

Cadeia de Markov no preenchimento de falhas de dados diários de precipitação no Rio Grande do Sul

¹ Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra, ¹ Gisele Machado da Silva, ¹ Rita de Cássia Fraga Damé, ² Luiz Carlos Salgueiro Bacelar, ³ Marcia Aparecida Simonete

¹ Universidade Federal de Pelotas, R. Benjamin Constant, Simões Lopes, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil. E-mails: cfteixe@ig.com.br, giselesilva@cavg.ifsul.edu.br, ritah2o@hotmail.com.

² Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Estrada Dr. Altino Bondensan, 500, Coqueiro, CEP 12247-016, São José dos Campos, SP, Brasil. E-mail: luiz.bacelar@cemaden.gov.br

³ Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Me. Benvenuta, 2769-2825, Trindade, CEP 88035-001, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: maapasi@ig.com.br.

Resumo: Uma forma de preencher as falhas de dados de chuva diária e, por consequência, aumentar o tamanho da série é o uso da modelagem Markoviana e de um modelo probabilístico, para a simulação da chuva, nos dias em que esta ocorreu, permitindo, assim, a geração de séries sintéticas. O estudo objetivou o preenchimento de dados faltantes em séries de precipitação diária de estações localizadas nas sete mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul, utilizando a modelagem estocástica Cadeia de Markov homogênea, de dois estados. Para tanto, foram utilizadas 15 estações com falhas, obtidas do banco de dados da Agência Nacional de Águas. Foi considerado dia seco aquele cuja chuva diária foi igual ou inferior a 1,0 mm e, após, calculadas as probabilidades de transição entre os estados seco e chuvoso. Nos dias considerados chuvosos, a lâmina precipitada foi estimada mediante a distribuição Gama de dois parâmetros. Para avaliar se há ou não diferença significativa, em nível α de probabilidade, entre as médias das séries utilizadas para validação e a observada de cada uma das estações, foi utilizado o teste *t* de *Student*. Houve uma variação de 82% nos valores máximos da chuva diária entre a série simulada e a preenchida, para a localidade de Lagoa Vermelha, importante quando o objetivo reside no estudo de chuvas intensas para a estimativa das relações Intensidade-Duração-Frequência. No entanto, a modelagem estocástica, fundamentada na cadeia de Markov de dois estados é uma ferramenta que pode ser aplicada ao preenchimento de falhas, em séries de precipitação diária.

Palavras chave: Modelagem estocástica, Distribuição Gama, Séries sintéticas

Markov chain in completing daily precipitation data gaps in RS

Abstract: One way to fill in the data gaps of daily rain and, therefore, increase the size of the series is the use of Markov modeling and a probabilistic model for simulating rain on days have occurred, thus enabling the generation of synthetic series. The objective this study was to fill in missing data in daily precipitation series of stations located in seven mesoregions of Rio Grande do Sul state, using stochastic modeling homogeneous Markov chain, of two states. Therefore, 15 stations failed were used, obtained from the database of the Agência Nacional de Águas. It was considered dry day one whose daily rainfall was 1.0 mm or less and after, calculated the odds of transition between the dry and wet states. In rainy days considered, hasty depth was estimated by the distribution of two parameters range. To assess if there were significant differences in levels α probability, among the averages of the series used for validation and observed for each of the test stations used was Student t test. There was a variation of 82% in the maximum values of daily rainfall from the simulated series and filled to the town of Lagoa Vermelha, important when the goal lies in the study of heavy rainfall to estimate the relationship Intensity-Duration-Frequency. However, the stochastic modeling, based on Markov chain of two states is a tool can be applied to gap filling, in a series of daily rainfall.

Key words: Stochastic modeling, Gamma distribution, Synthetic series.

Introdução

Os dados de chuva são essenciais para o conhecimento do regime pluvial e climático de uma região, bem como são fundamentais em estudos hidrológicos relacionados, por exemplo, à seca, ao controle de enchentes, à disponibilidade hídrica, para o abastecimento urbano e às atividades relacionadas a agricultura e pecuária, além da geração de energia elétrica (Keller et al., 2006). Pesquisadores têm utilizado os modelos hidrológicos que fazem a transformação chuva-vazão (Kovar, Kadlec, 2009 & Lalozaee et al., 2013), com o intuito de conhecer as informações de vazão, necessárias no dimensionamento de obras hidráulicas, como vertedores, canais de drenagem e estruturas relativas à conservação de solo e água (Damé et al., 2010).

