

PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA DE PERÍODOS SECOS EM ZONAS PLUVIOMETRICAMENTE HOMOGÊNEAS

PAULO ROBERTO SCHUBNELL DE REZENDE LIMA¹, THADEU KELLER FILHO²:

1. Estatístico, Diretor da Estocástica Consultoria e Serviços Técnicos em Estatística Ltda. SQS 314 Bloco D, 502, Brasília-DF, paulo.schubnell@yahoo.com.br.

2. Estatístico, Professor Associado da PUC-Rio, Rua Marquês de S. Vicente, 225 Sala 210 F, Rio de Janeiro-RJ, thadeu@econ.puc-rio.com.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia-02 a 05 de julho de 2007- Aracaju-SE

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo definir uma metodologia para estimar as probabilidades de ocorrências de seqüências de dias secos consecutivos em determinado período do tempo. A metodologia baseou-se na geração de seqüências de dias secos e chuvosos por meio de simulação, usando cadeias de Markov de terceira ordem. O procedimento foi ilustrado mediante aplicação na análise de ocorrência, em um horizonte de 30 dias, de períodos secos de 10 dias ou mais, em três zonas pluviometricamente homogêneas no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: simulação, cadeias de Markov de terceira ordem, zoneamento agrícola.

PROBABILITIES OF DRY DAYS IN RAINFALL HOMOGENEOUS AREAS

ABSTRACT: The aim of this work was to define a methodology for estimating the probabilities of occurrences of sequences of dry days in a period of the time. The methodology is based on generating sequences of dry and rainy days through the simulation, using third order Markov chains. The procedure was illustrated by applying it to the analysis of occurrence, in a horizon of 30 days, of dry periods of 10 days or more, in three rainfall homogeneous areas in Brazil.

KEYWORDS: simulation, third-order Markov chains, agricultural zoning.

INTRODUÇÃO: O regime pluvial ~~pluviométrico influencia~~ possui grande influência a agricultura tropical. A sua variabilidade afeta ~~adversidade dos fatores climáticos atinge~~ as culturas nos diferentes estádios fisiológicos ~~em diversas fases de seu desenvolvimento~~, reduzindo sua produtividade, pela irregularidade da precipitação pluvial, pela ocorrência de períodos prolongados de estiagem e pelos veranicos (ASSAD et al, 1993).

No Brasil, vários estudos por simulação têm sido efetuados para analisar a ocorrência de seqüências de dias secos e chuvosos, alguns dos quais utilizam o método de Monte Carlo, aplicado à distribuição acumulada empírica da precipitação pluvial diária, tais como os trabalhos de SOUSA S.A.V. (1999); DE CARVALHO, D.F. et al. (1999) e CRUZ, E.L. et al. (2004). Outros estudos usam cadeias de Markov de primeira ou segunda ordem, valendo mencionar os trabalhos de ASSIS, F.N. (1991); BACK, A.J. (1997) e ANDRADE JR. et al. (2001).

O objetivo deste trabalho foi definir uma metodologia para estimar as probabilidades de ocorrência de seqüências de dias secos consecutivos em determinado período do tempo, utilizando a ca-

deia de Markov de terceira ordem, na forma desenvolvida por KELLER FILHO et al. (2006). Foram feitas aplicações em três zonas pluviometricamente homogêneas, ~~localizadas em regiões de regime pluviométrico bem diferenciado~~. A análise probabilística da ocorrência de períodos secos em diversas áreas ~~regiões~~ é fundamental para o estudo das variações hídrica ~~elimáticas~~ e de ~~seus efeitos sobre o zoneamento agrícola no Brasil~~. Além disso, trata-se de um instrumento indispensável no planejamento de projetos de irrigação e na instituição de bases técnicas para o seguro rural.

MATERIAL E MÉTODOS: Apresenta-se neste estudo uma metodologia para estimar probabilidades de ocorrência de seqüências de dias secos de diversas durações, em um período especificado do tempo. A metodologia utiliza a simulação discreta e baseia-se na seguinte formulação: Seja $X_{n/D}$ o número eventual de dias decorridos, a partir da data D, até que ocorram pela primeira vez n dias secos consecutivos. Então, uma seqüência de n dias secos no período (D, D+t], onde $t \geq n$, é definida pelo evento $\{X_{n/D} \leq t\}$.

