

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE**

**METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE
ESTOQUES BASEADO EM PREVISÃO DE DEMANDA**

João Antônio Junqueira Teixeira

Porto Alegre, 2004

João Antônio Junqueira Teixeira

**METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE
ESTOQUES BASEADO EM PREVISÃO DE DEMANDA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial
à obtenção do título de Mestre em Engenharia –
modalidade Profissionalizante – Ênfase Logística

Orientador: Professor Flavio Sanson Fogliatto, Ph.D.

Porto Alegre, 2004

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pelo Coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Flavio Sanson Fogliatto, Ph.D.

Orientador
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profª. Helena Beatriz Bettella Cybis

Coordenadora
Mestrado Profissionalizante em Engenharia
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

Prof. Francisco José Kliemann Neto, Dr.
PPGEP/UFRGS

Prof. Leonardo Rocha de Oliveira, Ph.D.
PPGEP/UFRGS

Prof. Lorí Viali, Dr.
PUCRGS

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Flavio Sanson Fogliatto, pelo ensino e inspiração indispensáveis à elaboração desta dissertação.

Aos colaboradores da Distribuidora de Papel Braile Ltda., na pessoa de seu Sócio Gerente senhor Vicente Maranghello Braile, pela confiança ilimitada com que permitiu o acesso às informações indispensáveis à elaboração desta dissertação.

“O professor medíocre dá aulas. O bom professor explica. O professor muito bom ensina. O grande professor inspira.”

William Arthur Ward

RESUMO

A implementação de um sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda é um importante passo na procura da melhor estratégia da gestão do negócio em uma empresa inserida em uma cadeia de suprimentos, conceitualmente uma rede complexa de instalações e organizações com objetivos diversos e antagônicos. A presente dissertação tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma metodologia para a implementação de tal sistema. A revisão da literatura sobre séries temporais, previsão de demanda e gestão de estoques, o primeiro dos objetivos específicos deste trabalho, é baseada em obras relevantes e publicações periódicas atualizadas. No desenvolvimento de um sistema de previsão de demanda, o segundo dos objetivos específicos, são utilizados modelos de suavização exponencial e de Box–Jenkins. O terceiro dos objetivos específicos, o desenvolvimento de um sistema de controle de estoques é feito a partir dos sistemas de revisão contínua e revisão periódica. Finalmente, a implementação dos sistemas de previsão e gestão de estoques, o quarto dos objetivos específicos, é proposta para uma empresa distribuidora–atacadista e a conveniência de sua adoção foi avaliada positivamente por uma análise custo–benefício.

Palavras–chave: previsão de demanda, gestão de estoques.

ABSTRACT

The implementation of a demand forecasting based inventory management system is a significant step towards searching the best business strategy for a company inserted in a supply chain, realized as a complex network of facilities and organizations with different and conflicting objects. The present dissertation proposes a methodology for the implementation of such system. The literature review on time series, demand forecasting and inventory management, the first of the specific purposes in this work, is based on relevant books and updated journals. Exponential smoothing models and Box–jenkins models are used to develop a demand forecasting system, the second of the specific purposes. The development of an inventory management system, the third of the specific purposes, is accomplished using continuous review and periodic review systems. Finally, the implementation of forecasting and inventory management systems, the fourth of the specific purposes, is proposed for a wholesaler company and the advantage of using such systems was validated through a cost–benefit analysis.

Keywords: demand forecasting, inventory management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura para classificação da literatura.....	17
Figura 2 – Dimensões de relevância.....	17
Figura 3 – Representação genérica de um sistema de estoque.....	21
Figura 4 – Exemplo de série temporal com padrão horizontal.....	22
Figura 5 – Exemplo de série temporal com tendência.....	23
Figura 6 – Exemplo de série temporal cíclica.....	24
Figura 7 – Exemplo de série temporal com sazonalidade.....	24
Figura 8 – <i>Trade-offs</i> entre precisão e custos na previsão.....	27
Figura 9 – Abordagem iterativa na construção de modelos para previsão.....	28
Figura 10 – Índice de preços europeus do trigo, de 1500 a 1869.....	35
Figura 11 – Função de autocorrelação da série índice de preços europeus do trigo.....	36
Figura 12 – Função de autocorrelação parcial da série índice de preços europeus do trigo.....	37
Figura 13 – Valores de concentração amostrados de um processo químico.....	40
Figura 14 – FAC da série de valores de concentração.....	40
Figura 15 – FACP da série de valores de concentração.....	41
Figura 16 – Comportamento das funções FAC e FACP para modelos estacionários.....	41
Figura 17 – FAC dos resíduos do modelo ARMA (1,0).....	42
Figura 18 – FAC dos resíduos do modelo ARMA (1, 1).....	43
Figura 19 – Produto nacional bruto dos Estados Unidos, em bilhões de dólares.....	44
Figura 20 – FAC do produto nacional bruto dos Estados Unidos.....	44
Figura 21 – FACP do produto nacional bruto dos Estados Unidos.....	45
Figura 22 – Dados após a primeira diferenciação da série de valores do produto bruto.....	46
Figura 24 – FACP da série diferenciada de valores do produto nacional bruto.....	47
Figura 25 – FAC dos resíduos da série diferenciada do produto nacional bruto.....	47
Figura 26 – FAC dos resíduos do produto nacional bruto dos Estados Unidos.....	48
Figura 27 – Número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais, em milhares.....	49
Figura 28 – FAC da série número de passageiros de linhas aéreas internacionais.....	50

Figura 29 – FACP da série número de passageiros de linhas aéreas internacionais	50
Figura 30 – Série temporal após diferenciação sazonal do número de passageiros	51
Figura 31 – Série resultante da diferenciação da série diferenciada sazonalmente	51
Figura 32 – FAC da primeira diferença das diferenças sazonais do número de passageiros ...	52
Figura 33 – FACP da primeira diferença das diferenças sazonais do número de passageiros.	52
Figura 34 – FAC dos resíduos da primeira diferença das diferenças sazonais	53
Figura 35 – FAC dos resíduos da série número mensal de passageiros	54
Figura 36 – Aplicabilidade dos modelos de previsão de demanda	55
Figura 37 – Classificação ABC	60
Figura 38 – Notação empregada nas expressões de custos	61
Figura 39 – Sistema Q quando demanda e <i>lead time</i> são constantes e conhecidos	64
Figura 40 – Sistema Q quando a demanda é estocástica e o <i>lead time</i> é constante	64
Figura 41 – Sistema P com demanda estocástica e o <i>lead time</i> constante e conhecido	67
Figura 42 – Metodologia proposta	70
Figura 43 – Linha de produtos	75
Figura 44 – Tabelas do banco de dados braile.mdb	77
Figura 45 – Relacionamento entre as tabelas do banco de dados braile.mdb	77
Figura 46 – Produtos da classe A, na segunda classificação de Pareto (grupoAA)	79
Figura 47 – Produtos da classe B, na segunda classificação de Pareto (grupoAB)	80
Figura 48 – Produtos da classe C, na segunda classificação de Pareto (grupo AC)	81
Figura 49 – Vendas por grupo de clientes	82
Figura 50 – Vendas por mesoregiões do estado	82
Figura 51 – Padrões observados nas séries temporais originais	84
Figura 52 – Seleção de modelos de previsão para as séries temporais originais	85
Figura 53 – Padrões observados nos dados agregados bimestralmente	86
Figura 54 – Padrões observados nos dados agregados trimestralmente	87
Figura 55 – Seleção de modelos de previsão para os dados agregados bimestralmente	87
Figura 56 – Seleção de modelos de previsão para os dados agregados trimestralmente	88
Figura 58 – Seleção de modelos de previsão para as séries truncadas	89
Figura 59 – Modelos de previsão escolhidos entre as séries originais	90
Figura 60 – Modelos de previsão escolhidos entre os dados agregados bimestralmente	90
Figura 61 – Modelos de previsão escolhidos entre os dados agregados trimestralmente	90
Figura 62 – Modelos de previsão escolhidos entre as séries truncadas	91
Figura 63 – Cálculo do lote econômico e do tempo entre pedidos	92

Figura 64 – Condições de fornecimento estipuladas pelos fornecedores.....	93
Figura 65 – Previsão de demanda para novembro de 2002.....	94
Figura 66 – Pedidos colocados no início de novembro de 2002.....	94
Figura 67 – Pedidos colocados em meados de novembro de 2002.....	95
Figura 68 – Previsão de demanda para dezembro de 2002.....	95
Figura 69 – Pedidos colocados no início de dezembro de 2002.....	95
Figura 70 – Pedidos colocados em meados de dezembro de 2002.....	96
Figura 71 – Previsão de demanda para janeiro de 2003.....	96
Figura 72 – Pedidos colocados no início de janeiro de 2003.....	96
Figura 73 – Pedidos colocados em meados de janeiro de 2003.....	96
Figura 74 – Previsão de demanda para fevereiro de 2003.....	97
Figura 75 – Pedidos colocados no início de fevereiro de 2003.....	97
Figura 76 – Pedidos colocados em meados de fevereiro de 2003.....	97
Figura 77 – Previsão de demanda para março de 2003.....	97
Figura 78 – Pedidos colocados no início de março de 2003.....	98
Figura 79 – Pedidos colocados em meados de março de 2003.....	98
Figura 80 – Níveis de estoque conforme sistema proposto.....	99
Figura 81 – Ciclo do sistema de revisão periódica.....	100
Figura 82 – Níveis de serviço praticados implicitamente.....	101
Figura 83 – Benefícios do sistema proposto.....	101
Figura 84 – Custos totais verificados nos meses sob controle.....	102
Figura 85 – Custos totais associados ao sistema proposto.....	102
Figura 86 – Comparação entre os custos realizados e os propostos.....	102
Figura 87 – Reta de regressão entre custo e benefício do sistema proposto.....	103
Figura 88 – Padrões observados nas séries temporais originais.....	109
Figura 89 – Padrões observados nos dados agregados bimestralmente.....	110
Figura 90 – Padrões observados nos dados agregados trimestralmente.....	110
Figura 91 – Padrões observados nas séries truncadas.....	111
Figura 92 – Folha da planilha simul_estoques.xls.....	112
Figura 93 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para novembro de 2002 ...	113
Figura 94 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para novembro de 2002 ...	113
Figura 95 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para novembro de 2002 ...	114
Figura 96 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para novembro de 2002 ...	114
Figura 97 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para novembro de 2002 ...	115

Figura 98 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para novembro de 2002 ...	115
Figura 99 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para novembro de 2002 ...	116
Figura 100 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para novembro de 2002 .	116
Figura 101 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para novembro de 2002 .	117
Figura 102 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para novembro de 2002 .	117
Figura 103 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para dezembro de 2002..	118
Figura 104 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para dezembro de 2002..	118
Figura 105 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para dezembro de 2002..	119
Figura 106 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para dezembro de 2002..	119
Figura 107 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para dezembro de 2002..	120
Figura 108 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para dezembro de 2002..	120
Figura 109 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para dezembro de 2002..	121
Figura 110 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para dezembro de 2002..	121
Figura 111 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para dezembro de 2002..	122
Figura 112 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para dezembro de 2002..	122
Figura 113 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para janeiro de 2003.....	123
Figura 114 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para janeiro de 2003.....	123
Figura 115 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para janeiro de 2003.....	124
Figura 116 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para janeiro de 2003.....	124
Figura 117 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para janeiro de 2003.....	125
Figura 118 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para janeiro de 2003.....	125
Figura 119 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para janeiro de 2003.....	126
Figura 120 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para janeiro de 2003.....	126
Figura 121 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para janeiro de 2003.....	127
Figura 122 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para janeiro de 2003.....	127
Figura 123 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para fevereiro de 2003 ...	128
Figura 124 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para fevereiro de 2003 ...	128
Figura 125 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para fevereiro de 2003 ...	129
Figura 126 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para fevereiro de 2003 ...	129
Figura 127 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para fevereiro de 2003 ...	130
Figura 128 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para fevereiro de 2003 ...	130
Figura 129 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para fevereiro de 2003 ...	131
Figura 130 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para fevereiro de 2003 ...	131
Figura 131 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para fevereiro de 2003 ...	132

Figura 132 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para fevereiro de 2003 ...	132
Figura 133 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para março de 2003.....	133
Figura 134 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para março de 2003.....	133
Figura 135 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para março de 2003.....	134
Figura 136 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para março de 2003.....	134
Figura 137 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para março de 2003.....	135
Figura 138 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para março de 2003.....	135
Figura 139 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para março de 2003.....	136
Figura 140 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para março de 2003.....	136
Figura 141 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para março de 2003.....	137
Figura 142 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para março de 2003.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de preços europeus do trigo, retirada a tendência, de 1500 a 1869	138
Tabela 2 – Valores de concentração amostrados em um processo químico.....	139
Tabela 3 – Produto nacional bruto dos Estados Unidos, entre 1890 e 1974	139
Tabela 4 – Dados após a primeira diferenciação da série de valores do PNB	140
Tabela 5 – Número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais.....	140
Tabela 6 – Série temporal após diferenciação sazonal do número de passageiros.....	141
Tabela 7 – Série resultante da diferenciação da série diferenciada sazonalmente	141

SUMÁRIO

1 COMENTÁRIOS INICIAIS	15
1.1 Introdução.....	15
1.2 Tema e Objetivos.....	16
1.3 Justificativa do Tema.....	16
1.4 Método de Trabalho	18
1.4.1 Caracterização do Tipo de Pesquisa.....	18
1.4.2 Descrição das Etapas, Técnicas e Ferramentas Empregadas.....	18
1.5 Limitações do Trabalho.....	19
1.6 Estrutura do Trabalho	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Séries Temporais	21
2.2 Previsão de Demanda	25
2.3 Modelos de Suavização Exponencial	29
2.3.1 Modelo de Suavização Exponencial Simples.....	30
2.3.2 Modelo de Holt.....	31
2.3.3 Modelo Sazonal Multiplicativo de Winters.....	32
2.3.4 Modelo Sazonal Aditivo de Winters	33
2.4 Modelo de Regressão Linear Simples	34
2.5 Modelos de Box–Jenkins.....	34
2.5.1 Modelo ARMA.....	38
2.5.2 Modelo ARIMA	43
2.5.3 Modelo ARIMA Sazonal.....	49
2.5.4 Identificação do Modelo de Box–Jenkins	54
2.6 Aplicabilidade e Seleção de Modelos.....	55
2.7 Gestão de Estoques.....	57
2.7.1 Custos Associados aos Estoques	60
2.7.2 Sistema de Revisão Contínua, Q	63

2.7.3 Sistema de Revisão Periódica, P	66
2.7.4 Comparação Entre os Sistemas P e Q , e Sistemas Híbridos	68
3 METODOLOGIA PROPOSTA	70
3.1 Coleta de Dados	71
3.2 Consolidação da Base de Dados	71
3.3 Classificação dos Produtos	71
3.4 Geração das Séries Temporais	72
3.5 Previsões de Demanda	72
3.6 Definição do Sistema de Gestão de Estoques a Ser Adotado	73
3.7 Dimensionamento dos Pedidos	73
3.8 Determinação dos Benefícios da Adoção do Sistema Proposto	74
3.9 Determinação dos Custos Associados	74
3.10 Análise Custo–Benefício	74
3.11 Recomendações para Implementação do Sistema de Gestão de Estoques	74
4 ESTUDO DE CASO	75
4.1 Coleta de dados	76
4.2 Consolidação da Base de Dados	76
4.3 Classificação dos Produtos	77
4.4 Geração das Séries Temporais de Demanda	81
4.5 Previsões de Demandas	83
4.5.1 Tratamento Preliminar das Séries Temporais Geradas	83
4.5.2 Ajustamento dos Modelos de Previsão	84
4.6 Definição do Sistema de Gestão de Estoques a Ser Adotado	91
4.7 Dimensionamento dos Pedidos	93
4.8 Determinação dos Benefícios da Adoção do Sistema Proposto	99
4.9 Determinação dos Custos Associados	101
4.10 Análise Custo–Benefício	103
4.11 Recomendações para Implementação do Sistema de Gestão de Estoques	103
5 COMENTÁRIOS FINAIS	105
5.1 Conclusões	105
5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	106
REFERÊNCIAS	107
ANEXO	109

1 COMENTÁRIOS INICIAIS

1.1 Introdução

A competição nos atuais mercados globalizados, a introdução de produtos com curtos ciclos de vida e as crescentes expectativas dos clientes têm forçado as empresas a investir e focar atenção em suas cadeias de suprimentos (SIMCHI–LEVI *et al.*, 2000, p. 1).

A diversidade das definições existentes para o conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos é decorrente da maneira como o conceito de SCM desenvolveu-se, de diferentes pontos de vista em diferentes corpos de literatura. Entretanto, pode-se afirmar que no cerne de todas essas definições encontram-se elementos comuns, que articulados poderiam expressar o seguinte: SCM é a gestão dos processos que intermedeiam o fluxo de bens, serviços e informação, desde o ponto de origem até o ponto de consumo.

Depreende-se, também, da definição apresentada, que esta gestão é exercida com grande ênfase na integração dos componentes da cadeia de suprimento. Efetivamente, é necessária uma integração plena, estratégica e flexível ao longo de toda a cadeia de suprimento (NOVAES, 2001, p. 50). Entretanto, como advertem Simchi–Levi *et al.* (2000, p. 3), a integração dos elementos da cadeia de suprimentos é dificultada por dois principais motivos:

- a) diferentes entidades da cadeia de suprimento podem ter objetivos diferentes e conflitantes; o objetivo do fabricante de produzir lotes grandes conflita, por exemplo, com o objetivo de armazéns e centros de distribuição de reduzir estoques;
- b) a cadeia de suprimento é um sistema dinâmico que evolui ao longo do tempo; com efeito, não somente a demanda do cliente e a capacidade do fornecedor variam com o tempo, mas também as relações dentro da cadeia de suprimento evoluem ao longo do tempo.

Não se dispõe de estatísticas confiáveis acerca da participação da logística na economia brasileira. Novaes (2001, p. 51) estima que tal participação esteja na faixa dos 20% do PIB. Esta estimativa, entretanto, é superior àquela encontrada em economias mais desenvolvidas, como a norte-americana. O *Bureau of Economics Analysis* dos Estados Unidos calcula em 9,9% a participação da logística na economia americana. Naquele país, os custos

de armazenagem correspondem a 8,1% dos custos logísticos e os custos de transportes, a 59%.

É importante notar que, nos Estados Unidos, os custos logísticos estão diminuindo em termos relativos. Em 1981, os custos logísticos representavam 16% do PIB norte-americano, caindo para 9,9% em 1999 (WILSON; DELANEY, 2000 *apud* NOVAES, 2001, p. 51). Deste modo, na falta de estatísticas confiáveis no Brasil, pode-se admitir que os custos logísticos, aqui, também sigam esta tendência de baixa relativa, uma vez que 20% do PIB é um patamar bastante elevado se comparado com os 9,9% da economia americana.

Assim, a gestão dos negócios de uma empresa específica, subsistema inserido em um sistema mais amplo, a cadeia de suprimentos, pode contribuir para a diminuição dos referidos custos logísticos.

1.2 Tema e Objetivos

No âmbito do gerenciamento da cadeia de suprimento, o tema desta dissertação é a gestão de estoques.

O objetivo geral desta dissertação é o desenvolvimento de uma metodologia para implementação de um sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda.

Como objetivos específicos, pode-se apresentar os seguintes:

- a) revisão da literatura sobre séries temporais, previsão de demanda e gestão de estoques;
- c) desenvolvimento de um sistema de previsão de demanda;
- d) desenvolvimento de um sistema de controle de estoques;
- e) implementação dos sistemas de previsão e gestão de estoques em uma empresa distribuidora atacadista de papel.

1.3 Justificativa do Tema

A cadeia de suprimentos é uma rede complexa de instalações e organizações com objetivos diversos e antagonísticos. Assim, encontrar a melhor estratégia de cadeia de suprimentos para uma empresa em particular pode apresentar desafios significantes (SIMCHI-LEVI *et al.*, 2000, p. 7).

A presente dissertação é uma contribuição à procura da melhor gestão de negócios para uma empresa em particular.

Do ponto de vista acadêmico, tanto o tema quanto os objetivos da presente dissertação enquadram-se na categoria Empírico-PreSCRITIVA da estrutura proposta por Croom *et al.* (2000, p. 74) para classificação da literatura sobre SCM, ver Figura 1. Segundo os autores cerca de 27% da literatura produzida sobre o assunto enquadra-se nessa categoria.

