

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL PIB – E/0039/2009

PREVISÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA DO RIO SOLIMÕES–
ESTAÇÃO COARI E ITACOATIARA

Bolsista: Deuticilam Gomes Maia Júnior, CNPq

MANAUS
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL
PIB – E/0039/2009

PREVISÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA DO RIO SOLIMÕES–
ESTAÇÃO COARI E ITACOATIARA

Prof. Dr^a. Marta Silva dos Santos Gusmão
Orientador

Deutecilam Gomes Maia Júnior
Bolsista, CNPq

MANAUS
2010

RESUMO

Os problemas decorrentes das grandes cheias dos rios no estado do Amazonas, como por exemplo, alagamentos que conseqüentemente acarretam, em sua maioria, perda da produção ou das casas das pessoas que moram em áreas próximas ao rio. Sabe-se que estudiosos realizaram trabalhos relacionados à previsão dos níveis de água do Rio negro no Porto da cidade de Manaus, porém os modelos propostos pelos mesmos são baseados em regressões lineares simples, prejudicando a precisão das previsões. Por isso, este estudo tem por objetivo prever o nível do Rio Solimões utilizando o modelo de Box e Jenkins para as estações de Coari e Itacoatiara. E por objetivo específico mostrar que esse tal modelo pode servir como uma ferramenta de previsão para essas estações. De acordo com o modelo supracitado, obteve-se como resultado o nível máximo de 2135.08 cm no mês de Maio do ano de 2010 e um mínimo de 1095.16 cm no mês de Setembro de 2010 para o rio Solimões, usando a estação hidrométrica de Fonte Boa, o modelo também mostra que para a estação de Parintins, ocorrerá um máximo de 827.903 cm no mês de junho de 2010 e um mínimo de 42,382 cm no mês de novembro de 2010, podendo assim validar a aplicabilidade do modelo. Mostraremos que o modelo de Box e Jenkins pode ser utilizado como uma ferramenta de previsão dos níveis do rio Solimões bem como de outros cursos de água. Além disso, possui vantagens se comparado a outros modelos de previsão, pois tal modelo pode realizar previsões com o espaço de um ano de antecedência enquanto que os outros em tempo inferior.

LISTA DE FIGURA

| | |
|---|----|
| Figura 1-Sistema dinâmico. Fonte: Morettin, 2005..... | 9 |
| Figura 2 - Série $Z(t)$ em (a) e suas componentes: Sazonal $S(t)$ em (b), Tendência $T(t)$ em (c) e aleatória $a(t)$ em (d). | 11 |
| Figura 3 - Imagem de satélite do município de Coari (círculo vermelho) e Itacoatiara (círculo amarelo). Fonte: Google Earth, 2010..... | 12 |
| Figura 4 – Séries dos níveis de água da estação hidrométrica de Parintins em cm: (a) Série para o nível máximo (b) Série para o nível mínimo..... | 16 |
| Figura 5 - Séries dos níveis de água da estação hidrométrica de Fonte Boa em cm: (a) Série para o nível máximo (b) Série para o nível mínimo..... | 16 |
| Figura 6 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível máximo de Fonte Boa..... | 22 |
| Figura 7 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível mínimo de Fonte Boa..... | 22 |
| Figura 8 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível máximo de Parintins..... | 23 |
| Figura 9 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível mínimo de Parintins..... | 23 |
| Figura 10 - Histograma dos resíduos dos níveis máximos mensais do Rio Solimões em Parintins, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA $(1,0,1) \times (0,1,1)$ | 24 |
| Figura 11 - Histograma dos resíduos dos níveis mínimos mensais do Rio Solimões em Parintins, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA $(1,0,1) \times (0,1,1)$ | 24 |
| Figura 12 - Histograma dos resíduos dos níveis máximos mensais do Rio Solimões em Fonte Boa, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA $(2,1,2) \times (0,1,1)$ | 25 |
| Figura 13 - Histograma dos resíduos dos níveis mínimos mensais do Rio Solimões em Fonte Boa, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA $(0,1,1) \times (0,1,1)$ | 25 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Níveis máximos mensais observados e previstos, em (cm), para Fonte Boa entre 2008 e 2010 | 18 |
| Tabela 2 - Níveis mínimos mensais observados e previstos, em (cm), para Fonte Boa entre 2008 e 2010 | 18 |
| Tabela 3 - Níveis Máximos mensais observados e previstos, em (cm), para Parintins entre 2008 e 2010 | 19 |
| Tabela 4 - Níveis mínimos mensais observados e previstos, em (cm), para Parintins entre 2008 e 2010. | 19 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 | OBJETIVO | 8 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 9 |
| 2.1 | SÉRIES TEMPORAIS-CONCEITUAÇÃO..... | 9 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 12 |
| 3.1 | ÁREA DE ESTUDO | 12 |
| 3.2 | MODELO SARIMA: CONSIDERAÇÕES | 13 |
| 4 | COLETA DE DADOS | 15 |
| 5 | RESULTADOS..... | 17 |
| 6 | CONCLUSÃO | 21 |
| | ANEXO 1 – GRÁFICOS DE ACFS E PACFS PARA FONTE BOA | 22 |
| | ANEXO 2 – GRÁFICOS DE ACFS E PACFS DE PARINTINS | 23 |
| | ANEXO 3 – HISTOGRAMA RESIDUAIS DE PARINTINS..... | 24 |
| | ANEXO 4 – HISTOGRAMAS RESIDUAIS DE FONTE BOA..... | 25 |
| 7 | REFERÊNCIAS..... | 26 |
| 8 | CRONOGRAMA DE ATIVIDADES | 27 |

1 INTRODUÇÃO

A previsão da dinâmica dos rios da Amazônia é de grande importância para a população e para os governantes das cidades situadas as margens destes rios. Particularmente no que concernem as grandes cheias e fortes secas, pois tais cidades são dependentes dos rios desta região.

Dados históricos comprovam que muitos problemas relacionados às cheias poderiam ser evitados caso os níveis de água pudessem ser previstos com razoável precisão, como no caso da cheia do Rio Negro em 2009 que foi considerada a maior da história, chegando a 29,77 metros de nível (DIÁRIO DO AMAZONAS -2009).

As previsões podem ser estendidas principalmente para regiões que apresentam os rios como principal fonte de renda, como no caso das cidades de Itacoatiara e Coari, as quais apresentam características comuns, no que diz respeito aos seguintes aspectos: possuem como principais vias de acesso os rios, além de utilizar a piscicultura como principal fonte de alimento, principalmente para as populações que vivem nos interiores dos municípios. Daí a importância de se conhecer o comportamento da dinâmica dos rios para essas populações, pois influenciam diretamente na economia destes municípios.

Em 2008, foi apresentado o trabalho com o título: PREVISÃO DO NÍVEL DOS RIOS NEGROS E SOLIMÕES USANDO OS MODELOS DE BOX & JENKINS E MUSKINGUM. No trabalho em questão, o autor conseguiu prever o nível máximo do Rio Negro na estação hidrométrica de Manaus com um erro de 2 cm. A partir do referido trabalho supracitado, resolveu-se aplicar a metodologia de Box & Jenkins para as estações em torno dos municípios de Coari e Itacoatiara.

