

ESTUDO ESTATÍSTICO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO JACU NO SERTÃO DO PAJEU – PE

Manoel Rivelino Gomes de OLIVEIRA¹
José Ramon Barros CANTALICE¹
Tiago Alessandro Espínola FERREIRA¹
Moacyr Cunha FILHO¹
David Venancio da CRUZ¹
Ana Patrícia Siqueira Tavares FALCÃO²

- RESUMO: O coeficiente de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica é um integrador complexo das relações naturais entre o tipo climático, solo e vegetação. Portanto é um conceito chave para caracterização da vazão e o aproveitamento superficial da água e proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. Dessa forma, a busca de um ajuste da série do coeficiente de escoamento superficial (C) da bacia hidrográfica do riacho Jacu no município de Serra Talhada-PE é justificado pelo fato de um alto índice de produção de sedimentos e baixa cobertura vegetal. Um modelo não-linear séries temporais *GARCH*, pode auxiliar no entendimento do ecossistema semiárido. Para tal foram utilizados dados de escoamento superficial e precipitação pluviométrica, coletados em estação automática de registro de nível e vazão. A análise, dos resultados obtidos revelou que o modelo *GARCH* ajustado aos resíduos de um modelo *ARMA*, torna-se mais poderoso para representar adequadamente a heteroscedasticidade condicional da série temporal hidrológica do semiárido brasileiro.
- PALAVRAS-CHAVE: Modelo de séries temporais; modelo *GARCH*; vazão.

1 Introdução

O mundo vem enfrentando a décadas problemas relacionados ao o uso de recursos naturais de água e solo (BLANCO et al., 2012). Os rios e reservatórios de água em geral são um dos maiores bens da humanidade, pelo fato de fornecer água para o consumo humano, para irrigações usadas na produção de alimentos, consumo dos animais, uso nas grandes indústrias (D'ODORICO et al., 2014), fonte de pesca, produção de energia elétrica e ainda como meio de transporte, dentre outras utilidades dos recursos hídricos.

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, CEP: 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: rivelino_gomes@hotmail.com; cantalic@terra.com.br; taefirst@gmail.com; moacyr@deinfo.ufrpe.br; davidvenacio@hotmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Pró-Reitora de Pesquisa e Inovação, CEP: 55602-970, Vitória de Santo Antão, Pernambuco. Brasil, E-mail: apstfalcao@hotmail.com

Para ter sucesso na gestão dos recursos naturais e, especificamente dos recursos hídricos é necessário coletas frequentes de dados e estudos interpretativos com o objetivo de conhecer as características das vazões, escoamento e sazonalidade dos rios que ocorrem em função do regime pluviométrico de cada bacia hidrográfica (MOULAI et al., 2013).

Outro aspecto fundamental da questão hidrológica é o desequilíbrio provocado pelos eventos extremos, como as secas (HANIF et al., 2013), que trazem enormes problemas a imensa população do semiárido brasileiro e a outras populações do mundo. As regiões semiáridas do Nordeste brasileiro são caracterizadas por um regime pluviométrico concentrado durante os meses de fevereiro a maio, bem como outras regiões semiáridas do mundo com uma elevada variabilidade interanual, da qual se originam as recorrentes secas sobre a região (CHARGUI et al., 2013). O coeficiente de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado (FRANCHINI et al., 2005).

O coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica é influenciado pela precipitação pluviométrico, cobertura vegetal, tipo de solo, e infiltração da água no solo desta bacia, o que esta em conformidade com Ponce (1989).

Os fenômenos naturais presentes no semiárido, isto é, a precipitação e o coeficiente de escoamento superficial podem ser explicados através de dados organizados sequencialmente no tempo, essa sequência de dados de precipitação e do coeficiente de escoamento superficial por serem observadas ao longo do tempo, ou seja, ordenada sobre um índice cronológico, é chamada de séries temporais. O objetivo de modelar séries temporais está associado ao entendimento do seu padrão de comportamento, descrição e prever estes fenômenos naturais.

Existem diversas maneiras de saber qual modelo se ajusta melhor a determinados fenômenos naturais, para sua melhor previsão. Entre elas temos o erro de previsão, erro quadrático médio (*MSE*), erro percentual absoluto médio (*MAPE*), Critério de Informação de Akaike (*AIC*) e Critério de Informação Bayesiana (*BIC*) (MORETTIN, 2004).