	PRESCRITIVO	DESCRITIVO
TEÓRICO	6%	11%
EMPÍRICO	27%	56%

Figura 1 – Estrutura para classificação da literatura conforme o critério orientado pela metodologia (Adaptado de CROOM *et al.*, 2000, p. 74)

Do ponto de vista profissional, o tema e objetivos desta dissertação, pela sua natureza, poderiam ser enquadrados como interessantes, aplicáveis e correntes — ver Figura 2 — na classificação de Benbasat e Zmud (1999, p. 12). A referida classificação, apesar de ter sido baseada em pesquisas sobre Sistemas de Informação, tem uma abrangência que contempla todo o universo da pesquisa acadêmica, no que diz respeito à sua aplicabilidade em aspectos práticos profissionais.

Categoria	Dimensões de relevância	Descrição
Conteúdo dos artigos	Interessante	A pesquisa direciona-se a problemas ou desafios que sejam preocupação dos profissionais da área ?
	Aplicável	A pesquisa produz o conhecimento e oferece prescrições que possam ser utilizadas pelos profissionais da área?
	Corrente	A pesquisa, <i>na época da publicação</i> , foca-se em tecnologias e tópicos gerenciais correntes?
Estilo dos artigos	Acessível	Os artigos de pesquisas são capazes de serem compreendidos (em termos de tom, estilo, estrutura e semântica) pelos profissionais da área? São escritos em estilo que profissionais apreciariam ler?

Figura 2 – Dimensões de relevância (Adaptado de BENBASAT; ZMUD, 1999, p. 13)

Ainda segundo Benbasat e Zmud (1999, p. 12), uma pesquisa interessante, aplicável e corrente tem o potencial de ser útil aos profissionais da área, potencial este realizado quando a pesquisa em questão é acessível. Na sua definição, pesquisa relevante é aquela tanto potencialmente útil quanto acessível ao seu público alvo. Portanto, aspectos relacionados ao estilo, estrutura e semântica do texto são pontos chaves na relevância da presente dissertação.

1.4 Método de Trabalho

1.4.1 Caracterização do Tipo de Pesquisa

Conforme a natureza, abordagem e objetivos, o presente trabalho é classificado, respectivamente, como uma pesquisa aplicada, quantitativa e como uma pesquisa do tipo estudo de caso, segundo taxionomia sugerida por Silva e Menezes (2001, p. 20–22).

É uma pesquisa aplicada por ser orientada ao desenvolvimento de uma metodologia com vistas à solução de um problema específico. É uma pesquisa quantitativa por sua ênfase em análises numéricas, envolvendo o uso de técnicas estatísticas. O trabalho enquadra-se no tipo estudo de caso por envolver o estudo de previsão de demanda e gestão de estoques em uma empresa específica, de maneira a conhecê-las ampla e detalhadamente.

1.4.2 Descrição das Etapas, Técnicas e Ferramentas Empregadas

O desenvolvimento do presente trabalho foi feito em oito etapas. A primeira etapa consistiu em uma revisão da literatura sobre séries temporais, previsão de demanda e gestão de estoques.

Na segunda etapa, foi feita a coleta de dados referentes à demanda por produto, com base em arquivos de documentos fiscais (notas fiscais/faturas), consolidando-se estes arquivos em um banco de dados relacional.

Como terceira etapa, foram geradas as séries temporais de demanda mensal por produto, através de consultas ao banco de dados.

A quarta etapa envolveu a escolha dos métodos de previsão de demanda e ajustes dos modelos às séries temporais, bem como a geração de previsões de demanda para um horizonte de três meses.

Na quinta etapa, foi definido o sistema de controle de estoques, adotando-se os sistemas de revisão mais adequados a cada produto ou grupo de produtos.

Com base nas previsões de demanda e nos sistemas de revisão de estoques adotados, na sexta etapa foi formulada uma política de compras para cinco meses seguintes.

A sétima etapa consistiu na avaliação comparativa da política de compras sugerida e a que foi efetivamente realizada durante os cinco meses, de modo a apurar as vantagens e desvantagens do sistema de gestão de estoques a ser implementado.

Comprovada a excelência do sistema sugerido com relação ao sistema “intuitivo” em uso, na oitava e última etapa, foram formuladas recomendações de ordem prática para a implementação do novo sistema de gestão de estoques.

1.5 Limitações do Trabalho

O presente trabalho limita-se ao desenvolvimento de uma metodologia para implementação de um sistema de gestão de estoques, que compreende a previsão mensal de demanda de produtos e o estabelecimento de uma política de compras baseada em definir o momento de colocação dos pedidos e o tamanho dos lotes de compra. A implementação do referido sistema será ilustrada com sua aplicação em uma empresa atacadista de papel.

Como o mercado de papel, segundo os últimos dados disponíveis (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO, 2001), está em expansão anual de cerca de 2,3%, dependendo dos níveis de demanda a serem preditos, eventualmente poderão ser sugeridas medidas baseadas em curvas de trocas que protelem a necessidade de ampliação das atuais instalações de armazenagem, tal como sugerem Elsayed e Boucher (1994, p 123).

Pela natureza da pesquisa — aplicada — na previsão de demanda somente serão abordados métodos de suavização exponencial e a metodologia de Box-Jenkins. A escolha dos métodos justifica-se pelo fato de 92% dos executivos de *forecast*, entrevistados em uma pesquisa de Mentzer e Kahn (1995, p. 471), preferirem métodos de suavização exponencial para previsões de demanda em horizontes de três meses a dois anos. Por outro lado, Pellegrini e Fogliatto (2000, p. 80) demonstraram que, em determinadas condições, os modelos de Box-Jenkins podem ter melhor desempenho se comparados aos modelos de suavização exponencial. Além disso, verifica-se que tanto os métodos de suavização exponencial quanto a metodologia de Box-Jenkins são universalmente disponíveis em *softwares* comerciais, por serem os mais comumente usados, segundo Zhou (1999, p. 26)

1.6 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, com assuntos apresentados na seqüência.

No primeiro capítulo é feita uma introdução onde o tema, a gestão de estoques, é inserido no contexto mais amplo do gerenciamento da cadeia de suprimentos, bem como é ressaltada a participação da logística na economia. Tema e objetivos são apresentados e justificados face à literatura existente. Neste capítulo, também é apresentado o método de trabalho através da caracterização do tipo de pesquisa, bem como da descrição das etapas, técnicas e ferramentas empregadas para alcançar os objetivos propostos. As limitações do trabalho são estabelecidas e o capítulo é encerrado com a estrutura em que se pretende organizar a dissertação.

No segundo capítulo, a bibliografia sobre séries temporais, previsão de demanda e sistemas de controle de estoque é revisada com base em obras relevantes e publicações periódicas atualizadas.

O terceiro capítulo traz uma proposta metodológica para implementação do sistema de previsão de demanda por produto ou grupo de produtos e, com base nestas previsões, para a implementação do sistema de gestão de estoques.

O quarto capítulo traz a aplicação da referida metodologia em uma empresa distribuidora-atacadista de papel, apresenta os resultados, discute as vantagens e faz recomendações de ordem prática para a implementação do novo sistema de gestão de estoques na empresa em questão.

O quinto capítulo apresenta as conclusões mais importantes a que se chegou ao longo deste trabalho. Também são listados os tópicos que não foram abordados, mas que são considerados promissores para investigações futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A abordagem da revisão bibliográfica obedecerá ao seguinte encadeamento: representação de um sistema de estoque; séries temporais associadas a este sistema; previsão de demanda e gestão de estoques.

Para o propósito deste trabalho, estoques servem como amortecedores entre o sistema de produção e seus clientes, isto é, um estoque pode ser considerado uma acumulação de um produto que será usada para satisfazer alguma demanda futura (ELSAYED; BOUCHER, 1994, p. 63; JOHNSON; MONTGOMERY, 1974, p. 13).

A Figura 3 representa o nível de estoque de um item, afetado por um processo de entrada, no qual material é adicionado ao estoque à uma taxa $P(t)$, e por um processo de saída, no qual material é retirado do estoque à taxa $W(t)$. Pode-se admitir que a saída do sistema é uma resposta à demanda $D(t)$, proveniente de uma fonte externa e, em princípio, fora de controle. A saída será igual à demanda, a menos que o estoque esteja exaurido, quando diz-se que houve uma “ruptura” no estoque (JOHNSON; MONTGOMERY, 1974, p. 14).

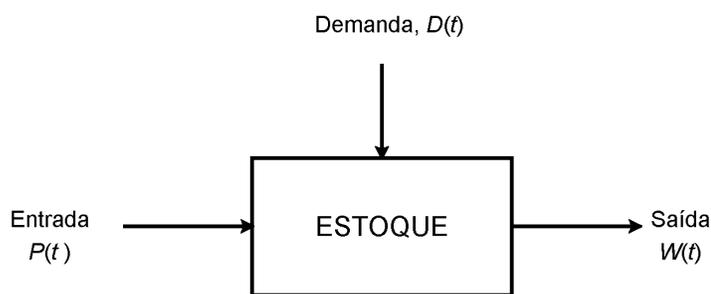


Figura 3 – Representação genérica de um sistema de estoque e suas variáveis relevantes (Adaptado de JOHNSON; MONTGOMERY, 1974, p. 14)

No sistema de estoque representado na Figura 3, tanto os *inputs* (Entrada e Demanda), como a Saída, são caracterizados como variáveis dependentes do tempo, $P(t)$, $D(t)$ e $W(t)$, cujas realizações são usualmente designadas por séries temporais.

2.1 Séries Temporais

Uma série temporal é um conjunto de observações de uma variável de interesse, tomadas seqüencialmente no tempo. Em geral, a variável é observada em pontos discretos (momentos) no tempo. Tipicamente, observações temporalmente adjacentes são dependentes entre si. A análise da série temporal consiste em descrever o processo ou os

fenômenos que dão origem a essa seqüência, bem como estudar a dependência existente entre as observações (BOX *et al.*, 1994, p. 1; MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 11).

Quatro tipos de padrões de séries temporais foram assinalados por Makridakis *et al.* (1998, p 24); a saber: horizontal, inclinado (tendência), cíclico e sazonal. A seguir, são apresentados gráficos representativos de algumas séries temporais em que cada um destes padrões são predominantes.

A série temporal, sugerida por Hyndman e Akran (2002), cujo gráfico é apresentado na Figura 4, é constituída por medições, tomadas em intervalos de 0,15 segundos, das forças (em unidades não especificadas) que atuam verticalmente sobre um cilindro suspenso no interior de um tanque de água com a superfície líquida ao sabor de ondulações. Como era de esperar considerando-se as leis da hidrostática, os valores medidos oscilam aleatoriamente em torno de zero, que corresponde à força atuante quando a ondulação passa por seu valor médio. Um padrão horizontal existe quando os valores dos dados flutuam ao redor de uma média constante (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 25).

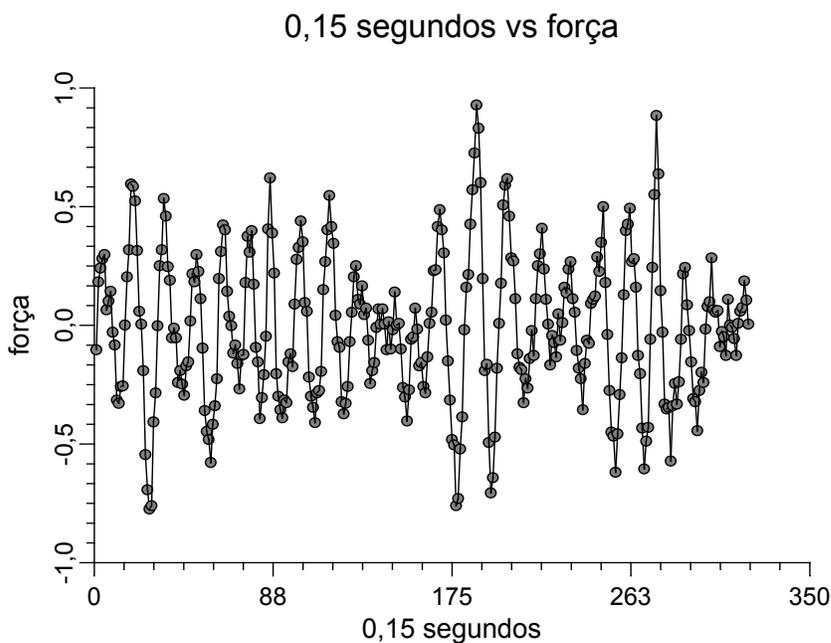


Figura 4 – Exemplo de série temporal com padrão horizontal – forças verticais que atuam sobre um cilindro suspenso em um tanque de água sob a ação de ondas

Na série temporal constituída pelos dados de produção mensal de energia elétrica na Austrália, de jan/1956 a ago/1995 (HYNDMAN; AKRAN, 2002), representada na Figura 5, observa-se claramente o padrão de tendência (inclinação) crescente, quase linear.

Um padrão de tendência existe quando verifica-se um crescimento ou decréscimo, a longo prazo, no valor dos dados (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 25).

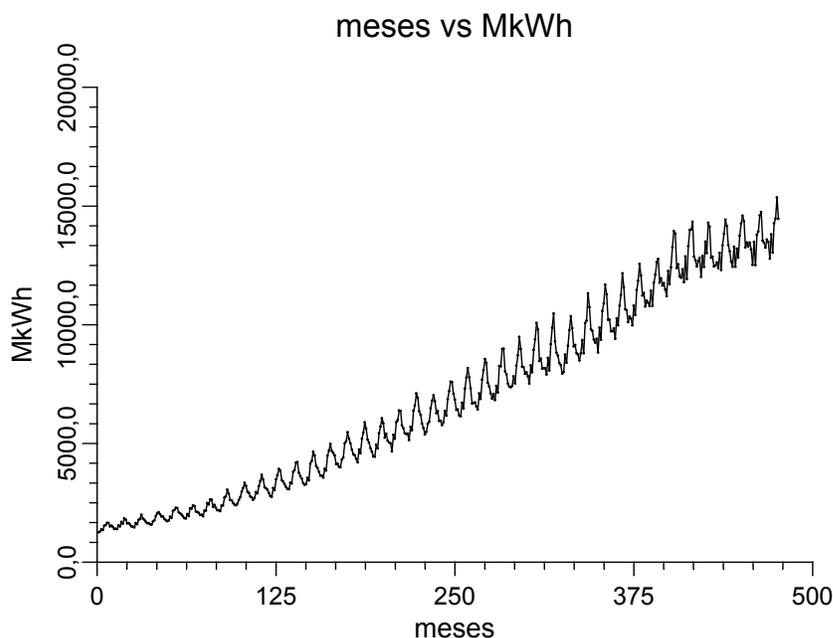


Figura 5 – Exemplo de série temporal com tendência – dados de produção mensal de energia elétrica na Austrália, de jan/1956 a ago/1995

Na série temporal da Figura 6, constituída pelo número de terremotos por ano, registrados pelo National Earthquake Center entre 1900 e 1998 (HYNDMAN; AKRAN, 2002), pode-se observar claramente a predominância do padrão cíclico sobre os demais padrões. Um padrão cíclico está presente em uma série temporal quando os dados exibem crescimentos e quedas que não se repetem a um intervalo de tempo fixo (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 25).

No gráfico da Figura 7, que traz uma representação da série temporal constituída pelo número mensal de passageiros transportados por linhas aéreas internacionais norte-americanas, de janeiro de 1949 a dezembro de 1960 (HYNDMAN; AKRAN, 2002), observa-se o padrão sazonalidade caracterizado pela ocorrência de um máximo, ou mínimo, relativo de 12 em 12 meses. Um padrão sazonal existe quando uma série temporal é influenciada por fatores sazonais, isto é, que se repetem a intervalos de tempo iguais (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 25).

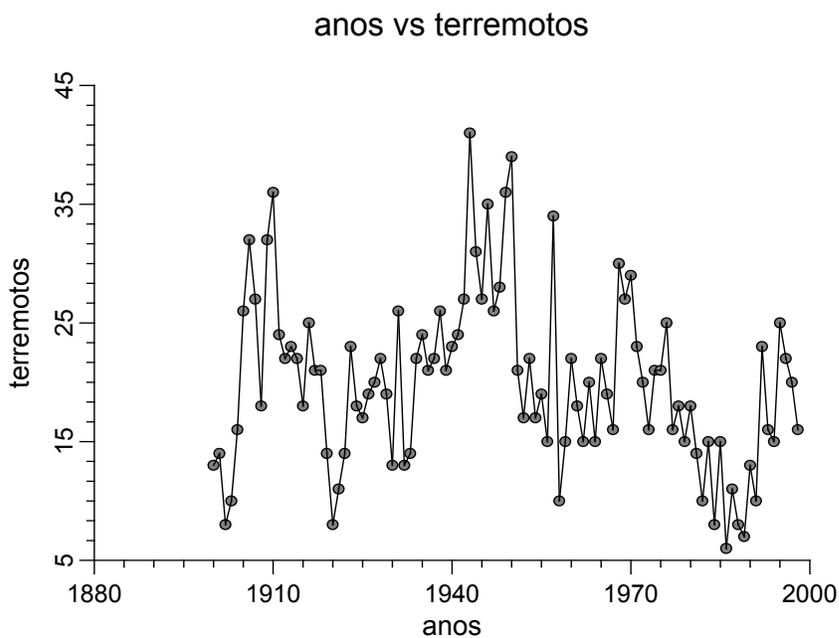


Figura 6 – Exemplo de série temporal cíclica – número de terremotos por ano registrados pelo National Earthquake Information Center, entre 1900 e 1998

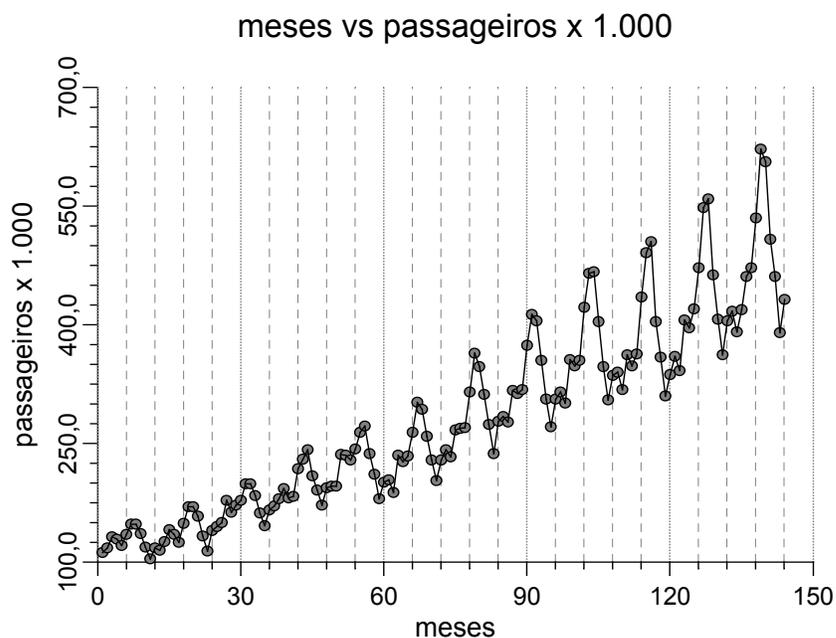


Figura 7 – Exemplo de série temporal com sazonalidade – número mensal de passageiros transportados por linhas aéreas norte-americanas em vôos internacionais, de jan/1949 a dez/1960

Do exame dos exemplos propostos acima, fica evidente que muitas das séries temporais incluem combinações dos padrões citados.

2.2 Previsão de Demanda

Na análise de séries temporais, é importante distinguir entre modelo e método de previsão. Um **modelo** é uma equação ou conjunto de equações representando a estrutura estocástica da série temporal. Um **método** é a combinação de uma rotina de estimação e um modelo, possivelmente precedida por uma rotina de identificação de modelo (MEADE, 2000, p. 516). A maioria dos modelos para previsão são desenvolvidos para representar os padrões de séries temporais anteriormente mencionados.

Previsões são usadas como uma parte dos processos — gestão de estoques, no presente trabalho — de decisão e controle que, por sua vez, compõem o esforço (e responsabilidade) do gestor em criar valor para os acionistas ou outros grupos constituintes das empresas (LAWLESS, 1997, p. 3). Dos formuladores de previsões, espera-se que forneçam informações que sustentem tais processos de decisão.

- **Métodos Qualitativos e Quantitativos**

Para lidar com a grande diversidade de aplicações de previsão, várias técnicas foram desenvolvidas. Todas enquadram-se em uma das duas grandes categorias: métodos qualitativos e quantitativos de previsão (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 8).

Métodos qualitativos baseiam-se principalmente em juízos e conhecimento acumulado (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 12). Tal é o caso do método de opinião executiva, em que as opiniões, experiência e conhecimento técnico de um ou mais gerentes são resumidos e combinados para chegar-se a uma única previsão (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2001, p. 548). Outro destacado método qualitativo de previsão é o método de Delphi, que consiste em um processo de obtenção do consenso de um grupo de *experts*, mantendo o anonimato de suas opiniões.

