PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

IDENTIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DE TESTES PARA
MODELOS ADAPTADOS À PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS

Reinaldo Castro Souza

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau

MESTRE EM CIÊNCIAS

EM

ENGENHARIA ELÉTRICA

Jean Paul Gravier Ph-D
Orientador

Rio de Janeiro, Setembro 1974

Em memória de meu pai

AGRADECIMENTOS

- Ao Dr. Jean Paul Gravier pela orientação deste trabalho.
- Ao Dr. Carlos Silva Kubrusly pela idéia e sugestão do livro base.
- Ao Dr. Thadeu Keller Filho pela orientação estatística.
- Ao Dr. José Paulo Albuquerque pelas correções e grandes esclarecimentos teóricos.
- Ao Dr. Izaltino Kamozzato pelo incentivo e fornecimento de dados, imprescindível a este trabalho.
- Ao Dr. Roberto Pereira d'Araujo pela ajuda, amizade e companheirismo.
- À FURNAS-CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. pela publicação e impressão deste trabalho.
- Aos amigos Edson Sandra, Heidi e Fátima pela ajuda na elaboração e correção do texto.
- Ao Departamento de Engenharia Elétrica da PUC/RJ.
- À C.A.P.E.S. pela bolsa concedida.
- A meus familiares e amigos.

SUMÁRIO

O presente trabalho é inteiramente baseado na Teoria de Modelagem de Séries Temporais, proposta por BOX & JENKINS em "Time Series Analysis, Forecasting and Control" (1970).

É dada ênfase ao problema de identificação de modelos e de testes estatísticos, aplicados a modelos com parâmetros estimados, com vista a previsão de uma série temporal.

O trabalho apresenta um conjunto de programas para aplicações práticas das técnicas desenvolvidas.

Em particular, é tratado o caso de uma série hidrológica de vazões do Rio Grande, Brasil, nos últimos 40 anos.

ABSTRACT

The present paper is totally based upon the Theory of Time Series Modeling, presented by BOX & JENKINS in "Time Series Analysis, Forecasting and Control" (1970).

Enphasis is given to the problem of model identification and statistical tests applied to models, using estimated parameters, with the objective to forecast in time series.

This paper presents a set of programs for practical applications of the techniques developped. The case of a hidrologic time series of inflows of "Rio Grande", Brazil, is included.

RESUMÉ

Ce travail est basé intégralement sur la théorie de la modélisation des séries temporelles, proposée par BOX & JENKINS dans "Time Series Analysis, Forecasting and Control" (1970).

Un développement important est donné au problème d'identification de modèles et de tests statistiques appliqués à des modèles utilisant des paramètres estimés dans le but de prévoir les valeurs d'une série temporelle.

Cette étude présente également une série de programmes pour résoudre les applications pratiques des techniques développées.

En particulier le cas d'une série hydrologique de débits du "Rio Grande", Brésil, est traité.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 - SÉRIES TEMPORAIS.....	5
1.1 - Definições Básicas.....	5
1.2 - Estacionariedade e Ergodicidade.....	5
1.3 - A Modelagem Segundo BOX & JENKINS.....	8
1.3.1 - Introdução e Apresentação.....	8
1.3.2 - Casos Particulares.....	11
1.3.3 - Estacionariedade e Estabilidade.....	12
1.3.4 - Estacionariedade para Modelos AR, MA, ARMA.....	14
1.3.5 - Inversibilidade para os Modelos AR, MA, ARMA.....	17
1.4 - Duas Funções Importantes.....	19
1.4.1 - A Função Autocorrelação.....	20
1.4.1.1 - Modelos AR.....	20
1.4.1.2 - Modelos MA.....	22
1.4.2 - A Função Autocorrelação Parcial.....	26
1.4.2.1 - Modelos AR.....	27
1.4.2.2 - Modelo MA.....	29
1.4.2.3 - Modelos ARMA.....	29
1.5 - Modelos Não-Estacionários ARIMA.....	30
CAPÍTULO 2 - TRANSFORMAÇÃO.....	35
CAPÍTULO 3 - IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS.....	36
3.1 - Introdução.....	36
3.2 - Método Geral de Identificação.....	36
3.3 - Método BOX & JENKINS, RESUMO.....	38
3.3.1 - Séries Não-Estacionais.....	38
3.3.2 - Séries Estacionais.....	40
3.4 - Alternativa para Identificação.....	41

3.4.1	-	Introdução.....	41
3.4.2	-	Descrição.....	42
3.5	-	Descrição do Programa de Identificação.....	43
CAPÍTULO 4 - ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS.....			57
CAPÍTULO 5 - TESTES ESTATÍSTICOS PARA VERIFICAÇÃO DA VALIDADE DO MODELO.....			58
5.1	-	Introdução.....	58
5.2	-	Descrição dos Testes.....	58
5.2.1	-	Sobrefixação.....	58
5.2.2	-	Comparação das Autocorrelações.....	60
5.2.3	-	Testes Aplicados aos Resíduos.....	62
5.2.3.1	-	Teste com as Autocorrelações Estimadas de a_t	63
5.2.3.2	-	Teste do Periodograma Acumulativo.....	64
5.3	-	Descrição do Programa.....	68
CAPÍTULO 6 - PREVISÃO.....			73
6.1	-	Introdução.....	73
6.2	-	Formas Explícitas para o Modelo de Previsão.....	73
6.2.1	-	Forma Explícita 1.....	74
6.2.2	-	Forma Explícita 2.....	75
6.2.3	-	Forma Explícita 3.....	76
6.3	-	Comentários.....	77
6.4	-	Notação.....	78
6.5	-	Previsão com Erro Médio Quadrático Mínimo.....	78
6.5.1	-	Observações.....	81
6.6	-	Cálculo Computacional das Previsões.....	84
6.7	-	Atualização das Previsões.....	86
6.7.1	-	Formas de Atualização.....	86
6.7.2	-	Atualização com os Pesos.....	86
6.7.3	-	Limites de Probabilidade para as Previsões.....	88
6.8	-	Algoritmo Numérico.....	89

CAPÍTULO 7 - APLICAÇÃO.....	99
7.1 - Introdução.....	99
7.2 - Transformação de Parâmetros.....	101
7.3 - Identificação do Modelo.....	106
7.4 - Estimação de Parâmetros.....	109
7.4.1 - Introdução.....	109
7.4.2 - Aplicação.....	110
7.5 - Testes Aplicados aos Modelos.....	112
7.5.1 - Introdução.....	112
7.5.2 - Sobrefixação.....	112
7.5.3 - Testes Aplicados aos Resíduos.....	113
7.5.4 - Conclusão.....	115
7.6 - Previsão.....	115
7.6.1 - Introdução.....	115
7.6.2 - Algumas Considerações sobre a Técnica de Previsão.....	116
7.6.3 - Adaptabilidade do Modelo.....	119
7.6.4 - Distribuição da Previsão e Utilidade da Transformação.....	122
7.7 - Conclusões Gerais.....	129
APÊNDICE A - ESTABILIDADE E ESTACIONARIEDADE DE PROCES- SOS GERADOS POR SISTEMAS LINEARES.....	A1
A.1 - Modelos Contínuos.....	A1
A.2 - Sistema Discretos.....	A4
A.3 - Não Estabilidade do Operador V.....	A7
APÊNDICE B - ESTIMADORES DA FUNÇÃO AUTOCORRELAÇÃO.....	B1
APÊNDICE C - DETERMINAÇÃO DAS AUTOCORRELAÇÕES TEÓRICAS DE UM PROCESSO A PARTIR DA FUNÇÃO GERADORA	C1