A abordagem de modelagem de Box-Jenkins para modelos univariados de séries temporais mais comumente conhecido como *ARIMA* (auto-regressivo de média móvel integrada) consiste em extrair os movimentos previsíveis, tendências e correlações de séries de dados observados até uma sequência de ruídos brancos ou choques permanentes. Isto é feito através da decomposição da série temporal em vários componentes, auto-regressivo (*AR*), a integração (*I*: diferença) e (*MA*) que são os operadores, médias móveis (SHARMA et al., 2009). Entretanto, uma parcela bastante considerável das séries relacionadas a fenômenos naturais, entre eles, a precipitação e o coeficiente de escoamento superficial em um ambiente semiárido apresentam heteroscedasticidade condicional (variabilidade), isto é, modelos não-lineares em relação a variância.

A literatura apresenta uma grande variedade de modelos não lineares existentes. Este trabalho se concentra apenas na classe de modelos *ARCH* (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) e *GARCH* (Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity), introduzida por Engle (1982).

Assim, o objetivo do trabalho foi ajustar um modelo *GARCH* que é um modelo não-linear de séries temporais, ao coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu. Portanto, como se trata de um fenômeno climático-hidrológico dependente da precipitação, que no ambiente semiárido ocorre de forma irregular, isto é, precipita em aproximadamente três meses do ano e faz estiagem nos outros nove meses,

proporcionando larga variabilidade no coeficiente de escoamento superficial. Comumente estas variações tem comportamento condicional, isto é, a variação de hoje depende da variação de ontem, e assim, sucessivamente.

2 Material e métodos

2.1 Descrição da área de estudo e dos dados analisados

A bacia hidrográfica do riacho Jacu localiza-se na Microrregião do Pajeú, ambiente semiárido do estado de Pernambuco, a bacia possui uma área de 2,10 Km², perímetro de 6,50 Km e comprimento do canal principal de 2,66 Km. O acesso se dá pela rodovia estadual PE 390 - Km 20, na região da serra da Lagartixa, pertencente ao limite municipal entre as cidades de Serra Talhada e Floresta, com coordenadas geográficas 38°14'39.3" de longitude Oeste e 08°00'15.9" de latitude sul (Figura 1).

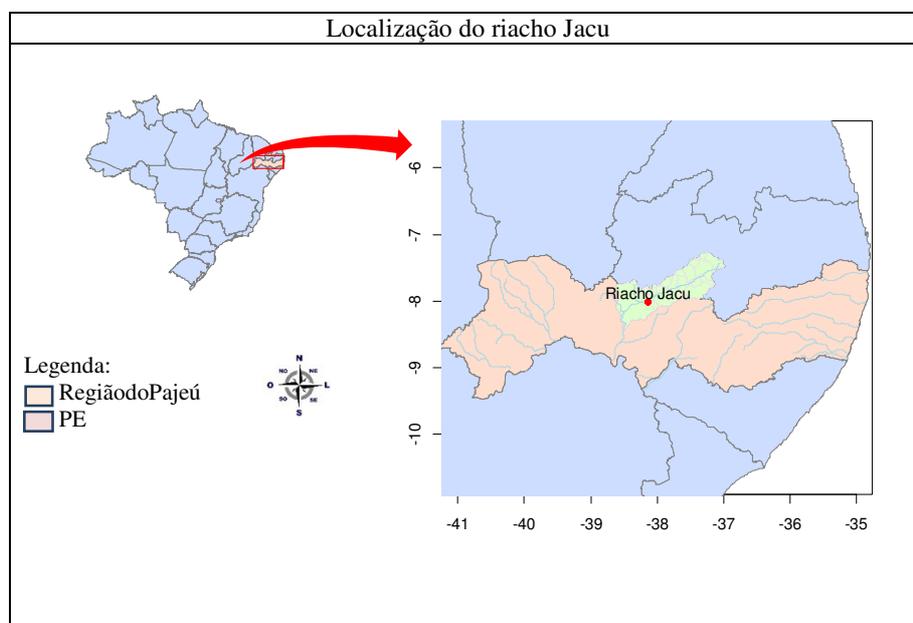


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do riacho Jacu.

De acordo com Köppen o clima da região é do tipo Bwh, denominado semiárido, quente e seco, com chuvas de verão e outono com pluviosidade média de 647 mm ano⁻¹ para o período de 1912 a 1991 (SUDENE, 1990) e temperatura média anual superior a 25°C.

Na bacia hidrográfica do riacho Jacu ocorrem solos jovens, pouco evoluídos em função do pouco intemperismo ocasionado pela reduzida precipitação pluviométrica, como os Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos levantados por Melo (2008) e Cambissolos Háplico levantado por Piscocya (2012).

Os dados pluviográficos e hidrológicos da bacia hidrográfica do riacho Jacu foram coletados a partir de uma estação automática de registro de dados hidrológicos e fluviométricos. A estação constitui-se de um sensor de nível e vazão (Linígrafo), no qual o sensor foi colocado no leito do riacho, em sua seção de controle, para conhecimento dos regimes de nível e vazão, e de um pluviógrafo para registro dos valores de precipitação e de sua duração.