Métodos quantitativos utilizam dados históricos — reunidos sob a forma de séries temporais — para prever a demanda em períodos futuros, mediante a construção de modelos matemáticos a partir dos dados disponíveis (PELLEGRINI; FOGLIATTO, 2000, p. 73). Sua aplicação depende de três condições (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 9):

- a) disponibilidade de informações históricas;
- b) possibilidade de quantificar as informações históricas em séries temporais e
- c) recorrência, no futuro, de padrões observados nas informações históricas.

A condição “c”, conhecida como suposição de continuidade, é a premissa subjacente a todos os métodos quantitativos e a vários métodos qualitativos.

A escolha do método apropriado de previsão é influenciada pelos seguintes fatores (MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 10):

- a) forma requerida de previsão;
- b) período, horizonte e intervalo de previsão;
- c) disponibilidade de dados;
- d) acurácia requerida;
- e) comportamento do processo a ser previsto (padrões de demanda);
- f) custo de desenvolvimento, instalação e operação;
- g) facilidade de operação e
- h) compreensão e cooperação da administração.

Alguns fatores listados acima demandam detalhamento. O período de previsão é a unidade básica de tempo na qual as previsões são feitas. O horizonte de previsão é o número de períodos no futuro cobertos pelas previsões. Segundo Krajewski e Ritzman (2002, p. 545) o horizonte pode ser de curto prazo (de 0 a 3 meses), de médio prazo (de 3 meses a dois anos) e de longo prazo (mais do que 2 anos). O intervalo de previsão é a frequência com a qual novas previsões são feitas. Comumente o intervalo e o período de previsão são os mesmos de modo que as previsões são revisadas a cada novo período, incorporando a demanda do período mais recente como base para a revisão (MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 5).

À medida em que a precisão — e, conseqüentemente, o custo — da previsão é aumentada, os custos associados às perdas decorrentes da incerteza diminuem, de modo que, em algum nível de acurácia da previsão, a soma destes custos é mínima (MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 3). É neste nível de precisão, de custo total mínimo, indicado na Figura 8, que se deve fazer com que o sistema de previsão de demanda opere.

Finalmente, no contexto da escolha do método apropriado de previsão, facilidade de operação refere-se, basicamente, à simplicidade de manutenção do sistema.

Makridakis *et al.* (1998, p. 12) têm como premissa que métodos qualitativos podem ser usados, com sucesso, em associação com métodos quantitativos, mesmo por médias e pequenas organizações.

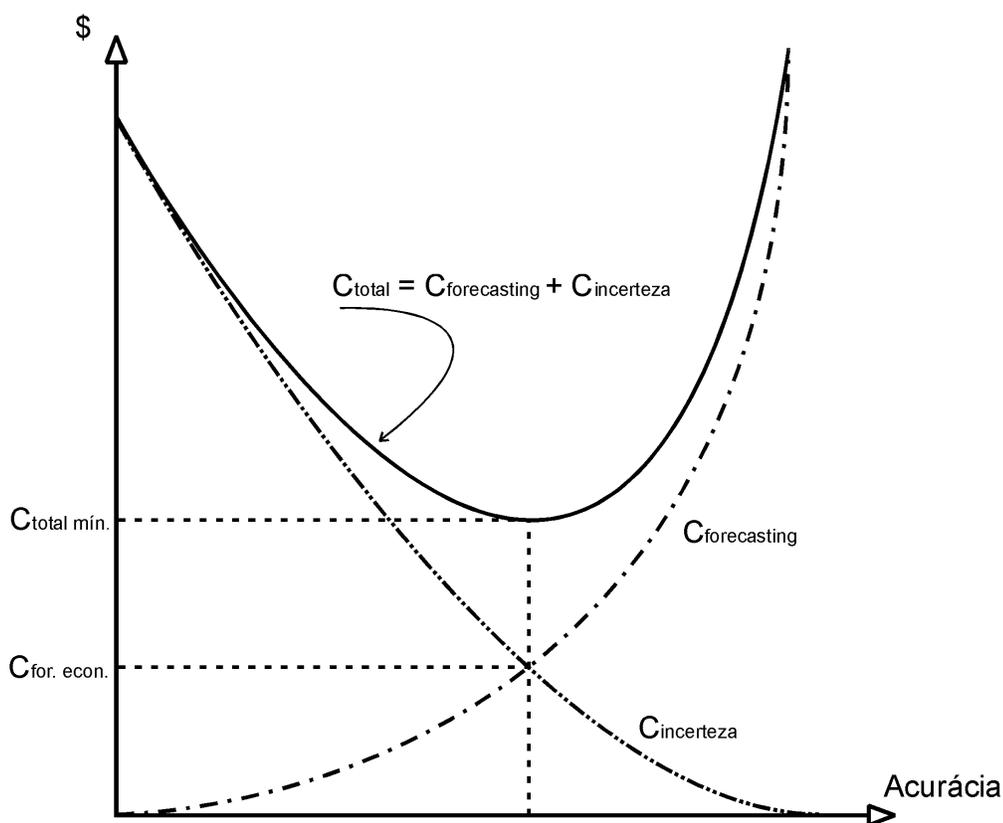


Figura 8 – Trade-offs entre precisão e custos na previsão
(Adaptado de MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 3)

- **Modelagem de Séries Temporais**

Os modelos de previsão atualmente empregados estão situados em algum ponto entre os extremos constituídos por modelos teóricos exatos e modelos exclusivamente empíricos. Em particular, é usado conhecimento teórico incompleto para indicar uma classe adequada de funções matemáticas que são ajustadas empiricamente, isto é, o número de termos necessários no modelo e o valor numérico dos parâmetros são estimados a partir dos dados experimentais (BOX *et al.*, 1994, p. 17).

No ajuste de modelos, uma análise teórica pode, algumas vezes, indicar não somente a forma apropriada para o modelo, mas também prover boas estimativas para o valor numérico de seus parâmetros. Esses valores podem, então, ser conferidos pela análise dos dados. A Figura 9 sumariza a abordagem iterativa à construção de modelos para previsão.

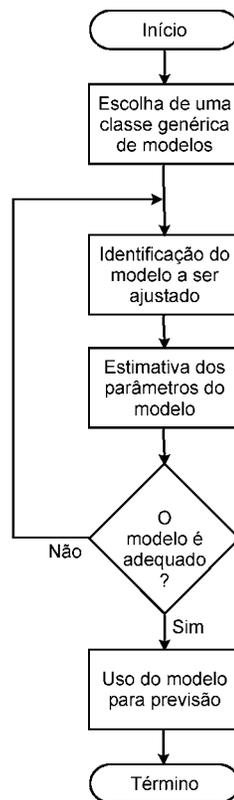


Figura 9 – Abordagem iterativa na construção de modelos para previsão
(Adaptado de BOX *et al.*, 1994, p. 17)

De fundamental importância na seleção de um modelo particular de previsão, para um determinado conjunto de dados, é o conceito de acuracidade ou precisão que, muitas vezes, refere-se à adequação do ajuste do modelo, ou seja, quão bem o modelo de previsão é capaz de reproduzir os dados conhecidos de antemão. Entretanto, para o usuário de previsão, o mais importante é a precisão das futuras previsões (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 41). Assim, se x_t é a observação real para o período t e \hat{x}_t é a previsão para o mesmo período, o erro é definido como

$$e_t = x_t - \hat{x}_t \quad (1)$$

Se houver observações e previsões para n períodos, então as seguintes medidas estatísticas podem ser definidas:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t, \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t|, \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2. \quad (4)$$

O erro médio, ME , é obtido tomando-se a média dos erros, calculados pela expressão (1). Entretanto, o erro médio possivelmente será muito pequeno, pois os erros positivos e negativos tendem a se anular. Por isso, o erro médio absoluto, MAE , é definido fazendo-se, primeiramente, cada erro positivo tomando-se seu valor absoluto e, então, calculando-se a média desses valores absolutos. Por outro lado, no cálculo do erro quadrático médio, MSE , os erros tornam-se positivos pela sua elevação ao quadrado, tomando-se, então, a média desses quadrados.

Considerando-se a escala em que os dados são expressos, pode-se definir o erro relativo ou percentual como

$$PE_t = \left(\frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right) \times 100. \quad (5)$$

Similarmente, se houverem observações e previsões para n períodos, as duas seguintes medidas estatísticas relativas são freqüentemente usadas:

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n PE_t, \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |PE_t|. \quad (7)$$

O erro médio percentual, MPE , é a média, para os n períodos, do erro percentual calculado pela expressão (5). Analogamente ao erro médio, ME , o erro médio percentual é provavelmente um valor pequeno, uma vez que os valores positivos e negativos dos erros percentuais tendem a se anular. Por isso, o erro médio absoluto percentual, $MAPE$, é definido usando-se os valores absolutos dos erros percentuais.

2.3 Modelos de Suavização Exponencial

As maiores vantagens dos modelos de suavização exponencial — e delas decorre sua larga utilização — são sua simplicidade e baixo custo. Assim, quando se necessitam previsões para milhares de itens, como é o caso em muitos sistemas de gestão de estoque, os modelos de suavização exponencial são muitas vezes os únicos, suficientemente rápidos e baratos, para implementação viável (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 174). Seu nome decorre do fato destes modelos utilizarem uma média ponderada de observações passadas, usando pesos que decaem, suave e exponencialmente, do mais recente ao mais distante

momento de observação no passado. Tais modelos baseiam-se na aplicação recursiva de equações, que deve iniciar em algum período no passado. Neste período inicial, o valor da previsão deve ser estimado para que a aplicação iterativa das equações possa ser iniciada.

2.3.1 Modelo de Suavização Exponencial Simples

O modelo de suavização exponencial simples ajusta-se melhor às séries de padrão horizontal, isto é, àquelas que não apresentam tendência nem sazonalidade e é apropriado para previsões de curto prazo (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996). Seu algoritmo de previsão utiliza a seguinte expressão.

$$\hat{x}_{t+1} = \alpha x_t + (1 - \alpha)\hat{x}_t \quad (8)$$

Na expressão (8), \hat{x}_{t+1} é a previsão para o período $t+1$, α é constante de suavização, cujo valor encontra-se entre 0 e 1, x_t é a mais recente observação, cujo peso é α , e \hat{x}_t é a mais recente previsão, cujo peso é $(1-\alpha)$. Expandindo-se a expressão (8), pela substituição de \hat{x}_t , \hat{x}_{t-1} , \hat{x}_{t-2} , etc., por seus componentes, resulta

$$\begin{aligned} \hat{x}_{t+1} = & \alpha x_t + \alpha(1-\alpha)x_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 x_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^3 x_{t-3} + \dots \\ & + \alpha(1-\alpha)^{t-1} x_1 + (1-\alpha)^t \hat{x}_1 \end{aligned} \quad (9)$$

Assim, \hat{x}_{t+1} representa uma média ponderada de todas as observações passadas, constituindo os coeficientes de ponderação uma série decrescente exponencialmente, para valores de α entre 0 e 1. Desta constatação origina-se o nome suavização exponencial (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 149). Analisando-se a equação (9), verifica-se que a constante de suavização α determina quão rápido os coeficientes —os pesos— da série decaem. Valores próximos da unidade acentuam os pesos das observações mais recentes, enquanto valores vizinhos de zero acentuam a influência das observações mais distantes no passado. A escolha do valor para a constante de suavização pode ser arbitrária, considerando-se as observações anteriores, ou condicionada a algum critério, que na maioria das vezes, consiste na minimização, pelo uso de um algoritmo de otimização não linear, do erro quadrático médio, *MSE*, atribuído ao desempenho do modelo (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996).

A constante de suavização está ligada à velocidade de resposta das previsões às variações das observações. Quanto menor o valor de α , mais lenta a resposta. Valores maiores de α causam reações mais rápidas das previsões às variações das observações, não somente às

variações reais, como também às flutuações aleatórias, podendo ser responsáveis por certa instabilidade no desempenho do modelo (MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 85).

Como o peso da primeira previsão, \hat{x}_1 , é $(1-\alpha)^t$, verifica-se que tanto valores próximos da unidade para a constante de suavização α , quanto valores elevados para t , diminuem sua importância no cálculo da previsão para o período $t+1$. Uma vez que a primeira previsão \hat{x}_1 deve ser estimada para que a aplicação recursiva das expressões tipo (8) possa ser iniciada, toma-se o valor da primeira previsão igual ao valor da primeira observação, isto é, $\hat{x}_1 = x_1$. O erro decorrente desta simplificação será tanto menor quanto maiores forem α e t .

Alternativamente, a expressão (8) pode ser apresentada como segue.

$$\hat{x}_{t+1} = \hat{x}_t + \alpha(x_t - \hat{x}_t) \quad (10)$$

$$\hat{x}_{t+1} = \hat{x}_t + \alpha e_t \quad (11)$$

A expressão (11) permite dizer-se que o modelo de suavização exponencial simples prediz o valor de uma série temporal, tomando a previsão para o período anterior e ajustando-a pelo valor do erro no mesmo período (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 147).

2.3.2 Modelo de Holt

O modelo de Holt ajusta-se, mais adequadamente, às séries temporais com tendência linear, mediante o uso de uma função de ponderação que coloca a maior ênfase nos períodos de tempo mais recentes (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996). Seu algoritmo de previsão utiliza as seguintes expressões:

$$L_t = \alpha x_t + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (12)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \quad (13)$$

$$\hat{x}_{t+m} = L_t + mT_t \quad (14)$$

Nas expressões (12), (13) e (14), \hat{x}_{t+m} é a previsão para o período $t+m$, α e β são constantes de suavização, cujos valores encontram-se entre 0 e 1, e x_t é a mais recente observação. L_t representa uma estimativa do nível da série no tempo t e T_t , uma estimativa da declividade da série no mesmo tempo t . Tal como no modelo de suavização exponencial simples, as constantes de suavização α e β determinam quão rápido os pesos da série decaem. Valores próximos da unidade acentuam os pesos das observações mais recentes, enquanto valores vizinhos de zero acentuam a influência das observações mais distantes no passado. Assim, quando se crê que o processo gerador da série temporal passou recentemente por

mudanças fundamentais, adotam-se para α e β valores próximos da unidade, fazendo-se com que observações mais antigas sejam, praticamente, ignoradas. Alternativamente, quando se imagina que a série seja razoavelmente estável, passando apenas por flutuações aleatórias, adotam-se valores próximos de zero. A escolha dos valores para as constantes de suavização pode ser arbitrária, como visto anteriormente, ou condicionada a algum critério que, na maioria das vezes, consiste na minimização, pelo uso de um algoritmo de otimização não linear, do erro quadrático médio, MSE , atribuído ao desempenho do modelo (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996).

Como o modelo de Holt baseia-se na aplicação recursiva das expressões (12), (13) e (14), tal aplicação deve iniciar em algum período no passado, no qual os valores de L_1 e T_1 devem ser estimados. Uma possibilidade mais simples, dentre outras, é fazer-se $L_1 = x_1$ e $T_1 = x_2 - x_1$, permitindo-se assim que a aplicação iterativa das equações possa ser iniciada.

O modelo de Holt é conhecido, também, por modelo de suavização exponencial dupla (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 161).

2.3.3 Modelo Sazonal Multiplicativo de Winters

O modelo multiplicativo de Winters ajusta-se, de maneira mais adequada, a séries com tendência e sazonalidade multiplicativa, isto é, aquelas em que a amplitude da variação sazonal aumenta com o acréscimo no nível médio da série temporal (KOEHLER *et al.*, 2001, p. 269). Seu algoritmo de previsão utiliza as seguintes expressões.

$$L_t = \alpha \frac{x_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (15)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (16)$$

$$S_t = \gamma \frac{x_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (17)$$

$$\hat{x}_{t+m} = (L_t + mT_t)S_{t-s+m} \quad (18)$$

Nas expressões (15), (16), (17) e (18), \hat{x}_{t+m} é a previsão para o período $t+m$, α , β e γ são constantes de suavização, cujos valores encontram-se entre 0 e 1, e x_t é a mais recente observação. Nelas, L_t representa uma estimativa do nível da série no tempo t , T_t , uma estimativa da declividade da série no mesmo período t e S_t , o componente de sazonalidade também no período t . A sazonalidade, isto é, o número de subperíodos do ano, é representado

por s . A escolha dos valores para as constantes de suavização é condicionada a algum critério, que na maioria das vezes, consiste na minimização, pelo uso de um algoritmo de otimização não linear, do erro quadrático médio, MSE , atribuído ao desempenho do modelo (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996).

Como o modelo multiplicativo de Winters baseia-se na aplicação recursiva das expressões (15), (16), (17) e (18), tal aplicação deve iniciar em algum período no passado, no qual os valores de L_t , T_t e S_t devem ser estimados (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 168). A forma mais simples consiste em inicializar-se o nível e a tendência no período s . O nível é inicializado tomando-se a média da primeira estação.

$$L_s = \frac{1}{s}(x_1 + x_2 + \dots + x_s) \quad (19)$$

Para inicializar-se a tendência, é conveniente o uso de duas estações completas, isto é, $2s$ períodos, como segue.

$$T_s = \frac{1}{s} \left(\frac{x_{s+1} - x_1}{s} + \frac{x_{s+2} - x_2}{s} + \dots + \frac{x_{s+s} - x_s}{s} \right) \quad (20)$$

Finalmente, os índices sazonais são inicializados usando-se a razão das primeiras observações com a média do primeiro ano, como a seguir.

$$S_1 = \frac{x_1}{L_s}, \quad S_2 = \frac{x_2}{L_s}, \quad \dots, \quad S_s = \frac{x_s}{L_s} \quad (21)$$

2.3.4 Modelo Sazonal Aditivo de Winters

O modelo aditivo de Winters ajusta-se mais apropriadamente a séries com tendência e sazonalidade aditiva, isto é, aquelas em que o efeito sazonal não é função do nível médio corrente da série temporal e pode ser simplesmente adicionado ou subtraído de uma previsão que dependa apenas de nível e tendência (KOEHLER *et al.*, 2001, p. 269). Seu algoritmo de previsão utiliza as seguintes expressões:

$$L_t = \alpha(x_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (22)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (23)$$

$$S_t = \gamma(x_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (24)$$

$$\hat{x}_{t+m} = L_t + mT_t + S_{t-s+m} \quad (25)$$

A equação (23) é idêntica à equação (16), que se refere ao modelo multiplicativo de Winters. A única diferença, entre as demais expressões e as correspondentes ao modelo multiplicativo de Winters, é que os índices sazonais agora são somados e

subtraídos ao invés de serem tomados em produtos e divisões (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 169).

Os valores iniciais de L_s e T_s são idênticos àqueles do modelo multiplicativo. Os índices sazonais são inicializados usando-se as seguintes expressões:

$$S_1 = x_1 - L_s, \quad S_2 = x_2 - L_s, \quad \dots, \quad S_s = x_s - L_s \quad (26)$$

2.4 Modelo de Regressão Linear Simples

O modelo de regressão linear simples, também chamado de modelo de tendência dos mínimos quadrados, computa uma equação de tendência das observações em linha reta, utilizando o método dos mínimos quadrados, no qual a variável dependente é a série temporal e a variável independente é o número de ordem dos períodos considerados. Este modelo ajusta-se com mais adequação a séries que apresentam uma estável tendência a longo prazo (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996). A equação de previsão deste modelo é

$$\hat{x}_t = a + bt. \quad (27)$$

Na expressão (27), \hat{x}_t é a previsão no período t , a é o intercepto e b a declividade da tendência. A declividade indica o quanto é acrescentado (ou subtraído, se b é negativo) à previsão, desde cada período ao próximo. O método dos mínimos quadrados computa os parâmetros a e b da equação (27), fazendo com que a soma dos quadrados dos desvios entre cada observação e sua previsão seja mínima (STEVENSON, 1986, p. 347). Simbolicamente, o valor que é minimizado é

$$\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2$$

Como nesta soma todos os desvios entram com igual ponderação, alguns autores afirmam que o modelo de regressão linear simples é um modelo de suavização exponencial dupla em que as observações são igualmente ponderadas, independentemente de serem mais recentes ou mais distantes no passado (FOGLIATTO, 2001, p. 73).

2.5 Modelos de Box–Jenkins

- **Séries Temporais Estacionárias**

Uma série temporal é dita determinística se seus valores futuros são exatamente determinados por alguma função matemática. Por outro lado, tem-se uma série temporal não determinística, ou probabilística, quando seus valores futuros podem ser

descritos apenas em termos de uma distribuição de probabilidade. Tal série não determinística também pode ser vista como a realização de um processo estocástico, isto é, de um fenômeno que evolui no tempo de acordo com leis probabilísticas. O conceito de processo estocástico estacionário é baseado na presunção de que o mesmo esteja num estado particular de equilíbrio. Este equilíbrio implica em que a média e a variância das observações que constituem a série temporal, realização de um processo estocástico estacionário, sejam constantes ao longo do tempo (BOX *et al.*, 1994, p. 22–24).