Atenção: indicar o local do estudo e evitar a palavra região, porque região é N, S,...

Fazendo $\pi_{n/D}(x) = P\{X_{n/D} = x\}$; $x = n, n+1, n+2, \dots$ e $P_{n/D}(t) = P\{X_{n/D} \leq t\}$, tem-se

$$P_{n/D}(t) = \sum_{x=n}^t \pi_{n/D}(x)$$

As probabilidades $\pi_{n/D}(x)$ não podem ser estimadas diretamente com base em dados empíricos, uma vez que no período de observação os eventos $\{X_{n/D} \leq t\}$ apresentam habitualmente freqüências nulas ou muito baixas, para diversos valores de n e de x. Esse inconveniente pode ser contornado por meio do uso da simulação discreta para gerar um grande número de seqüências de ocorrências de dias chuvosos ou secos e, a seguir, computar as freqüências necessárias. Uma metodologia adequada para essa simulação é a formulada por KELLER FILHO et al. (2006), mediante uso da cadeia de Markov de terceira ordem.

O procedimento a ser adotado na estimação desdobra-se nos seguintes passos:

- (i) fixar uma data base, D;
- (ii) a partir de D, gerar uma seqüência de dias secos e chuvosos, até que ocorram n dias secos consecutivos;
- (iii) quando isso ocorrer até o t^o dia da seqüência gerada, registrar como resultado o número x de dias transcorridos desde a data base D; caso contrário, registrar para x o valor “>t”;
- (iv) repetir os passos (ii) e (iii) um número N arbitrário de vezes, suficientemente grande de modo a garantir um alto grau de confiança nas estimativas;
- (v) após a realização das N repetições, obter as freqüências absolutas, $N_{x/D}$, dos valores observados de x, para $x = n, n+1, n+2, \dots, t, >t$;
- (vi) adotar a freqüência relativa de x, definida por $f_{x/D} = N_{x/D} / N$ como estimativa da probabilidade $\pi_{n/D}(x)$;
- (vii) adotar $\sum_{x=n}^t f_{x/D}$ como estimativa da probabilidade $P_{n/D}(t)$.

Para ilustrar a metodologia, fez-se uma aplicação a três das 25 zonas pluviometricamente homogêneas identificadas por KELLER FILHO et al. (2005), representativas da variabilidade climática do território brasileiro. Essas três zonas homogêneas, denominadas Zona A, Zona F e Zona R, na nomenclatura daqueles autores, foram escolhidas por apresentarem características climáticas bem diferenciadas.

Para cada uma dessas três zonas, foram estimadas as probabilidades de ocorrência, em um horizonte de 30 dias, de uma seqüência de 10 ou mais dias secos (chuva diária não superior a, 01

mm), a partir de 73 datas-base, variando de 5 em 5 dias, iniciando-se em 1/jan e indo até 27/dez. Na simulação das seqüências de dias secos e chuvosos utilizou-se a metodologia definida por KELLER FILHO et al. (2006). Para conferir grande precisão às estimativas, foram feitas $N=100000$ repetições da simulação. Adotando-se um nível de significância de 5%, esse número de repetições, proporciona uma margem de erro absoluto $E = 1/\sqrt{100000} = 0,0032$, de acordo com a seguinte expressão, usada para calcular, de forma conservadora, o tamanho da amostra para estimar proporções: $N = 1/E^2$ (ROSSI, J,W, 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 apresenta as estimativas das probabilidades $P_{10/D}(30)$ de ocorrência de um período seco de 10 dias ou mais, no intervalo de tempo (D, D+30], para $D = 1/\text{jan}, 6/\text{jan}, \dots, 27/\text{dez}$, nas zonas homogêneas A, F e R.