No entanto, nem sempre há a disponibilidade de longas séries de dados diários de chuva, o que dificulta a utilização e exploração plena dos mesmos. Assim sendo, é necessário que sejam utilizadas técnicas matemáticas e estatísticas que permitam explorar as informações existentes, como o uso da modelagem, com o intuito de extensão e previsão das séries, de forma a antecipar os eventos e consequente proteção da população (Clarke & Tucci, 2003).

Srikanthan e McMahon (2001) apresentaram uma revisão sobre o estado da arte de pesquisas acadêmicas e profissionais que utilizam, para a geração estocástica, modelos que consideram as escalas temporais anuais, mensais e diárias. Nesse contexto, um dos modelos, considerado estocástico, é por exemplo, o que utiliza uma cadeia de eventos ligados, onde o que acontece na sequência, depende apenas do estado atual do sistema, denominado cadeia de Markov. A motivação fundamenta-se no fato de que uma das maiores falhas em projetos e na operação dos sistemas hidrológicos está relacionada à quantificação das incertezas, quanto à variabilidade climática.

A aplicação da cadeia de Markov em hidrologia refere-se à simulação das sequências de dias secos e chuvosos, cujos parâmetros são as probabilidades de transição de estados, obtidas a partir da sequência histórica de chuva diária. Uma vez simulada a sequência de dias secos e chuvosos, pode-se utilizar um modelo teórico de probabilidade, como a distribuição

Gama, a Exponencial ou a Pearson III, para conhecer a quantidade precipitada no dia chuvoso (Araújo et al., 2012).

Uma forma de preencher as falhas de chuva diária e, por consequência, estender o tamanho de uma série é o uso da cadeia de Markov e de um modelo probabilístico, que permitam a geração de séries sintéticas (Stern, Coe, 1984 & Mehrotra et al., 2006). Assim, considerando os dados observados (N anos) e aqueles obtidos pelo processo estocástico citado (M anos), obtêm-se uma série mista (N+M anos), que permite o conhecimento, ao longo do tempo, do comportamento da chuva.

Nesse contexto, visando ampliar os estudos referentes às precipitações nas diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul, o presente trabalho tem como objetivo o preenchimento de dados de séries de precipitação diária de 15 estações, utilizando a modelagem estocástica cadeia de Markov, de dois estados.

Material e métodos

O estado do Rio Grande do Sul ocupa uma área de aproximadamente 282.184 km² e localiza-se entre as latitudes 27°05'S e 33°45'S e longitudes 49°43'O e 57°39'O. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima do Estado é do tipo Cfa e Cfb, úmido em todas as estações do ano, verão quente e moderadamente quente. O Cfa predomina na maior parte do Estado e o Cfb encontra-se nas partes mais elevadas da Serra do Nordeste, Planalto e Serra do Sudeste. A temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C, e a do mês mais frio oscila entre 3 e 18 °C (Alvares et al., 2013). A precipitação pluvial anual média é da ordem de 1.540 mm, sendo superior a 1.500 mm na metade norte e inferior a este valor na metade sul.

O presente trabalho foi realizado a partir do levantamento de dados de 15 estações pluviais existentes no banco de dados da Agência Nacional de Águas [ANA] (2013), distribuídas nas sete mesorregiões segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], (2015), no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Na Figura 2 encontra-se a localização das estações pluviais e na Tabela 1, a caracterização das mesmas.

Figura 1 - Divisão do estado do Rio Grande do Sul em sete mesorregiões (IBGE, 2015).