Considere-se o índice de preços europeus do trigo, de 1500 a 1869, retirada a tendência, apresentada por Hyndman e Akran (2002) e que constitui a série da Tabela 1 do Anexo. No gráfico da Figura 10, verifica-se que não há evidência de variação da média com o tempo, podendo-se dizer que a série é estacionária na média. Como o gráfico também não mostra uma óbvia modificação da variância, isto é, da dispersão das observações em torno da média, com o passar do tempo, pode-se dizer que a série é estacionária na variância.

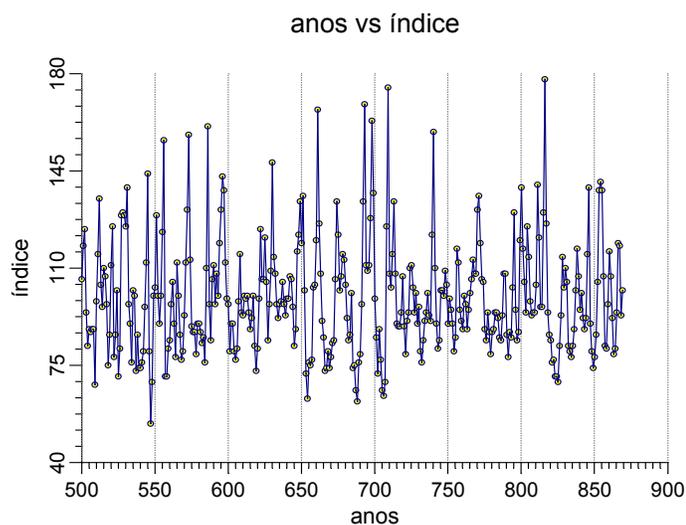


Figura 10 – Índice de preços europeus do trigo, de 1500 a 1869 (HYNDMAN; AKRAN, 2002)

- **Função de Autocorrelação**

Um processo estocástico estacionário é completamente definido por sua média, variância e função de autocorrelação. O coeficiente de autocorrelação, ou coeficiente de correlação da série temporal consigo mesma, defasada por 1, 2, ou mais períodos, é calculado pela seguinte expressão.

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (28)$$

Na expressão (28), r_1 indica como valores sucessivos de x relacionam-se entre si, r_2 indica como valores de x defasados em dois períodos relacionam-se entre si e assim por diante. Em conjunto, as autocorrelações defasadas em 1, 2, ..., k períodos constituem a função de autocorrelação ou FAC (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 315). A Figura 11 apresenta a função de autocorrelação, para $k=20$, da série índice de preços europeus do trigo, de 1500 a 1869, representada no gráfico da Figura 10.

- **Função de Autocorrelação Parcial**

O coeficiente de autocorrelação parcial de ordem k , designado por α_k , pode ser calculado estimando-se os coeficientes da regressão múltipla de x_t em função de x_{t-1} , x_{t-2} , ..., x_{t-k} , como segue.

$$x_t = \alpha_0 + \alpha_1 x_{t-1} + \alpha_2 x_{t-2} + \dots + \alpha_k x_{t-k} \quad (29)$$

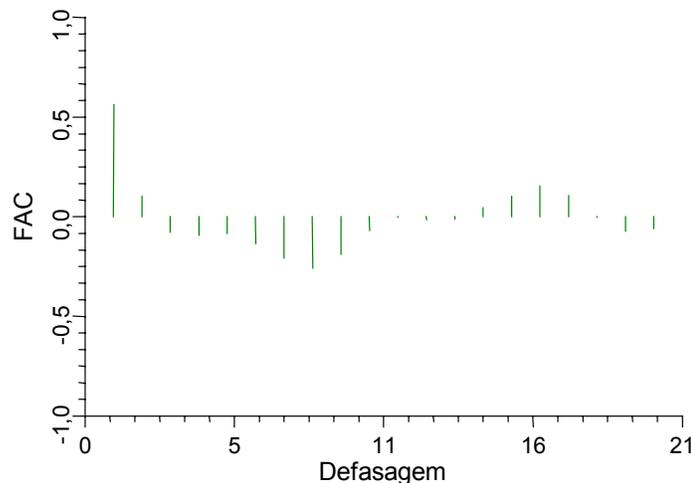


Figura 11 – Função de autocorrelação da série índice de preços europeus do trigo

Portanto, autocorrelações parciais são usadas para medir o grau de associação entre as observações x_t e x_{t-k} , quando os efeitos das outras observações, defasadas no tempo em 1, 2, ..., $k-1$ períodos, são removidos. As autocorrelações parciais α_1 , α_2 , ..., α_k , tomadas em conjunto, constituem a função de autocorrelação parcial ou FACP (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 321). A Figura 12 apresenta a função de autocorrelação parcial, para $k=20$, da série índice de preços europeus do trigo, de 1500 a 1869, representada no gráfico da Figura 10.

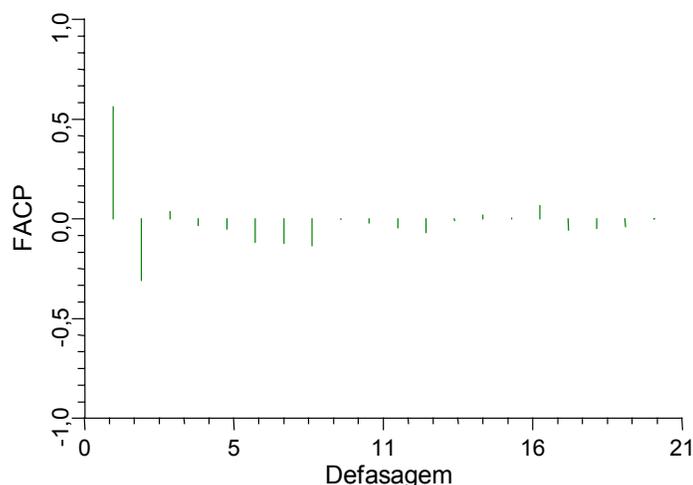


Figura 12 – Função de autocorrelação parcial da série índice de preços europeus do trigo

- **Método de Box–Jenkins**

A análise de Box–Jenkins refere-se ao método sistemático de identificação, ajuste, checagem e uso de modelos auto–regressivos integrados a média móvel ou, simplesmente, modelos ARIMA. O uso de modelos ARIMA é uma abordagem poderosa na solução de muitos problemas de previsão, pois pode propiciar previsões extremamente acuradas de séries temporais. Todavia, é duvidoso que as vantagens da acuracidade das previsões, possível através da metodologia de modelagem ARIMA, possam justificar o custo envolvido no processo de construção destes modelos em uma aplicação típica de previsão no ambiente de sistemas de produção/estoque, uma vez que pode envolver de poucas centenas a vários milhares de séries temporais. Os modelos ARIMA são mais eficientemente empregados em situações onde somente um pequeno número de séries temporais são envolvidas e a administração está disposta a despende os recursos necessários para obter um alto grau de precisão nas previsões. O método é apropriado para séries de comprimento médio a longo, de, no mínimo, 50 e, preferencialmente, 100 observações. (MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 288–290).

Um dos passos fundamentais no método de Box–Jenkins é transformar uma série não estacionária em uma estacionária, cuja análise é mais simples (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996).

2.5.1 Modelo ARMA

O modelo ARMA — auto-regressivo a média móvel — ajusta-se somente às séries temporais estacionárias na média e na variância e é definido pela equação que segue.

$$x_t = c + \phi_1 x_{t-1} + \dots + \phi_p x_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (30)$$

ou

$$x_t - \phi_1 x_{t-1} - \dots - \phi_p x_{t-p} = c + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (31)$$

Há restrições específicas aos valores que podem assumir os parâmetros das equações (30) e (31). Para $p=1$, $-1 < \phi_1 < 1$. Para $p=2$, $-1 < \phi_2 < 1$, $\phi_2 + \phi_1 < 1$ e $\phi_2 - \phi_1 < 1$. Para $p \geq 3$, condições mais complicadas prevalecem. Similarmente, para $q=1$, $-1 < \theta_1 < 1$. Para $q=2$, $-1 < \theta_2 < 1$, $\theta_2 + \theta_1 < 1$ e $\theta_2 - \theta_1 < 1$. Para $q \geq 3$, também prevalecem condições mais complicadas (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 345).

Um dispositivo de notação útil é o operador de deslocamento retroativo, B , cujo uso é o seguinte (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 334):

$$Bx_t = x_{t-1}, \quad (32)$$

ou, em outras palavras, B operando sobre x_t tem o efeito de deslocar os dados para trás em um período. Assim,

$$B(Bx_t) = B^2 x_t = x_{t-2} \quad (33)$$

e, eventualmente,

$$B^{12} x_t = x_{t-12} \quad (34)$$

Utilizando-se o operador B , a equação (31) pode ser escrita como segue:

$$(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) x_t = c + (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) e_t, \quad (35)$$

pois é da expressão (35) que o modelo em questão recebe sua denominação específica de ARMA (p, q), isto é, modelo auto-regressivo de média móvel, de ordem p e q , conforme assinalado na expressão (36).

$$\underbrace{(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)}_{\uparrow \text{AR}(p)} x_t = c + \underbrace{(1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)}_{\uparrow \text{MA}(q)} e_t \quad (36)$$

Os coeficientes $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ e $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ são estimados para ajustarem-se à série temporal que está sendo modelada através dos métodos dos mínimos quadrados ou da máxima verossimilhança. A aplicação do método dos mínimos quadrados é semelhante à da regressão linear, entretanto sem as fórmulas simples desta aplicação, sendo as estimativas feitas iterativamente, por *softwares*, até que a soma dos erros quadráticos seja minimizada. No

segundo método, a verossimilhança de um conjunto de observações, denominada L , é proporcional à probabilidade de obter-se as observações dado o modelo, sendo, portanto, uma medida da plausibilidade de obter-se o atual conjunto de observações dado um particular conjunto de valores dos parâmetros. O método da máxima verossimilhança estima, iterativamente através de *softwares*, os valores dos parâmetros que maximizem a verossimilhança L (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 359).

O modelo ARMA, como qualquer modelo de previsão adequadamente ajustado a uma série temporal, deve ter seus erros, e_t , distribuídos aleatoriamente, isto é, comportando-se como uma série de ruído branco. Teoricamente, todos os coeficientes de autocorrelação de uma série de números aleatórios devem ser zero, pois os mesmos não guardam qualquer relação entre si. Entretanto, foi demonstrado que a distribuição amostral dos coeficientes de autocorrelação de um conjunto de n amostras, retiradas de uma população de números aleatórios, pode ser aproximada por uma curva normal de média zero e desvio padrão $1/\sqrt{n}$. Portanto, espera-se que 95% das n amostras de coeficientes de autocorrelação de uma série aleatória estejam entre $\pm 1,96/\sqrt{n}$. Se não for este o caso, a série provavelmente não é de ruído branco (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 318).

Uma abordagem alternativa à verificação dos coeficientes de correlação dos resíduos da aplicação de um modelo ARMA é a utilização dos testes de Portmanteau, que considera o conjunto dos k primeiros coeficientes de autocorrelação, ao contrário de considerar cada um separadamente. É correto concluir que os resíduos não são ruído branco, se as estatísticas Q , sugerida por Box–Pierce, ou Q^* , sugerida por Ljung–Box, posicionarem-se no extremo 5% da cauda direita da distribuição χ^2 . As expressões para o cálculo das estatísticas Q , de Box–Pierce, ou Q^* , de Ljung–Box, são as seguintes:

$$Q = n \sum_{k=1}^h r_k^2 \quad \text{e} \quad (37)$$

$$Q^* = n + (n+2) \sum_{k=1}^h \frac{r_k^2}{(n-k)}. \quad (38)$$

Nas expressões (37) e (38), n é o número de observações da série e h é a máxima defasagem dos coeficientes de correlação dos resíduos. Alguns autores aconselham que seja tomado $h = 20$ (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 319); outros, $h = n/4$ (BOX *et al.*, 1994, p. 32). O valor h deve ser utilizado como o número de graus de liberdade da distribuição χ^2 .

Como exemplo, considere-se a série temporal de 197 valores de concentração, verificados de duas em duas horas, em um processo químico, constantes da Tabela 2 do Anexo e cujo gráfico apresenta-se na Figura 13.

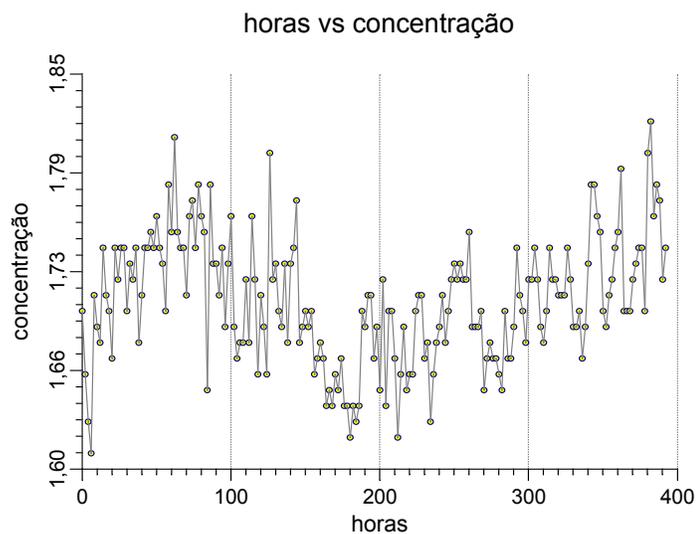


Figura 13 – Valores de concentração amostrados de um processo químico

O exame do gráfico indica tratar-se de um processo estacionário, com média de aproximadamente 1,73 e dispersão constante, o que indica ser adequado o ajuste de um modelo ARMA. As funções de autocorrelação e de autocorrelação parcial da série em questão são apresentadas nas Figuras 14 e 15.

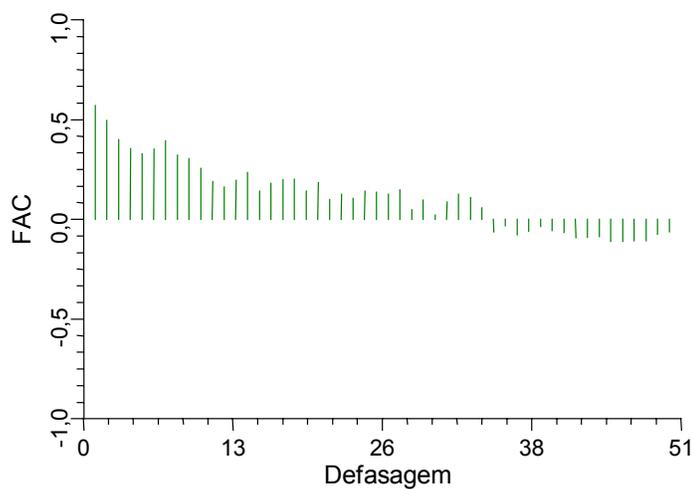


Figura 14 – FAC da série de valores de concentração

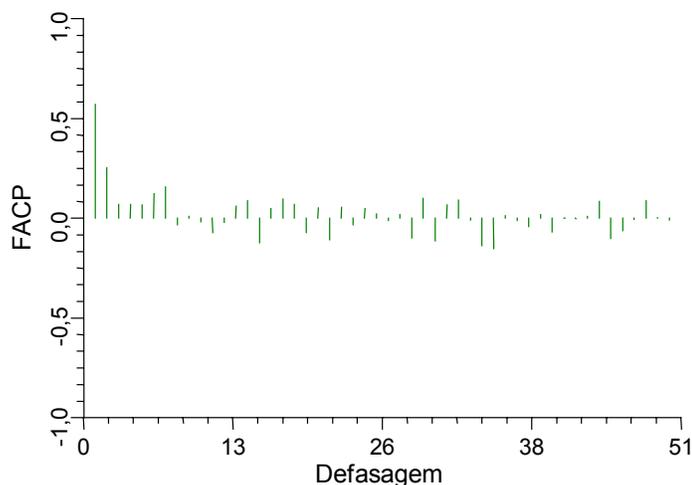


Figura 15 – FACP da série de valores de concentração

Quando nem a função de autocorrelação nem a função de autocorrelação parcial caem bruscamente a zero, como no caso em questão, a recomendação de uso de um modelo ARMA é reforçada. A experiência mostra, entretanto, que identificar diretamente os valores de p e q , a partir daqueles gráficos é extremamente difícil. Ao contrário, é sugerida uma abordagem por tentativas, na qual modelos cada vez mais complexos são, sucessivamente, ajustados à série até que os resíduos apresentem um comportamento de ruído branco, ou seja, não apresentem correlação entre si (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996). Alguns autores, entretanto, apresentam procedimentos para identificação das ordens p e q do modelo ARMA, a partir dos gráficos FAC e FACP, como no caso apresentado no quadro da Figura 16.

Modelo	FAC	FACP
ARMA($p,0$)	Decaimento gradativo.	Decaimento brusco após defasagem p .
ARMA($0,q$)	Decaimento brusco após defasagem q .	Decaimento gradativo.
ARMA(p,q)	Decaimento gradativo, com onda senoidal amortecida após a defasagem ($q-p$).	Decaimento gradativo, com onda senoidal amortecida após a defasagem ($p-q$).

Figura 16 – Comportamento das funções FAC e FACP para modelos estacionários (Adaptado de JOHNSON; MONTGOMERY, 1974, p. 469)

Portanto, segundo a recomendação de Johnson e Montgomery (1974, p. 469), a melhor alternativa é o ajuste de um modelo ARMA(1,0) —ou simplesmente AR(1)— o que foi feito com auxílio do *software* NCSS 6.0. Efetivamente, foi estimado o parâmetro $\phi_1 =$

0,572 e calculado o valor da constante $c = 1,706$. Levando-se esses valores de φ_1 e c à expressão (30), resulta a seguinte expressão para o modelo ARMA(1,0) ajustado.

$$x_t = 1,706 + 0,572x_{t-1} + e_t \quad (39)$$

Entretanto, ao examinar-se a função de autocorrelação dos resíduos e_t , apresentada na Figura 17, verificou-se que 5 coeficientes, com defasagens 1, 2, 7, 14 e 20, resultaram fora do intervalo limitado por $\pm 1,96/\sqrt{197} = \pm 0,140$, o que representa 25% do total de 20, indicando uma certa correlação entre os referidos resíduos.

A inadequação do modelo ARMA(1,0) para a série em questão foi confirmada pelo exame das estatísticas de Box-Pierce e de Ljung-Box. Efetivamente, os valores calculados foram $Q=43,89$, correspondendo a uma probabilidade, na distribuição χ^2 com 20 graus de liberdade, de 0,0016 e $Q^*=46,74$, com probabilidade de 0,0006. Ambos os valores de probabilidade situam-se no extremo de 5% da cauda direita da distribuição, impondo a conclusão que os resíduos do modelo ARMA(1,0) não são de ruído branco.

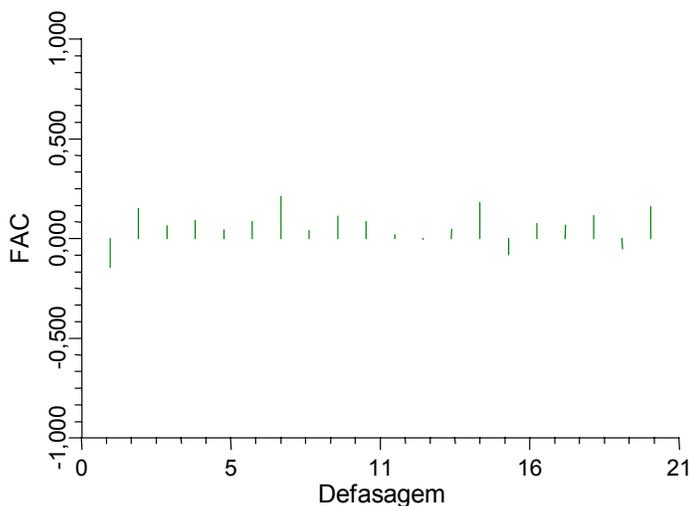


Figura 17 – FAC dos resíduos do modelo ARMA (1,0)

Como as demais sugestões da Figura 16 carecem de sentido para o caso em questão, adotou-se a abordagem por tentativas, sendo o modelo ARMA(1,1), o imediatamente mais complexo a ser ajustado. Com o auxílio do *software* NCSS 6.0, foram estimados os parâmetros $\varphi_1=0,921$ e $\theta_1=0,596$, bem como calculado $c=1,706$, obtendo-se para o modelo ARMA(1,1) a seguinte expressão.

$$x_t = 1,706 + 0,921x_{t-1} + e_t - 0,596e_{t-1} \quad (40)$$

A função de autocorrelação dos resíduos apresentou-se conforme consta na Figura 18. Note-se que apenas o coeficiente correspondente ao atraso 7 caiu fora dos limites $\pm 0,140$, isto é, 0,05% se considerados os 20 primeiros coeficientes. A estatística de Ljung-Box, a mais restritiva das duas, foi calculada em $Q^*=25,64$, correspondendo a uma probabilidade, na distribuição χ^2 com 20 graus de liberdade, de 0,18, fora do extremo de 5% da cauda direita da distribuição, não havendo evidência estatística para rejeição da hipótese que os resíduos do modelo ARMA(1,1) são ruído branco. Portanto, o modelo ARMA(1,1) é adequado ao ajustamento à série dos valores de concentração apresentada na Tabela 2 do Anexo.

