

## PREVISÃO PELO SERVIÇO DE FORNECIMENTO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins

**Guilherme Nunes Martins**

Faculdade Boa Viagem (FBV)/Faculdade de Ciência Humanas Esuda/Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

**Wellington Ribeiro Justo**

Universidade Regional do Cariri (URCA)

### PREVISÃO PELO SERVIÇO DE FORNECIMENTO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins

**Resumo:** A problemática da seca no semiárido brasileiro constitui um dos fatores limitantes para o desenvolvimento econômico da região, uma vez que a falta de água além de dificultar a vida de milhares de pessoas, impede que diversas atividades geradoras de renda sejam realizadas. Em face deste problema o governo federal criou o programa emergencial de distribuição de água do Governo Federal conhecido como "Operação Pipa". Dessa forma, este trabalho tem como objetivo fazer previsão de demanda por este serviço de abastecimento de água nesta região, considerando que tal informação é significante no processo de tomada de decisão na hora de alocar os recursos disponíveis e de elaboração de políticas mais efetivas. Para isso, utiliza a metodologia de Box-Jenkins no período de Janeiro de 2003 a Agosto de 2010, disponibilizada pelo Ministério da Integração Nacional, por intermédio da Secretaria Nacional de Defesa Civil e pelo Comando de Operações Terrestre do Exército Brasileiro. Os resultados apontaram que o modelo mais apropriado foi modelo sazonal SARIMA(2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub>. As previsões sugerem que existe, de fato, um crescimento da demanda por água na região. Conclui que apenas medidas eficazes de convivência com a seca poderão reverter tamanha necessidade

**Palavras-chave:** Previsão de demanda, água, semiárido, modelos Box-Jenkins, séries temporais.

### FORECAST FOR THE SERVICE OF WATER SUPPLY IN BRAZILIAN SEMIARID: an application of Box-Jenkins models

**Abstract:** The problem of drought in the Brazilian semiarid region is one of the limiting factors for economic development of the region, since the lack of water also hindering the lives of thousands of people, prevents various income-generating activities to be conducted. In face of this problem the federal government created the program emergency water distribution of the federal government known as "Operation Pipa". Thus, this study aims to forecast demand for this service water supply in this region considering that such information is significant in the process of decision making time to allocate the available resources and the development of more effective policies. For this we used the Box-Jenkins methodology for the period January 2003 to August 2010, provided by the Ministry of National Integration, through the Secretary of National Defense and by the Land Operations Command of the Brazilian Army. The results showed that the model was most appropriate seasonal model SARIMA (2,0,1) (1,1,0) 12. Forecasts suggest that there is indeed an increase in demand for water in the region. Concludes that only effective measures of dealing with the drought that could reverse such need.

**Key words:** Demand forecasting, water, semiarid, Box-Jenkins models, time series.

Recebido em: 26.08.2013. Aprovado em: 29.08.2014.

## 1 INTRODUÇÃO

A informação no processo de tomada de decisão pode torná-la fácil se ela aumentar o grau de certeza da situação, mas, por outro lado, a incerteza, *trade-offs*, perigos, risco e o custo do fracasso, por exemplo, podem torná-la bastante difícil. Assim, a quantidade de informação a disposição do *decision maker* será importante para reduzir as desconfiças e aumentar a precisão da decisão (LUECKE, 2009).

Fazer previsões é uma forma de antecipar informações, capaz de reduzir as incertezas sobre determinado evento futuro. As organizações privadas fazem seus orçamentos de receitas, despesas, compra de matéria-prima, entre outros, baseadas em previsões que geralmente são realizadas com base em banco de dados com informações passadas.

As organizações públicas não fogem à regra. O Governo Federal, por exemplo, tem seu orçamento votado anualmente; com isso, os recursos destinados aos diversos órgãos da máquina pública para execução de programas, pagamento de pessoal e custeio das despesas em geral, são previstos um ano antes do seu efetivo gasto. Uma previsão mal elaborada, ou a falta desta, pode levar o *decision maker* a decisões equivocadas que podem representar perdas para o governo e para a sociedade.

Nesse contexto, este trabalho tem o objetivo de fazer previsões de demanda por água na região do semiárido brasileiro. Região afetada por um problema que limita o seu desenvolvimento econômico, considerando que a falta de água além de dificultar a vida de milhares de pessoas que nela vivem, impede que diversas atividades geradoras de renda sejam realizadas. Sendo assim, a obtenção de tal informação é muito significativa para os gestores de programa para a região, pois os ajudará na hora de decidir quanto à alocação dos recursos disponíveis ou na elaboração de políticas públicas mais efetivas.

Os períodos de chuva estão cada vez mais indefinidos em relação aos meses de estiagem, assim, a população e o governo têm dificuldades de se prepararem durante os meses de chuvas para então enfrentar os períodos de escassez de água.

Nos últimos anos, portanto, o fenômeno da seca está se prolongando por todo o ano, transfigurando o programa emergencial de distribuição de água do Governo Federal, conhecido como *Operação Pipa*, numa ação permanente que não tem previsão de término. Isso é alarmante e suscita alguns questionamentos, haja vista as mudanças climáticas que vêm ocorrendo em todo o globo terrestre. Será que o processo evolutivo de desertificação que o semiárido brasileiro vem sofrendo pode ser contido ou acomodado? Há alguma solução de curto ou longo prazo para essa problemática que perdura por tanto tempo? Que informação poderia ajudar o gerenciamento de ações de convívio com a seca?

Até pouco tempo o meio ambiente não representava qualquer restrição ao crescimento das economias. Foi somente a partir dos anos 60 do século 20 que a questão ambiental passou a fazer parte das discussões entre os economistas (PEARCE; TURNER, 1990).

Dessa forma, a contribuição desta pesquisa é fornecer aos gestores públicos, às entidades privadas e às Organizações Não-Governamentais (ONG) interessadas em amenizar o problema da seca na região do semiárido, informação (uma previsão das necessidades futuras de água daquela população – capaz de fazer a diferença entre a manutenção de políticas ineficientes e equivocadas de combate à seca e à desertificação e a implantação de estratégias coerentes de convivência com o problema).

Fazer previsões de demanda não é uma tarefa trivial. Contudo, seus resultados podem ser compensadores, pois, irão auxiliar na alocação correta dos recursos necessários no futuro (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; HYNDMAN, 1998). Um exemplo claro disso é uma falha observada no próprio Programa Emergencial de Distribuição de Água do Governo Federal: *Operação Pipa*, subordinado ao Ministério da Integração Nacional. A falta de previsão da necessidade de água, não permite que os créditos necessários sejam descentralizados na hora certa, conseqüentemente, a falta de dinheiro paralisa as atividades, encerrando o abastecimento de água nas cidades afetadas pela seca.