Portanto, este trabalho está dividido em seis capítulos. Os conceitos sobre séries temporais estão no capítulo 2, e as considerações a respeito do modelo ARIMA sazonal (SARIMA) está no Capítulo 3, o qual é indispensável para a compreensão do modelo de Box e Jenkins. O Capítulo 4 destina-se à coleta de dados; o capítulo 5 aos resultados e finalmente o Capítulo 6 à conclusão final.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo geral prever o nível do Rio Solimões utilizando o modelo de Box e Jenkins para as estações de Coari e Itacoatiara. E por objetivo específico mostrar que esse modelo pode servir como uma ferramenta de previsão para essas estações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SÉRIES TEMPORAIS-CONCEITUAÇÃO

Uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo. Ela é dita estacionária quando se desenvolve ao redor de uma média constante (MORETTIN, 2005).

Quando o levantamento das informações pode ser obtido a qualquer momento ao longo do tempo, diz-se que a série temporal é contínua cuja representação faremos por $Z(t)$. Caso essas informações sejam obtidas em intervalos de tempo fixo, então se diz que a série temporal é discreta.

Muitas situações envolvem o conceito de *sistema dinâmico* caracterizado por uma série de entrada $X(t)$, uma série de saída $Z(t)$ e uma função de transferência $v(t)$, conforme Figura 1.

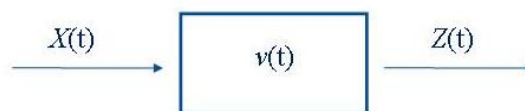


Figura 1-Sistema dinâmico. Fonte: Morettin, 2005

Os problemas de interesse relacionados aos sistemas dinâmicos são:

- a) estimar a função de transferência $v(t)$, conhecendo-se as séries de entrada e saída;
- b) fazer previsões da série $Z(t)$, com o conhecimento de observações da série de entrada $X(t)$.

Para a melhor compreensão dos modelos de Box e Jenkins, são necessárias as seguintes definições:

- 1º Média ou valor esperado: $\mu(t) = E\{Z(t)\}$
- 2º Variância: $\sigma^2 = E[Z_t - \mu(t)]^2$
- 3º Função de Autocovariância (FACV): mede a dependência entre duas observações separadas por k intervalos (lag k) de tempo

$$c_j = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-j} [(X_t - \bar{X})(X_{t+j} - \bar{X})] \quad (3.1)$$

onde \bar{X} , é a média da série em estudo.

4º Função de Autocorrelação (FAC): têm a finalidade de medir a memória de um processo estocástico

$$\rho_k = \frac{Cov[Z_t, Z_{t-k}]}{\sqrt{Var(Z_t).Var(Z_{t-k})}} \quad (3.2)$$

5º Função de Autocorrelação Parcial (PACF) de lag k: essa função têm a finalidade de medir a correlação entre as observações Z_t e Z_{t+k} , excluindo a dependência dos valores intermediários das observações $Z_t, Z_{t+1}, \dots, Z_{t+k-1}$.

6º Operador translação para o passado (B): $B^m Z_t = Z_{t-m}$

7º Operador diferença (Δ): $\Delta Z_t = Z_t - Z_{t-1} = (1 - B)Z_t$. Segue-se que $\Delta = 1 - B$

8º Processos estocásticos estacionários de segunda ordem: é caracterizado em qualquer instante t, pelas seguintes condições:

a) $E\{Z_t\} = \mu(t) = \mu$,

b) $Var[Z_t] = E[(Z_t - \mu)^2] = \sigma^2$,

c) $Cov[Z_t, Z_{t+k}] = E[(Z_t - \mu).(Z_{t+k} - \mu)]$

9º Série ruído branco (a_t): é a série que apresenta média zero e variância constante, e suas variáveis aleatórias são não correlacionadas, isto é, $Cov\{a_t, a_s\} = 0$, $t \neq s$.

10º Processos normais (Gaussianos): são processos caracterizados pela função densidade de probabilidade (fdp).

11º Processos Markovianos: são processos caracterizados pela independência dos valores do processo, em dado instante, de seus valores em instantes precedentes.

De um modo geral, as séries encontradas apresentam tendência T_t e (ou) sazonalidade S_t . A tendência é entendida como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma amostra, excluindo as mudanças periódicas, ou seja, verifica-se o sentido de deslocamento da série ao longo de vários anos (REGO, 2009). A sazonalidade, pode ser compreendida como as flutuações ocorridas em períodos mensais, trimestrais ou até diários (menores ou igual a um ano), geralmente observada em fenômenos climáticos (REGO, 2009).

Essas componentes influenciam diretamente no comportamento da série, que pode ser representada da seguinte maneira:

$$Z_t = T_t + S_t + a_t, \quad (3.3)$$

onde a_t é uma componente aleatória de média zero e variância constante σ^2 , ou seja, a_t é uma série ruído branco conforme mostrado na 9ª definição.

As séries temporais podem ser mais bem compreendidas quando, fragmenta-se a estrutura geral que representa a série, separando as componentes: tendência, sazonalidade e a componente aleatória, conforme a Figura 2:

