



MODELAGEM SARIMA DE SÉRIES TEMPORAIS DE COORDENADAS ALTIMÉTRICAS DE ESTAÇÕES GNSS NO BRASIL

Diego Maniezo Reis¹, Stéfany Campos Santos¹, Juliana Nascimento de Paula¹ e Eniuce Menezes de Souza²,
Gabriela de O. N. Brassarote³, João F. Galera Monico⁴

¹ Curso de Graduação em Estatística, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil

² Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil

³ Pós-Graduação em Ciências Cartográficas FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil

⁴ Departamento de Ciências Cartográficas FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise de séries temporais dos dados de altimetria de estações GNSS no Brasil; apresenta-se uma comparação de modelos tradicionais de previsão, nomeadamente: modelos da classe ARIMA. Na classe de modelos ARIMA foram selecionados, utilizando-se a metodologia Box Jenkins, modelos do tipo SARIMA, que consideram a característica de sazonalidade; estes modelos da classe ARIMA se mostraram mais acurados e adequados para traçar previsões sobre as variáveis de comportamento das placas tectônicas, mostrando-se importante ferramenta para a altimetria; A identificação da ordem dos modelos foi feita através da análise gráfica das funções de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF). Dentre os modelos candidatos foram selecionados aqueles que obtiveram os menores valores dos critérios de seleção adotados (AICc). Os gráficos apresentados, obtidos sobre os modelos ajustados, permitiram uma interpretação coerente do comportamento das séries temporais dos dados de altimetria.

Palavras chave: ARIMA, modelos de previsão, sazonalidade, FAC, FACP, *outliers*.

1. INTRODUÇÃO

A proposta de um modelo de coordenadas GNSS (*Global Navigation Satellite System*), em especial, o GPS (*Global Positioning System*), para estações brasileiras, possibilita uma melhor representação e entendimento das séries temporais. Tais observações GNSS, que permitem determinar posição, velocidade e tempo, estão sujeitas a influências provenientes de diversas fontes, tais como os satélites, a propagação do sinal, o receptor/antena e a própria estação (MONICO, 2008). Mesmo com a realização de uma modelagem adequada no processamento de dados, ainda podem restar erros e efeitos não modelados os quais ficarão inclusos nas séries temporais de coordenadas obtidas com as observáveis GNSS, gerando coordenadas com características diversas ao longo do tempo (MARQUES, 2013).

No Brasil, a Região Amazônica é a principal região que carece de estudos desta natureza. Algumas componentes das séries temporais de coordenadas (N e E) até podem ser recuperadas temporalmente a partir de um modelo de velocidade constante. No caso da componente U, no entanto, isto não é possível devido aos efeitos sazonais que ocorrem nesta componente, decorrentes da variação da massa d'água.

O comportamento sazonal das séries temporais de coordenadas de estações GNSS ativas espalhadas por todo o mundo, tem sido constantemente investigado. A análise dessas séries permite identificar variações das coordenadas das estações em função do tempo e o acompanhamento da evolução temporal de determinados fenômenos geofísicos, mostrando que as estações GNSS estão sujeitas a fatores ambientais (BOGUSZ, 2015).

2. METODOLOGIA

Através da medição periódica dos pontos pertencentes às redes ativas de monitoramento, tais como a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), é que são geradas, dentre outras informações, as séries temporais de coordenadas GNSS.

Os dados utilizados foram obtidos do site da *Nevada Geodetic Laboratory* (NGL), que realiza pesquisas no campo da geodésia espacial. Com o auxílio do Sistema de Posicionamento Global (GPS) eles obtêm informações que auxiliam no estudo da atividade tectônica e geotérmica a nível global.

Cada estação, por meio de seu aparelho de GPS, registra diariamente, desde 2008 até o presente momento, as atividades da placa tectônica onde está situada, são movimentos horizontais (N e E) e verticais (U). Tais informações compõem uma série temporal para cada uma das estações. Dentre os dados disponíveis, alguns são referentes à estações localizadas no Brasil. Para este trabalho, selecionamos 22 séries:

- 4 da Região Amazônica (Manaus – AM (NAUS), Porto Velho – RO (POVE), Ji-Paraná – RO (ROJI) e Macapá – AP (MAPA));
- 4 do Litoral Norte (São Luiz – MA (SALU), Fortaleza – CE (BRFT), Recife – PE (RECF) e Salvador – BA (SAVO));
- 7 da Região Central (Brasília – DF (BRAZ), Gurupi – TO (TOGU), Campo Grande – MS (MSCG), Monte Carlos – MG (MGMC), Presidente Prudente – SP (PPTE), São José do Rio Preto – SP (SJRP) e Rosana – SP (ROSA));
- 4 do Litoral Sudeste (Bento Ferreira – ES (CEFE), Campo dos Goytacazes – RJ (RJCG), Duque de Caxias – RJ (RIOD) e Rio de Janeiro – RJ(ONRJ)) e
- 3 da Região Sul (Chapecó – SC (SCCH), Lages – SC (SCLA), Porto Alegre – RS (POAL)).