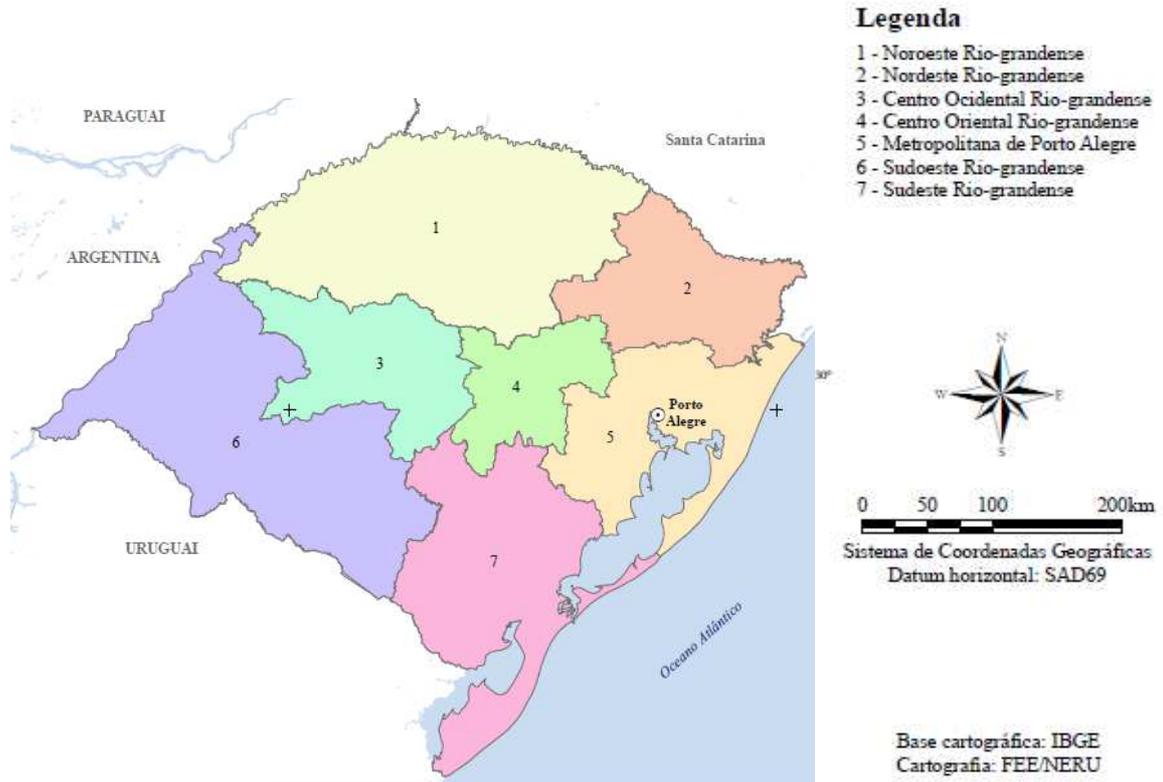


Figura 2 - Localização das 15 estações pluviais nas sete mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul (ANA, 2015).

