10	18,307
Junho	11,358	9	18,307
Julho	7,262	10	18,307
Agosto	13,498	10	18,307
Setembro	19,994	10	18,307
Outubro	0,714	6	12,592
Novembro	7,912	6	12,592
Dezembro	3,700	5	11,070

O Quadro 4 apresenta as seqüências de dias de estiagens observadas e calculadas. Por ele se pode verificar o número de estiagens observadas nos vários meses: em agosto foram anotadas 28 estiagens iguais a 10 dias ou maiores, em setembro 14, em outubro 5 e assim por diante. Verifica-se também, pelos dados desse Quadro, que os meses de novembro e dezembro dificilmente apresentam seqüências de dias de estiagem com extensão superior a 10 dias, enquanto que nos meses de junho, julho e agosto tais seqüências ocorrem anualmente. Moretti Filho (1965) também localizou maior número de dias secos no inverno para a zona cafeeira no Es-

tado de São Paulo. Setzer (1956), para o Estado do Rio de Janeiro, achou que a incidência de mais de 40% da precipitação efetiva nos meses de verão caracterizava estiagem no inverno, climaticamente bem definida.

O número anual de seqüências maiores do que 10 dias de estiagem é, em média, de 5, variando, no período estudado, de 1 seqüência em 1965 a 10 seqüências em 1963. A maior seqüência registrada neste período ocorreu em 1963, iniciando-se em fins de agosto e se estendendo pelo mês inteiro de setembro, perfazendo um total de 42 dias de estiagem (Quadro 4).

QUADRO 4. Seqüências de dias de estiagens observadas e calculadas por meio do modelo da cadeia de Markoff (Dados obtidos no Posto Agrometeorológico do IFEACS)

Dias de estiag.	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho	
	Observação	Cálculo	Observação	Cálculo	Observação	Cálculo	Observação	Cálculo	Observação	Cálculo	Observação	Cálculo
1	44	41,30	48	37,21	51	46,36	30	27,65	21	21,00	16	14,60
2	31	29,12	23	26,29	32	32,28	18	21,63	14	17,23	11	12,45
3	24	20,58	18	18,54	21	22,49	17	16,90	14	14,16	10	10,58
4	12	14,56	12	13,08	14	15,61	15	13,18	7	11,68	4	9,02
5	7	10,22	7	9,27	10	10,86	6	10,37	14	9,56	9	7,64
6	5	7,14	2	6,60	7	7,50	9	8,19	10	7,79	9	6,47
7	5	5,04	5	4,70	5	5,20	8	6,40	7	6,37	6	5,49
8	1	3,50	1	3,30	2	3,67	8	4,99	9	5,19	1	4,70
9	1	2,52	3	2,29	3	2,60	4	3,84	4	4,25	7	4,02
10	1	1,82	0	1,65	1	1,84	4	3,07	1	3,54	5	3,43
11	2	1,26	1	1,14	4	1,22	1	2,43	3	2,85	5	2,94
12	3	0,84	2	0,70	1	0,92	1	1,92	1	3,36	2	2,55
13	1	0,56	1	0,51	0	0,61	1	1,54	5	1,89	1	2,16
14	2	0,42	1	0,38	0	0,46	0	1,15	1	1,53	6	1,86
15	0		0	0,25	1	0,31	3	0,90	2	1,30	0	1,57
16	0		2	0,13	0		0	0,64	1	1,06	1	1,37
17	0		0		0		2	0,51	1	0,83	0	1,18
18	0		0		0	1,07	0	0,38	0	0,71	0	0,98
19	0	1,12 ^a	0		0		0	0,26	2	0,59	0	0,78
20	0		0		1		0	0,13	0	0,47	0	0,69
21	0		0	0,89			1	1,92	0	0,35	1	0,59
22	1		0						1	3,19	2	0,49
23			0								0	0,39
24			0								0	0,29
25			0								1	0,20
26			0								0	
27			1								0	1,57
28											0	
29											1	
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
Total de estiagens	140		127		153		128		118		98	

QUADRO 4. (Continuação)

Dias de estiag.	Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
	Observação	Cálculo										
1	16	18,60	8	11,12	21	20,29	51	50,56	43	51,64	53	53,66
2	19	15,68	13	9,70	11	16,64	35	31,50	37	34,48	33	34,10
3	11	13,22	4	8,46	12	13,68	24	23,53	27	23,09	24	21,61
4	12	11,12	10	7,39	15	11,29	15	16,06	19	15,44	16	13,67
5	7	9,36	7	6,50	12	9,23	10	10,97	13	10,30	4	8,67
6	12	7,81	6	5,70	8	7,52	7	7,47	4	6,66	6	5,44
7	3	6,55	2	4,98	6	6,16	5	5,09	5	4,52	5	3,38
8	6	5,50	3	4,36	13	5,02	3	3,50	5	2,96	3	2,20
9	5	4,68	8	3,83	2	4,10	1	2,38	1	2,03	2	1,47
10	6	3,98	6	3,38	2	3,42	0	1,59	0	1,40	0	0,88
11	2	3,39	1	2,94	2	2,85	1	1,11	1	0,94	0	
12	4	2,81	3	2,58	1	2,23	1	0,80	0	0,62	0	1,91
13	3	2,34	4	2,22	0	1,82	0	0,48	0	0,47	0	
14	3	1,99	2	1,96	2	1,48	0	0,32	1		0	
15	1	1,64	0	1,69	2	1,25	0	0,16		1,25	1	
16	1	1,40	1	1,51	1	1,03	1					
17	0	1,17	1	1,34	0	0,80	0					
18	1	0,94	3	1,16	1	0,68	1					
19	1	0,82	1	0,98	1	0,57	0	0,48				
20	2	0,70	0	0,89	0	0,46	0					
21	0	0,58	0	0,80	1	0,34	0					
22	0	0,47	2	0,71	0		0					
23	0	0,35	1	0,62	0		0					
24	0	0,23	0	0,53	0		0					
25	0		0	0,44	0		0					
26	0		2	0,36	0		0					
27	0	1,64	0	0,36	0		1					
28	0		0	0,27	0							
29	0		0	0,18	0							
30	1		0	0,09	0	3,08						
31	0		0		0							
32	0		0	1,96	0							
33	1		1		0							
34					0							
35					0							
36					0							
37					0							
38					0							
39					0							
40					0							
41					0							
42					1							
Total de estiagens	117		89		114		159		156		147	