A componente da série que optamos por modelar foi a altimetria, ou seja, os movimentos verticais (U) das placas. Apesar de a série original conter grande quantidade e importantes informações, para facilitar a análise, as séries foram transformadas de diárias para mensais.

Na análise de séries temporais, é comum deparar-se com observações discrepantes (*outliers*), que normalmente são causadas por algum imprevisto ou por falha na mediação ou registro da observação. Os *outliers* podem afetar o correlograma e até mesmo a modelagem (MIRANDA, 2001). Ao plotar cada uma das séries separadamente, pode-se observar diversos *outliers*. Portanto, a função *tsclean* do R foi utilizada para identificar *outliers* e substituí-lo a partir do ajuste de uma curva LOESS/decomposição periódica.

A fim de modelar as séries temporais adotou-se a metodologia Box Jenkins, que consiste em ajustar modelos da classe ARIMA. Para encontrar o melhor modelo é necessário seguir os passos: 1º) Identificação: Identificar um possível modelo a partir da FAC e FACP; 2º) Estimação: Comparar os modelos estimados a partir do Método da Máxima Verossimilhança, optar por parcimoniosos. 3º) Checagem: Analisar os resíduos. Não pode haver autocorrelação. Se necessário, adicionar defasagens nos processos AR(p), MA(q), ARMA(p,q) e ARIMA(p,d,q) a fim de melhorar o ajuste;

Para modelagem dos dados, foi utilizado a linguagem R (Ferramenta Rstudio Versão 1.0.153), com pacotes próprios para análise/ajuste de dados de séries temporais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor compreensão sobre o modelo a ser estudado, escolhemos aleatoriamente entre as 22 séries, a estação ROJI para ilustração dos resultados na qual verificou-se que a altimetria mensal de Ji-Paraná tem média de 0.89 e variou de 0.87 a 0.92 no período investigado.

Outra forma de analisar descritivamente a série estudada é por meio da análise gráfica. A Figura 1 apresenta graficamente a série temporal mensal de altimetria da estação de Ji-Paraná medidas entre o ano de 2008 à 2017 com a remoção de *outliers*. Pode-se destacar que a série apresenta sazonalidade bem definida.

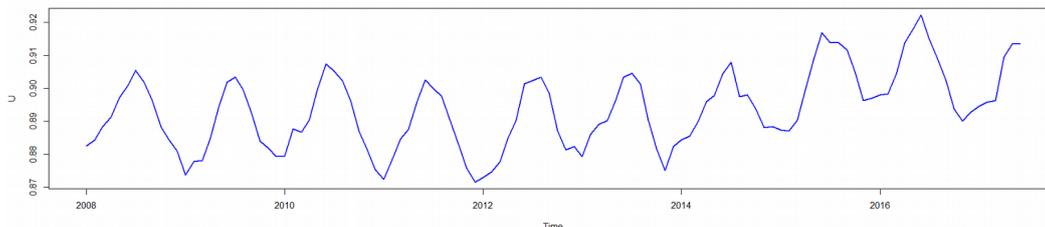


Figura 1 Série de coordenadas altimétricas (m) mensal para estação ROJI de 2008 a 2017

Na Figura 2 são apresentadas a FAC e a FACP da série de altimetria mensal da estação de Ji-Paraná.

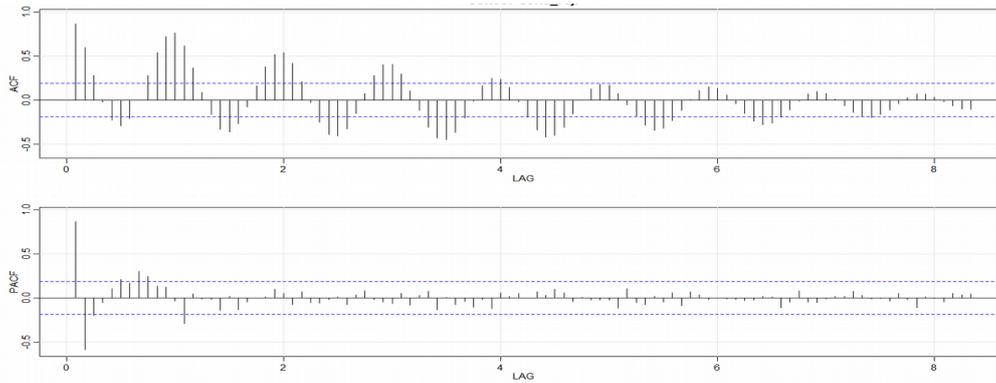


Figura 2: FAC e FACP da série de altimetria mensal

Verifica-se a partir das FAC e FACP, que a série possui sazonalidade, componentes autorregressivos (AR), possivelmente componentes de médias móveis (MA) e aparentemente será necessário aplicar uma diferenciação na série.