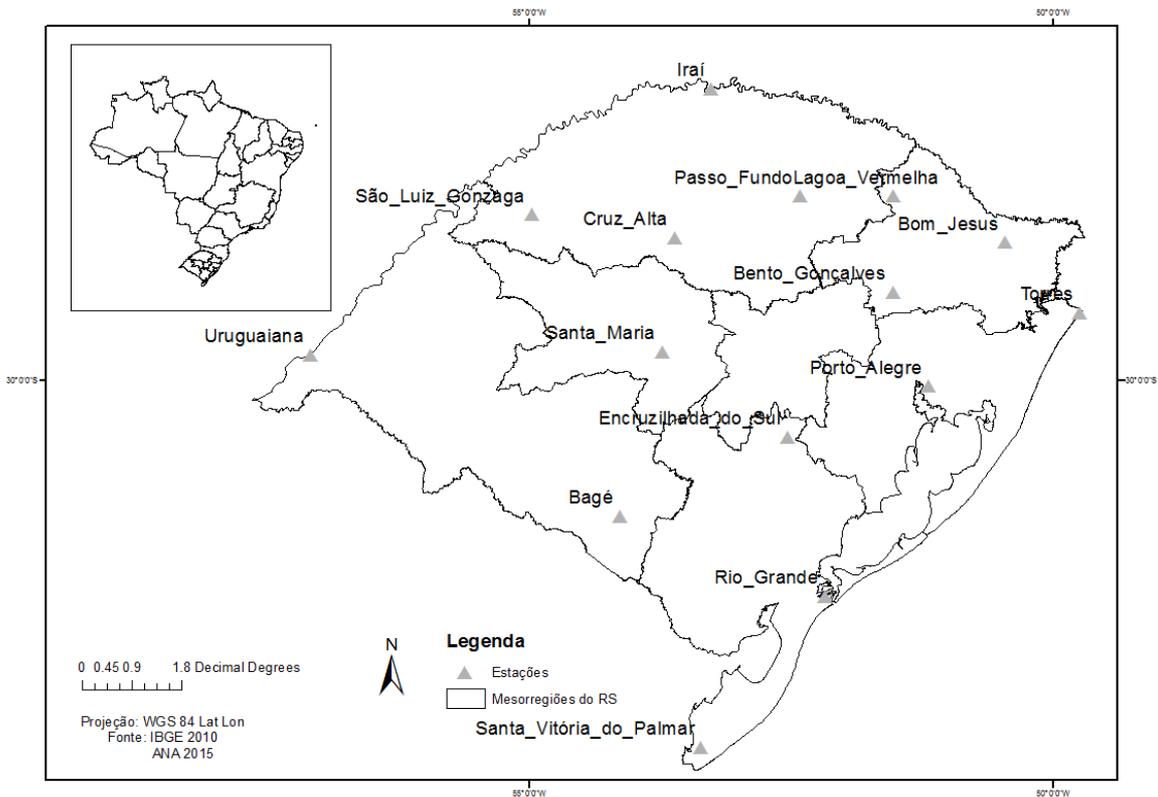


Tabela 1 - Caracterização das 15 estações de precipitação localizadas nas sete mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul.

Mesorregião	Estação	Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Centro Ocidental	2953017	Santa Maria	29°43'27"	53°43'12"	95
Metropolitana	3051011	Porto Alegre	30°03'13"	51°10'24"	47
	2949002	Torres	29°20'41"	49°43'41"	31
	2951003	Bento Gonçalves	29°09'00"	51°31'00"	640
Nordeste	2850001	Bom Jesus	28°40'07"	50°26'31"	1048
	2851014	Lagoa Vermelha	28°13'19"	51°30'45"	842
	2835005	Cruz Alta	28°37'28"	53°36'12"	432
Noroeste	2852020	Passo Fundo	28°13'33"	52°24'12"	684
	2854011	São Luiz Gonzaga	28°24'00"	54°58'00"	245
	2753003	Iraí	27°11'20"	53°15'12"	247
Sudeste	3252020	Rio Grande	32°04'44"	52°10'00"	3
	3353007	S. Vitória do Palmar	33°31'57"	53°20'58"	24
	3052005	Encruzilhada do Sul	30°32'37"	52°31'25"	428
Sudoeste	3154001	Bagé	31°18'17"	54°07'11"	230
	2957001	Uruguaiana	29°45'00"	57°05'00"	62

Analisando as estações obtidas verificou-se que 15 delas apresentavam falhas em seus dados diários, em que as informações dos períodos analisados, nas etapas de modelagem e verificação, encontram-se na Tabela 2. As falhas de dados diários de chuva foram preenchidas, utilizando a modelagem estocástica da cadeia de Markov homogênea de primeira ordem e dois estados (Stern, Coe, 1984, Paiva & Clarke, 1997).

Para modelar a ocorrência de chuvas na bacia, mediante a cadeia de Markov de dois estados – a probabilidade da ocorrência de um dia seco ou chuvoso, depende apenas da condição do dia anterior -, sendo o dia

considerado seco (0) ou chuvoso (1) (Stern & Coe, 1984), considerou-se dia seco aquele cuja chuva diária foi igual ou inferior a 1,0 mm (Dereczynski et al., 2009, Minuzzi & Lopez, 2014). As probabilidades de transição entre os estados seco e chuvoso, P(00), P(11), P(01) e P(10) (Baú et al., 2013), foram determinadas para a série anual, ou seja, foi considerada a estacionariedade anual ao invés da mensal, visto que a finalidade consistiu no preenchimento de falhas diárias e posterior constituição de séries de chuvas máximas diárias anuais.