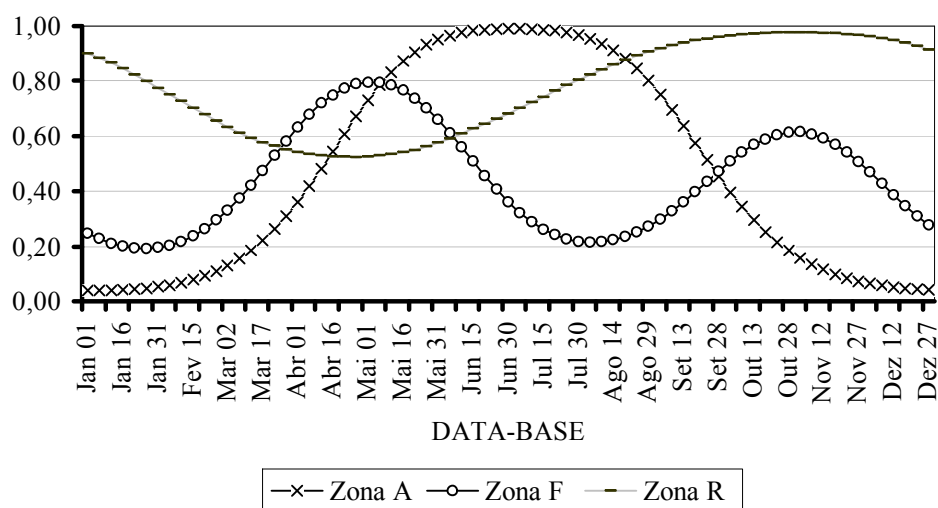


Figura 1. Probabilidades de um período seco de 10 dias ou mais no horizonte de 30 dias a partir de cada Data-Base, segundo as Zonas A, F e R.

Nessa figura, pode-se notar que entre as três zonas homogêneas existe uma grande diferença de comportamento ao longo do tempo das probabilidades estimadas, refletindo diferentes regimes de precipitação pluviométrica.

A Zona A situa-se no Planalto Central brasileiro, abrangendo o norte do Tocantins, parte do sul de Goiás e grande parte do Mato Grosso. Ela está quase toda inserida no ecossistema do Cerrado brasileiro, onde predomina o clima tropical semi-úmido, com freqüentes chuvas no verão e estiagens prolongadas no inverno. A época da seca estende-se de maio até setembro (WOLF, 1977). Assim, conforme se pode observar na Figura 1, se forem considerados períodos de 30 dias a partir de cada data-base, a probabilidade de ocorrência de no mínimo 10 dias secos consecutivos é baixa na estação chuvosa e muito alta na estação seca.

A Zona F está situada em parte do Rio Grande do Sul, em uma região onde predomina o clima Subtropical Úmido e as estações do ano são bem definidas. O regime pluviométrico é bastante regular e as chuvas são bem distribuídas durante todo o ano. Segundo NIMER (1990), das regiões geográficas do Globo, bem regadas por chuvas, o Sul do Brasil é a que apresenta distribuição espacial mais uniforme. Apesar disso, a ocorrência de períodos secos de pequena duração e mesmo de estiagens prolongadas é freqüente no Rio Grande do Sul, com fortes impactos na

produtividade agrícola. Conforme se pode verificar na Figura 1, a probabilidade ocorrência de períodos secos de 10 ou mais dias de duração se eleva bastante no outono, fenômeno conhecido como “veranico de maio” e, com menor intensidade durante a primavera.

A Zona R situa-se na Região Nordeste e abrange o norte da Bahia e grande parte dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, e Sergipe. Essa zona identifica-se com uma região onde predomina o clima Tropical Semi-Árido, com índices pluviométricos muito baixos. O clima é caracterizado por uma estação chuvosa curta e uma estação seca prolongada. A Figura 1 mostra que na Zona R a probabilidade de ocorrência de períodos secos com 10 ou mais dias de duração é muito elevada durante todo o ano, atenuando-se um pouco de abril até junho, época da estação chuvosa.

Observa-se na Figura 1 que as probabilidades $P_{10/D}(30)$, nas três zonas, apresentam uma evolução ao longo do ano de caráter sazonal. Podemos, assim, ajustar essas probabilidades por meio de funções sinusoidais, para permitir obter interpolações referentes a qualquer data-base:

$$f(D) = \alpha + \beta \cos(2\pi D/365) + \gamma \sin(2\pi D/365) + \delta \cos(4\pi D/365) + \varepsilon \sin(4\pi D/365),$$

onde D é a data-base convertida em escala para um dos inteiros da seqüência 1,2, 3, ..., 365. Como essa função é linear em seus parâmetros, utilizou-se o critério dos mínimos quadrados para a estimação dos mesmos (BLOOMFIELD, 1976).