Para fazer as previsões de demanda de água desta pesquisa para os meses de 2011 e 2012, foram utilizados métodos quantitativos<sup>1</sup> baseados em dados históricos oriundos da *Operação Pipa* e da Secretária Nacional de Defesa Civil (SEDEC) precisamente uma série temporal mensal relativa ao período de distribuição de água que vai de Janeiro de 2003 a Agosto de 2010.

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi baseada na estratégia de seleção de modelos de previsão de Box-Jenkins (B-J), formalizada pelos autores em 1976, considerada a mais popular das técnicas quantitativas de previsão (ENDERS, 2003). Tais modelos partem do pressuposto de que cada valor da série temporal univariada pode ser explicado por valores anteriores, ou seja, os dados falam por si mesmos.

Vale ressaltar que a metodologia Box-Jenkins tem sido largamente utilizada nas mais variadas áreas do conhecimento como medicina, meio ambiente, finanças e engenharia, com o propósito de fazer previsões. Lee (1998) a utilizou para prever taxas de fecundidade nos EUA; Slini, Karatzas e Moussiopoulos (2001) fizeram previsão da qualidade do ar atmosférico na cidade de Atenas, na Grécia; Lim e McAleer (2001) fizeram previsão de demanda turística na Austrália, por turistas oriundos de países asiáticos; e Ribeiro e Paula (2000), fizeram previsões da população futura brasileira, utilizando essa técnica.

O desenvolvimento do trabalho ocorre em mais quatro seções, além desta breve introdução. Na próxima seção serão caracterizadas a região do semiárido brasileira e a operação emergencial de distribuição de água – Operação Pipa. Na seção três é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa. Na quarta seção é realizada a previsão propriamente dita, em que são realizados todos os passos conforme preconiza a metodologia na construção do modelo mais apropriado para o caso da necessidade de água na região da seca e previsão. E na quinta e última seção são apresentadas as considerações finais do estudo.

## 2 A REGIÃO DO SEMIÁRIDO E A OPERAÇÃO PIPA

### 2.1 A Região do Semiárido

De acordo com a nova delimitação do semiárido brasileiro, aprovada em março de 2005, pelo Ministério da Integração Nacional (MIN), a área afetada pelo fenômeno da seca é de 969.589,4 km<sup>2</sup>, onde estão localizados 1.133 municípios (**ver Tabela 1**). Como o Brasil possui um total de 5.562 municípios, a região do semiárido é composta por mais de 20% das cidades brasileiras, ou seja, mais de 1/5 dos municípios do país sofrem com a falta de água (BRASIL, 2005).

A **Tabela 1**, por sua vez, resume os números de municípios e suas respectivas áreas de abrangência referentes à Região do Semiárido Brasileiro.

**Tabela 1 – Número de Municípios e Área da Região do Semiárido Brasileiro**

Estados	Número de Municípios <sup>1</sup>		Área em Km <sup>2</sup>	
	Estado	Semiárido	Estado	Semiárido
Piauí	221	127	251.311,5	150.454,3
Ceará	184	150	145.711,8	126.514,9
Ria Grande do Norte	166	147	53.077,1	49.589,9
Paraíba	223	170	56.340,9	48.785,3
Pernambuco	185	122	98.526,6	86.710,4
Alagoas	101	38	27.818,5	12.686,9
Sergipe	75	29	21.962,1	11.175,6
Bahia	415	265	564.273,0	393.056,1
Minas Gerais	165 <sup>2</sup>	85	200.221,0	103.590,0
Total	1.735	1.133	1.419.242,5	982.563,4

**Notas:** <sup>1</sup> Acrescido do Estado de Minas Gerais.

<sup>2</sup> Área de Atuação da ADENE.

**Fonte:** BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília, DF, 2005.

A **Figura 1**, mostra a nova delimitação do semiárido. Conforme pode ser observado, a região semiárida brasileira compreende quase que a totalidade do território nordestino. Praticamente todos os Estados do Nordeste são afetados pelo fenômeno. A única exceção é o Estado do Maranhão. Em contrapartida, o Norte do Estado de Minas Gerais tem 85 dos seus municípios afetados pela seca.

**Figura 1 - Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**



Fonte: (BRASIL, 2005).

Conforme pode ser observado, a quantidade de municípios dos estados listados é bem significativa, totalizando 65% dos municípios na região. Já em relação à área afetada, o percentual de

comprometimento da região é um pouco maior, ou seja, 69% do total.

A **Tabela 2**, apresenta indicadores populacionais e geográficos do semiárido brasileiro. Estas características colocam o Brasil como o país com a região semiárida mais populosa do mundo, atualmente habitada por quase 21 milhões de habitantes.

Ainda na **Tabela 2**, pode ser visto que o número de habitantes na Região Semiárida brasileira é bem expressivo. Este grande quantitativo explica a atenção especial do Governo Federal com o seu desenvolvimento.

Na delimitação do semiárido brasileiro, o MIN formou um Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), que tomou por base três critérios técnicos aplicados a todos os municípios pertencentes à área da antiga Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), inclusive os do norte de Minas Gerais e do Espírito Santo: O primeiro critério foi a precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; o segundo foi o índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as

**Tabela 2 – População dos Municípios da Região do Semiárido Brasileiro atualizar**

Estados	População Municípios do Semiárido			População do Estado
	Urbana	Rural	Total	
Piauí	520.613	524.934	1.045.547	3.118.360
Ceará	3.018.886	1.705.819	4.724.705	8.452.381
Rio Grande do Norte	1.211.672	553.063	1.764.735	3.168.027
Paraíba	1.418.612	673.788	2.092.400	3.766.528
Pernambuco	2.376.320	1.279.502	4.675.890	8.796.448
Alagoas	503.589	396.960	900.549	3.120.494
Sergipe	250.082	191.392	441.474	2.068.017
Bahia	3.978.096	2.762.601	6.740.697	14.016.906
Minas Gerais	725.248	507.141	1.232.389	15.989.968
<b>Total</b>	<b>14.003.118</b>	<b>8.595.200</b>	<b>23.618.386</b>	<b>62.497.129</b>

Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2010**: resultados gerais da amostra. Rio de Janeiro, 2012. Sendo retirado também do documento *Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro* (BRASIL, 2005).

precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; o terceiro e último, foi o risco de ocorrência de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2005).

Para o ministério

[...] não é a falta de chuvas a responsável pela oferta insuficiente de água na região, mas sua má distribuição, associada a uma alta taxa de evapotranspiração, que resultam no fenômeno da seca, a qual periodicamente assola a população da região. (BRASIL, 2005).