As equações (1), (2), (3) e (4) foram utilizadas para determinar as matrizes de probabilidades de transição.

$$P00_i = \frac{N00_i}{N00_i + N01_i} \quad (1)$$

161

$$P10_i = \frac{N10_i}{N10_i + N11_i} \quad (2)$$

$$P01_i = 1 - P00_i \quad (3)$$

$$P11_i = 1 - P10_i \quad (4)$$

em que:

P00 - Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior também foi seco;

P10 - Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior foi chuvoso;

P01 - Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi seco;

P11 - Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi chuvoso;

N10 - Frequência observada da sequência de um dia chuvoso seguido por dia seco;

N11 - Frequência observada da sequência de dois dias chuvosos;

N00 - Frequência observada da sequência de dois dias secos;

N01 - Frequência observada de um dia seco seguido por um dia chuvoso;

i - ano.

Após serem estimadas as probabilidades de transição, foram geradas 100 sequências de dias secos/chuvosos para todo o período em que as falhas ocorreram. A partir das sequências geradas, para cada período, foram determinadas as quantidades precipitadas nos dias considerados chuvosos.

A quantidade de chuva foi estimada mediante a distribuição Gama de dois parâmetros (Detzel & Mine, 2011), sendo a função cumulativa de probabilidade:

$$F(X) = P(X \leq x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)\beta^\gamma} \int_0^x X^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (5)$$

em que:

β e γ - parâmetros da distribuição, estimados com base no método dos Momentos (equações 6 e

7);

$\Gamma(\gamma)$ - função Gama.

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{X}} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{\bar{X}^2}{s^2} \quad (7)$$

em que:

\bar{X} - média observada de precipitação dos dias com chuva (mm);

s^2 - variância observada.

Uma vez aplicada a metodologia supracitada, foi necessário avaliar se há ou não diferença significativa, em nível α de probabilidade, entre as médias das séries utilizadas para validação e a observada de cada

uma das estações (Tabela 2). Para tanto, foi utilizado o teste “t” de *Student*, com n-k graus de liberdade. A partir do teste “t”, foi testada a hipótese de nulidade (H_0), ou seja, se a estatística calculada do teste for inferior aos valores de “t” tabelado, para um nível de probabilidade $(1-\alpha)$,

sendo $\alpha = 5\%$, aceita-se H_0 e entende-se que não há diferença significativa entre as médias utilizadas no processo de validação pela modelagem Markoviana.

Tabela 2 - Períodos utilizados para o preenchimento de falhas das chuvas diárias das 15 estações utilizadas no estado do Rio Grande do Sul.

Nome da Estação	Período de Calibração	Período de Validação
Bagé	01/01/1992 a 31/12/2000	01/01/1963 a 31/12/1973
Bento Gonçalves	01/01/1974 a 31/12/1977	01/01/1994 a 31/12/1997
Bom Jesus	01/01/1969 a 31/12/1978	01/01/1996 a 31/12/2000
Cruz Alta	01/01/1996 a 31/12/2000	01/01/1992 a 31/12/1993
Encruzilhada do Sul	01/01/1970 a 31/12/1978	01/01/1996 a 31/12/2000
Iraí	01/01/1992 a 31/12/1999	01/01/1975 a 31/12/1978
Lagoa Vermelha	01/01/1962 a 31/12/1969	01/01/1975 a 31/12/1978
Passo Fundo	01/01/1992 a 31/12/1999	01/01/1975 a 31/12/1978
Porto Alegre	01/01/1991 a 31/12/2000	01/01/1962 a 31/12/1966
Rio Grande	01/01/1972 a 31/12/1978	01/01/1992 a 31/12/1995
Santa Maria	01/01/1992 a 31/12/2000	01/01/1972 a 31/12/1976
Santa Vitória do Palmar	01/01/1993 a 31/12/1998	01/01/1975 a 31/12/1978
São Luiz Gonzaga	01/01/1993 a 31/12/2000	01/01/1975 a 31/12/1978
Torres	01/01/1974 a 31/12/1978	01/01/1992 a 31/12/1993
Uruguaiana	01/01/1993 a 31/12/1999	01/01/1975 a 31/12/1976