Os dados coletados por esses instrumentos são registrados automaticamente em um Data Logger (modelo SL2000MIM) que também compõe a estação e que é alimentado eletricamente por uma célula fotoelétrica e bateria auxiliar de 12 volts. O coeficiente de escoamento superficial da bacia foi determinado pela relação da precipitação com a vazão correspondente observada. Os dados utilizados neste trabalho referem-se ao período 01 de janeiro de 2008 a 31 de julho de 2011.

Os dados de precipitação e vazão foram registrados a cada dez minutos no próprio Data Logger e posteriormente salvos em planilha do Microsoft Office Excel onde foram tratados e em seguida importados para o software estatístico *R* em sua versão 3.0.0 (<http://www.r-project.org>) com a utilização dos pacotes *tseries* e *fgarch*. Os dados foram modelados por um modelo *GARCH* não-linear de séries temporais para verificar o comportamento da precipitação e do coeficiente de escoamento superficial no período de 2008 a 2011.

2.2 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial foi determinado pela relação entre a taxa de escoamento superficial (Q - mm h^{-1}), e a intensidade de precipitação (IA - mm h^{-1}). A intensidade de precipitação foi calculada por um pluviógrafo para registro dos valores de precipitação e de sua duração. Os valores do coeficiente de escoamento superficial (C) foram calculados pela equação 1:

$$C = \frac{Q}{IA} \quad (1)$$

em que: C é o coeficiente de escoamento superficial adimensional; Q é o volume de escoamento superficial da bacia; I intensidade da chuva na bacia e A área da bacia.

2.3 Modelos de séries temporais

2.3.1 Modelos *ARIMA*

De acordo com Follador (2010), o modelo *ARIMA* é uma generalização do modelo auto-regressivo de média móvel (*ARMA*). A apresentação *ARIMA*(p , d , q) refere-se, respectivamente, as ordens de auto regressão, de integração e de média móvel: p é o operador de autorregressivo, d é o número de diferenças, q é o número de termos da média móvel. A escolha do modelo adequado será feito mediante ao Critério de Informação Bayesiana (*BIC*).

2.3.2 Modelos *GARCH*

A análise de séries temporais Box et al. (1994) foi empregada para avaliar e estudar o comportamento do coeficiente de escoamento superficial para determinação da variabilidade temporal por meio do ajuste a um modelo não-linear de series temporais *GARCH* (p, q) *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*.

Segundo este modelo considera-se que a variância do processo de erro não está relacionada, apenas com os quadrados dos valores passados da série, mas também com as variâncias condicionadas de acordo com a equação 2.

$$X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (2)$$

Estes modelos apresentam uma variância condicional aleatória e é através de seu estudo que é possível estimar e efetuar previsões a cerca da variabilidade, motivo pelo qual esta classe de modelos não-lineares heterocedástico tem grande destaque e aplicação na análise de séries temporais que apresentam uma grande variabilidade ao longo do tempo, sendo obtida pela equação 3.

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j} \quad (3)$$

em que : X_t é a estimativa do modelo; ε_t é um ruído branco normalmente distribuído, isto é $N(0,1)$; h_t é a variância condicional em função do tempo $\alpha_0, \alpha_i, \beta_j$, são os parâmetros do modelo.

A seleção de um modelo *GARCH* (p, q), se da pelo Critério de Informação Bayesiana (*BIC*) que é um método que exclui parâmetros nos modelos, procurando alcançar o modelo mais parcimonioso possível. Akaike (1977), Rissanem (1978) e Schwarz (1978), propõem minimizar a seguinte equação 4.

$$BIC(k, l) = \ln \hat{\sigma}_{k,l}^2 + (k + l) \frac{\ln N}{N} \quad (4)$$

em que: $\hat{\sigma}_{k,l}^2$ é o estimador de máxima verossimilhança da variância residual do modelo *ARMA*(k, l), modelo este que é definido de acordo com a equação 5.

$$z_t = \phi_1 + z_{t-1} + \phi_2 + z_{t-2} + \dots + \phi_k + z_{t-k} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_l a_{t-l} \quad (5)$$

em que: z_t é um processo *auto regressivo médias-móveis* de ordens k e l , respectivamente, e parâmetros ϕ 's e θ 's, ou abreviadamente *ARMA*(k, l).

Uma forte consistência dos valores k e l encontradas com a minimização do *BIC* é mostrada por (HANNAN, 1980, 1982).

3 Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os principais parâmetros estatísticos e suas estimativas para os dados do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu.