Segundo Celso Furtado (1989), a sociedade que emergiu da zona do semiárido brasileiro tinha como características principais a dispersão espacial dos camponeses, devido à pecuária extensiva, e à dependência destes com respeito aos donos de terras. Para ele foi a falta de investimentos que condenou a sociedade às piores formas de subdesenvolvimento. E concluiu que

[...] o ecológico, o econômico, o social e o político se entrelaçaram para produzir o duro cimento em que se alicerçou o subdesenvolvimento do Nordeste. (FURTADO, 1989, p. 22-23).

Muitos programas são implantados como salvadores da pátria tais como: programa de adutoras, água para todos, construção de açudes, barragens, cisternas e nada de se resolver o problema. Milhões e milhões de reais têm sido gastos nesses programas, mas o flagelo da seca continua, hoje, entretanto com menos impacto do que antigamente: “Até a década de 1970 era uma verdadeira carnificina, morte de animais e de crianças [...] hoje os problemas são outros.” (MARTINS, MELO, MELO, 2010, p. 1).

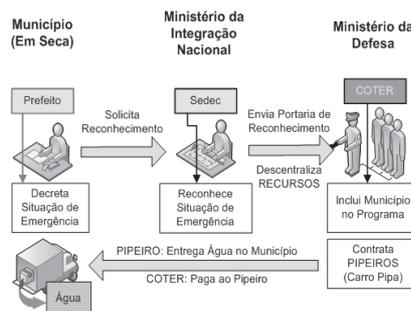
## 2.2 A Operação Pípa

A Operação Pípa é o programa emergencial de distribuição de água do Governo Federal a cargo do

Ministério da Integração Nacional, operacionalizado pelo Ministério da Defesa por intermédio do Comando de Operações Terrestre, organização militar do Exército Brasileiro. Seu objetivo é levar água potável aos municípios atingidos pela estiagem no Semiárido brasileiro, que tenha decretado situação de emergência por causa da estiagem e que tenha tal condição reconhecida pela SEDEC por intermédio de portaria.

Ela compreende o planejamento, coordenação, fiscalização, transporte, desinfecção e distribuição da água potável nas micro-regiões em situação de emergência. A **Figura 2** mostra o fluxo de ações da Operação Pípa, de acordo com a participação de cada ente envolvido.

**Figura 2 – Fluxo da Operação Pípa**



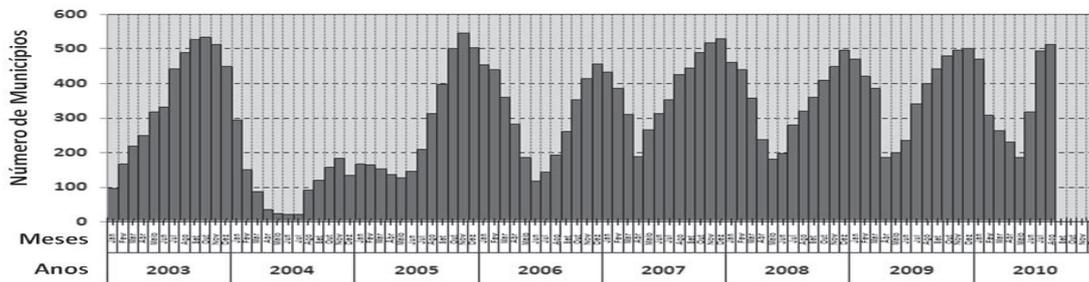
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir do documento do MIN (BRASIL, 2005).

Conforme pode ser observado, as solicitações de carros-pipas são feitas depois de decretado o estado de emergência no município, enviadas à SEDEC, que tem por responsabilidade reconhecer se de fato a cidade está passando pela situação de risco. Uma vez reconhecida, a solicitação é repassada ao Ministério da Defesa que, por intermédio do Comando das Forças Terrestres (COTER), operacionaliza a distribuição de água.

O **Gráfico 1** mostra o número de municípios atendidos pela Operação Pípa, conforme COTER (BRASIL, 2010) a prioridade é dada à zona rural desses municípios.

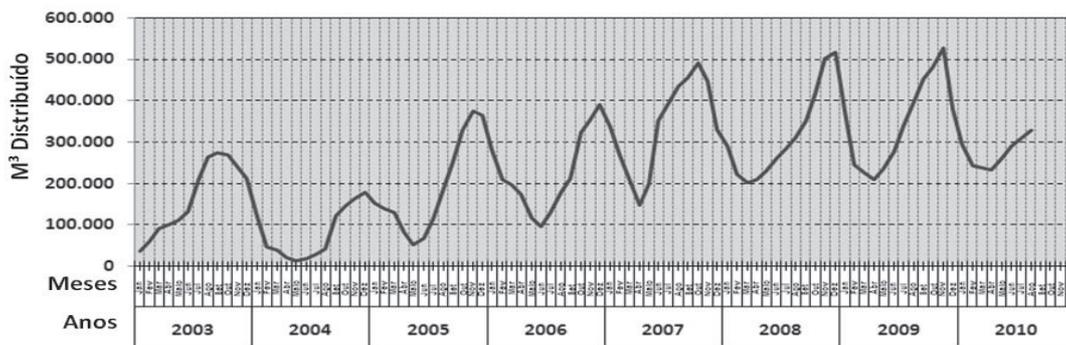
Pode-se observar que, nos meses de pico, o número de municípios atendidos ultrapassa

**Gráfico 1 – Número de Municípios Atendidos por Mês: 2003 – 2010**



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pípa: BRASIL. Ministério da Defesa Exército Brasileiro Comando de Operações Terrestres. **Distribuição emergencial de água no semiárido brasileiro: Operação Pípa.** Brasília, DF, 2010. CMNE - EMG - 4ª SEÇÃO, ORDEM DE SERVIÇO Nr 001 - E4 / CMNE.

**Gráfico 2 - Série Temporal de Distribuição de Água na Operação Pípa**



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pípa (BRASIL, 2010).

a marca dos 500. Nesses períodos, cerca de 550 militares ficam envolvidos na operação atuando na gestão e fiscalização da mesma (BRASIL, 2010).

O **Gráfico 2**, por sua vez, mostra a série temporal de distribuição de água na operação pípa, no período compreendido entre janeiro de 2003 a agosto de 2010.