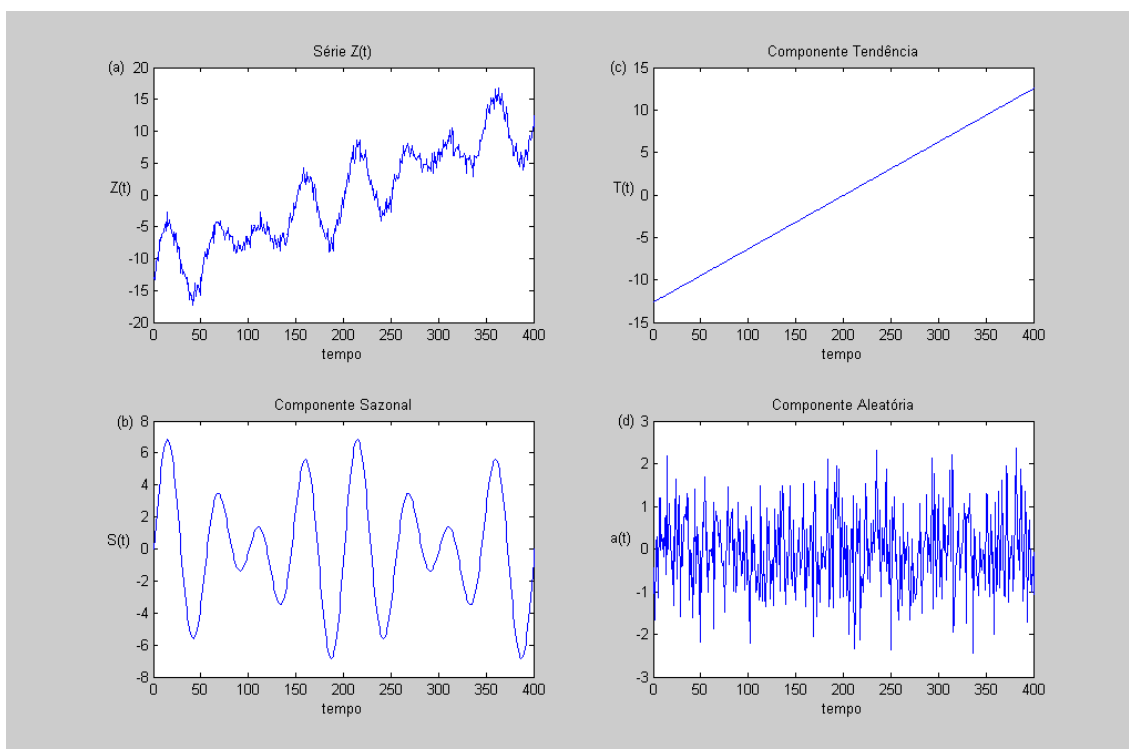


Figura 2 - Série Z (t) em (a) e suas componentes: Sazonal S(t) em (b), Tendência T(t) em (c) e aleatória a(t) em (d).

Os modelos utilizados para descrever séries temporais são processos estocásticos, isto é, processos controlados por leis probabilísticas.

Qualquer que seja a classificação que façamos para os modelos de séries temporais, podemos considerar um número muito grande de modelos diferentes para descrever o comportamento de uma série particular. A construção destes modelos depende de vários fatores, tais como o comportamento do fenômeno ou o conhecimento a priori que temos de sua natureza e do objetivo da análise.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi baseada em metodologia descritiva e bibliográfica, pois segundo Vergara (2006, pg.47), a pesquisa descritiva “expõe características de determinada população ou fenômeno, não tendo compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação”. No entanto neste método de pesquisa não há interferência do pesquisador. Este somente observa a frequência com que os fenômenos ocorrem e busca descobrir a estrutura e funcionamento de tais fenômenos.

No caso da pesquisa bibliográfica, ela é definida, segundo Vergara (2006, pg. 47), como “estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral”.

Portanto neste projeto serão utilizados estes dois tipos de pesquisas, ressaltando que por meio de levantamento de dados, fornecidos por órgãos públicos, seu objetivo será prever os níveis de água do rio Solimões utilizando as estações de Coari e Itacoatiara.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi focalizado para a Região de Coari, município do Amazonas localizado a 363 km de Manaus com temperatura média de 33°C, e rodeado pelos municípios de Anori, Tapauá, Tefé e Codajás, conforme Figura 3. A região apresenta ainda a via fluvial como uma das principais formas de transporte.



Figura 3 - Imagem de satélite do município de Coari (círculo vermelho) e Itacoatiara (círculo amarelo). Fonte: Google Earth, 2010

3.2 MODELO SARIMA: CONSIDERAÇÕES

Antes de se iniciar as considerações sobre o modelo SARIMA, faz-se necessário definir antes algumas considerações sobre o modelo ARIMA.

O modelo ARIMA (auto-regressivo, integrado, de médias móveis) de ordem (p, d, q) leva em consideração somente a componente tendência e é representado pela seguinte equação:

$$\phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (4.1)$$

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (4.2)$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (4.3)$$

onde p e q representam os graus (ordens) dos polinômios $\phi(B)$ e $\theta(B)$ respectivamente e d , é o número de vezes que se diferencia uma série para torná-la estacionária, também conhecido como ordem de integração.

Como a maioria das séries que se encontra é não-estacionária, toma-se então diferenças sucessivas ($\Delta = (1-B)$) para torná-la estacionária e finalmente aplicar o modelo ARIMA para fazer previsões.

No entanto devido a maioria das séries temporais apresentarem sazonalidade, faz-se necessário acrescentar uma componente sazonal à série.

Em 1970 Box e Jenkins propuseram um modelo estatístico chamado de ARIMA sazonal multiplicativo (SARIMA) de ordem $(p, d, q) \times (P, D, Q)_{12}$ dado pela equação:

$$\phi(B)\Phi(B^{12})(1-B^{12})^D(1-B)^d Z_t = \theta(B)\Theta(B^{12})a_t, \quad (4.4)$$

onde

$$\Phi(B^{12}) = 1 - \Phi_1 B^{12} - \dots - \Phi_P B^{12P}, \quad (4.5)$$

$$\Theta(B^{12}) = 1 - \Theta_1 B^{12} - \dots - \Theta_Q B^{12Q}. \quad (4.6)$$

As constantes P e Q representam os graus dos polinômios sazonais $\Phi(B^{12})$ e $\Theta(B^{12})$, respectivamente, sendo D o número de diferenças sazonais. Em geral, os valores de D e d são menores que 1, e os valores de P e Q são menores que 2 (BROCKWELL, 2002).

A estratégia de modelagem para o modelo SARIMA foi baseada em um ciclo de três etapas iterativas: identificação do modelo; estimação e verificação da adequabilidade do modelo. A etapa de identificação consiste em selecionar valores para $(p;d;q)$ e $(P;D;Q)$, através da análise da ACF e PACF. Essa etapa envolve subjetividade e julgamento pessoal. Na etapa de estimação, os coeficientes foram estimados usando técnicas estatísticas, na presente situação o método da máxima probabilidade. Na última etapa observou-se, se o modelo identificado e estimado descrevia adequadamente o comportamento dos dados da série X_t . Quando não era adequado, o ciclo recomeçava.

A verificação da adequabilidade do modelo SARIMA, com N observações, é efetuada analisando as autocorrelações amostrais dos erros, as quais devem seguir, assintoticamente, uma distribuição normal com média zero e variância $1/n$, gerando uma série ruído branco, onde $n = N - D - d$ indica o número de observações da série diferenciada. Como os erros verdadeiros não são conhecidos, a inferência baseia-se nos erros estimados, $\hat{\varepsilon}_t$. Desta forma, se o modelo estiver corretamente especificado, os resíduos não devem apresentar correlação serial, pois toda a dinâmica dos dados já foi capturada pelo modelo proposto. Ou seja, o histograma dos erros residuais deve seguir uma distribuição Gaussiana.

4 COLETA DE DADOS

Para a realização deste trabalho, contou-se com os dados obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), sendo definida pelo Planalto como uma entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e tem como missão implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso a água, promovendo o seu uso sustentável em benefício da atual e das futuras gerações.

Além disso, a instituição possui outras definições estratégicas centrais, como, uso sustentável da água; ser reconhecida pela sociedade como a referência na gestão e regulação dos recursos hídricos e na promoção do uso sustentável da água; compromisso, transparência, excelência técnica, proatividade e espírito público.

As estações disponíveis mais próximas de Coari e Itacoatiara foram: Fonte Boa e Parintins, respectivamente, de onde foram fornecidas as séries históricas para essas estações.

Os níveis foram medidos de 1977-2009 para Fonte Boa, e de 1968-2009 para Parintins.

Para cada ano das duas estações, registrou-se os níveis máximos e mínimos, os quais podem ser vistos nas Figuras (4) e (5).