Tabela 1 - Estatísticas do coeficiente de escoamento superficial e da Precipitação da bacia hidrográfica do riacho Jacu no período de 2008-2011

Série	Coeficiente de Escoamento Superficial				Precipitação			
	\bar{X}	σ	Máx.	Mín.	\bar{X}	σ	Máx.	Mín.
2008	0,00029	0,00245	0,0392	0	1,341	5,064	43,620	0
2009	0,00013	0,00157	0,0283	0	1,600	5,140	37,620	0
2010	0,00016	0,00137	0,0196	0	1,054	5,826	66,060	0
2011	0,00012	0,00078	0,0081	0	2,378	6,520	41,700	0
2008-2011	0,00018	0,00173	0,0392	0	1,501	5,570	66,060	0

Máx. - Máximo, Mín. - Mínimo.

Verifica-se que o valor da média do coeficiente de escoamento superficial (Tabela 1) varia de ano para ano, uma vez que os valores do coeficiente de escoamento é função da precipitação e tendo média mais baixa para o ano de 2011 uma vez que neste ano o coeficiente de escoamento superficial e a precipitação foram mensurados até o mês de julho e nos anos anteriores estas séries foram mensuradas nos doze meses. Observa-se ainda que os valores da variância e valores máximos e mínimos (Tabela 1) são baixos e não variam muito de ano para ano, trata-se de uma resposta direta da baixa precipitação ocorrida anualmente na bacia hidrográfica do riacho Jacu que é uma região semiárida do sertão do estado de Pernambuco.

O coeficiente de escoamento superficial (C) como observado na (Tabela 1) é representado para cada ano por suas respectivas médias, onde verifica-se que o ano de 2008 apresentou o maior índice do coeficiente de escoamento superficial. Por outro lado o menor índice apresentado para o coeficiente de escoamento superficial ocorreu no ano de 2011 com média de 0,00012. Certificou-se ainda que a maior média de precipitação ocorreu no ano de 2011 devido este fenômenos ter sido mensurado apenas nos sete primeiros meses deste ano que correspondem a temporada de chuvas na região semiárida. O maior evento de precipitação apresentado na (Tabela 1), ocorreu no ano de 2010 e corresponde a uma chuva de aproximadamente $66,1 \text{ mm h}^{-1}$, observado na (Figura 2).

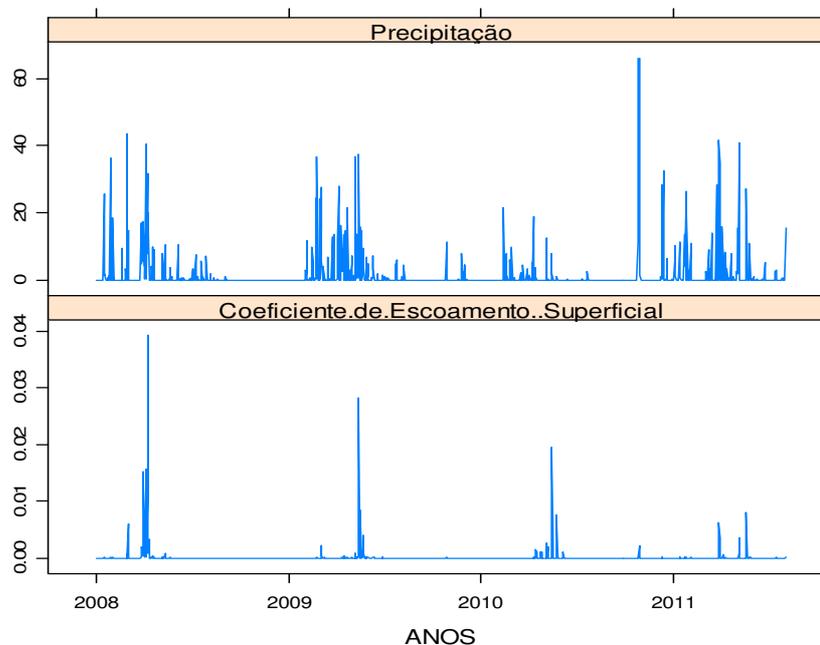


Figura 2 - Observações da série do coeficiente de escoamento superficial (C) e da precipitação do Jacu ao longo do tempo.

Como se percebe os valores do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu apresenta um padrão de distribuição bem aproximado ao padrão das chuvas, em picos simples, que precipitam na bacia hidrográfica do riacho Jacu (Figura 2), só que em uma menor quantidade de picos.

Como se observa na (Figura 2) a série apresenta variância não constante, isto é, existe uma variância condicional ao longo do tempo, o que sugere o ajuste da série a um modelo não linear de series temporais *GARCH* (p,q).