Para o ajuste da série, foram escolhidos dois modelos, um SARIMA(0,1,0)(0,1,1) e SARIMA(1,1,1)(2,0,0) ambos com período de 12 meses. Abaixo pode-se verificar a Tabela 1 que contém as medidas dos coeficientes dos dois modelos e testes de ajuste de normalidade/resíduos.

Tabela 1: Resultado do ajuste dos modelos SARIMA(0,1,0)(0,1,1) e SARIMA(1,1,1)(2,0,0)

Medidas	Modelo 1 - SARIMA(0,1,0)(0,1,1)		Modelo 2 - SARIMA(1,1,1)(2,0,0)	
	Média	s.e.	Média	s.e.
ar1	-0.8388	0.0984	-	-
ma1	0.9396	0.0560	-	-
sar1	0.5230	0.0912	0.5092	0.0897
sar2	0.3184	0.0961	0.3298	0.0951
AICc	-948.4156		-944.63	
Variância dos erros	1.155948e-05		1.120262e-05	
Shapiro (p-value)	0.6698		0.6541	
Box.test (p-value)	0.6337		0.3505	
Jarque Bera test	0.6647		0.6348	

Nas Figuras 3 e 4, pode-se verificar a FAC e a FACP dos resíduos do modelo ajustado. Verifica-se que ambos possuem comportamento aleatório.

A Figura 5 apresenta a série e os dois modelos ajustados.