* O número colocado à frente da chave representa a soma das frequências calculadas correspondentes às seqüências por ela limitada; para janeiro, a soma é de 1,12 correspondendo às seqüências iguais a 15 dias ou maiores; para fevereiro, 0,89, correspondendo às seqüências iguais a 17 dias ou maiores, e assim sucessivamente

CONCLUSÕES

Através do modelo da cadeia de Markoff de 1.^a ordem, foi possível estimar as probabilidades de seqüências de dias de estiagem para a região do Km 47 (IPEACS).

As probabilidades p_0 e $(1 - p_1)$, respectivamente probabilidade de um dia chuvoso precedido de um dia sem chuva e probabilidade de um dia sem chuva precedido de um dia chuvoso, apresentaram uma variação no correr do ano; a primeira variando de 0,365 em dezembro a 0,125 em agosto, e a segunda, de 0,643 em julho a 0,279 em dezembro.

Foram calculadas as probabilidades de estiagens maiores que cinco dias para todos os meses do ano, encontrando-se, para os meses secos (junho, julho e agosto) 45, 43 e 51%, enquanto que para os meses chuvosos (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março) essas probabilidades baixaram aos níveis de 13, 10, 17, 18 e 16%.

Os meses de novembro e dezembro dificilmente apresentam estiagens com extensão superior a 10 dias, enquanto que nos meses de junho, julho e agosto tais seqüências ocorrem anualmente.

Abril e setembro se apresentaram como meses de transição, isto é, meses que limitam maiores e menores estiagens.

REFERÊNCIAS

- Aragão, M.B. 1957. Considerações sobre o clima do Rio Grande do Sul. *Revta bras. Malariol. Doenças trop.* 9(2): 166-169.
- Araújo L.C. de 1930. Memória sobre o clima no Rio Grande do Sul. Min. Agric. Ind. Com., Diretoria de Meteorologia, Rio de Janeiro, 100 p.
- Blair, T.A. & Fite, R.C. 1964. Meteorologia (Tradução de F.C. Chede). Centro de Publicações Técnicas de Aliança Missão Norte-Americana da Cooperação Econômica e Técnica do Brasil, p. 70-71 e 372.
- Dakar, A. 1952. A irrigação nos Estados Unidos da América do Norte. *Ceres, Minas Gerais*, 9(49):27.
- Gabriel, K.R. & Neumann, J. 1962. A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv. *Meteorol. Soc.* 88:90-95.
- Moretti Filho, J. 1965. Caracterização da Seca Agrônômica na zona canavieira do Estado de São Paulo como base para os estudos de irrigação. Tese, Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo. 28 p.
- Setzer, J. 1955. Isolinhas da umidade do clima do Estado do Rio de Janeiro, *Revta bras. Geogr.* 14(3):315-327.
- Watterson, G.A. & Legg, M.P.C. 1967. Daily rainfall patterns at Melbourne. *Aust. meteorol. Magazine* 15:1-12.
- Weiss, L. 1964. Sequences of wet or dry days described by a Markov chain probability model. *Monthly Weather Review* 92:169-176.
- Wisler, C.O. & Brater, E.F. 1964. Hidrologia. Missão Norte Americana de Cooperação Econômica e Técnica no Brasil, Rio de Janeiro, p. 70-71.

ABSTRACT.- Menezes, D.M.; Ellis, J.; Mueller, S.K. [*The occurrence of drought and its probabilities in the Baixada Fluminense, Rio de Janeiro.*]. Ocorrência de estiagem e suas probabilidades na Baixada Fluminense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1973) 8, 181-185 [Pt, en] IPEACS, Km 47, Rio de Janeiro, GB, ZC-26, Brazil.

This study has tabulated the consecutive days without rain for the thirty year period of 1941 through 1970. The data were taken from the daily records of the Climatological Section of the Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul. The data were analyzed statistically utilizing the first order Markov chain probability model. The probabilities are derived for the Baixada Fluminense area (Rio de Janeiro).

The major dry periods were recorded in the months of June, July and August. The range of probabilities of dry periods of 5 days duration or longer were from 10% in December to 51% in August. The transition (months) were noted in April and May and again in September.