Nesse caso é possível notar que a série tem uma ligeira tendência de crescimento na distribuição de água na região do semiárido. E, ainda, o caráter emergencial está sendo transfigurado pela permanente necessidade de água potável de alguns municípios, notadas a partir de junho de 2006.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Modelagem Box-Jenkins

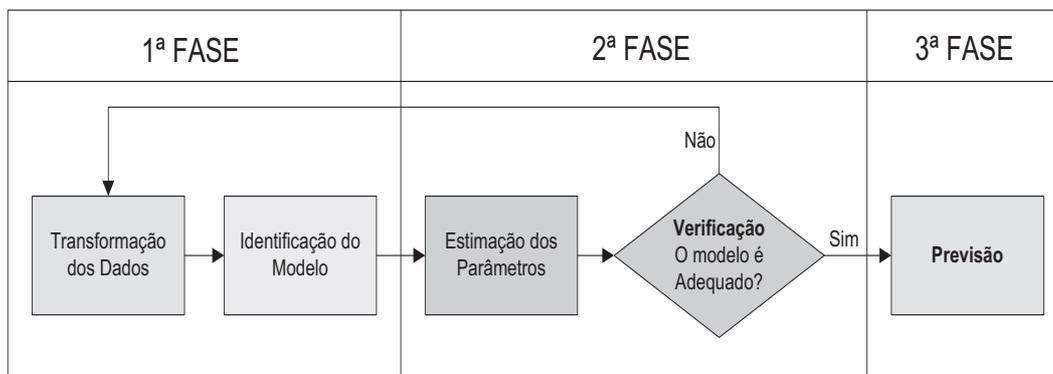
A metodologia Box-Jenkins (B-J) é considerada a

mais popular das técnicas quantitativas de previsão, realizada a partir de uma série temporal univariada (ENDERS, 2003). Tal técnica é baseada apenas no passado da própria variável para fins de previsões, ou seja, não utiliza a história de quaisquer outras variáveis. Em outras palavras, os dados falam por si mesmos (espera-se que a série apresente uma correlação seriada no tempo). Para Granger e outros (1977), os modelos, B-J baseado em série temporal, são indicados para prever valores futuros.

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo. Formalmente, é  $\{y_t | t \in T\}$ , em que  $y$  é a variável<sup>2</sup> da série e  $t$  (tempo) é o índice<sup>3</sup> pertencente ao conjunto T (BOX; JENKINS, 1976).

Conforme Morrentin e outros (1987) a composição de uma série temporal é dada por quatro elementos: o primeiro é a tendência cujo objetivo

Figura 3 – Ciclo de Modelagem e Previsão Box-Jenkins



Fonte: Elaborado pelos autores.

é verificar o sentido de deslocamento da série; ela mostra redução, aumento ou estabilização dos dados; o segundo elemento é o ciclo que descreve o movimento ondulatório de tendência periódica; o terceiro é a sazonalidade que mostra o movimento ondulatório de curta duração; esta segue um padrão temporal, relacionada a influências climáticas, datas festivas e períodos de férias, por exemplo; e o quarto é o erro que compreende a variabilidade intrínseca aos dados, resultante de fatos excepcionais, como tragédias, mudanças conjunturais no país, crises mundiais, os quais não podem ser previstos; consequentemente, este elemento não pode ser modelado.

A modelagem Box-Jenkins consiste em ajustar – a uma dada série temporal – modelos *Auto Regressive Integrated Moving Averages* (ARIMA)<sup>4</sup> em português: Modelos Auto-Regressivos Integrados de Médias Móveis. A proposta de Box e Jenkins (1976) é que em três estágios seja selecionado (construído) o modelo mais apropriado para realizar a previsão do conjunto de dados disponível.

A Figura 3 apresenta a sequência dos estágios e mostra o ciclo de modelagem e previsão Box-Jenkins. Observa-se, ainda, que o processo de escolha pode se repetir várias vezes.

Uma forma de simplificar a previsão é identificar alguns modelos para estimação e verificação; encontrando-se um entre esses, se

procede com a previsão.