2.5.2 Modelo ARIMA

Muitas vezes as séries temporais encontradas exibem um comportamento não estacionário, como é o caso da série de 85 valores, em bilhões de dólares, do produto nacional bruto dos Estados Unidos, entre 1890 e 1974, apresentada por Hyndman e Akran (2002), constante da Tabela 3 do Anexo e cujo gráfico é apresentado na Figura 19. Nesta série, a não estacionariedade é claramente devida à tendência não sazonal que a mesma apresenta.

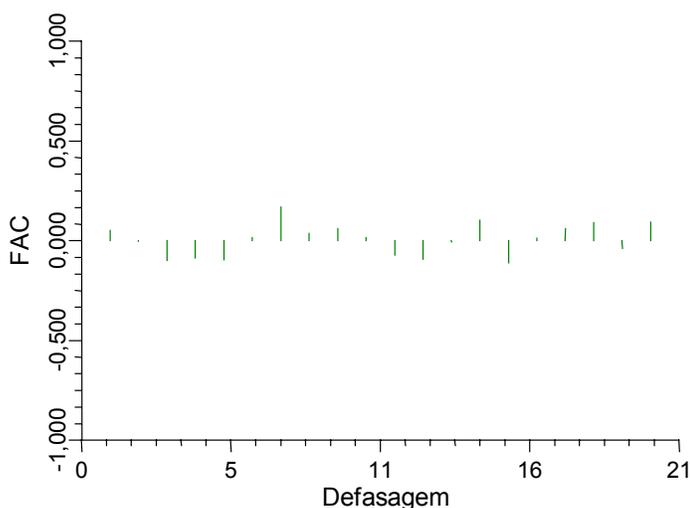


Figura 18 – FAC dos resíduos do modelo ARMA (1, 1)

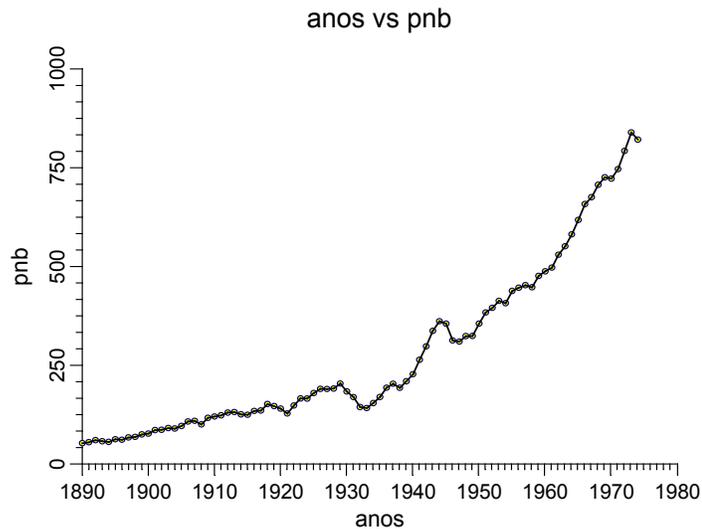


Figura 19 – Produto nacional bruto dos Estados Unidos, em bilhões de dólares

As séries com tendência apresentam padrões como os apresentados nas Figuras 20 e 21, onde nota-se que as grandes autocorrelações tipicamente persistem, mesmo após várias defasagens (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996).

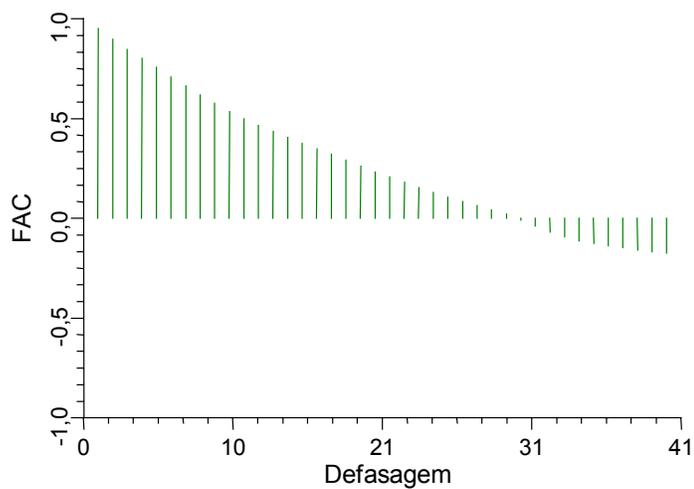


Figura 20 – FAC do produto nacional bruto dos Estados Unidos

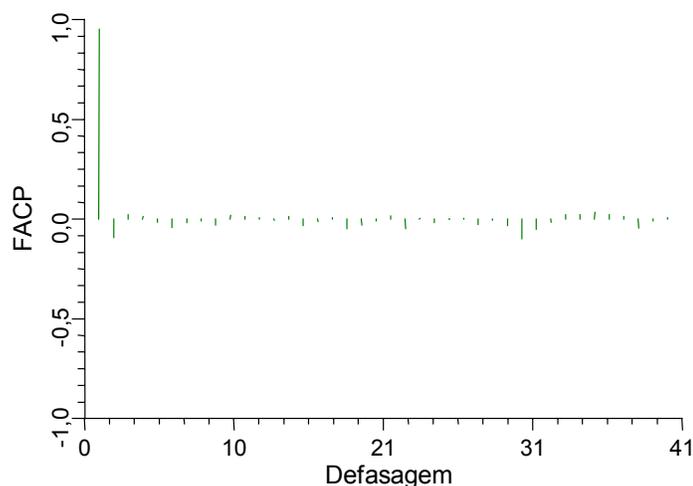


Figura 21 – FACP do produto nacional bruto dos Estados Unidos

O método de Box–Jenkins preconiza a remoção da tendência da série diferenciando-a, isto é, aplicando sobre a mesma o operador $(1-B)$, como segue (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 326).

$$x'_t = x_t - x_{t-1} = (1-B)x_t \quad (41)$$

Assim, na Tabela 4 do Anexo encontram-se os resultados da primeira diferenciação sobre a série de valores do produto nacional bruto dos Estados Unidos, cujo gráfico está reproduzido na Figura 22. A análise do gráfico indica uma série estacionária de média ao redor de zero, cujas FAC e FACP são as constantes das Figuras 23 e 24. Algumas vezes os dados diferenciados não apresentam aspecto estacionário como no presente caso, podendo ser necessário diferenciar os dados uma segunda vez.

Relacionando os padrões de FAC e FACP das Figuras 23 e 24 com as recomendações de Johnson e Montgomery (1974, p. 469), constantes na Figura 16, procurou-se ajustar à série de valores do produto nacional bruto após a primeira diferenciação um modelo ARMA(1,0), com o auxílio do *software* NCSS 6.0. Foi estimado um parâmetro $\varphi_1 = 0,413$ e calculada a constante $c = 9,148$, e a FAC dos resíduos é a constante da Figura 25, com nenhum dos coeficientes de autocorrelação fora dos limites $\pm 1,96/\sqrt{84} = 0,214$.

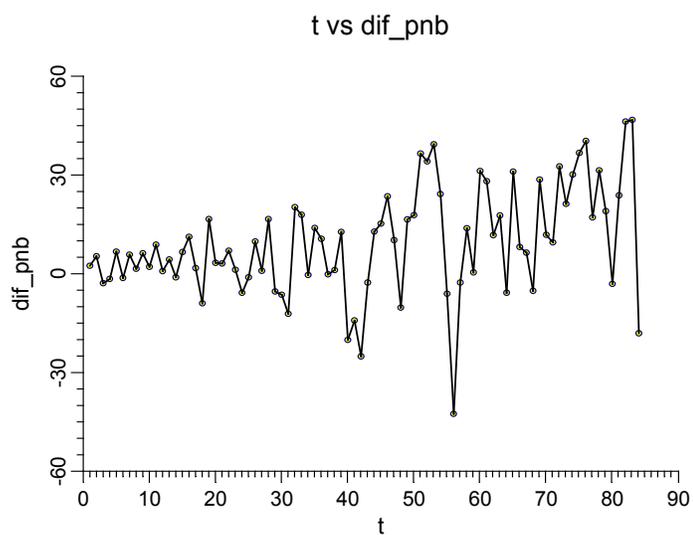


Figura 22 – Dados após a primeira diferenciação da série de valores do produto nacional bruto

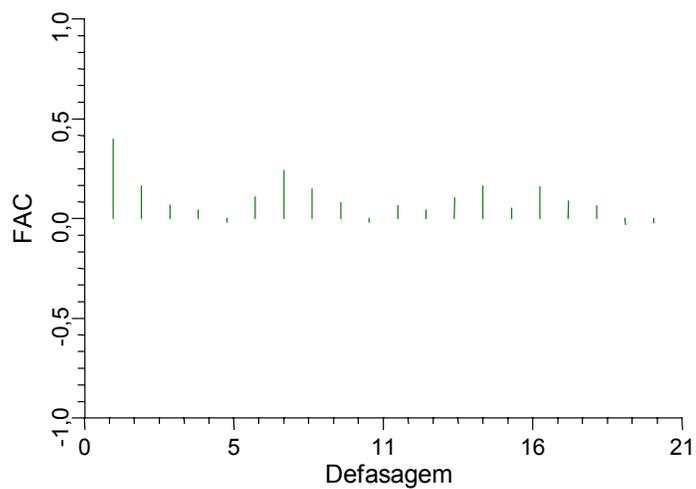


Figura 23 – FAC da série diferenciada de valores do produto nacional bruto

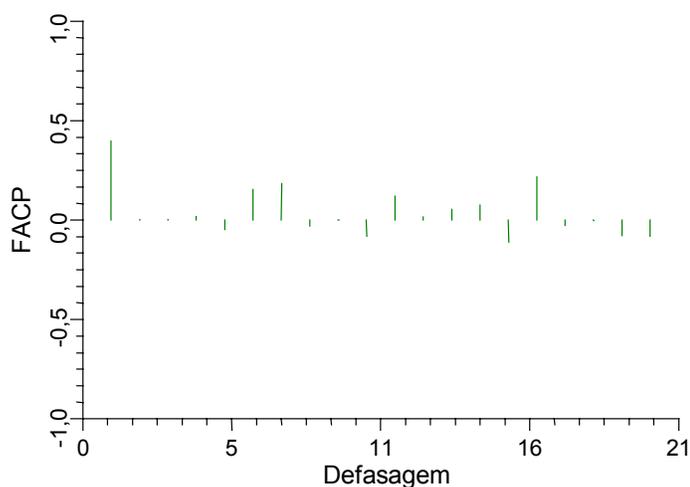


Figura 24 – FACP da série diferenciada de valores do produto nacional bruto

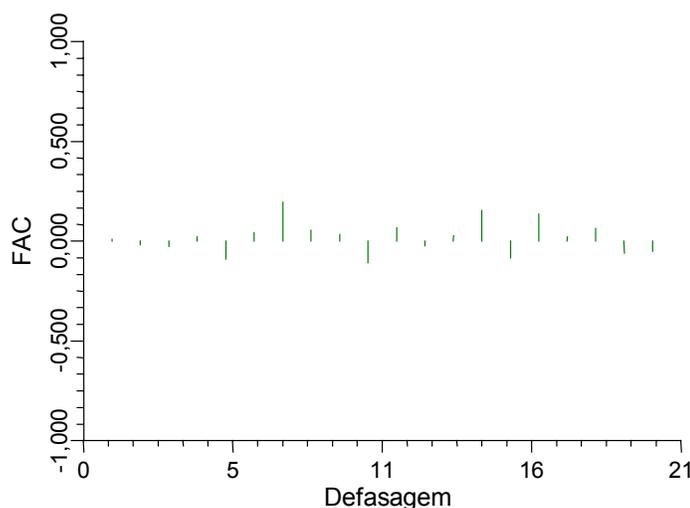


Figura 25 – FAC dos resíduos da série diferenciada do produto nacional bruto

A estatística de Ljung–Box foi calculada em $Q^*=13,37$, correspondendo a uma probabilidade, na distribuição χ^2 com 20 graus de liberdade, de 0,86, acentuadamente fora do extremo de 5% da cauda direita da distribuição, não havendo evidência estatística para rejeição da hipótese que os resíduos do modelo ARMA(1,0) constituem um ruído branco. Portanto, o modelo ARMA(1,0) é adequado ao ajustamento à série diferenciada do produto nacional bruto, apresentada na Tabela 4 do Anexo.

Assim, chega-se finalmente à expressão do modelo ARIMA(p,d,q) — auto-regressivo integrado a média móvel, de ordem p , d e q — que nada mais é do que a expressão

Portanto, considerando-se (44), a expressão do modelo ARIMA(1,1,0) ajustado é a seguinte.

$$x_t = 278 + 1,558x_{t-1} - 0,558x_{t-2} + e_t \quad (45)$$

2.5.3 Modelo ARIMA Sazonal

O comportamento mais geral de séries históricas não estacionárias é o que combina o padrão de tendência com o padrão de sazonalidade, tal como apresentados na série do número mensal, em milhares, de passageiros de linhas aéreas internacionais, de janeiro de 1949 a dezembro de 1960, apresentada por Hyndman e Akran (2002), constante na Tabela 5 do Anexo e cujo gráfico é apresentado na Figura 27. Nas Figuras 28 e 29 estão apresentadas as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial da referida série, onde se pode reconhecer nitidamente os padrões de tendência e sazonalidade.

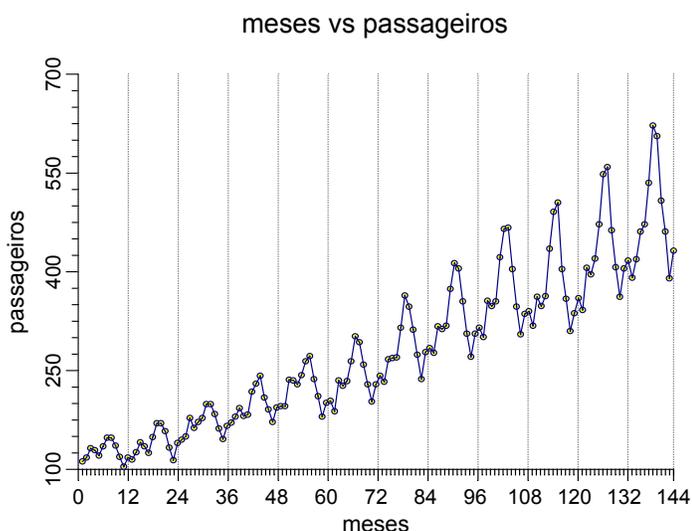


Figura 27 – Número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais, em milhares

O método de Box–Jenkins recomenda a remoção tanto da tendência quanto da sazonalidade da série, diferenciando-a duas vezes. É recomendado que a diferenciação sazonal, isto é, a que aplica o operador $(1-B^{12})$ — desde que o número de períodos por ciclo sazonal seja de 12 — sobre a série original seja feita em primeiro lugar, porque sua simples aplicação pode, em alguns casos, tornar a série estacionária, sem necessidade da outra diferenciação, que aplica o operador $(1-B)$ para eliminar a tendência (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 332). Assim, a diferenciação sazonal corresponde à expressão (46) e a diferenciação

destinada a eliminar a tendência, à expressão (47), ambas gerando as séries constantes das Tabelas 6 e 7 do Anexo e dos gráficos das Figuras 30 e 31.

$$x'_t = x_t - x_{t-12} = (1 - B^{12})x_t \quad (46)$$

$$x''_t = x'_t - x'_{t-1} = (1 - B)x'_t = (1 - B)(1 - B^{12})x_t \quad (47)$$

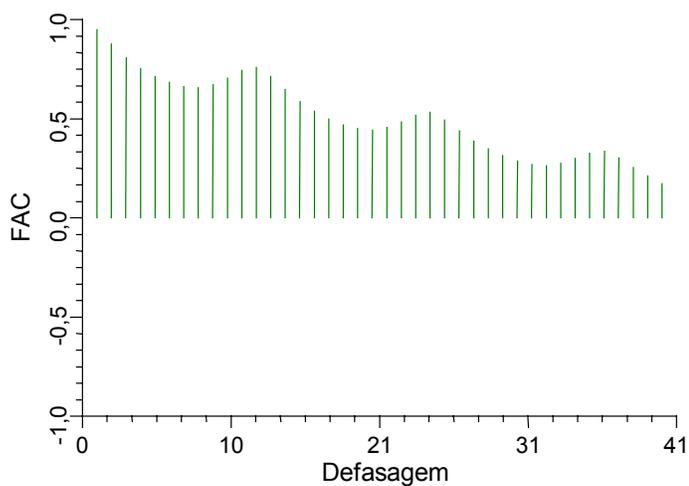


Figura 28 – FAC da série número de passageiros de linhas aéreas internacionais

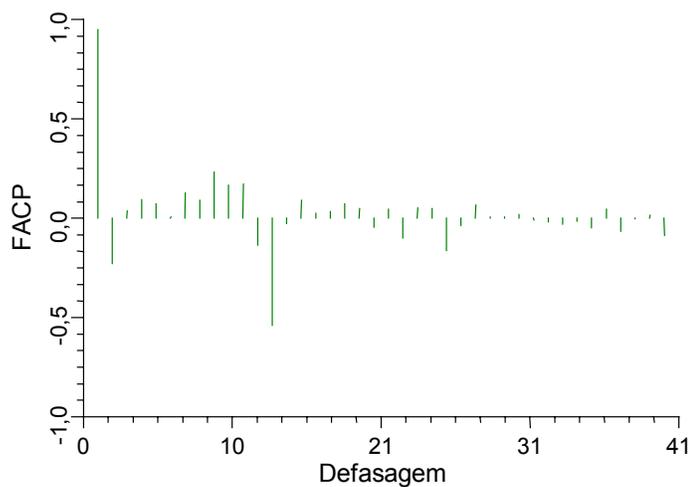


Figura 29 – FACP da série número de passageiros de linhas aéreas internacionais

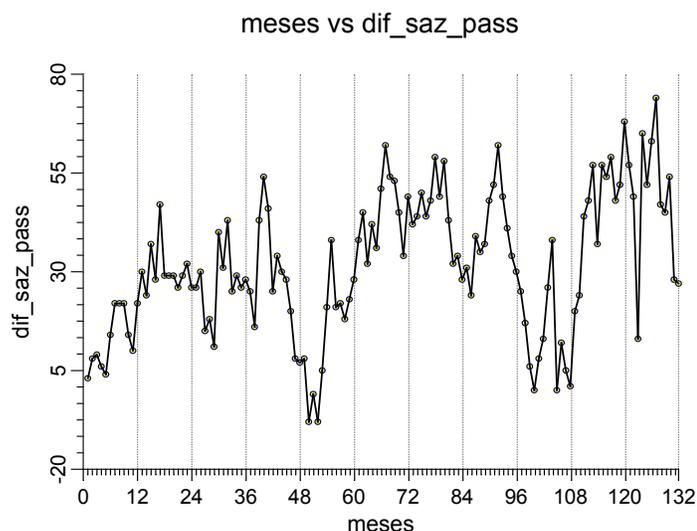


Figura 30 – Série temporal após diferenciação sazonal do número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais, em milhares

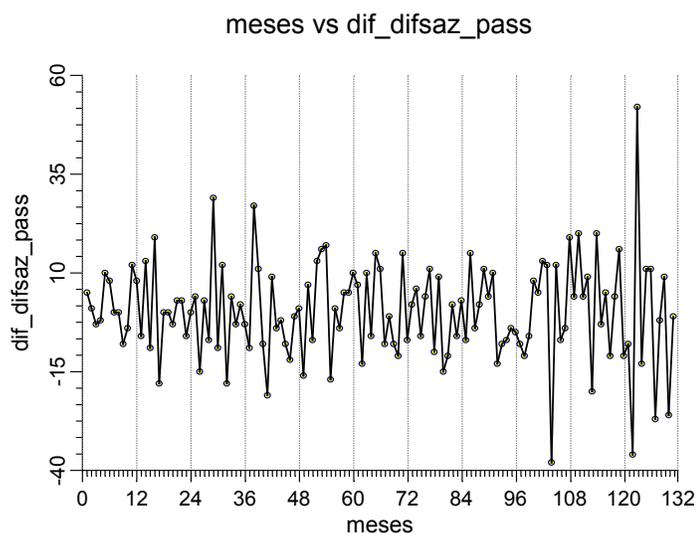


Figura 31 – Série resultante da diferenciação da série diferenciada sazonalmente do número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais, em milhares

Note-se que a diferenciação sazonal, neste caso, não foi suficiente para eliminar o padrão de tendência, como pode ser verificado no gráfico da Figura 30. Assim, à serie estacionária constituída pela primeira diferença das diferenças sazonais do número de passageiros, constante na Tabela 7 do Anexo e no gráfico da Figura 31, procurou-se ajustar um modelo ARMA adequado. A análise da FAC e FACP, constantes das Figuras 32 e 33, à luz das recomendações no quadro da Figura 16, sugeriu o modelo ARMA(0,q) com $q=1$. O

ajuste do modelo ARMA(0,1), com auxílio do *software* NCSS 6.0, estimou o parâmetro $\theta_1 = 0,323$ e calculou $c = 0,183$.