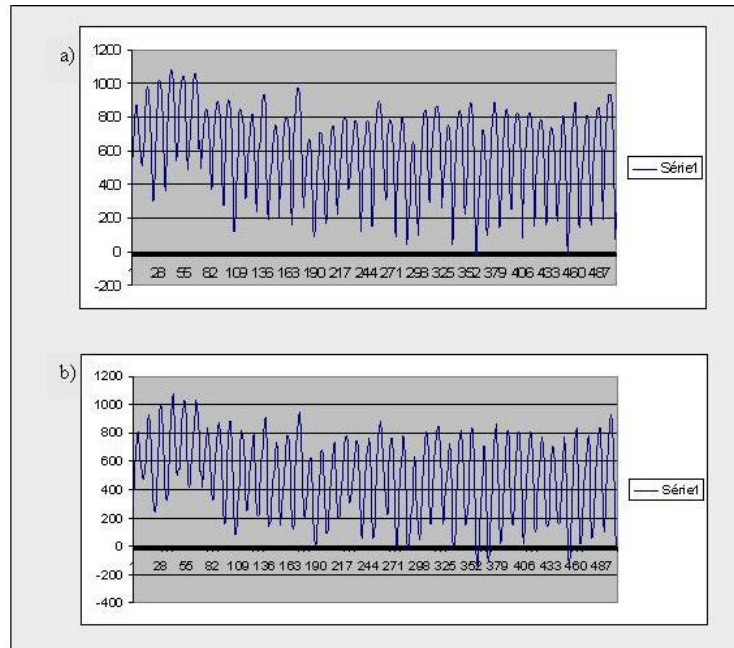


Figura 4 – Séries dos níveis de água da estação hidrométrica de Parintins em cm: (a) Série para o nível máximo (b) Série para o nível mínimo.

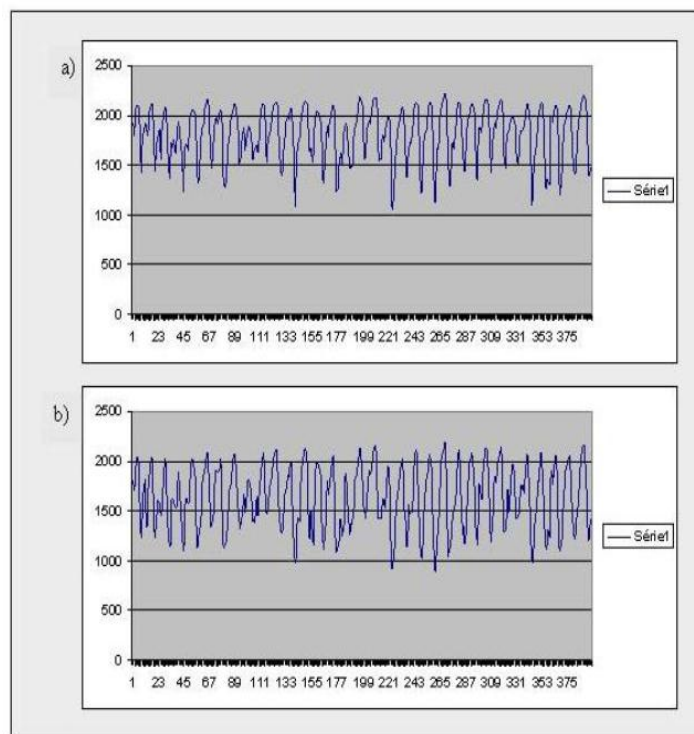


Figura 5 - Séries dos níveis de água da estação hidrométrica de Fonte Boa em cm: (a) Série para o nível máximo (b) Série para o nível mínimo.

5 RESULTADOS

Aplicando as Equações (3.1) e (3.2) para as séries das Figuras (4) e (5), obteve-se os gráficos contidos nos anexos 1 e 2 para as ACFS e PACFS das séries hidrológicas das estações de Fonte Boa e Parintins, mostradas nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

De posse das ACFS e PACS, estimamos de acordo com a metodologia apresentada no Capítulo 3, as seguintes ordens para o modelo SARIMA:

$$\text{Fonte Boa (máximo): } (2, 1, 2) \times (0, 1, 1)_{12}$$

$$\text{Fonte Boa (mínimo): } (0, 1, 1) \times (0, 1, 1)_{12}$$

$$\text{Parintins (máximo): } (1, 0, 1) \times (0, 1, 1)_{12}$$

$$\text{Parintins (mínimo): } (1, 0, 1) \times (0, 1, 1)_{12}$$

Com as ordens obtidas, geraram-se as equações (5.1) e (5.2) para os níveis máximos e mínimos de Fonte-Boa, respectivamente:

$$(1 - \phi B - \phi_2 B^2)(1 - \Phi B - \Phi_2 B^{24})(1 - B^{12})(1 - B)Z_t = (1 - \theta B - \theta_2 B^2)(1 - 2\Theta B^{12})a_t. \quad (5.1)$$

$$(1 - \phi B)(1 - \Phi B^{12})(1 - B^{12})(1 - B)Z_t = (1 - 2\theta B)(1 - \Theta B^{12})a_t. \quad (5.2)$$

Da mesma maneira, geraram-se para os níveis máximos e mínimos de Parintins, as equações (5.3) e (5.4), respectivamente:

$$(1 - 2\phi B)(1 - 2\Phi B^{12})(1 - B^{12})Z_t = (1 - 2\theta B)(1 - 2\Theta B^{12})a_t \quad (5.3)$$

$$(1 - 2\phi B)(1 - 2\Phi B^{12})(1 - B^{12})Z_t = (1 - 2\theta B)(1 - 2\Theta B^{12})a_t. \quad (5.4)$$

Substituindo as séries das Figuras: 5-a na Eq. (5.1), 5-b na Eq.(5.2), 4-a na Eq. (5.3) e 4-b na equação 5.4, conseguiu-se prever os níveis mensais de água nas estações de Fonte Boa e Parintins para as cotas máximas e mínimas mensais, para o período do ano de 2008 a 2010, mostrados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 - Níveis máximos mensais observados e previstos, em (cm), para Fonte Boa entre 2008 e 2010

| Mês | 2008 _{max} OBS | 2009 _{max} OBS | Prev _{max} 2008 | Prev _{max} 2009 | Prev _{max} 2010 |
|-----|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jan | 1945 | 2027.5 | 1864.01 | 1860.2 | 2054.3 |
| Fev | 1952 | 2128 | 1892.27 | 1889.35 | 1994.2 |
| Mar | 2022 | 2158 | 1961.83 | 1963.85 | 2053.89 |
| Abr | 2062 | 2192 | 2037.63 | 2037.19 | 2099.11 |
| Mai | 2096 | 2197 | 2081.98 | 2081.58 | 2135.08 |
| Jun | 2082 | 2166 | 2077.94 | 2076.89 | 2121.49 |
| Jul | 1938 | 2000 | 1977.88 | 1971.71 | 2010.33 |
| Ago | 1632 | 1565.5 | 1688.61 | 1679.71 | 1704.25 |
| Set | 1420 | 1388 | 1373.38 | 1374.84 | 1410.99 |
| Out | 1403 | 1420 | 1404.91 | 1401.26 | 1437.65 |
| Nov | 1565 | 1490 | 1613.14 | 1605.53 | 1627.83 |
| Dez | 1725 | 1930 | 1692.09 | 1691.36 | 1749.47 |