As análises da série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu indicam a existência de um comportamento do tipo *ARIMA* sem integração (*ARMA*), pois as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial (Figura 3) apresentam um “corte” ou decaimento abrupto após as primeiras defasagens, isto é, um decaimento exponencial abrupto após o *lag* 9 na função de auto correlação e decaimento exponencial em ondas senoidal na função de auto correlação parcial seguidos por cortes respectivamente.

Dado o comportamento apresentado nas funções de auto correlação e autocorrelação parcial (Figura 3) foi aplicado o procedimento de Box-Jenkins (BOX et al, 1994) na tentativa de modelagem da série a um modelo *ARMA*(p,q). No entanto devido a grande variabilidade da variância (ou heteroscedasticidade) bem como evidências mostradas pelo teste de Box-Pierce (MORETTIN & TOLOI., 2006) o modelo *ARMA*(p, q) não modelou

bem esta série, conseqüentemente foi aplicada a modelagem com o modelo não-linear $GARCH(p, q)$.

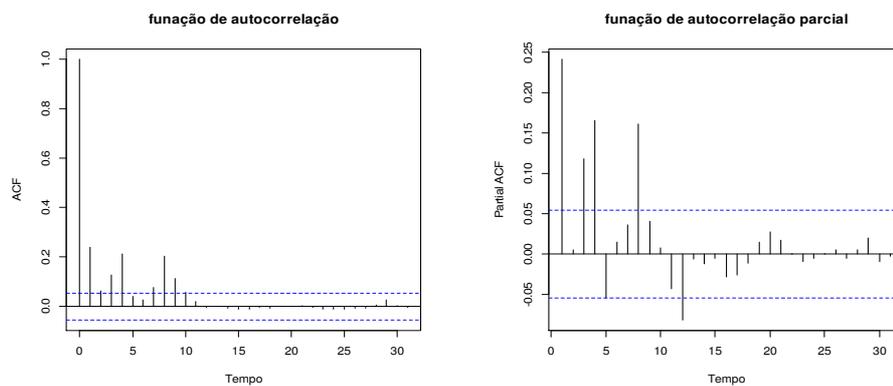


Figura 3 - Funções de autocorrelação e autocorrelação parcial do coeficiente de escoamento superficial da bacia do riacho Jacu.

A série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu foi novamente analisada. Dessa vez foi testado um ajuste a um modelo $GARCH$. Os procedimentos para o ajuste de um modelo $GARCH$ (MORETTIN & TOLOI., 2006) objetivou verificar o quadrado dos resíduos do modelo $ARIMA$ que apresentou heteroscedasticidade, verificada pela função de autocorrelação e autocorrelação parcial dos quadrados dos resíduos.

Desta forma a série do quadrado dos resíduos do modelo $ARIMA$, tem função de autocorrelação que mostra heteroscedasticidade e a função de autocorrelação parcial (Figura 3), do quadrado dos resíduos sugeriu um modelo $GARCH$, visto que existe “lags” significativos.

No geral não é fácil a identificação da ordem de um modelo $GARCH$. Na literatura é recomendado o uso de modelos de ordem baixa (MORETTIN, 2004), tais como $GARCH(1,1)$, $GARCH(1,2)$, $GARCH(2,1)$ e $GARCH(2,2)$ e sua escolha deve ser baseada em outros critérios, entre eles, o de Informação Bayesiana BIC (MORETTIN & TOLOI., 2006).

A ordem do modelo mais adequado a série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu foi selecionado com o auxílio dos valores de BIC apresentados na Tabela 2, entre os modelos $GARCH(p,q)$, $p, q=1, 2, 3$, por observa-se três coeficientes significativos nos primeiros “lags” das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial dos quadrados dos resíduos do modelo $ARIMA$ (Figura 4.a e 4.b).

Tabela 2 - Valores do BIC de modelos $GARCH(p,q)$, $p, q = 1, 2, 3$, ajustados ao coeficiente de escoamento do Jacu

Modelo	BIC	Modelo	BIC	Modelo	BIC
GARCH(1,1)	-14042,03	GARCH(2,1)	-14033,97	GARCH(3,1)	-14033,12
GARCH(1,2)	-14576,66	GARCH(2,2)	-14007,04	GARCH(3,2)	-13958,34
GARCH(1,3)	-14003,08	GARCH(2,3)	-13977,34	GARCH(3,3)	-13994,06

Conforme pode ser observado na Tabela 2 pelo Critério de informação Bayesiana (BIC), o modelo escolhido foi o $GARCH(1, 2)$ como o mais adequado. O ajuste da série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Jacu ao modelo $GARCH(1,2)$ (Figura 5), tem o seguinte modelo ajustado (equação 5).

$$h_t = 0,1295X_{t-1}^2 + 1,851X_{t-2}^2 + 0,7914h_{t-1}^2 \quad (5)$$

em que: h_t é a variância condicional do modelo; X_{t-q}^2 é o tempo da série, com $q = 1, 2$.