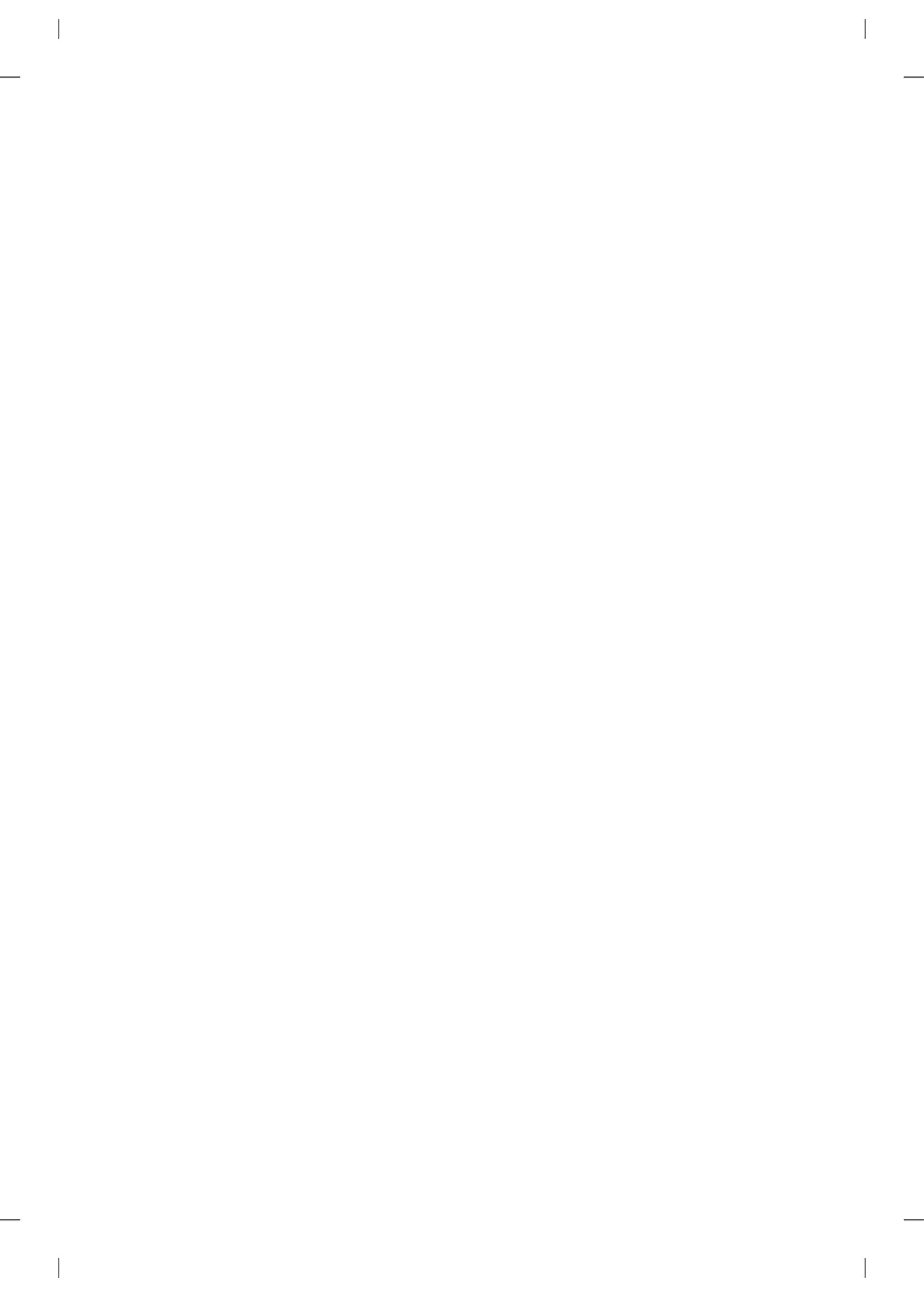
### 3.2 Modelos Estacionários

São aqueles em que a série temporal apresenta média e variância não dependente do tempo. Conforme Bueno (2008), um modelo é dito fracamente estacionário se nem a esperança nem a autocovariância dependem do tempo, e dito fortemente estacionário (ou estrito) se todos os momentos populacionais, quando existirem, sejam invariantes a modificações no tempo<sup>5</sup>.

### 3.3 Modelos Não-Estacionários

São aqueles em que a série temporal apresenta média e variância dependente do tempo. Diferentemente dos modelos apresentados na seção anterior, neste caso, é impossível estimar todos os momentos da série, tampouco inferências estatísticas.

A não estacionaridade da série temporal implica em duas situações que podem ser detectadas através da análise gráfica ou através do teste de raiz unitária Dickey-Fuller: na primeira, os dados não se concentram em torno de sua tendência, e na segunda, a variação não permanece essencialmente constante ao longo do tempo, ou seja, suas oscilações mudam, indicando que a variância não é constante e está se alterando.



de Janeiro de 2003 a Agosto de 2010. Obtidos da base de dados do Sistema de Gerenciamento de Distribuição de Água (SisGDA), de Janeiro de 2003 até Dezembro de 2006, e do Gestor de Controle e Distribuição de Água (GCDA), no Portal da Operação Pipa (DISTRIBUIÇÃO..., [20--?]), a partir de Janeiro de 2007 até Agosto de 2010, disponibilizados pelo Ministério da Integração Nacional através do COTER. O **Gráfico 2** apresentou a série temporal da distribuição de água na Operação Pipa.

Os procedimentos operacionais foram realizados conforme a metodologia detalhada na seção anterior. Foram seguidas todas as fases conforme mostrado na **Figura 3**. Nos procedimentos operacionais foi utilizado o software econométrico WinRATS<sup>®</sup> Pro, versão 7, bem como as rotinas extras deste software contidas em pacotes de programação suplementares.

#### 4.1 Etapa de Identificação do Modelo

Inicialmente foi realizada uma análise gráfica da série temporal de distribuição de água com o objetivo de encontrar tendência ou alteração na variância, o que revelaria se a série é ou não estacionária.

O **Gráfico 3** mostra a série original de distribuição de água (linha azul) mais uma linha de tendência linear (linha reta vermelha).

Conforme pode ser observado, a linha de tendência (cor vermelha) mostra um caminho crescente expressivo, o que sugere tratar-se de uma série não-estacionária. Contudo é preciso se certificar desta indicação.

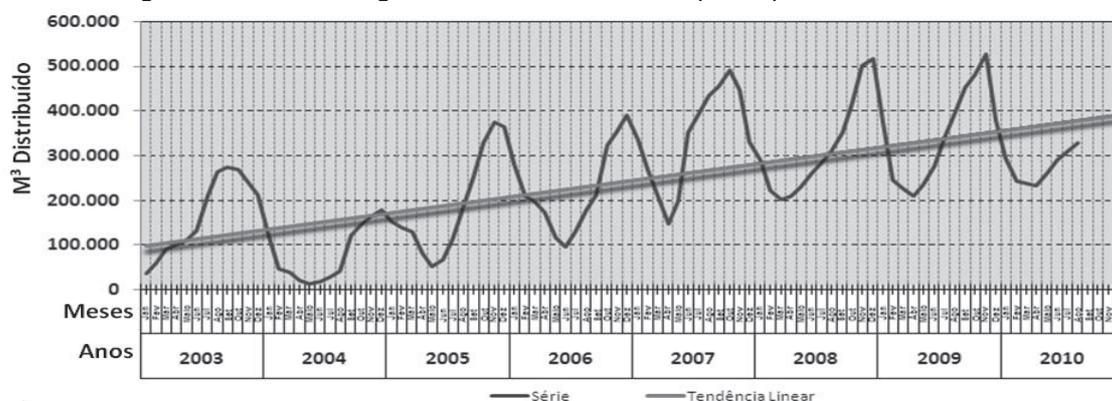
Para testar a estacionariedade da série, então, inicialmente é preciso analisar as funções de autocorrelações (FAC) e de autocorrelações parciais (FACP) da série original. Espera-se que o comportamento dessas funções indique qual o melhor modelo a ser utilizado, bem como auxilie no uso dos testes de raízes unitárias para confirmar a indicação de não-estacionariedade.

O **Gráfico 4** mostra o correlograma FAC e FACP da quantidade de água distribuída, obtido a partir da função BJIDENT<sup>7</sup>.

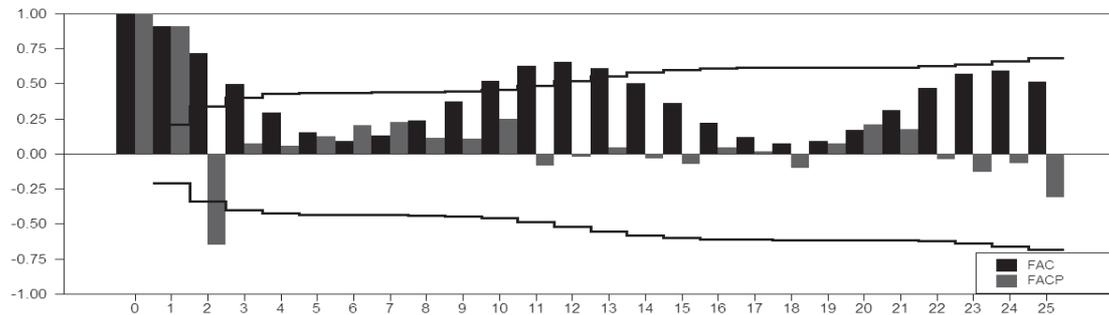
Conforme pode ser observado, a FAC de água distribuída revela que as autocorrelações apresentam decaimento exponencial, típico do processo autoregressivo, mas com defasagem sazonal (12). A FACP apresenta autocorrelação parcial de ordem 1, significativa. Assim, há indicação de um modelo ARMA (1,1) ou ARMA(2,1).