Tabela 2 - Níveis mínimos mensais observados e previstos, em (cm), para Fonte Boa entre 2008 e 2010

| Mês | 2008_OBS | 2009_OBS | Prev_2008 | prev_2009 | prev_2010 |
|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 1726 | 1545 | 1737.73 | 1629.97 | 1509.79 |
| Fev | 1905 | 1935 | 1806.17 | 1704.95 | 1597.73 |
| Mar | 1936 | 2032.5 | 1924.59 | 1817.99 | 1710.01 |
| Abr | 2025 | 2130.5 | 2064.01 | 1951.41 | 1840.05 |
| Mai | 2059.5 | 2160 | 2148.84 | 2031.29 | 1918.88 |
| Jun | 1938 | 2156 | 2102.83 | 1986.18 | 1876.13 |
| Jul | 1640 | 2010 | 1824.5 | 1703.62 | 1604.6 |
| Ago | 1435 | 1600 | 1493.82 | 1376.72 | 1280.34 |
| Set | 1215 | 1200 | 1325.56 | 1204.14 | 1095.16 |
| Out | 1243 | 1208.5 | 1329.18 | 1208.29 | 1103.41 |
| Nov | 1380.5 | 1345 | 1507.13 | 1383.96 | 1274.62 |
| Dez | 1532 | 1426 | 1649.63 | 1529.55 | 1427.1 |

Os valores em vermelho mostram os níveis máximos e mínimos anuais. De acordo com as tabelas 1 e 2, o valor máximo previsto para 2008 é 2081,98 cm, e o valor mínimo é 1325,56, ou seja, esses valores possuem erros de 0,67% e 9,1% respectivamente, em relação aos valores observados. Já para 2009 obteve-se 2081,58 cm para o valor máximo e 1204,14 cm para o valor mínimo, o que mostram erros de 5,3% e 0,35% em relação aos valores observados.

Para os níveis de Parintins, obteve-se para 2008 o valor máximo anual de 828,581 cm para o nível máximo e 74,201cm para o nível mínimo, o que mostram erros de 3,1% e 28% em relação aos valores observados. Para 2009 obteve-se 844,327cm para o valor máximo e 79,16 cm para o valor mínimo, ou

seja, mostram erros de 9,8% e 98% em relação aos valores observados, de acordo com as Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Níveis Máximos mensais observados e previstos, em (cm), para Parintins entre 2008 e 2010

| Mês | Prev2008_Max | Prev2009_Max | Prev2010_Max | 2008_Obs | 2009_Obs |
|-----|--------------|--------------|--------------|----------|----------|
| Jan | 490.551 | 534.039 | 446.747 | 533.5 | 565.5 |
| Fev | 586.18 | 623.771 | 563.262 | 654.5 | 709 |
| Mar | 697.263 | 727.603 | 684.514 | 762.5 | 824.5 |
| Abr | 780.833 | 802.216 | 771.835 | 816 | 899.5 |
| Mai | 828.217 | 844.327 | 822.674 | 852 | 935.5 |
| Jun | 828.581 | 841.914 | 827.903 | 855 | 936 |
| Jul | 795.89 | 808.563 | 803.153 | 838.5 | 927 |
| Ago | 709.971 | 717.511 | 719.596 | 729 | 857 |
| Set | 539.878 | 543.428 | 551.78 | 541.5 | 702 |
| Out | 257.481 | 254.512 | 266.126 | 225.5 | 400 |
| Nov | 163.904 | 167.736 | 153.026 | 187 | 76 |
| Dez | 286.004 | 297.716 | 285.91 | 370 | 236 |

Tabela 4 - Níveis mínimos mensais observados e previstos, em (cm), para Parintins entre 2008 e 2010.

| Mês | 2008_OBS | 2009_OBS | Prev2008 | Prev_2009 | prev_2010 |
|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Jan | 334.5 | 378 | 301.873 | 330.637 | 144.797 |
| Fev | 538.5 | 572.5 | 457.704 | 487.591 | 336.571 |
| Mar | 664.5 | 717 | 567.536 | 595.446 | 474.475 |
| Abr | 765.5 | 826.5 | 680.977 | 704.565 | 605.728 |
| Mai | 819.5 | 905.5 | 768.431 | 785.949 | 705.452 |
| Jun | 840.5 | 927.5 | 792.861 | 807.824 | 742.79 |
| Jul | 733 | 861.5 | 713.282 | 723.242 | 673.294 |
| Ago | 549 | 708 | 543.501 | 550.048 | 513.246 |
| Set | 232 | 416.5 | 271.536 | 270.965 | 243.112 |
| Out | 110.5 | 75 | 93.899 | 98.024 | 60.676 |
| Nov | 103 | 40 | 74.201 | 79.16 | 42.382 |
| Dez | 191 | 40 | 152.581 | 158.645 | 118.312 |

Para verificar a adequabilidade dos modelos estimados, plotamos os histogramas dos erros residuais $\hat{\varepsilon}_t$, o qual deve se comportar como uma série ruído branco, quando o modelo especificado for correto. Para o caso das estações hidrométrica de Parintins obtivemos as Figuras (10) e (11), contidas no anexo 3, para os máximos e mínimos respectivamente. Em Fonte Boa obtivemos as Figuras (12) e (13), contidas no anexo 4, para os máximos e mínimos, nessa ordem. Como podem ser notados nestas Figuras, as

distribuições dos erros residuais seguem uma distribuição Gaussiana, de acordo com o previsto na metodologia.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos com este estudo, o modelo SARIMA previu os níveis máximo e mínimo anual, para a estação de Fonte Boa no ano de 2008 e 2009 com erros de 0,67% e 9,1% para 2008 e 5,3% e 0,35% para 2009 respectivamente, nas Tabelas 1 e 2 são mostradas as previsões para o ano de 2010, a qual esperamos que tenha erro similar aos erros supracitados.

Da mesma forma, o modelo SARIMA previu o máximo e mínimo anual para a estação hidrométrica de Parintins nos anos de 2008 e 2009, cujo os erros são: 3,1% e 28% ano de 2008 e 9,8% e 98% para o ano de 2009. Possivelmente o erro mínimo de 2009 para Parintins esteja relacionado com um erro e medida realizada pelo observador da ANA.

Diante de tais resultados, constata-se que o SARIMA pode ser utilizado como uma ferramenta de previsão dos níveis do rio Amazonas/Solimões bem como de outros cursos de água. A previsão dos níveis de água dos rios é um ponto de grande importância para a Região Amazônica, uma vez que tal região possui características peculiares, sendo uma delas o período de cheia dos rios que atinge, principalmente, a população ribeirinha. Portanto, com a utilização desse modelo as autoridades competentes poderão tomar as medidas cabíveis com maior antecedência a fim de evitar prejuízos maiores para as pessoas que residem em áreas fluviais.