A Tabela 1 apresenta as estimativas dos parâmetros da função ajustante, bem como o valor do coeficiente de determinação.

Tabela 1: Parâmetros das funções ajustantes das probabilidades $P_{10/D}(30)$, por zona homogênea.

Zona	P a r â m e t r o s					$\rho^{2(1)}$
	α	β	γ	δ	ε	
A	0,47097	-0,51954	-0,01800	-0,00164	0,06132	99,15%
F	0,44117	-0,05501	0,06853	-0,13126	-0,21597	99,56%
R	0,77357	0,09963	-0,21130	0,02153	0,01296	99,90%

(1) ρ^2 = Coeficiente de determinação

Deve-se notar na Figura 1, que na época de seca da Zona A, as probabilidades de um período seco atingem o valor 1, acarretando que a função ajustante assumia valores ligeiramente superiores a 1 em várias datas-base daquela época. Nesse caso, sem grande sacrifício da precisão, convém corrigir a função ajustante para $P(D) = \text{Min}[f(D), 1]$.

CONCLUSÕES: O uso da cadeia de Markov de terceira ordem, com probabilidades de transição estimadas em zonas pluviometricamente homogêneas, permite a simulação da ocorrência de seqüências de dias secos consecutivos, possibilitando a estimação das probabilidades de ocorrência de períodos secos em um intervalo de tempo qualquer. A aplicação da metodologia a zonas homogêneas de regimes pluviais bem distintos conduz a perfis diferenciados do comportamento probabilístico da ocorrência de períodos secos ao longo do tempo. A análise dessas probabilidades é de grande utilidade no estudo do seguro rural e no planejamento da atividade agrícola, especialmente para o Zoneamento Agrícola no Brasil e para a identificação de períodos de maior ou menor necessidade de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FRIZZONE, J.A.; SENTELHAS, P.C. Simulação da precipitação diária para Parnaíba e Teresina, PI, em planilha eletrônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.5, p.271-278, 2001.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.J.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.; SIIVA, F.A.M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequências e probabilidades de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 28, P.993-1003, 1993.

ASSIS, F.N. **Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva e de dias secos em Piracicaba-SP e Pelotas-RS**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991, 134 p. Tese de Doutorado.

BLACK, A.J. Aplicação de cadeias markovianas à modelagem da precipitação diária. **Revista de Tecnologia e Ambiente**. Crisiuma, v. 4, p.17-28, 1997.

BLOOMFIELD, P. **Fourier analysis of time series: an introduction**. New York: Wiley, 1976. 258p.

CRUZ, E.S.; CARVALHO, D.F.; CEDDIA, M.B. ; ANTUNES, M.A.H.; AQUINO, R.M. Ocorrências de veranicos no Estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p. 68-79, 2004.

DE CARVALHO, D.F.; DE OLIVEIRA, M.A.A.; SOUSA, S.A.V.; DE CARVALHO, P.O. L. Estimativa de ocorrência de veranicos em Seropédica, Vassouras e Piraí (RJ), e suas influências no rendimento da cultura de feijão. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 23, n.2,p.323-330, 1999.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; DE LIMA, P.R.S., Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 40, n. 4, p. 311-322, 2005.

KELLER FILHO, T.; ZULLO JUNIOR, J.; DE LIMA, P.R.S. Análise da transição entre dias secos e chuvosos por meio da cadeia de Markov de terceira ordem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 41, n. 9, p. 1341-1349, 2006.

NIMER, E. Clima. In: **IBGE: Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, v. 2, p. 151-187, 1990.

ROSSI, J.W. **Introdução às técnicas de amostragem** Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, 1985, 109 p.

SOUSA, S.A.V. **Programa computacional para simulação de ocorrência de veranicos e queda de produção**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1999, 124 p. Tese de Doutorado.

WOLF, J.M. Probabilidade de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa de Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.12, p. 141-150, 1977.