Contudo, é preciso constatar a não-estacionariedade da série. Sendo assim, foi feita uma verificação da existência de raiz unitária através do teste Dickey-Fuller Aumentado (DFA), cuja hipótese nula ( $H_0$ ) estabelece que haja raiz unitária, o que significa que a série é não-estacionária.

**Gráfico 3 - Água Distribuída na Região do Semiárido Brasileiro (Em M<sup>3</sup>)**



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pipa (BRASIL, 2010).

**Gráfico 4 – FAC e FACP para Água Distribuída no Semiárido**

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pipa (BRASIL, 2010).

Mas, antes do teste DFA, foi realizado o teste Dickey-Fuller padrão (DF), que também informa se a série tem ou não raiz unitária, com mesma hipótese nula, utilizando os seguintes critérios de informação para obter a melhor estrutura de defasagem: (i) Akaike e Schwarz, (ii) Ljung-Box e de (iii) LM. Nesse caso, o critério escolhido foi o de Ljung-Box com defasagem 1.

Sabendo-se da defasagem, foi realizado o teste DFA através da função ARAUTO<sup>8</sup>, cujo resultado rejeitou a hipótese nula  $H_0$ , ou seja, não existe raiz unitária na série original. O que é negação da não-estacionariedade indicada inicialmente.

Com isso, não é possível constatar que a série é não estacionária. A explicação para esse conflito de resultados está na presença da tendência determinística no Modelo ARIMA (1,1). Nesse caso, para resolver tal impasse, regride-se a série contra a sua tendência através de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e utiliza os resíduos como sendo a série sem a tendência determinística.

Os resultados dos testes de estacionariedade para os resíduos indicaram que a série não tem raiz unitária, ou seja, ela é estacionária.

Agora, considerando os resultados, a sazonalidade e a defasagem, chegamos aos seguintes modelos SARIMA (1,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> e SARIMA(2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub>.

#### 4.2 Etapa de Estimação do Modelo

Uma vez identificados os modelos, passa-se para a estimativa dos parâmetros dos modelos

propostos, da variância do resíduo  $\sigma_\varepsilon^2$  e da constante de cada um dos modelos. A estimação foi feita utilizando a função BOXJENK<sup>9</sup>, privada do WinRATS cujos resultados são os seguintes:

a) SARIMA (1,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> (Tabela 3);

O Gráfico 5 mostra o correlograma FAC e FACP dos resíduos do modelo.

b) SARIMA (2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub> (Tabela 4).

O Gráfico 6 mostra o correlograma FAC e FACP dos resíduos do modelo.

#### 4.3 Etapa de Verificação do Modelo (Checagem)

Essa etapa da metodologia Box-Jenkins consiste em verificar se o modelo identificado estimado é adequado para a série temporal original. Caso seja, ele é utilizado para fazer previsões; caso contrário, é preciso identificar outro modelo e repetir as etapas de estimação dos parâmetros.

As formas de checagem do modelo são duas: a primeira, através da análise de resíduos do modelo a fim de se verificar a identificação desses com o ruído branco; e a segunda é realizada pela avaliação da ordem do modelo cujo objetivo é verificar se o modelo é parcimonioso, o que significa dizer que não há excesso de parâmetros no modelo.

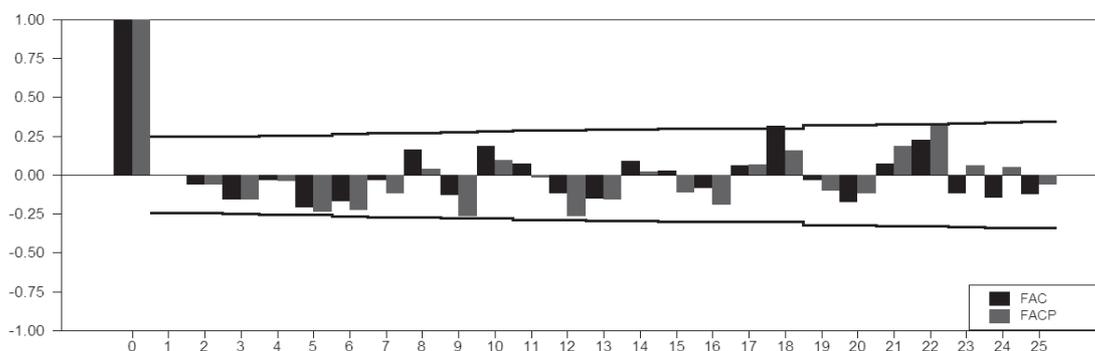
Para realizar a análise dos resíduos dos modelos foram verificados os Gráficos 5 e 6. É possível observar, contudo, que os resíduos de ambos os modelos SARIMA apresentam um comportamento aleatório, ou seja, sem padrão específico e, ainda, que não há significância nem da FAC nem da FACP deles. Sendo assim, da análise dos resíduos, pode-se concluir que ambos os modelos são adequados.

**Tabela 3 - Resultados da Estimação do Modelo SARIMA (1,1,1)(1,1,0)**

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística T	Significância
Constante	- 944,592785	4.262,485307	- 0,22161	0,82534881
AR{1}	- 0,016677	0,380869	- 0,04379	0,96521536
SAR{12}	- 0,667804	0,104867	- 6,36808	0,00000003
MA{1}	0,348382	0,356706	0,97667	0,33252990

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pipa (BRASIL, 2010).

**Gráfico 5 – FAC e FACP para os Resíduos do SARIMA (1,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub>**



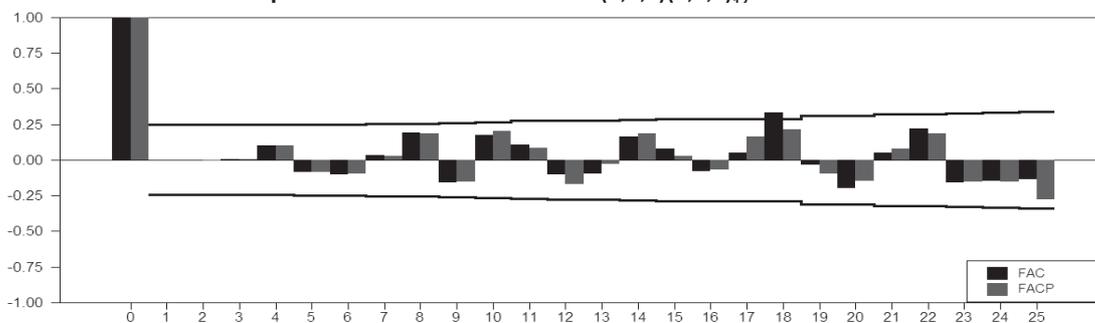
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pipa (BRASIL, 2010).