ANEXO 1 – GRÁFICOS DE ACFS E PACFS PARA FONTE BOA

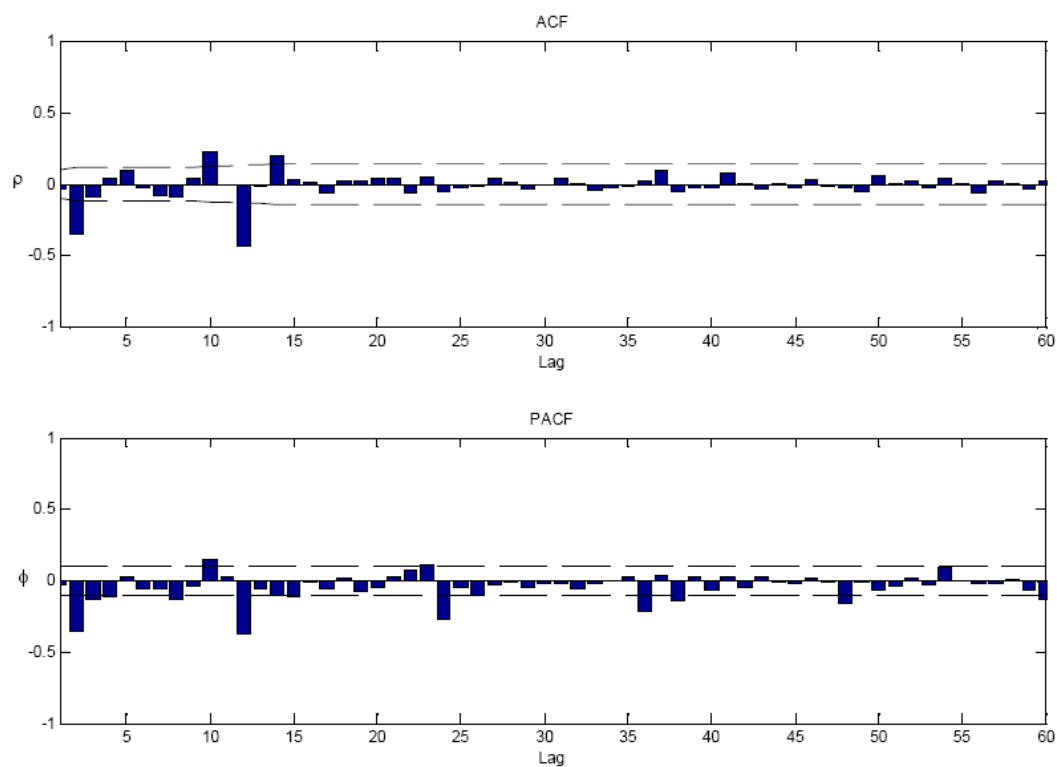


Figura 6 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível máximo de Fonte Boa.