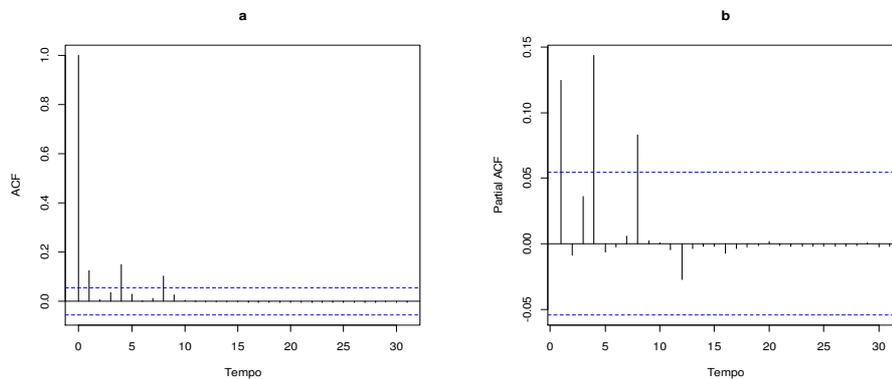


Figura 4 - Função de autocorrelação (a) e função autocorrelação parcial (b) dos quadrados dos resíduos do modelo $ARIMA$.

O ajuste do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu ao modelo $GARCH(1,2)$, é visualizado (Figura 5), onde a linha preta é a série original e a linha vermelha é o ajuste.

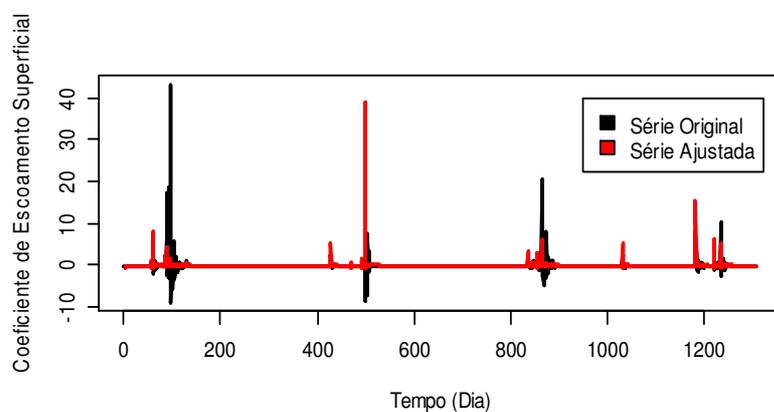


Figura 5 - Ajuste do modelo $GARCH(1,2)$ ao coeficiente de escoamento do Jacu.

Os picos da série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu (Figura 6) ajustado ao modelo $GARCH(1,2)$ foram os pontos onde houve elevação do coeficiente de escoamento que corresponde aos períodos com precipitações elevadas como visto na (Figura 2). Sendo (a) o ano de 2008, (b) o ano 2009, (c) o ano de 2010 e (d) o ano de 2011 respectivamente.

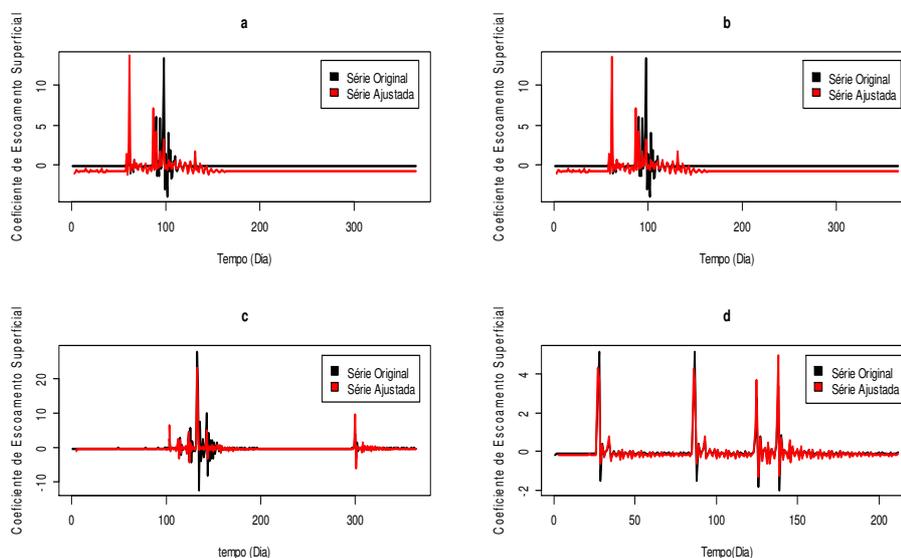


Figura 6 - Pontos de elevações do coeficiente de escoamento do Jacu ajustado a um modelo $GARCH(1,2)$.