**Tabela 4 - Resultado da estimação do modelo SARIMA (2,0,1)(1,1,0)**

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística T	Significância
Constante	37.916,05010	12.398,34087	3,05816	0,00330495
AR{1}	1,06352	0,29410	3,61614	0,00060761
AR{2}	- 0,33603	0,25546	- 1,31539	0,19330305
SAR{12}	- 0,64086	0,10541	- 6,07948	0,00000009
MA{1}	0,10779	0,31159	0,34595	0,73057318

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pipa (BRASIL, 2010).

**Gráfico 6 – FAC e FACP para os Resíduos do SARIMA (2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub>**



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pipa (BRASIL, 2010).

Essa conclusão é corroborada pelos resultados do teste de Ljung-Box  $Q^{*10}$ . Aplicando o teste sobre os erros estimados pela aplicação dos dois modelos:

- SARIMA (1,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> – 24: Estatística = 40,908, nível significância = 0,017
- SARIMA (2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub> – 24: Estatística = 40,056, nível significância = 0,021

Dessa forma, é possível afirmar que os resíduos podem ser considerados ruído branco.

Para verificar se o modelo é parcimonioso é realizada uma avaliação dos erros padrões dos coeficientes do modelo. Este indicador funciona da seguinte forma, se o valor do coeficiente estimado for pequeno em relação a seu erro padrão, conclui-se que ele não é significativo, ou seja, não há evidências estatísticas que reforce a necessidade desse coeficiente no modelo. Nos modelos identificados e estimados é possível concluir, de acordo com quadro da estimação, que há evidências estatísticas da relevância dos coeficientes identificados em ambos os modelos.

Os critérios de Akaike Information Criterion (AIC) e Schwartz Bayesian Criterion (SBC) utilizados para comparação de modelos e que levam em conta a variância do erro, o tamanho da amostra e os valores de  $p$ ,  $q$ ,  $P$  e  $Q$ , também são utilizados. Os valores obtidos foram os seguintes:

- SARIMA(1,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> :  
AIC = 1.690,93728  
SBC = 1.699,69590
- SARIMA(2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub> :    AIC =  
1.681,95983                            SBC =  
1.692,90811

Até agora ambos os modelos parecem muito semelhantes nas avaliações realizadas.

Outro indicador é o erro padrão dos resíduos; nesse caso, quanto menor o seu valor, melhores serão as previsões. Foram examinados, então, estes indicadores dos dois modelos em questão:

- SARIMA (1,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub>

Média dos Resíduos: 823.772.281,21  
Erro Padrão dos Resíduos: 851.286.372,21  
· SARIMA (2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub>  
Média dos Resíduos: 458.436.510,12  
Erro Padrão dos Resíduos: 485.844.275,23

Com esses resultados, o modelo SARIMA (2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub> é considerado melhor predictor da série temporal de distribuição de água no semiárido.

#### 4.4 Etapa de Previsão da Demanda por Água no Semiárido

Conforme Box e Jenkins (1976), para um modelo SARIMA (2,0,1)(1,1,0)<sub>12</sub>, o predictor  $h$  passos à frente é dado por:

$$(1 - 1,06352L + 0,33603L^2)(1 + 0,64086L^{12})(1 - L^{12})^1 y_{t+h} = (1 - 0,10779L) \varepsilon_{t+h} \quad (7)$$

Logo, o predictor  $h$  passos à frente para a distribuição de água na região do semiárido brasileira é dado conforme acima. O valor de  $\varepsilon_{t+h}$ , que ainda não ocorreu, é estimado por sua média, ou seja, o valor zero.

O **Gráfico 7** mostra a previsão de demanda por água para a região do semiárido brasileiro para o período de setembro de 2010 a novembro de 2011.

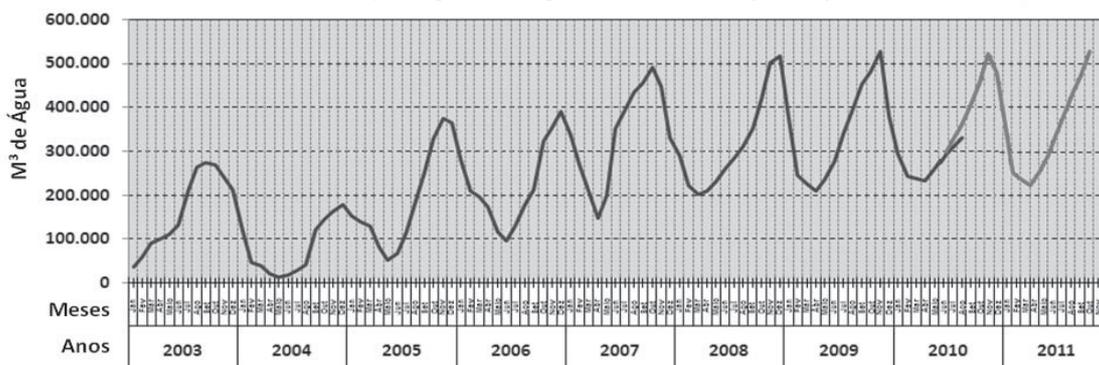
A previsão para a série temporal foi realizada para  $h = 11$ , ou seja, 11 meses à frente e mais 6 meses atrás. Como pode ser observado no gráfico acima, os valores previstos convergem para o verdadeiro comportamento da série (segmento em vermelho que representa a previsão ex-ante e ex-post). Assim, tanto para uma quanto para outra o modelo parece satisfatório para cumprir o que se propõe.

Contudo, no processo de tomada de decisão, o acompanhamento (comparação) da quantidade de água prevista para ser distribuída e a efetivamente chegada às casas dos habitantes da região é fundamental para a realização de ajustes pontuais e até melhorias do modelo predictor.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho tem como objetivo fazer a previsão pelo serviço de abastecimento de

Gráfico 7 – Previsão de Demanda por Água na Região do Semiárido (Em M³)



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Operação Pipa (BRASIL, 2010).

água na região do semiárido através da Operação Pipa do Governo Federal e executado pelo Exército Brasileiro. A partir das informações do COTER (BRASIL, 2010) os dados foram organizados em uma série temporal, permitindo a utilização do modelo de previsão Box-Jenkins.

A metodologia de Box-Jenkins mostrou-se satisfatória na pesquisa e justificou o porquê de sua popularidade. Apesar da complexidade dos procedimentos na busca do melhor modelo de previsão da série temporal, a utilização dos pacotes econométricos complementares do software mostrou-se válida. Os testes estatísticos subsidiaram a escolha do modelo.