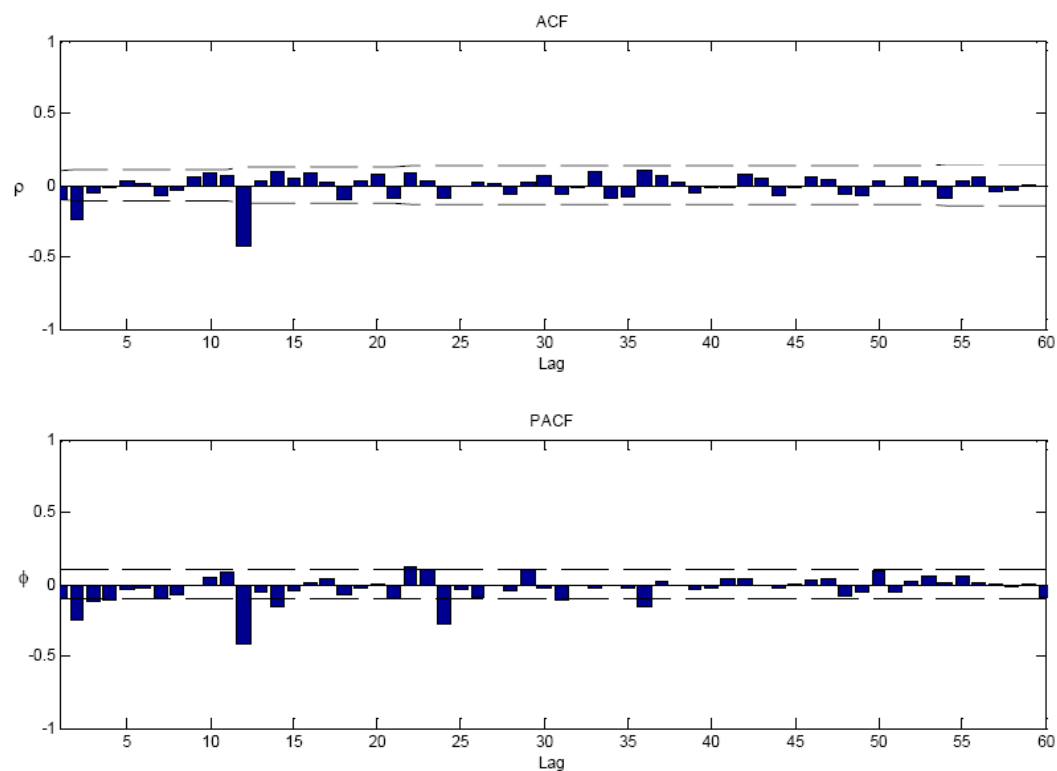
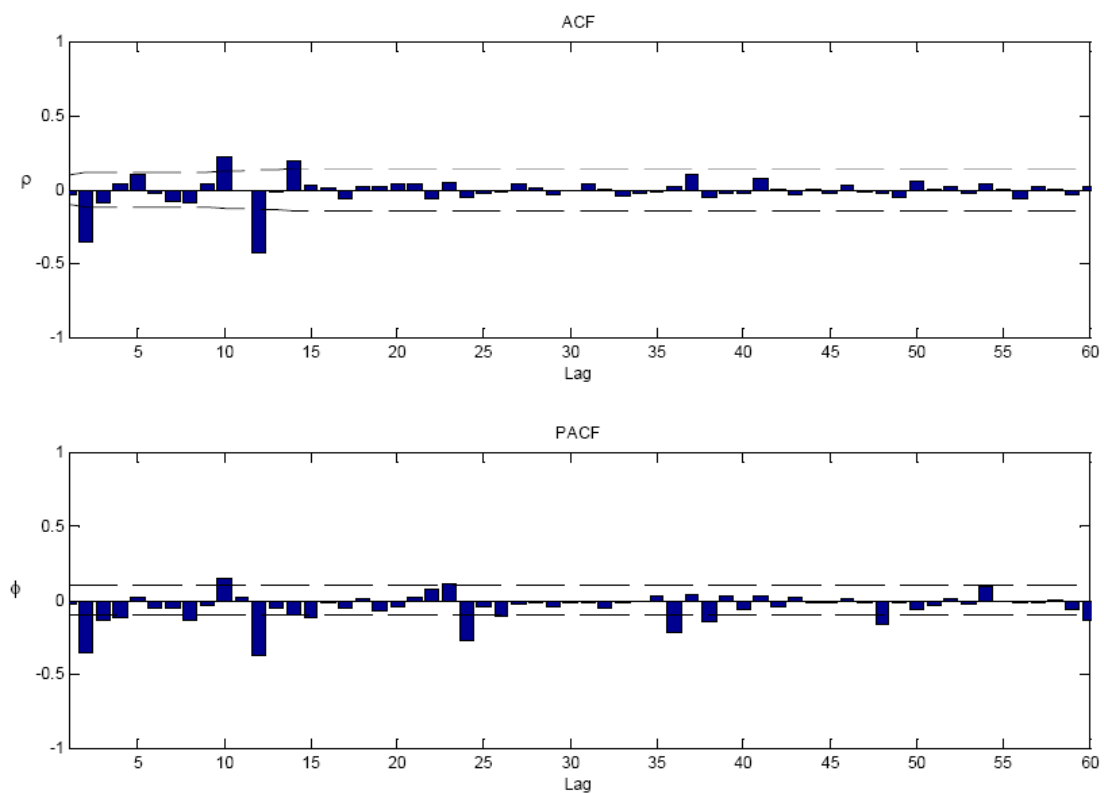
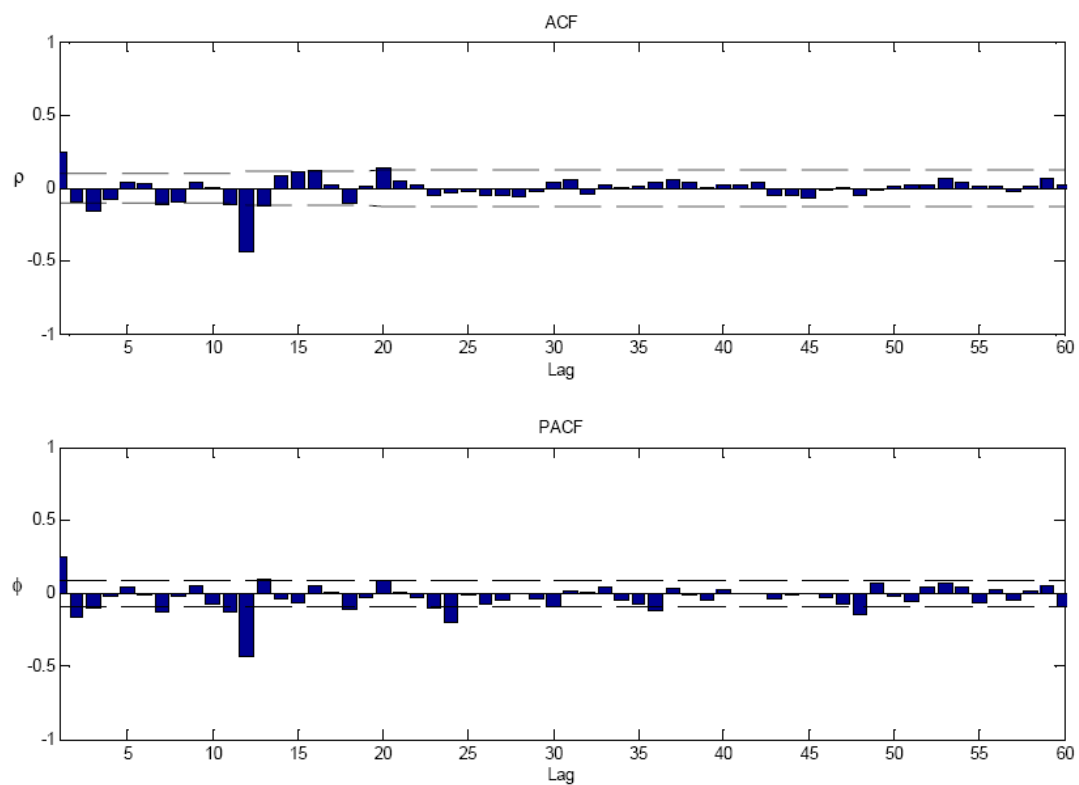


Figura 7 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível mínimo de Fonte Boa.

ANEXO 2 – GRÁFICOS DE ACFS E PACFS DE PARINTINS**Figura 8 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível máximo de Parintins.****Figura 9 - Função de autocorrelação e autocorrelação parcial para o nível mínimo de Parintins.**

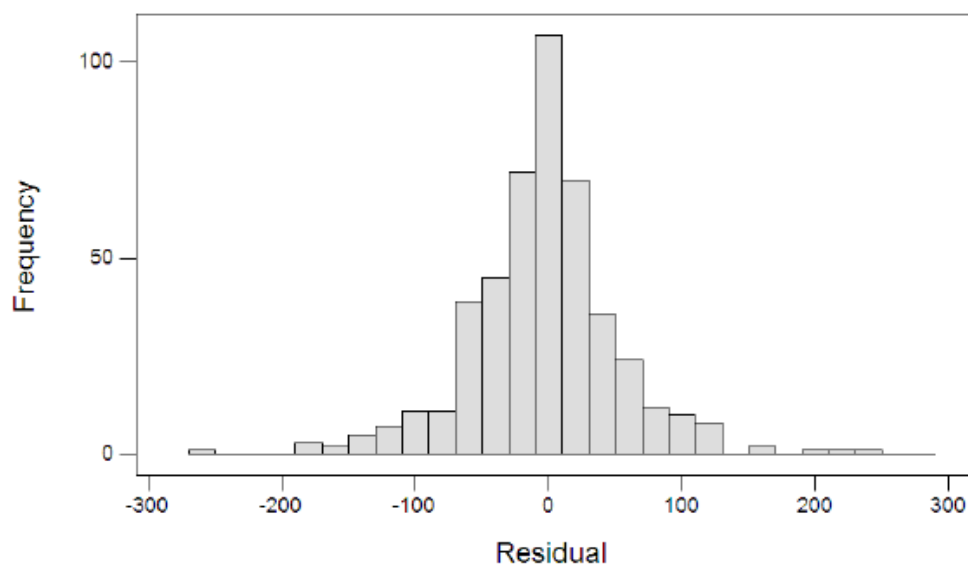
ANEXO 3 – HISTOGRAMA RESIDUAIS DE PARINTINS

Figura 10 - Histograma dos resíduos dos níveis máximos mensais do Rio Solimões em Parintins, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA (1,0,1) x (0,1,1)