De acordo com a (Figura 6) o ajuste do modelo $GARCH(1,2)$ não é adequado para modelagem e previsão da série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Jacu para os anos de 2008 e 2009.

Assim se pode concluir que os modelos *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* $GARCH(p,q)$ não se ajusta (Figura 6), adequadamente a série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu.

Uma avaliação mais criteriosa do modelo ajustado foi realizada, para se analisar a qualidade do ajuste do modelo $GARCH(1,2)$, o qual teve o mais baixo BIC . A especificação do modelo $GARCH(1,2)$ apresenta na (Figura 7) função de autocorrelação e o teste de normalidade QQ plot do quadrado dos resíduos padronizados, com o intuito de verificar a validação ou diagnosticar o modelo.

O gráfico da função de autocorrelação dos quadrados dos resíduos padronizados apresentado na Figura 7 mostra que aparentemente o modelo $GARCH(1,2)$ eliminou a estrutura de auto correlação entre os resíduos.

Ao analisar o gráfico apresentado na Figura 7 (teste de normalidade QQ plot), verifica-se um desvio considerável em suas extremidades, levando à fortes evidências contra a normalidade dos resíduos. Desta forma o modelo $GARCH(1,2)$ não está corretamente adequando para a série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Jacu nos anos 2008 e 2009. No entanto, o modelo $GARCH(1,2)$ se mostrou apropriado, isto é, obteve o “melhor” ajuste entre todos os modelos testados para serie do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu de acordo com os testes realizados.

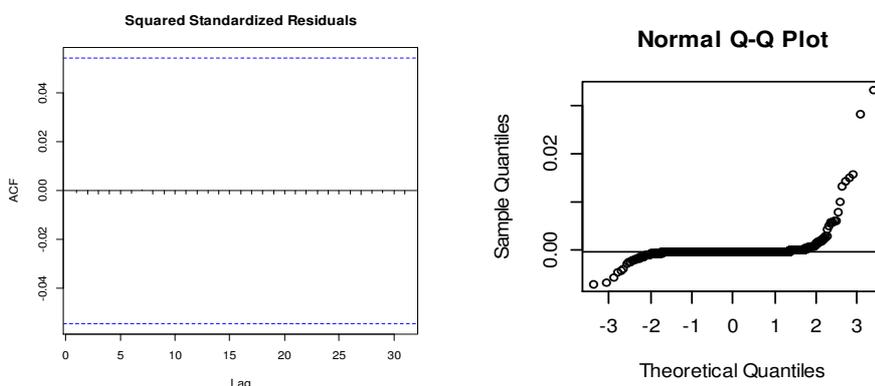


Figura 7 - Função de autocorrelação e teste de normalidade QQ plot do quadrado dos resíduos padronizados para o modelo $GARCH(1,2)$.

Conclusões

Observou-se que o coeficiente de escoamento superficial (C) da bacia hidrográfica do riacho Jacu teve maiores fluxos com o aumento da precipitação, uma vez que o coeficiente de escoamento tem uma relação direta com o índice pluviométrico.

Verificou-se que o ano de 2008 apresentou o maior índice do coeficiente de escoamento superficial (C), devido a um maior período consecutivo de chuvas na região. Assim é possível relacionar o aumento do índice do coeficiente de escoamento superficial a umidade do solo que foi maior dentro da área de acumulação da bacia na época das chuvas.

Usando técnicas de modelagem *GARCH* há evidências de variabilidade no coeficiente escoamento superficial (C), de modo que um período de alto índice do coeficiente de escoamento superficial é mais provável que seja sucedido por outro período de alto índice do coeficiente de escoamento superficial. Além disso, esses eventos cada vez mais prolongados de secas extremas são positivamente relacionadas com o clima global, o que implica que um clima mais quente também será acompanhada por uma maior variabilidade de precipitação.

O modelo *GARCH(1,2)* foi o que melhor se ajustou a série do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Jacu em função de explicar melhor a variância condicional.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio.

OLIVEIRA, M. R. G.; CANTALICE, J. R. B., FERREIRA, T. A. E., CUNHA FILHO, M.; CRUZ, D. V., FALCÃO, A. P. S. T. Statistical analysis of the runoff coefficient in the watershed semiarid environment. *Rev. Bras. Biom.* São Paulo, v.33, n.3, p.277-290, 2015.