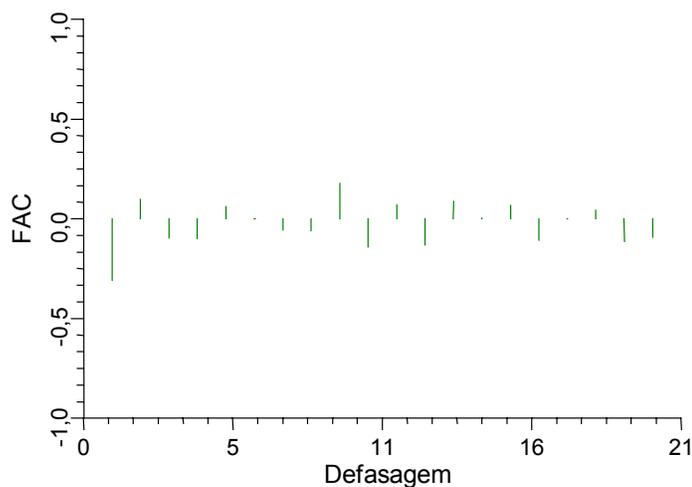


Figura 32 – FAC da primeira diferença das diferenças sazonais do número de passageiros

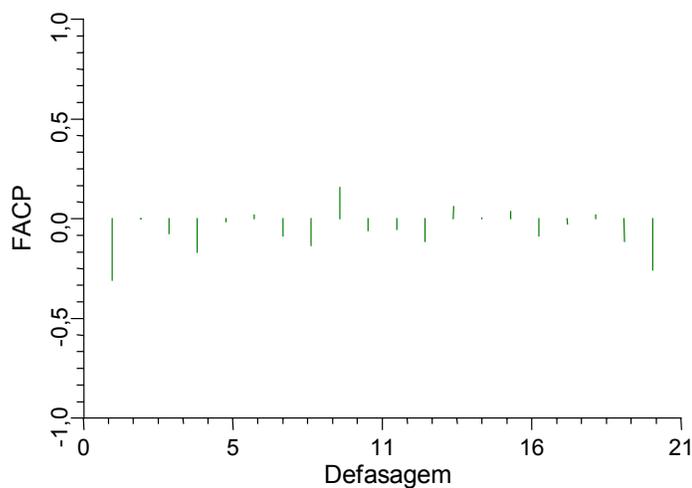


Figura 33 – FACP da primeira diferença das diferenças sazonais do número de passageiros

A FAC dos resíduos é a constante da Figura 34, com nenhum dos coeficientes de autocorrelação fora dos limites $\pm 1,96/\sqrt{131} = 0,1712$. A estatística de Ljung-Box foi calculada em $Q^* = 22,30$, correspondendo a uma probabilidade, na distribuição χ^2 com 20 graus de liberdade, de 0,32, fora do extremo de 5% da cauda direita da distribuição, não havendo evidência estatística para rejeição da hipótese que os resíduos do modelo

ARMA(0,1) são de ruído branco e que o modelo é adequado à série obtida após a primeira diferenciação, apresentada na Tabela 7 do Anexo.

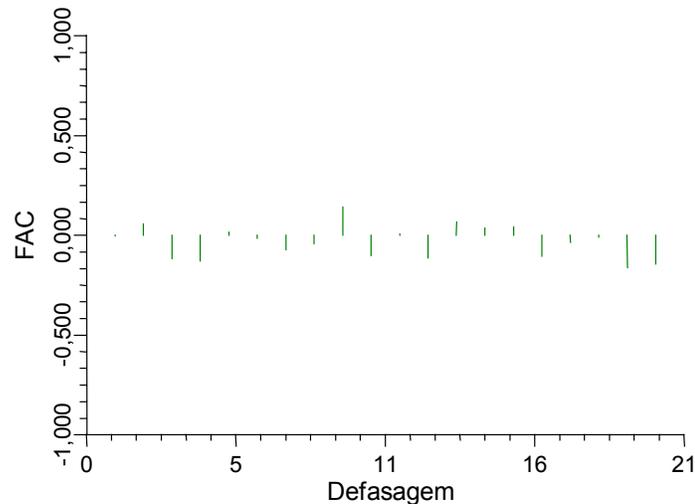


Figura 34 – FAC dos resíduos da primeira diferença das diferenças sazonais do número de passageiros

Desse modo, chegou-se à expressão (48) do modelo ARIMA sazonal, que agrega à expressão (42) do modelo ARIMA(p,d,q) os três fatores responsáveis pela sazonalidade.

$$\underbrace{(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)}_{AR(p)} \underbrace{(1 - \Phi B^s)^P}_{AR_{\text{sazonal}}(P)} \underbrace{(1 - B)^d}_{I^{(d)}} \underbrace{(1 - B^s)^D}_{I_{\text{sazonal}}(D)} x_t = c + \underbrace{(1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)}_{MA(q)} \underbrace{(1 - \Theta B^s)^Q}_{MA_{\text{sazonal}}(Q)} e_t \quad (48)$$

A notação abreviada sugerida por Box–Jenkins para o modelo sazonal, quando o número de períodos por estação é s , está indicada a seguir:

$$ARIMA \underbrace{(p, d, q)}_{\text{Parte não sazonal do modelo}} \underbrace{(P, D, Q)_s}_{\text{Parte sazonal do modelo}}$$

Portanto, no modelo ARIMA sazonal a ser ajustado à série na Tabela 5 do Anexo, $p=0$, $P=0$, $q=1$ e $Q=1$. Como, para obter-se uma série estacionária, foi tomada a primeira diferenciação das diferenças sazonais da série original, $d=1$ e $D=1$. Por fim, como o número de meses em cada ciclo completo de sazonalidade é 12, $s=12$. Desse modo, fica particularizado o modelo sazonal a ser ajustado à série original como um ARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂, o que foi feito, mais uma vez, com auxílio do *software* NCSS 6.0. Foram estimados os parâmetros $\theta_1=0,310$, $\Theta_1=0,117$ e calculada a constante $c=280$, e a FAC

dos resíduos é a constante da Figura 35, com nenhum dos coeficientes de autocorrelação fora dos limites $\pm 1,96/\sqrt{144} = 0,163$. A estatística de Ljung–Box foi calculada em $Q^*=25,33$, não havendo evidência estatística para rejeição da hipótese que os resíduos do modelo $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ são um ruído branco e que o modelo é adequado à série na Tabela 5 do Anexo.

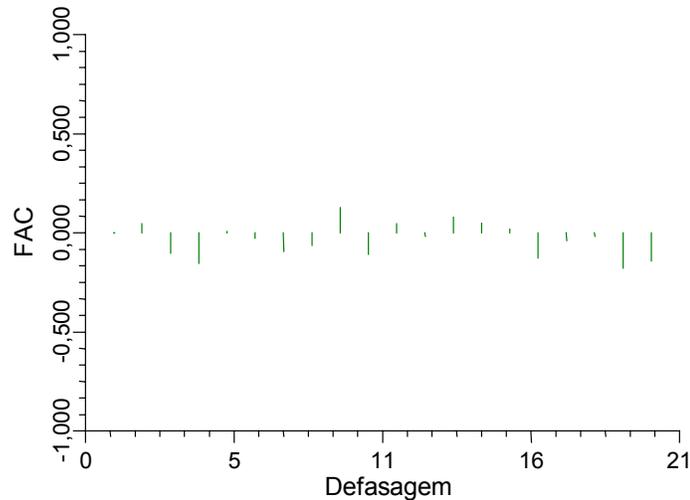


Figura 35 – FAC dos resíduos da série número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais

A expressão (48), particularizada para o modelo $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$, passa a ter as seguintes formas:

$$(1-B)^1(1-B^{12})^1 x_t = c + (1-\theta_1 B)(1-\Theta B^{12})^1 e_t \quad (49)$$

$$x_t = c + x_{t-1} + x_{t-12} - x_{t-13} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \Theta e_{t-12} + \theta_1 \Theta e_{t-13} \quad (50)$$

$$x_t = 280 + x_{t-1} + x_{t-12} - x_{t-13} + e_t - 0,310e_{t-1} - 0,117e_{t-12} + 0,036e_{t-13} \quad (51)$$

A expressão (51) é a que permite fazer previsões, baseadas no modelo ajustado, para a série em questão.

2.5.4 Identificação do Modelo de Box–Jenkins

As seguintes etapas são aconselhadas no processo de identificação de um modelo de Box–Jenkins (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 347).

- a) Plotar o gráfico da série temporal, bem como sua FAC e FACP.
- b) Verificar, pelo gráfico, se a série é estacionária na média e na variância. As séries sazonais tem, na FAC e/ou na FACP, correlações significativamente diferentes de zero nas defasagens sazonais. Se a série não apresentar

estacionariedade na variância, é necessária uma transformação logarítmica, ou de potenciação, para obtê-la. Se a série apresentar padrões de tendência e/ou sazonalidade, tomar a diferença sazonal das observações e, se ainda não apresentar estacionariedade, tomar a primeira diferença dos dados sazonalmente diferenciados. Na quase totalidade dos casos, estas duas diferenças transformarão os dados em uma série estacionária.

c) Obtida uma série estacionária, ajustar à mesma um modelo ARMA, conforme recomendações na Figura 2.14 ou adotando uma abordagem por tentativas, na qual modelos cada vez mais complexos são, sucessivamente, ajustados à série até que os resíduos mostrem um comportamento de ruído branco, ou seja, não apresentem correlação entre si.

d) Aperfeiçoar o modelo ARMA ajustado para a série estacionária, agregando fatores de tendência e sazonalidade, de maneira a obter um modelo ARIMA ajustável à série temporal original. Na prática, raramente é necessário lidar com valores de p , d e q que não sejam 0, 1 ou 2.

e) Como pode haver a identificação de mais do que um modelo aplicável, eleger um, dentre eles, de acordo com um dos critérios apresentados a seguir.

2.6 Aplicabilidade e Seleção de Modelos

A aplicabilidade dos vários modelos de previsão abordados pode ser resumida no quadro da Figura 36.

Padrões	Abrangência do banco de dados de demandas mensais		
	Pequena (menos de 1 ano)	Média (entre 1 e 4 anos)	Grande (mais de 4 anos)
Horizontal	SE – RLS	SE – RLS	SE – RLS – BJ
Tendência	SE – RLS	SE – RLS	SE – RLS – BJ
Sazonal	(não se aplicam)	SE	SE – BJ

SE: modelos de suavização exponencial
 RLS: modelo de regressão linear simples
 BJ: modelos de Box–Jenkins

Figura 36 – Aplicabilidade dos modelos de previsão de demanda

Quando vários modelos ajustam-se satisfatoriamente a uma série temporal, a eleição de um deles para gerar previsões deve obedecer a um dos critérios descritos a seguir.

- **Máximo R^2**

Uma medida de ajuste de um modelo a uma série temporal é definida pela estatística R^2 calculada conforme a expressão (52), onde x_t é a observação real para o período t e \hat{x}_t é a previsão, fornecida pelo modelo, para o mesmo período (NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (52)$$

Um valor de R^2 próximo de zero indica um modelo de ajuste pobre, enquanto um valor próximo da unidade indica um bom ajuste.

- **Mínimo AIC**

O critério de informação de Akaike — AIC — é calculado pela expressão:

$$AIC = -2 \cdot \log L + 2m \quad (53)$$

Na expressão (53), L , a verossimilhança de um conjunto de observações, é proporcional à probabilidade de obter-se as observações dado o modelo, sendo, portanto, uma medida da plausibilidade de obter-se o atual conjunto de observações dado um modelo hipotetizado; m é o número de parâmetros estimados no modelo. Em um modelo ARIMA sazonal, por exemplo, $m=p+q+P+Q$. Como a seleção de um modelo, dentre vários, é feita pela escolha daquele que apresenta o mínimo AIC e como o AIC aumenta com o valor de m , este critério é conhecido como um critério de verossimilhança penalizada, pelo aumento da complexidade m (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 361).

- **Mínimo BIC**

Um outro critério de verossimilhança penalizada é o critério de informação bayesiano — BIC — cuja expressão é a seguinte (BUSINESS FORECAST SYSTEM, INC., 1999, p. 173).

$$BIC = MSE \cdot n^{m/2n} \quad (54)$$

$$BIC = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2 \cdot n^{m/2n} \quad (55)$$

Em (54) e (55), m é o número de parâmetros do modelo e n é o número de observações da série temporal. O critério do mínimo BIC pode ser usado ao compararem-se diferentes modelos da mesma família, para a mesma série.

2.7 Gestão de Estoques

Dos dois *inputs* ao sistema de estoque representado na Figura 3 — observe-se que a demanda $D(t)$ também pode ser considerada genericamente um *input*, ainda que fora do controle do gestor do sistema — somente pode-se atuar sobre o processo de entrada $P(t)$. Neste sentido, o principal objetivo de um sistema de gestão de estoque, como entendem Elsayed e Boucher (1994, p. 63), é responder às seguintes questões:

- a) **Quanto** deve ser pedido?
- b) **Quando** devem ser colocados os pedidos, de modo que os custos totais do sistema de estoque sejam minimizados?

Uma vez que a demanda é desconhecida na maioria das situações, a previsão de demanda é um elemento crítico na determinação dos elementos acima citados; isto é, a política de gestão de estoques deve ser baseada em um acurado sistema de previsão de demanda (SIMCHI-LEVI *et al.*, 2000, p.42).

- **Fatores que Pressionam a Elevação dos Estoques**

O controle de estoques clássico, usando uma abordagem de otimização a priori, tende a recomendar maiores quantidades a serem estocadas (TAPIERO, 2000, p. 1397). A seguir são apresentados os principais fatores que pressionam os estoques a se elevarem (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 596).

- a) Serviço ao cliente — estoques elevados reduzem a possibilidade de ruptura de estoque, isto é, falha na disponibilidade de um item para satisfazer uma demanda no momento em que ela ocorre.
- b) Custo do pedido — cada vez que uma empresa coloca um pedido novo, incorre no custo de preparar uma ordem de compra a um fornecedor ou uma ordem de produção à unidade produtiva. Como, para um mesmo item, o custo de colocação independe do tamanho do pedido, a tendência é fazer-se pedidos grandes para diluir este custo.
- c) Custo do *setup* — o custo, envolvido na modificação de uma máquina para produzir um componente ou item diferente, independe do tamanho do lote de produção, portanto, há uma tendência para produzir-se uma quantidade maior do componente e mantê-lo em estoque.
- d) Utilização de equipamentos e mão-de-obra — a produtividade da força de trabalho e a eficiência de utilização dos equipamentos crescem com o aumento dos lotes de produção, pois, entre outras vantagens, é reduzido o número de

setups improdutivos e, em casos de demandas sazonais, pode ser diminuída a necessidade de horas extras ou equipamento adicional.

e) Custo de transporte — menores custos de transporte podem ser obtidos mediante embarques de cargas completas, o que exige um aumento no estoque disponível para embarque.

f) Pagamentos aos fornecedores — as empresas podem optar por comprar quantidades maiores, tanto para aproveitar preços às vésperas de uma alta, quanto para obter descontos por quantidade.

- **Fatores que Pressionam a Diminuição dos Estoques**

A principal razão para manter-se os estoques baixos é que eles representam um investimento — uma parte do capital de giro — sobre o qual a empresa tem que pagar juros, ao invés de recebê-los. O custo da guarda (ou custo de manutenção) do estoque é o custo variável de manter o estoque à mão e seus três componentes, descritos a seguir, pressionam por menores estoques (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 595).

a) Juro ou custo de oportunidade — para financiar o estoque, uma empresa tem que obter um empréstimo ou perder a oportunidade de fazer um investimento, com promessa de um retorno atraente. O juro ou o custo de oportunidade, o que for maior, comumente é o maior componente do custo da guarda do estoque.

b) Custos de armazenagem e manuseio — estoques ocupam espaço e necessitam de movimentação. Há, também, um custo de oportunidade associado à utilização do espaço, ocupado pelo estoque, em outra atividade produtiva.

c) Impostos, seguro e perdas — impostos e seguro são proporcionais ao volume médio anual do estoque. As perdas assumem três formas: roubo, obsolescência e deterioração física.

- **Tipos de Estoque**

Estoques podem ser classificados em quatro tipos, conforme o modo como são criados, ainda que posteriormente não possam ser fisicamente diferenciados (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 597).

a) Estoque de ciclo — porção do estoque total que varia diretamente com o tamanho do lote de compra (ou produção). O tamanho do lote varia diretamente com o tempo (ciclo) transcorrido entre pedidos. Quanto mais longo o tempo entre pedidos, maior será o estoque de ciclo. Se no início do intervalo

o estoque de ciclo estiver em seu máximo, Q , e no final do ciclo em seu mínimo, 0, o estoque médio de ciclo será a média entre estes dois extremos: $Q/2$.

b) Estoque de segurança — para evitar problemas com incertezas na demanda, no *lead time* e no fornecimento, são gerados estoques de segurança. Tais estoques garantem que as operações não serão interrompidas quando os referidos problemas ocorrerem. Os estoques de segurança podem ser gerados pela colocação de pedidos antes da data prevista ou pela colocação de pedidos maiores do que o necessário.

c) Estoque de antecipação — estoques usados para absorver variações previsíveis na demanda ou no suprimento são denominados estoques de antecipação. Padrões sazonais de demanda, ameaças de greve ou severas limitações de capacidade dos fornecedores devem ser suavizadas por estoques de antecipação.

d) Estoque de movimentação — estoques movendo-se ponto a ponto na cadeia de suprimentos constituem o estoque de movimentação. O estoque de movimentação consiste em ordens que já tenham sido colocadas junto aos fornecedores, mas ainda não recebidas.

- **Classificação ABC**

Aplicações em ambientes de sistemas de produção/estoques podem envolver de poucas centenas a vários milhares de itens (MONTGOMERY *et al.*, 1990, p. 289). Entretanto, apenas uma pequena parcela merece atenção e controle mais rígido do gerente. O método de análise ABC é o processo de dividir os itens em três classes, de acordo com o volume monetário anual — produto da demanda anual pelo valor unitário — envolvido em cada item. Sob a abordagem ABC, na classe A são incluídos cerca de 20% dos itens, que contabilizam 80% do volume monetário anual total; na classe B, composta de 20% a 30% dos itens, é contabilizado 15% do volume monetário anual total e a classe C, integrada por 30% a 60% dos itens, é responsável por 5% do volume monetário anual total (ELSAYED; BOUCHER, 1994, p. 116). A Figura 37 ilustra o método de classificação ABC.