Resultados e discussão

Na Tabela 3 são apresentados os valores das probabilidades de transição $P(00)$, $P(11)$, $P(01)$ e $P(10)$ obtidos a partir da modelagem Markoviana, utilizados na simulação das sequências de dias secos/chuvosos, bem como os parâmetros de forma (β) e de escala (γ) da distribuição Gama, para as 15 estações do estado do Rio Grande do Sul, com falhas em seus dados diários. Observa-se que o menor e o maior valor

da probabilidade de transição $P(00)$ foi encontrada para os municípios de Iraí e Uruguaiana, 0,6345 e 0,8250, respectivamente, com uma variação de 30%. Por conseqüências, para a probabilidade de transição de estados $P(11)$, os valores variaram de 0,4031 a 0,6497 (61%), também para as localidades de Uruguaiana e Iraí, respectivamente. Como as probabilidades $P(01)$ e $P(10)$ são complementares, o comportamento é similar para ambas as localidades.

Tabela 3 - Probabilidades de transição P(00), P(11), P(01) e P(10) e os valores dos parâmetros β e γ da distribuição Gama, das séries de chuva de 15 estações para o estado do Rio Grande do Sul, no período de 1961 a 2002.

Estação	Probabilidade de Transição				Parâmetro	
	P(00)*	P(11)	P(01)	P(10)	β	γ
Bagé	0,7835	0,5308	0,2165	0,4692	1,83	4,91
Bento Gonçalves	0,7330	0,5302	0,2670	0,4698	1,69	6,51
Bom Jesus	0,7496	0,5261	0,2504	0,4739	1,42	5,34
Cruz Alta	0,7435	0,5197	0,2565	0,4803	0,55	9,92
Encruzilhada do Sul	0,7438	0,5464	0,2562	0,4536	1,62	4,12
Iraí	0,6345	0,6497	0,3655	0,3503	2,33	8,00
Lagoa Vermelha	0,7798	0,4745	0,2202	0,5255	1,59	4,45
Passo Fundo	0,7231	0,5619	0,2769	0,4381	2,17	6,00
Porto Alegre	0,7272	0,5487	0,2728	0,4513	1,45	3,98
Rio Grande	0,6961	0,5336	0,3039	0,4664	1,56	4,36
Santa Maria	0,7313	0,5253	0,2687	0,4747	1,65	5,61
Santa Vitória do Palmar	0,7362	0,5384	0,2638	0,4616	1,46	3,40
São Luiz Gonzaga	0,7508	0,5244	0,2492	0,4756	1,97	5,49
Torres	0,7133	0,5421	0,2867	0,4579	1,26	3,31
Uruguaiana	0,8250	0,4031	0,1750	0,5969	2,11	7,99

*P00: probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior também foi seco; P01: probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi seco; P11: probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi chuvoso e; P10: probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior foi chuvoso; β : parâmetro de forma; γ : parâmetro de escala da distribuição Gama.

Breinl et al. (2013) aplicaram um modelo de precipitação diária fundamentado na cadeia de Markov, utilizando para a validação do mesmo, entre outros parâmetros estatísticos, as probabilidades de transição de estados. Os autores verificaram que os resultados de P(00), de maneira geral, foram satisfatórios, podendo ser utilizados na simulação dos eventos, corroborando com os resultados do presente trabalho.

Os parâmetros de forma (β) e de escala (γ) da distribuição Gama, utilizados na obtenção da lâmina diária precipitada, variaram de 0,55 (Cruz

Alta) a 2,33 (Iraí); e 3,31 a 9,92, para as localidades de Torres e Cruz Alta, respectivamente. Com o objetivo de simular a precipitação pluvial diária para as regiões de Parnaíba e Teresina/PI, mediante o processo de simulação baseado no método de Monte Carlo, Andrade et al. (2001) utilizaram as funções de distribuição de probabilidades Gama e empírica. Os autores observaram que o melhor ajuste dos dados de Parnaíba foi obtido ao utilizar a distribuição Gama, para quantificar a chuva nos dias em que esta ocorreu. Em Teresina, contrariamente ao esperado, não ocorreu um bom