- *ABSTRACT: The runoff coefficient of a watershed is a complex integrating the natural relationship between climate type, soil and vegetation. Therefore it is a key concept for characterizing the flow and surface water use and protection against the phenomena caused by their displacement. Thus, the search for an adjustment of the coefficient, the number of runoff (C) the basin of Jacu stream in Serra Talhada-PE is justified by the fact that a high sediment production rate and low vegetation. A time series nonlinear model GARCH can to useful to understand semiarid hydrology. The stage and a rain gage from Jacu watershed linked with data logger were used to register the rainfall and also discharge. The analyses this data to show that GARCH model adjusted to residual of an ARMA model becomes more powerful properly represent the conditional heteroscedastic of a hydrologic Brazilian semiarid time series.*
- *KEYWORDS: Time series models; GARCH model; surface water.*

Referências

AKAIKE, H. On Entropy Maximization Principle. In: KRISHAIAH, P. R. (Ed.). *Applications of Statistics*, Amsterdam: North-Holland, 1977, p.27-41.

BLANCO, M. L. R.; CASTRO, M. M. T.; CASTRO, M. T. T. Rainfall–runoff response and event-based runoff coefficients in a humid area. *Hydrological Sciences Journal*, northwest Spain: v.57, n.3, p. 445 – 459, 2012.

BOX, G. E. P., JENKINS, G. M., and REINSEL, G. C. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, 3. ed. Prentice Hall, Engle Wood Cliff, New Jersey.1994. 598p.

- CHARGUI, S.; SLIMANI, M.; CUDENNEC, C. Statistical distribution of rainy events characteristics and instantaneous hyetographs generation. *Arabian Journal of Geosciences*, Tunisia: v.2, n. 5, p. 1581 – 1590, 2013.
- D'ODORICO, P.; CARR, J. A.; LAIO, F.; RIDOLFI, F.; Vandoni, F. Feeding humanity through global food trade. *Earth's Future*, v. 2, p. 458 – 469, 2014.
- ENGLE, R. F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, v. 50, n.4, p. 987-1007, 1982.
- FOLLADOR, F. A. C. Controle estatístico de processo aplicado à qualidade de águas superficiais. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Cascavel-Paraná, 2010.
- FRANCHINI, M.; GALEATI, G.; LOLLI, M. Analytical derivation of the flood frequency curve through partial duration series analysis and a probabilistic representation of the runoff coefficient. *Journal of Hydrology*, v.303, p.1 – 15, 2005.
- HANIF, M.; KHAN, A. H.; ADNAN, S. Latitudinal precipitation characteristics and trends in Pakistan. *Journal of Hydrology*, v. 492, p. 266 – 272, 2013.
- HANNAN, E. J. The estimation of the order of an ARMA process. *Annals of Statistics*, v.8, n.5, p. 1071 – 1081, 1980.
- HANNAN, E. J. Testing for autocorrelation and Akaike's criterion. *Journal of Applied Probability*. Sheffield: v.19, p.403-412, 1982.
- MELO, R. O. *Caracterização da Produção de Sedimentos de uma Microbacia no Semiárido Pernambucano*. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2008, 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós- Graduação Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.
- MORETTIN, P. A. *Econometria Financeira; Um Curso em Séries Temporais Financeiras*, 2.ed, Departamento de Estatística, Instituto de Matemática e Estatística, USP, 2004. 336p.
- MORETTIN, P. A.; TOLÓI, C. M. C. *Análise de séries temporais*. 2.ed., São Paulo, 2006. 538p.
- MOULAI, L. H.; MESBAH, M.; GAMANE, D. S.; MEDJERAB, A. Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfall time series in Western Algeria. *Natural Hazards*, v.65, n. 3, p. 1293 – 1311, 2013.
- PISCOYA, V C. *Manejo em bacia hidrográfica do riacho jacu: produção de sedimentos, dimensionamento de faixa de vegetação ciliar e salinidade da água em barragem subterrânea*. 2012, 183f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.
- PONCE, V. M. *Engineering hydrology: Principles and practices*. (Vol. 640). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989. 640p.
- R Development Core Team (2010). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RISSANEM, J. Modelling by shortest data description. *Automatica*, v.14, n.5, p. 465 - 471, 1978.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, v.6, n.2, p. 461 – 464, 1978.

SHARMA, P.; CHANDRA, A.; KAUSHIK, S. C. Forecasts using Box–Jenkins models for the ambient air quality data of Delhi City. *Environ Monit Assess*, v. 157, p. 105 – 112, 2009.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste. Recife: SUDENE, 1990.

Recebido em 17.01.2015

Aprovado após revisão em 28.05.2005