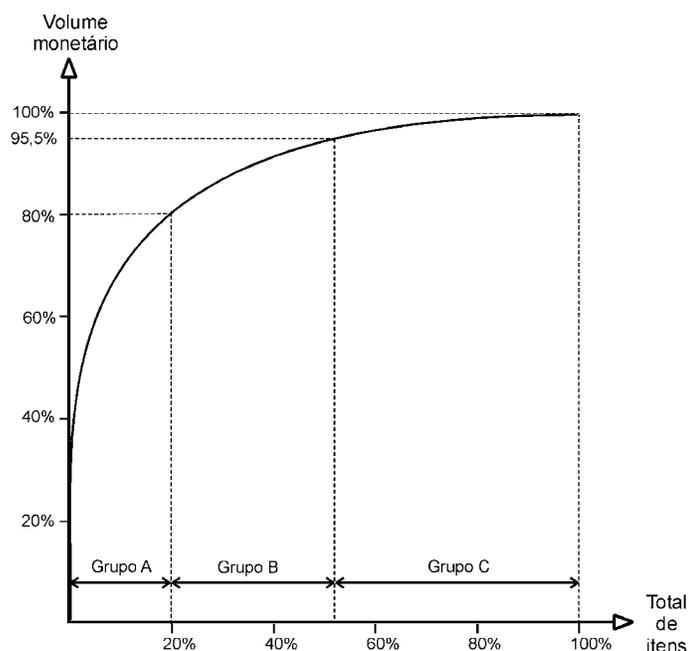


Figura 37 – Classificação ABC

Recomenda-se particular atenção aos itens do grupo A, incluindo verificação mensal da utilização e do custo de aquisição, bem como o uso do conceito de lote econômico de compra na determinação das quantidades a serem adquiridas. Para itens do grupo B, é recomendado que a utilização mensal seja conferida a cada seis meses para a determinação da quantidade de compra. Desenvolver modelos de custo mínimo para todos os itens do grupo C terá provavelmente custo mais elevado do que a economia decorrente do uso destes modelos, de modo que uma regra simples de compra é preferível na maioria dos casos (ELSAYED; BOUCHER, 1994, p. 117).

2.7.1 Custos Associados aos Estoques

A diminuição da inflação no Brasil acabou com uma fonte de receita indireta para as empresas que era, muitas vezes, a valorização dos estoques (KRIEGER, 2002, p. 3). Assim, mostrou-se de fundamental importância para a saúde financeira e o crescimento das empresas o exame detalhado dos custos associados aos estoques.

Para ilustrar, toma-se como exemplo o modelo estático determinístico de um só produto. Neste modelo, a demanda é conhecida, constante e idêntica para todos os períodos de análise. As variáveis envolvidas no referido modelo estão listadas no quadro da Figura 38.

Notação	Definição
C	Preço de compra unitário ou custo unitário variável de produção.
D	Taxa de demanda, em unidades/ano.
A	Custo fixo do pedido de reposição (custo do pedido) ou custo de <i>setup</i> de produção.
P	Taxa de reposição ou produção, em unidades/ano.
h	Custo de guarda do estoque por unidade por ano, em R\$/unidade/ano, normalmente expresso por $h=iC$, onde i é a taxa de guarda anual do estoque.
I_{max}	Nível máximo de estoque disponível, em unidades.
\bar{I}	Nível médio de estoque disponível, em unidades.
S_{max}	Estoque negativo máximo permitido, em unidades.
S	Estoque negativo médio permitido, em unidades.
r	Ponto de reposição, em unidades.
Q	Quantidade total pedida, em unidades.
π	Custo unitário de estoque negativo, independente da duração da falta.
$\hat{\pi}$	Custo médio unitário anual de estoque negativo, em R\$/unidade/ano.
T	Tamanho do ciclo ou tempo entre rodadas de produção.
TC	Custo total anual (função da política de estoques adotada).
l	Tempo decorrido entre a colocação de um pedido e seu recebimento, <i>lead time</i> .

Figura 38 – Notação empregada nas expressões de custos
(Adaptado de ELSAYED; BOUCHER, 1944, p. 69–70)

Elsayed e Boucher (1994, p. 72) apresentam a seguinte expressão para o custo total anual do estoque, para o modelo estático determinístico de um só produto, em função das variáveis de decisão quantidade total pedida e estoque negativo máximo permitido:

$$TC(Q, S_{max}) = \frac{AD}{Q} + CD + \frac{iC[Q(1-D/P) - S_{max}]^2}{2Q(1-D/P)} + \frac{\hat{\pi}S_{max}^2}{2Q(1-D/P)} + \frac{\pi S_{max}D}{Q}. \quad (56)$$

Os valores ótimos para as variáveis de decisão, aqueles que minimizam o custo total anual, são obtidos pela solução do seguinte sistema de equações simultâneas:

$$\frac{\partial TC(Q, S_{max})}{\partial Q} = 0 \quad (57)$$

$$\frac{\partial TC(Q, S_{max})}{\partial S_{max}} = 0 \quad (58)$$

Tais valores, para $\hat{\pi} \neq 0$, são dados pelas expressões (59) e (60):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{iC(1-D/P)} - \frac{(\pi D)^2}{iC(iC + \hat{\pi})}} \sqrt{\frac{iC + \hat{\pi}}{\hat{\pi}}} \quad (59)$$

$$S_{max}^* = \frac{(iCQ^* - \pi D)(1-D/P)}{iC + \hat{\pi}} \quad (60)$$

Um dos modelos de estoques mais comuns ocorre quando a taxa de reposição ou produção, P , é infinita e estoques negativos não são permitidos. A equação do custo total anual do estoque para tal modelo é obtida fazendo-se $P \rightarrow \infty$ e $S_{\max} \rightarrow 0$ na expressão (56), que reduz-se à expressão (61) ou (62), pois neste caso $\bar{I} = Q/2$. Nas equações (61) e (62) os componentes do custo total anual estão assinalados.

$$TC(Q) = \frac{AD}{Q} + CD + iC \frac{Q}{2} \quad (61)$$

\uparrow
Custo
dos
pedidos

\uparrow
Custo
do
produto

\uparrow
Custo
da
guarda

$$TC(Q) = \frac{AD}{Q} + CD + iC\bar{I} \quad (62)$$

\uparrow
Custo
dos
pedidos

\uparrow
Custo
do
produto

\uparrow
Custo
da
guarda

O valor ótimo para a variável de decisão Q —aquele que minimiza a função custo total anual — obtém-se igualando a derivada da função, expressa em (61), a zero.

$$\frac{d}{dQ} TC(Q) = 0 \quad (63)$$

Portanto, o valor ótimo Q^* é dado pela expressão (64), conhecida como EOQ — de *economic order quantity* — ou lote econômico de compra.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{iC}} \quad (64)$$

Note-se que a abordagem à determinação do lote econômico de compra é baseada nas seguintes suposições (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 603).

- a) A taxa de demanda para o item é constante e conhecida com certeza.
- b) Não há restrições no tamanho do lote, tais como capacidade de produção ou tamanho dos caminhões.
- c) Os dois custos relevantes são apenas o custo da guarda do estoque e o custo fixo do pedido de reposição (custo do pedido), ou custo de *setup* de produção.
- d) As decisões sobre um item independem das decisões sobre outros itens, isto é, não há vantagem em agrupar os pedidos para um mesmo fornecedor.
- e) O *lead time* — tempo decorrido entre a colocação e o recebimento de um pedido — é constante e conhecido com certeza; a quantidade pedida é recebida completa e numa só vez.

O lote econômico de compra será ótimo se as condições acima forem satisfeitas, o que ocorre poucas vezes na prática. Todavia, o EOQ é uma primeira aproximação razoável para o tamanho dos lotes, mesmo que as condições não se apliquem integralmente na prática.

2.7.2 Sistema de Revisão Contínua, Q

O sistema de revisão contínua, Q , ou sistema do ponto de reposição ou, ainda, sistema da quantidade fixa de pedido monitora o estoque restante de um item, toda vez que uma retirada é feita, para determinar se é a ocasião adequada para colocar um pedido de reposição (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 608). Na prática, essas revisões são feitas freqüentemente e, muitas vezes, continuamente, após cada retirada. O uso de caixas registradoras eletrônicas conectadas a computadores, com registros de estoques, tem facilitado a utilização do sistema de revisão contínua.

O nível do estoque, NE , que mede a capacidade de um item satisfazer à demanda futura, é constituído pelo estoque disponível, ED , pelos recebimentos agendados, RA , e pelos pedidos pendentes feitos por clientes, BO (*backorders*).

$$NE = ED + RA - BO \quad (65)$$

Quando o nível do estoque atinge um valor mínimo predeterminado, chamado ponto de reposição, R , uma quantidade fixa Q do item é pedida. Em um sistema de revisão contínua, embora a quantidade pedida Q seja fixa, o tempo entre pedidos, TEP , pode variar. A quantidade Q é escolhida pelo gerente e pode ser baseada no lote econômico de compra, no tamanho mínimo de lote com desconto, na carga completa de um contêiner, etc. A Figura 39 ilustra a operação do sistema de revisão contínua, quando tanto a demanda, D , quanto o *lead time*, L , são constantes e conhecidos com certeza. Neste caso particular, o ponto de reposição, R , é igual à demanda no *lead time* e o tempo entre pedidos, TEP , é o mesmo para cada ciclo.

Uma complicação adicional é introduzida no modelo quando se considera a demanda, durante o intervalo de tempo t , como sendo estocástica, seguindo uma distribuição normal $N(\mu_t, \sigma_t)$. Neste caso, o ponto de reposição é igual à demanda média no *lead time* acrescida de um estoque de segurança, para fazer frente à variabilidade da demanda.

$$R = \mu_L + ES \quad (66)$$

Se L for a duração do *lead time* expressa como múltiplo ou fração do intervalo de tempo t , para o qual foi definida a demanda estocástica, isto é,

$$L = \frac{\text{lead time}}{t},$$

então a média e o desvio padrão da demanda no *lead time* são dados pelas seguintes expressões (MEYER, 1966, p.199–200):

$$\mu_L = L \times \mu_t, \quad (67)$$

$$\sigma_L = \sqrt{L} \times \sigma_t. \quad (68)$$

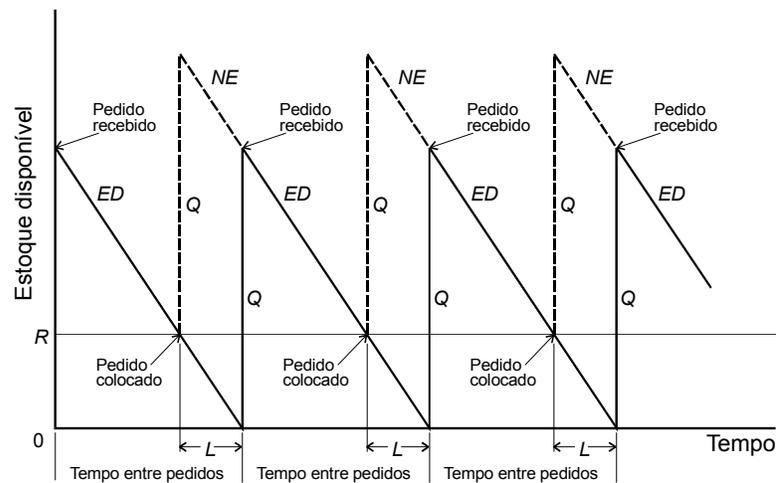


Figura 39 – Sistema Q quando demanda e *lead time* são constantes e conhecidos (Adaptado de KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 609)

A operação do sistema de revisão contínua, com demanda estocástica e *lead time* constante e conhecido, é ilustrada na Figura 40. Como decorrência da variabilidade da demanda, os tempos entre pedidos são diferentes para cada ciclo.

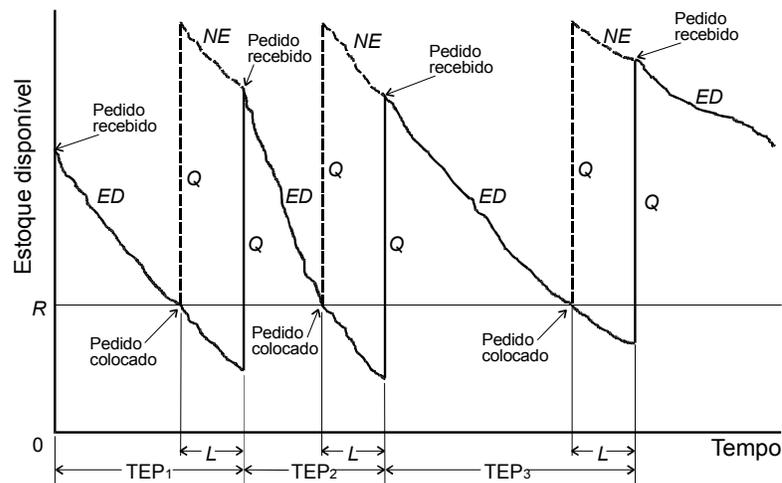


Figura 40 – Sistema Q quando a demanda é estocástica e o *lead time* é constante e conhecido (Adaptado de KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 610)

- **Estoque de Segurança e Níveis de Serviço**

Os gerentes usualmente imaginam os estoques de segurança como meio de assegurar um bom serviço, definido, abrangentemente, como dispor do produto quando o consumidor desejar. Portanto, há uma relação funcional direta entre o tamanho do estoque de segurança e o nível de serviço que se pretende oferecer ao consumidor. Elsayed e Boucher (1994, p. 101–106) apresentam três critérios para relacionar o tamanho do estoque de segurança com o nível de serviço. A seguir, abordar-se-á os dois mais usados na prática.

O primeiro critério de relacionamento define o nível de serviço, SL_1 , como a probabilidade de não-escassez do item durante o *lead time*.

$$SL_1 = 1 - \underbrace{P(X > R)}_{\substack{\text{Probabilidade da demanda } X, \\ \text{no } \textit{lead time}, \\ \text{ser maior que } R}} = 1 - \int_R^{\infty} f(x)dx \quad (69)$$

Probabilidade de não escassez no
lead time

Por este critério, estabelecido um determinado nível de serviço SL_1 , determina-se, na tabela da função cumulativa da distribuição normal padronizada, o valor de z_1 tal que

$$P(z < z_1) = SL_1.$$

Assim, o estoque de segurança será calculado pela expressão (70) e o ponto de reposição pela (71).

$$ES = z_1 \sigma_L \quad (70)$$

$$R = \mu_L + z_1 \sigma_L \quad (71)$$

O segundo critério de relacionamento define o nível de serviço, SL_2 , como sendo o número de unidades de demanda satisfeita durante o *lead time*. Segundo este critério, o nível de serviço mede a ruptura do estoque em termos de unidades ou porção da demanda total não satisfeita durante o *lead time*. Se a demanda durante o *lead time* for x , o tamanho da escassez, ao final de cada ciclo será $(x-R)$. Assim, o número esperado de unidades escassas por ciclo será dado pela expressão (72) e a fração de unidades escassas por ciclo pela expressão (73).

$$E[\text{unidades escassas}] = \int_R^{\infty} \underbrace{(x-R)f(x)dx}_{\substack{\text{Função perda da} \\ \text{distribuição Normal}}} \quad (72)$$

$$E[\text{fração escassa}] = \frac{\int_R^{\infty} (x-R)f(x)dx}{Q^*} \quad (73)$$

A definição do nível de serviço, SL_2 como sendo a fração esperada de unidades de demanda satisfeita durante o *lead time* é expressa por (74).

$$SL_2 = 1 - E[\text{fração escassa}] = 1 - \frac{\int_R^{\infty} (x - R)f(x)dx}{Q^*} \quad (74)$$

Por sua maior facilidade de aplicação, no estudo de caso, constante no quarto capítulo da presente dissertação, será utilizado o nível de serviço, SL_1 , definido como a probabilidade de não-escassez do item durante o *lead time*.

2.7.3 Sistema de Revisão Periódica, P

O sistema de revisão ou reposição periódica, P , ou sistema de reposição a intervalo fixo, monitora o nível de estoque de um item periodicamente ao invés de continuamente e um novo pedido é colocado sempre ao final de cada revisão. O tamanho do lote, Q , que eleva o nível de estoque NE ao limiar do estoque alvo T , pode variar de um pedido a outro mas o tempo entre pedidos, P , é fixo (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 615).

Quatro das suposições em que se baseia a determinação do lote econômico de compra são mantidas para o sistema de revisão periódica: não há restrições no tamanho do lote, os dois custos relevantes são o custo da guarda do estoque e o custo fixo do pedido de reposição, as decisões sobre um item independem das decisões sobre outros itens e o *lead time* é constante e conhecido com certeza. A operação do sistema de revisão periódica, com demanda estocástica, obedecendo a uma distribuição normal $N(\mu_t, \sigma_t)$ e *lead time* constante e conhecido com certeza, L , é ilustrada na Figura 41. Como decorrência da variabilidade da demanda, o tamanho dos pedidos, Q , é diferente para cada ciclo e é expresso por (75).

$$Q_i = T - NE_i \quad (75)$$

A escolha do tempo entre revisões, P , pode ser feita de diferentes maneiras. Pode ser determinado a partir de considerações de ordem prática, por exemplo, revisões todas as sextas feiras, ou revisões no início do mês. Doutro modo, o tempo entre pedidos pode ser baseado no lote econômico de compra através da expressão (76); neste caso, como a demanda é variável, alguns pedidos resultarão menores ou maiores do que o lote econômico de compra.

$$TEP = \frac{EOQ}{D} \quad (76)$$

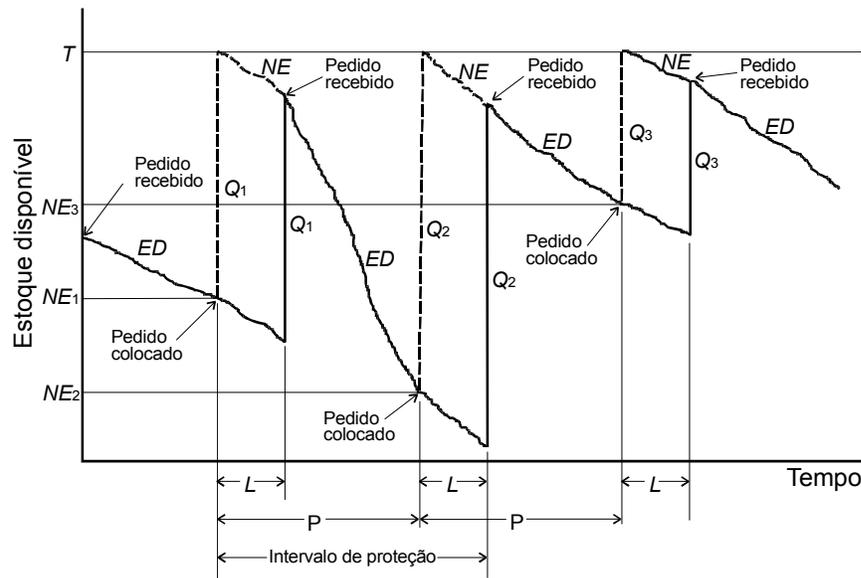


Figura 41 – Sistema P com demanda estocástica e o *lead time* constante e conhecido (Adaptado de KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 615)

A determinação do estoque alvo, T , é feita pela consideração do intervalo de proteção que é o intervalo de tempo para o qual o estoque deve ser planejado até que novo pedido seja colocado. Por esta abordagem, o estoque alvo deve ser igual à demanda média no intervalo de proteção acrescida de um estoque de segurança, para fazer face à variabilidade da demanda no intervalo de proteção.

$$T = \mu_{P+L} + ES \quad (77)$$

Se $P+L$ for a duração do intervalo de proteção expressa como múltiplo ou fração do intervalo de tempo t para o qual foi definida a demanda estocástica, isto é,

$$P + L = \frac{\text{duração do intervalo de proteção}}{t},$$

então a média e o desvio padrão da demanda no intervalo de proteção são dados pelas seguintes expressões (MEYER, 1966, p.199–200):

$$\mu_{P+L} = (P+L) \times \mu_t, \quad (78)$$

$$\sigma_{P+L} = \sqrt{P+L} \times \sigma_t. \quad (79)$$

O estoque de segurança para o sistema de revisão periódica é calculado de maneira similar ao do sistema de revisão contínua — ver expressão (70) — devendo, neste caso, cobrir a incerteza da demanda durante um período mais longo de tempo, dado por $P+L$.

$$ES = z_1 \sigma_{P+L} \quad (80)$$

Na expressão (80), o valor de z_1 é o mesmo de um sistema Q correspondendo ao mesmo nível de serviço SL_1 .

2.7.4 Comparação Entre os Sistemas P e Q , e Sistemas Híbridos

Na escolha de um dos sistemas de revisão, deve-se ter em conta que nenhum deles se adequa a todas as situações e que às vantagens de um correspondem desvantagens do outro (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 619). O sistema de revisão periódica apresenta as seguintes vantagens:

- a) A reposição em intervalos fixos facilita a gestão do sistema, bem como permite a padronização dos tempos de coleta e entrega;
- b) Pedidos de múltiplos itens de um mesmo fornecedor podem ser combinados, reduzindo-se custos do pedido e de transporte, bem como obtendo-se descontos por quantidade; e
- c) A monitoração dos níveis de estoque só precisa ser feita por ocasião da revisão do sistema e não continuamente, como no sistema Q .

As principais vantagens do sistema de revisão contínua são as seguintes:

- a) Adequando-se a freqüência de revisão de cada item, pode-se reduzir os custos totais de colocação dos pedidos e de guarda;
- b) A quantidade pedida fixa Q , se suficientemente grande, pode receber descontos de escala, ou pode ser adequada à capacidade de transporte ou produção, conduzindo à redução dos custos correspondentes; e
- c) Os menores estoques de segurança resultam em diminuição de custos.