Após a estimação de diversos modelos, seguindo as etapas inerentes à metodologia, chegou-se ao modelo escolhido: O modelo SARIMA (2,0,1)(1,1,0). Esse modelo conseguiu captar as características sazonais da demanda pelo serviço de abastecimento de água pela Operação Pipa.

Os resultados das previsões do modelo apontam para uma tendência de crescimento da demanda de água da Operação Pipa. Ou seja, este Programa está perdendo seu caráter emergencial (atendimento apenas em épocas de seca) e está tomando um caráter mais permanente. Isso dificulta bastante a operação, porque o fato de ser emergencial dispensa de licitação a contratação dos pipeiros, responsáveis pela entrega da água nas localidades afetadas com o problema da seca.

Diante dos valores gastos com a Operação

Pipa, e da quantidade de água que vem sendo distribuída ano-a-ano, a previsão de demanda por água é uma informação significativa no processo de tomada de decisão, seja para o Ministério da Integração Nacional, seja para qualquer ONG que trabalhe com programas de fornecimento alternativo de água para os sertanejos.

Muitas vezes, por falta de informação, o montante gasto em algumas soluções paliativas é superior ao gasto com políticas que tenham como pretensão solucionar permanentemente o problema da região do semiárido, como armazenamento e manejo adequado da água, por exemplo, o que já é viável, haja vista as novas tecnologias existentes.

Sugestão de extensão deste artigo é fazer estudo comparativo da viabilidade econômica financeira através de modelos de opção real entre os recursos gastos com o programa Operação Pipa com alternativas de solução definitiva, como o programa de cisternas de placas que captam água da chuva, entre outras.

## REFERÊNCIAS

BOX, G. E. P.; JENKINS G. M. **Time series analysis forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day, 1976.

BRASIL. Ministério da Defesa Exército Brasileiro Comando de Operações Terrestres. **Distribuição emergencial de água no semiárido brasileiro:**

Operação Pipa. Brasília, DF, 2010. CMNE - EMG - 4ª SEÇÃO, ORDEM DE SERVIÇO Nr 001 - E4 / CMNE.

\_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília, DF, 2005. Não paginado.

BUENO, R. L. **Econometria de Séries de Tempo**. [S. l.]: Cengage Learning, 2008.

DISTRIBUIÇÃO Emergencial de Água no semiárido brasileiro Operação Pipa. [S. n.: s. l.], [20--?]. Disponível em: <<http://gcda.5cta.eb.mil.br>>. Acesso em: 1 ago. 2010.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. New York: John Wiley & Sons, 2003.

FURTADO, Celso. **A fantasia desfeita**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1989.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira: Thomson Learning, 2001.

GRANGER, A.; NEWBOLD, O. **Forecasting Economic Time Series**. New York: Academic Press, 1977.

HAMILTON, James D. **Time Series Analysis**. Princeton: Princeton University Press, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2010: resultados gerais da amostra**. Rio de Janeiro, 2012.

LEE, R. D. Probabilistic Approaches to Population Forecasting. **Population and Development Review**, New York, v. 24, 1998.

LIM, C.; McALEER, M. **Time series forecasts of international travel demand for australia**. [S. l.]: Tourism and Management, 2001.

LUECKE, R.. **Tomando Decisões**. Rio de Janeiro: Record, 2009.

MAKRIDAKIS, S.G.; WHEELWRIGHT, S. C. ; HYNDMAN, R. J. **Forecasting methods and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

MARTINS, G. N.; MELO, A. S. S. de A.; MELO, G. A. P. O valor da seca no semi-árido nordestino, estudo de caso: Petrolina, Pernambuco. In: ENCONTRO DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 7., 2010, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: CDS, 2010.

MORRETIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Previsão de séries temporais**. São Paulo: Atual, 1987.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990.

RIBEIRO, L. C.; PAULA, A. V. Previsão de População através dos Modelos Box-Jenkins: um exercício para o Brasil. **Revista ABEP**, Rio de Janeiro, 2000.

SLINI, L.; KARATZAS, K.; MOUSSIOPOULOS, N. Statistical analysis of environmental data as the basis of forecasting: an air quality application. **The Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 228, 2001.

#### NOTAS

As Técnicas de Previsão de Demanda são divididas em dois grupos: (i) Modelos Qualitativos que envolvem julgamento e intuição de um ou mais indivíduos; e (ii) Modelos Quantitativos que utilizam séries históricas e projeções matemáticas nas previsões. Mais detalhes ver Gaither e Frazier (2001).

<sup>2</sup> Pode ser discreta ou contínua, univariada ou multivariada.

<sup>3</sup> Pode ser discreto ou contínuo, unidimensional ou multidimensional. Em geral  $t$  é discreto, unidimensional e observado em intervalos iguais.

<sup>4</sup> Modelos que resultam da combinação de três filtros denominados: um, componente auto-regressivo (AR); dois, filtro de integração (I); e três, componente de médias móveis (MA).

<sup>5</sup> Nesta categoria se enquadram os modelos Auto-Regressivo, os modelos de médias móveis e os modelos auto-Regressivos de média móveis. Para maiores detalhes ver Hamilton (1994).

<sup>6</sup> É um programa econométrico da ESTIMA. Disponível em: <<http://www.estima.com>>. Acesso em: 1 ago. 2010.

<sup>7</sup> A função mostra gráficos e estatísticas importantes no estágio de identificação de modelo B-J.

<sup>8</sup> A função faz o teste DFA de acordo com o número de defasagem da série.

<sup>9</sup> Estima modelos ARIMA, função de transferência e modelos de intervenção.

<sup>10</sup> Esse teste compara o valor da estatística de teste com os valores tabelados da distribuição Qui-quadrado com  $(j - p - q)$  graus de liberdade.

**Guilherme Nunes Martins**

Economista  
Doutor em Economia pela Universidade Federal de Pernambuco  
Professor da Faculdade Boa Viagem (FBV) e de Graduação e Pós Graduação da Faculdade de Ciência Humanas Esuda  
E-mail: guilherme.martins@oi.com.br

**Wellington Ribeiro Justo**

Engenheiro Agrônomo  
Doutor em Economia pelo Programa de Pós-Graduação em Economia (PIMES) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Professor Associado da Universidade Regional do Cariri (URCA)  
E-mail: justowr@yahoo.com.br

**Faculdade Boa Viagem – FBV**

Rua Jean Émile Favre, 422 - Imbiribeira - Recife – PE  
CEP: 51200-060

**Faculdade de Ciências Humanas Esuda**

Rua Almeida Cunha, nº 100 - Santo Amaro, Recife - PE  
CEP: 50050-480

**Universidade Regional do Cariri - URCA**

Rua Coronel Antonio Luiz, nº 1161- Pimenta, Crato - CE,  
CEP: 63105-000