ajuste dos dados à função de distribuição Gama, no período compreendido pela estação chuvosa.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das estatísticas descritivas, média (mm), desvio padrão (mm, DP), coeficiente de variação (%), CV) e valor máximo (mm), para as séries de precipitação diária simulada e preenchida pela cadeia de Markov e a estatística (t_{calc}) do teste t, aplicado às séries utilizadas para validação da modelagem. Comparando-se as estatísticas descritivas, observa-se que de maneira geral não houve alteração das séries simulada e preenchida. Um dos pressupostos da modelagem estocástica é a preservação das características estatísticas da série histórica ou observada, em relação à gerada ou simulada (Back et al., 2011), cujos resultados obtidos atendem ao referido pressuposto. No entanto, quando são comparados os valores máximos da chuva diária verifica-se que os mesmos variaram de 91 mm (série simulada) a 166 mm (série preenchida), totalizando uma variação de 82%,

para o município de Lagoa Vermelha. A importância destes resultados reside no fato de que os valores máximos de chuva diária podem ser utilizados, por exemplo, para avaliar o comportamento das chuvas intensas, na estimativa das relações Intensidade-Duração-Frequência, de uma determinada localidade (Teixeira et al., 2011).

Observa-se que quando é aplicado o teste “t” de *Student* entre os valores de chuva diária observados e simulados, considerando o período destinado à etapa de validação, a hipótese de nulidade foi aceita, visto que não houve diferença significativa, a 5% de probabilidade, entre as médias das séries. Os resultados obtidos podem ser expressos pela sentença: “a variação entre os valores médios das séries de precipitação diária observada e preenchida, mediante a modelagem estocástica, utilizando a cadeia de Markov, não foi significativa, ou seja, a técnica citada pode ser utilizada para o preenchimento de dados diários de precipitação”.

Tabela 4 - Resultados das estatísticas descritivas para as séries de precipitação diária simulada e preenchida pela cadeia de Markov e estatística do teste “t”, para 15 localidades do estado do Rio Grande do Sul.

Série Simulada				Série Preenchida				t_{calc}
Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	
Bagé								
1,00	6,29	62,9	143	1,21	5,99	49,5	181	6.10^{-41}
Bento Gonçalves								
2,07	8,35	40,3	90	2,23	7,24	32,4	132	2.10^{-25}
Bom Jesus								
1,66	6,85	41,2	77	1,74	5,92	33,9	133	4.10^{-6}
Cruz Alta								
5,18	12,73	24,6	104	4,00	11,04	27,6	142	6.10^{-28}

DP= desvio padrão (mm); CV= coeficiente de variação (%); $t_{tab (5\%)}=1,96$; Probabilidade= 5%.

Tabela 4 - Resultados das estatísticas descritivas para as séries de precipitação diária simulada e preenchida pela cadeia de Markov e estatística do teste “t”, para 15 localidades do estado do Rio Grande do Sul. Continuação.

Série Simulada				Série Preenchida				t _{calc}
Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	
Encruzilhada do Sul								
4,33	11,75	27,1	134	3,92	10,68	27,3	184	1.10 ⁻⁴⁹
Iraí								
6,20	14,95	24,1	165	4,76	12,28	25,8	200	2.10 ⁻³⁹
Lagoa Vermelha								
0,98	5,71	58,1	91	1,41	5,17	36,7	166	5.10 ⁻⁵
Passo Fundo								
1,29	7,69	59,4	174	1,79	6,80	38,0	174	2.10 ⁻³¹
Porto Alegre								
0,85	5,10	60,0	93	0,92	4,68	50,9	95	1.10 ⁻¹⁸
Rio Grande								
3,64	10,96	30,1	157	3,27	9,42	28,8	194	8.10 ⁻³⁷
Santa Maria								
5,12	13,19	25,8	137	4,07	11,47	28,2	184	1.10 ⁻⁵³
Santa Vitória do Palmar								
3,52	11,36	32,3	168	3,52	9,98	28,3	168	3.10 ⁻³⁴
São Luiz Gonzaga								
1,20	7,05	58,6	103	1,40	6,20	44,4	113	3.10 ⁻²²
Torres								
3,73	9,61	25,8	118	3,40	9,45	28,0	182	3.10 ⁻²⁴
Uruguaiana								
2,50	10,25	41,0	164	3,86	12,13	31,4	183	2.10 ⁻³

DP= desvio padrão (mm); CV= coeficiente de variação (%); t_{tab (5%)}=1,96; Probabilidade= 5%.