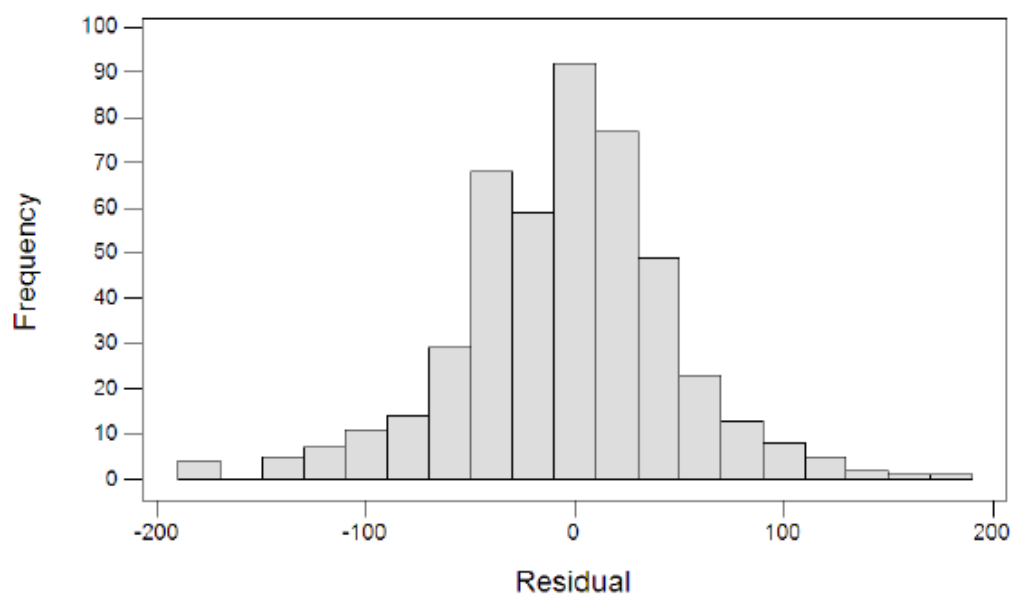


Figura 11 - Histograma dos resíduos dos níveis mínimos mensais do Rio Solimões em Parintins, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA (1,0,1) x (0,1,1).

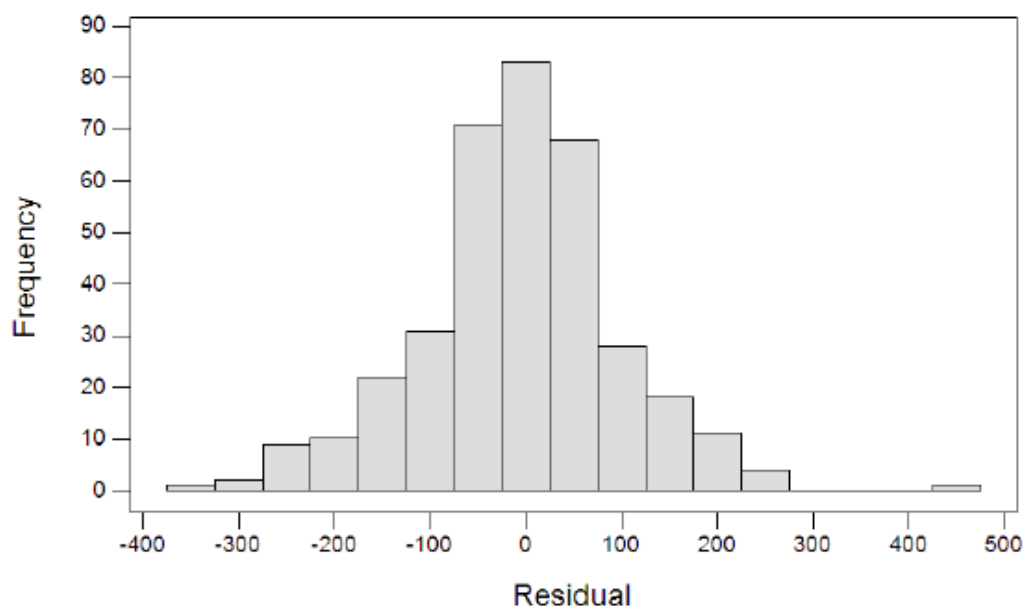
ANEXO 4 – HISTOGRAMAS RESIDUAIS DE FONTE BOA

Figura 12 - Histograma dos resíduos dos níveis máximos mensais do Rio Solimões em Fonte Boa, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA (2,1,2) x (0,1,1).

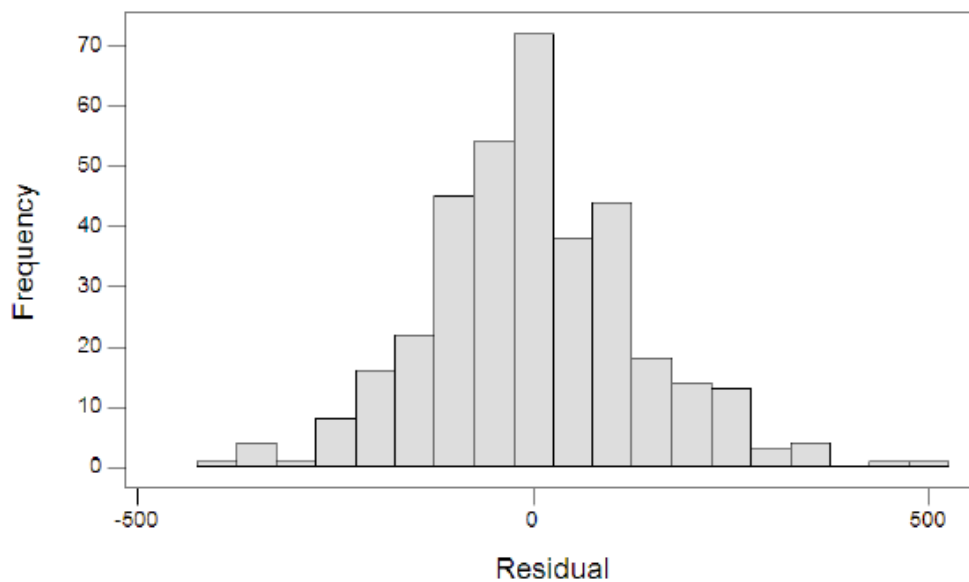


Figura 13 - Histograma dos resíduos dos níveis mínimos mensais do Rio Solimões em Fonte Boa, confirmando a suposição de normalidade dos erros do modelo SARIMA (0,1,1) x (0,1,1).

7 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas - ANA -. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>.

Acesso em: 12 de Julho de 2010.

<<http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 12 de Julho de 2010.

Morettin, P.A.; Toloí, C. M. *Análise de Séries Temporais*. 2 ed. São Paulo Edgar Blucher, 2006.

REGO, C. R. *Influência dos fatores climáticos nos níveis de água dos Rios Solimões e Negro*. PIBIC, 2009.

REGO, C. R. *Previsão do Nível Dos Rios Negro e Solimões Usando os Modelos de Box & Jenkins e Muskingum*. PIBIC, 2008.

H.Shumway, Robert H; D.S. *Time Series Analysis and Its Applications with R Examples*. 2 ed. Pittsburgh Springer, 2005.

Brockwell, D.J.; Davis, R. A. 2002. *Introduction to Time Series and Forecasting. Second Edition*. New York : Springer.

VERGARA, Sylvia Constant. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