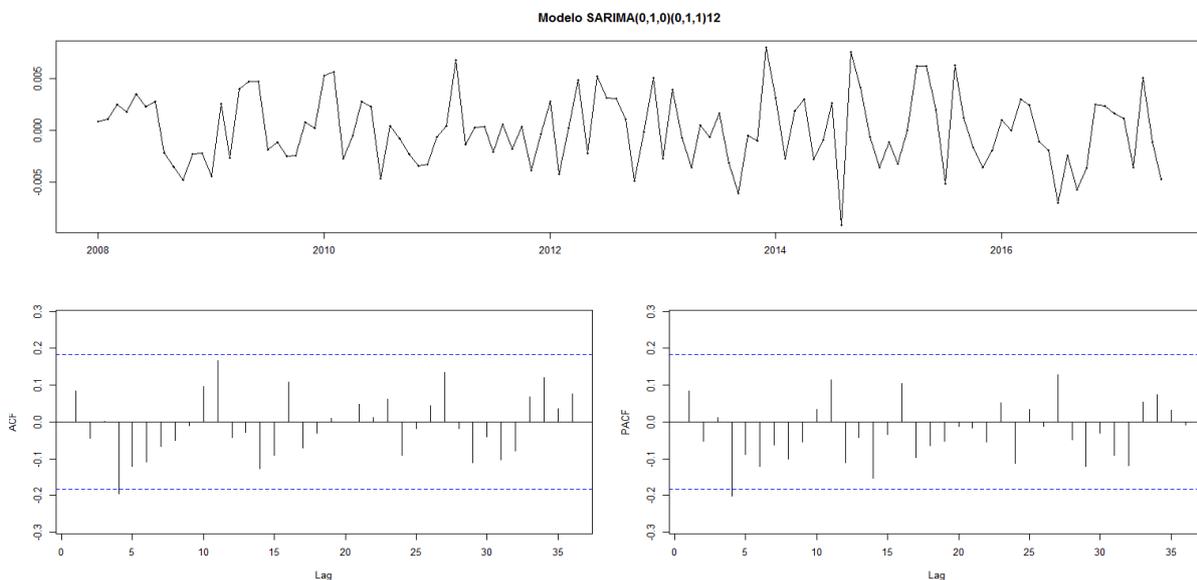


Figura 3: FAC e FACP dos resíduos do modelo ajustado

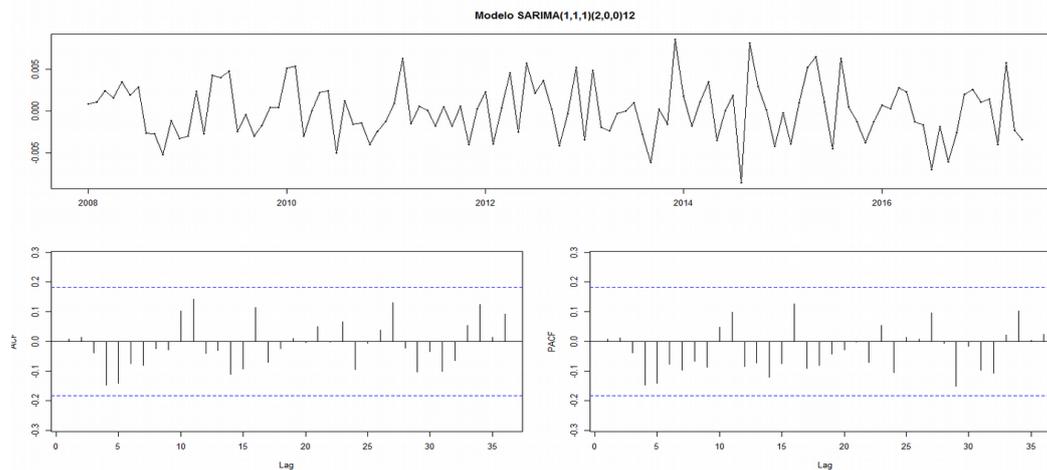


Figura 4: FAC e FACP dos resíduos do modelo ajustado

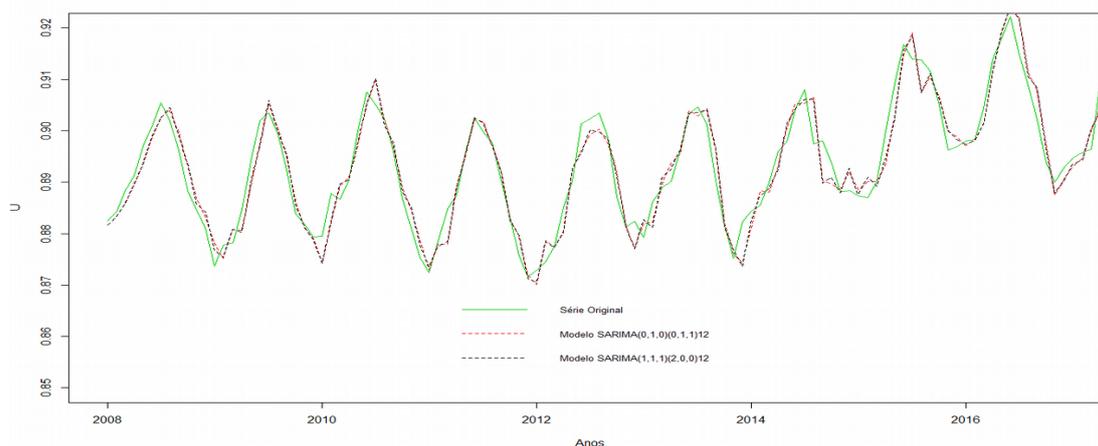


Figura 5: Modelos ajustados

4. CONCLUSÃO

Embora tenha sido realizada a detecção de outliers e sua remoção, em continuidade a este trabalho faz-se necessário, corrigir as séries temporais de possíveis mudanças de antenas ou outros fatores que causam jumps em tais séries, o que resultará em um melhor ajuste e resultados mais fidedignos.

Verificou-se que os modelos escolhidos e ajustados para a série de altimetria mensal da estação de Paraná são muito próximos, os modelos foram capazes de captar a variabilidade das séries temporais mensais.

Por meio de gráficos e de medidas de qualidade pôde-se verificar que os modelos da classe ARIMA se mostram mais adequados para modelar as séries temporais investigadas. O modelo escolhido foi o que apresentou o menor valor a partir do critério de AICc (Modelo 1 - SARIMA(0,1,0)(0,1,1)).

5. REFERÊNCIAS

- [1] BOGUSZ, J.; KLOS, A. On the significance of periodic signals in noise analysis of GPS station coordinates time series. *GPS Solutions*, p. 1-10, 2015.
- [2] MARQUES, H. A. S. Modelo Estocástico para dados GNSS e séries temporais de coordenadas GNSS. 2013.205f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.
- [3] MIRANDA, C. F. Modelação linear de séries temporais na presença de outliers. 2001.
- [4] MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.
- [5] ROSA, G.P.S.; MONICO, J.F.G; CHAVES, J.C. Análise de séries temporais de coordenadas estimadas com GPS: uma proposta metodológica para detecção, remoção e recuperação de efeitos sazonais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 2009.