Conclusão

A modelagem estocástica, fundamentada na cadeia de Markov de dois estados – a probabilidade da ocorrência de um dia seco ou chuvoso, depende apenas da condição do dia anterior, é uma ferramenta que pode ser aplicada no preenchimento de dados faltantes, em séries de precipitação diária para o estado do Rio Grande do Sul.

Referências

- Agência Nacional de Águas (2013). *Sistema de informações hidrológicas (HidroWeb)*. Recuperado em 26 abril, 2013, de <http://hidroweb.ana.gov.br/>.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G.(2013). *Köppen's climate classification map for Brazil* (pp.1-13). Meteorologisch e Zeitschrift, FastTrack.
- Andrade Jr., A. S., Frizzone, J. A., & Sentelhas, P. C. (2001). Simulação da precipitação diária para Parnaíba e Teresina, PI, em planilha eletrônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 5 (2), 271-278.
- Araújo, W. S., Sousa, F. A. S., Brito, J. I. B., & Lima, L. M. (2012). Aplicação do modelo estocástico Cadeia de Markov a dados diários de precipitação dos Estados da Bahia e Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, 5 (3), 509-523.
- Back, A. J., Uggioni, E., & Vieira, H. J. (2011). Modelagem da precipitação de curta duração por meio do modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis Modificado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, 26 (3), 461-472.
- Baú, A. L., Azevedo, C. A. V., & Bresolin, A. A.(2013). Modelagem da precipitação pluvial diária intra-anual da Bacia Hidrográfica Paraná III associada aos eventos ENOS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 17 (8), 883–891.
- Breini, K., Turkington, T., & Stowasser, M. (2013). Stochastic generation of multi-site daily precipitation for applications in risk management. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 498, 23-35.
- Clarke, R. T., & Tucci, C. E. M. (2003). Regionalização hidrológica. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas (pp.169-222). Porto Alegre: UFRGS.
- Damé, R. C. F., Teixeira, C. F. A., Terra, V. S. S., & Rosskoff, J. L. C. (2010). Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 14 (1), 46-54.
- Dereczynski, C. P., Oliveira, J. S., & Machado, C. O. (2009). Climatologia da precipitação no Município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, 24 (1), 24-38.
- Detzel, D. H. M., & Mine, M. R. M. (2011). Modelagem de quantidades precipitadas em escala diária: uma análise comparativa. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 16 (2), 101-110.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). Recuperado de <http://mapas.fee.tche.br/wp-content/uploads/2011/11/Mesorregioes.pdf>.
- Keller Filho, T., Zullo Jr., J., & Lima, P. R. S. R. (2006). Análise da transição entre dias secos e chuvosos por meio da cadeia de Markov de terceira ordem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 41 (9), 1341-1349.
- Kovář, P., & Kadlec, V. (2009). Use of the KINFIL Rainfall-Runoff Model on the Hukava Catchment. *Soil & Water Resources*, 4 (1), 1-9.
- Lalozaee, A., Pahlavanravi, A., Bahreini, F., Ebrahimi, H., & Ezadih, I.(2013). Efficiency comparison of IHACRES model and artificial neural networks (ANN) in rainfall-runoff process simulation Inkameh watershed (a case study in Khorasan Province, NE Iran). *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 3 (4), 900-907.
- Mehrotra, R., Srikanthan, R., & Sharma, A. (2006). A comparison of three stochastic multi-site

precipitation occurrence generators. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 331, 280-292.

Minuzzi, R. B., & Lopez, F. Z. (2014). Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 30 (3), 697-706.

Paiva, E.M.C.D., & Clarke, R.T. (1997). Modelagem estocástica da precipitação na Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 2 (2), 157-171.

Srikanthan, R., & McMahon, T.A. (2001). Stochastic generation of annual, monthly and daily climate data: A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, Germany, 5 (4), 653-670.

Stern, R.D., & Coe, R. (1984). A model fitting analysis of daily rainfall data. *Journal of the Royal Statistical Society*, London, 147 (1), 1-34.

Teixeira, C.F.A., Damé, R.C.F., & Rosskoff, J.L.C. (2011). Intensity-duration-frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas - RS, Brazil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 31 (4), 687-694.

Recebido em: 27/05/2015

Aceito em: 06/03/2017