O gerente deve considerar cada alternativa cuidadosamente e selecionar o melhor sistema de acordo com a relativa importância de suas vantagens nas várias circunstâncias encontradas nos casos práticos. Com a finalidade de associar-se algumas vantagens de cada um dos sistemas de revisão são utilizados, também, sistemas híbridos de controle de estoques, dos quais dois serão descritos brevemente a seguir (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002, p. 619).

O sistema de reposição opcional (ou sistema de revisão opcional ou sistema mini-max) é semelhante ao sistema P . O nível de estoque é monitorado a intervalos de tempo fixo e , se tiver caído a um nível predeterminado, um pedido é colocado de maneira a levar o nível de estoque a um estoque alvo, similar ao T , do sistema de revisão periódica. O nível mínimo predeterminado age como um ponto de reposição R , no sistema de revisão contínua.

O sistema de reposição opcional é indicado quando os custos de revisão e de colocação do pedido são elevados.

O sistema de estoque básico, em sua forma mais simples, emite um pedido de reposição cada vez que uma retirada é feita, na mesma quantidade da retirada. Esta política de reposição um-por-um mantém o estoque no nível de estoque básico suficiente para assegurar o atendimento da demanda durante o *lead time* mais um estoque de segurança. O nível de estoque básico é equivalente ao ponto de reposição R do sistema de revisão contínua. Como o nível de estoque básico é o mais baixo possível capaz de assegurar um nível de serviço determinado, o sistema de estoque básico é utilizado para minimizar o estoque de ciclo, especialmente indicado no caso de itens de grande valor. Nenhum estoque a mais é mantido além da máxima demanda esperada até que uma ordem de reposição seja recebida.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

A amplitude e complexidade fazem com que muitos problemas logísticos tenham que ser abordados por partes. Tal é o caso da implementação de um sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda, que requer a abordagem em várias fases, as quais constituirão a metodologia seqüencialmente proposta a seguir e ilustrada no fluxograma da Figura 42.

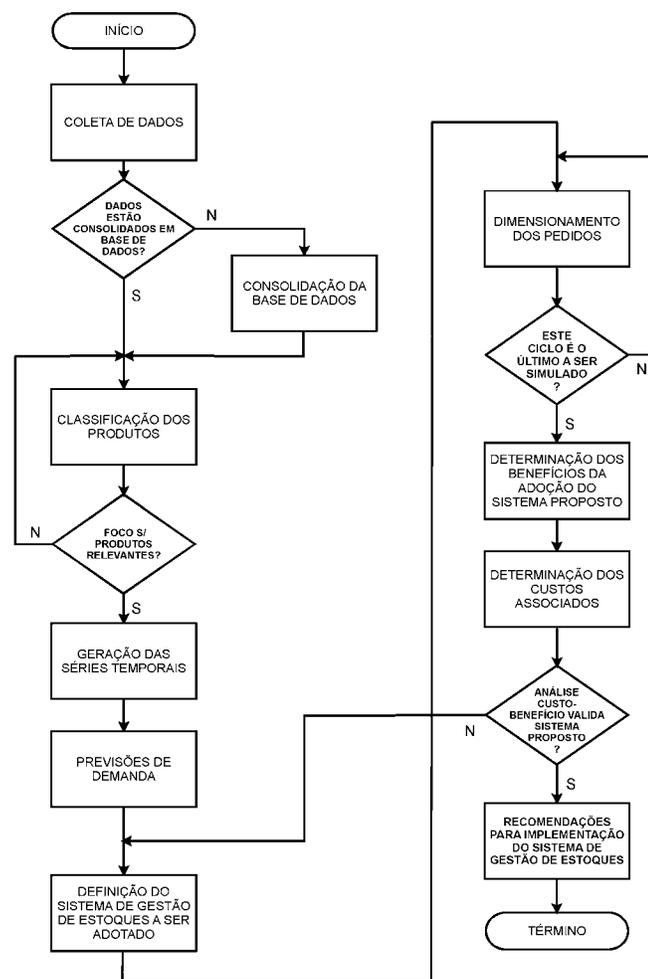


Figura 42 – Metodologia proposta

Ressalte-se que as quatro últimas fases da metodologia proposta — a saber: determinação dos benefícios da adoção do sistema proposto; determinação dos custos associados; análise custo-benefício e recomendações para implementação do sistema de gestão de estoques — só serão abordadas por ocasião da implementação inicial do sistema.

Durante a operação rotineira do sistema de gestão de estoques as referidas fases deverão ser suprimidas.

3.1 Coleta de Dados

A coleta de informações sobre a demanda dos produtos, cuja previsão servirá de base para o estabelecimento da política de estoques de uma empresa, pode ser feita em várias fontes, sendo mais comumente utilizada a documentação fiscal — nota fiscal/fatura — emitida por ocasião do embarque das mercadorias vendidas. Especial cuidado deve ser tomado, neste caso, na verificação da correspondência exata dos registros fiscais com a realidade comercial vivida pela empresa. Práticas de sonegação fiscal, tais como a emissão de “meia nota”, eventualmente adotadas, inviabilizariam a utilização da documentação fiscal como fonte confiável de informações sobre a demanda.

3.2 Consolidação da Base de Dados

Os dados devem ser consolidados, se já não o estiverem, em uma base de dados relacional. Tal base de dados, cuja estrutura típica deverá incluir tabelas de fornecedores, de produtos, de notas fiscais/faturas e de clientes, permitirá a classificação, a pesquisa, a recombinação e aplicação de outras funções às informações nela contidas (MICROSOFT PRESS, 1998, p. 267 e 629). A atualização da base de dados deve ser feita ao final de cada período mensal, incorporando, portanto, as informações mais recentes oriundas da atividade comercial da empresa.

3.3 Classificação dos Produtos

Mediante pesquisa e recombinação dos dados constantes na base de dados relacional, os produtos comercializados pela empresa devem ser classificados pelo método de análise ABC, de acordo com o volume monetário anual associado a cada um deles. Tal classificação permitirá que o gestor do sistema de estoques a ser implementado possa focalizar a atenção sobre os produtos economicamente relevantes para empresa. Caso o grupo A seja constituído por um número tão elevado de itens que dificulte concentrar-se a atenção sobre os mesmos, os itens deste grupo devem ser novamente classificados pelo método ABC.

3.4 Geração das Séries Temporais

Os produtos economicamente relevantes, sobre os quais o gestor do sistema deverá focalizar sua atenção, devem receber tratamento individualizado. Para os mesmos deve ser verificada a conveniência de estratificação por tipos de consumidores e por regiões geográficas de consumo. Os demais produtos devem ter tratamento agregado.

Novamente mediante pesquisa e recombinação dos dados constantes na base de dados relacional, são geradas as séries temporais de demanda mensal por produto ou grupo de produtos comercializados pela empresa.

3.5 Previsões de Demanda

Após o tratamento preliminar dos dados que constituírem as séries geradas, ajustam-se às mesmas modelos de previsão de demanda, com a utilização de *software* adequado. O tratamento preliminar dos dados consistirá na eliminação de lacunas, isto é, valores faltantes no interior das séries temporais e remoção de valores espúrios ou atípicos.

Os valores faltantes no interior das séries temporais serão preenchidos com a média aritmética dos valores adjacentes, posteriormente substituída pelo valor predito por um modelo provisoriamente ajustado à série temporal em questão. As lacunas no final das séries serão preenchidas com o valor predito por um modelo provisoriamente ajustado à série temporal em questão (PELLEGRINI, 2000, p. 60 – 61).

Completadas as lacunas, o primeiro passo para a análise das séries temporais, conforme sugere Pellegrini (2000, p. 71), é a remoção de seus valores espúrios ou atípicos — *outliers* — feita através do seguinte procedimento. Às séries temporais ajustam-se provisoriamente modelos de previsão de demanda, sendo calculados os resíduos, isto é, a diferença entre os valores históricos e os preditos pelo modelo. Em seguida, para cada série, será calculada a média e desvio padrão dos resíduos, assinalando-se os resíduos fora dos limites $r_{\text{médio}} \pm 3\sigma_r$. Compreendida a causa do aparecimento de valores *outliers* nas séries analisadas, proceder-se-á à remoção e substituição dos mesmos pelos valores preditos nos modelos provisórios.

O ajuste dos modelos de previsão, limitados aos de suavização exponencial e de Box-Jenkins na presente proposta, será feito com o auxílio de *software* adequado, escolhido dentre os seguintes, selecionados por serem os mais disponíveis e empregados correntemente.

O NCSS 6.0, desenvolvido em 1996 por NCSS Statistical Software, em seu menu *Analysis* apresenta a opção *Forecasting/Time Series*, que dispõe, entre outros, dos modelos mencionados para ajuste às séries históricas. Tal procedimento é feito tomando as séries históricas uma a uma, não dispondo este *software* de processamento em *batch*, que permita o ajuste de várias séries temporais simultaneamente.

O SPSS 8.0, foi desenvolvido por SPSS Inc., em 1997. Seu menu *Statistics*, na opção *Time Series*, disponibiliza modelos de suavização exponencial e de Box–Jenkins, mas não possibilita o processamento em *batch*, devendo os mesmos serem ajustados um a um.

Finalmente, o Forecast Pro 3.0, desenvolvido em 1999 por Business Forecast System Inc., dispõe da modalidade de previsão em *batch*, que permite o processamento de 10 séries temporais simultaneamente. Este *software*, na opção *Expert selection*, ajusta automaticamente modelos de suavização exponencial e de Box–Jenkins às 10 séries selecionadas.

3.6 Definição do Sistema de Gestão de Estoques a Ser Adotado

A seleção do melhor sistema será feita levando-se em conta suas vantagens diante das circunstâncias encontradas nos casos práticos. Além disso, a escolha entre os sistemas de revisão contínua, Q , e o de revisão periódica, P , estará condicionada aos seguintes elementos:

- a) existência de um sistema de informações gerenciais — SIG — na empresa e seu grau de sofisticação;
- b) condições impostas pelos fornecedores no ramo em que a empresa atua.

3.7 Dimensionamento dos Pedidos

Definido o sistema de gestão de estoques a ser adotado, passar-se-á a dimensionar o tamanho dos pedidos a serem colocados, bem como as datas de sua colocação, com base em previsões de demanda feitas iterativamente, incorporando às séries históricas os valores da demanda realizada nos meses anteriores.

Em um sistema de revisão contínua, uma quantidade fixa Q do item será pedida quando o nível do estoque atingir um valor mínimo predeterminado R , chamado ponto de reposição. O cálculo deste valor R dependerá do nível de serviço adotado e o tempo entre pedidos, TEP , variará de acordo com a variabilidade da demanda prevista.

Em um sistema de revisão periódica, o tamanho do lote, Q , que eleva o nível de estoque ao limiar do estoque alvo T , variará de um pedido a outro mas o tempo entre pedidos, P , será fixo. O cálculo deste valor T , e conseqüentemente de Q , dependerá do nível de serviço adotado.

3.8 Determinação dos Benefícios da Adoção do Sistema Proposto

Após vários ciclos de simulação de pedidos baseados no sistema de gestão de estoques escolhido, serão apurados os benefícios advindos da adoção do sistema proposto comparado com o desempenho do sistema existente na empresa.

A confiabilidade de um sistema de gestão de estoques é medida pelo nível de serviço praticado. Acréscimos nos níveis de serviço serão, em última análise, os benefícios do sistema de gestão de estoques a ser proposto.

3.9 Determinação dos Custos Associados

Similarmente, após vários ciclos de simulação de pedidos baseados no sistema de gestão de estoques escolhido, serão apurados os custos associados ao sistema proposto comparado—os aos custos associados ao sistema existente. Decorrentes dos acréscimos nos níveis de serviço, frutos da adoção do sistema de gestão de estoques a ser proposto, ocorrerão prováveis acréscimos de custos, ônus da implementação do referido sistema.

3.10 Análise Custo–Benefício

Uma análise custo–benefício será feita para verificar se aos acréscimos de custo correspondem consistentemente acréscimos de benefícios, determinando, assim, a conveniência ou não da adoção, pela empresa, do sistema de gestão de estoques proposto.

3.11 Recomendações para Implementação do Sistema de Gestão de Estoques

Decidida a adoção do sistema de gestão de estoques proposto, passar-se-á a formular recomendações de ordem prática para a implementação do novo sistema de gestão de estoques na empresa. Tais recomendações referir-se-ão a *software*, pessoal e treinamento necessários à implementação.

4 ESTUDO DE CASO

A empresa que ilustra o presente estudo de caso é a Distribuidora de Papel Braile Ltda., fundada em 1983, com sede e depósito na Rua Álvaro Chaves, 468, 476 e 486, em Porto Alegre. Trata-se do maior distribuidor-atacadista independente de papéis e insumos correlatos para a indústria gráfica no estado do Rio Grande do Sul, com somente 2,6% de seu faturamento correspondendo ao estado de Santa Catarina. Suplementarmente, conta com um balcão de vendas a consumidores finais. Com um faturamento anual cerca de R\$ 20.000.000,00, emprega 50 funcionários. Sua linha de produtos encontra-se relacionada na Figura 43. Sob o título 06-Diversos, no quadro estão agrupados produtos tais como etiquetas auto-adesivas, disquetes 3½ HD, CD-ROMs, fitas, cabeçotes, cartuchos e *toner* para impressoras.

Código	Descrição dos produtos
01	Envelopes
02	Papéis
03	Cartões e cartolinas
04	Convites
05	Cartões de visita e estampas
06	Diversos
07	Tintas
08	Folhinhas, calendários
09	Cartões de natal
10	Microset®
11	Papelaria
12	Envelopes e papéis especiais
13	Convites Grafiara®
14	Calendários/folhinhas Grafiara®
15	Cartões de natal Grafiara®
16	Curious Paper Collection®

Figura 43 – Linha de produtos

A empresa, objeto deste estudo de caso, originalmente não dispunha de sistemas estruturados de previsão de demanda e gestão de estoques, adotando o seguinte processo de encaminhamento de pedidos:

- a) todas as segundas-feiras, o diretor responsável pela área de compras revisa um relatório de estoques emitido ao fechar a semana anterior, na sexta-feira, com o propósito de detectar eventuais níveis de estoque muito baixos e avaliar, intuitivamente, as quantidades a serem compradas de cada item, sendo esta

avaliação baseada em informações colhidas entre o pessoal de vendas e na observação experiente da conjuntura setorial;

b) normalmente é emitida uma ordem de compra formal, compreendendo vários itens e repassada aos representantes comerciais dos fabricantes pela internet ou por *fac-símile*;

c) para compra de pequenas quantidades, os pedidos são colocados por telefone junto aos representantes.

Os fornecedores, com exceção de três, aceitam a colocação dos pedidos a qualquer momento e o *lead time*, em geral, é de 15 dias. A International Paper do Brasil Ltda., fornecedora das linhas Chamex e Chambril, impõe pedidos mensais e pratica um *lead time* de 15 dias. A Hewlett-Packard Brasil Ltda. estipula pedidos mensais e entrega com um *lead time* de 9 dias. A Santa Maria Cia. de Papel e Celulose recebe pedidos quinzenais e fornece com um *lead time* de 15 dias.

4.1 Coleta de dados

A empresa em questão contratou, em 1995, o desenvolvimento, em linguagem Clipper, de um *software* personalizado que permitisse a emissão de documentos de faturamento e armazenasse dados com vistas ao atendimento de suas obrigações fiscais e à elaboração do balanço patrimonial anual. Tal *software* utiliza, entre outros, os arquivos tipo .dbf descritos a seguir:

- a) Cadastro de clientes — CAD_CLIE.dbf;
- b) Cadastro de grupos de clientes — CAD_GRCL.dbf;
- c) Cadastro de fornecedores — CAD_FORN.dbf;
- d) Cadastro de produtos — CAD_PROD.dbf;
- e) Cabeçalhos de notas fiscais — NF_GERAL.dbf;
- f) Lançamentos (linhas), por produtos, em notas fiscais — NF_PROD.dbf.

Na coleta de informações sobre a demanda dos produtos comercializados foi utilizada a documentação fiscal — nota fiscal/fatura — emitida por ocasião do embarque das mercadorias vendidas e constante nos arquivos anteriormente descritos.

4.2 Consolidação da Base de Dados

Os arquivos, com dados de faturamento de 1º de janeiro de 1996 a 31 de outubro de 2002, foram importados para um banco de dados Microsoft Access 97,

constituindo as tabelas, descritas na Figura 44. O banco de dados braile.mdb, como foi denominado, tem um tamanho de 244 MB e o relacionamento entre suas tabelas é o apresentado na Figura 45.

Tabela	Nº de campos	Nº de registros
CAD CLIE	4	9155
CAD GRCL	2	44
CAD FORN	5	422
CAD PROD	19	1833
NF_GERAL	49	233392
NF_PROD	6	453120

Figura 44 – Tabelas do banco de dados braile.mdb

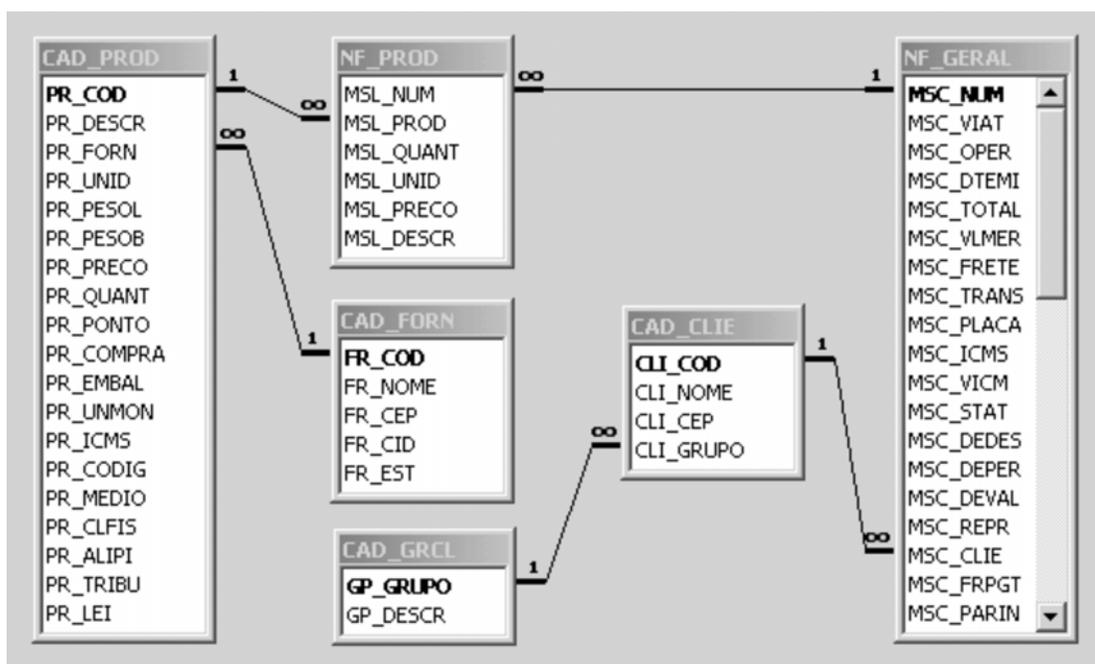


Figura 45 – Relacionamento entre as tabelas do banco de dados braile.mdb

4.3 Classificação dos Produtos

Mediante uma consulta ao banco de dados, os 1503 produtos, faturados entre 1º de novembro de 2001 e 31 de outubro de 2002, foram classificados, em ordem decrescente, por seu volume de faturamento em Reais.

Atendendo a classificação de Pareto, ao grupo A, responsável por 80% do faturamento, foram alocados 114 itens, correspondentes a 7,58% do total dos itens. No grupo B, responsável por 15% do faturamento, foram situados 242 itens, relativos a 16,10% do total

dos mesmos. Ao grupo C, associado a 5% do faturamento, foram alocados 1147 itens, correspondentes a 76,31% do total dos mesmos. Este grupo, segundo os *experts* em comercialização da empresa, é constituído principalmente de produtos já na fase de declínio de seus ciclos de vida, candidatos a serem postos fora de linha, cujo estoque é mantido apenas como atrativo para os clientes que ainda os consomem (MONTGOMERY *et al.*,1990, p. 12). Tal condição, associada a sua pequena participação no faturamento, determinou sua não inclusão no sistema de gestão de estoques a ser implementado.

Face à inexecutabilidade de prover-se tratamento individualizado aos 114 produtos que constituem o grupo A, foi promovida uma segunda classificação de Pareto para estes produtos, resultando na constituição do grupo AA, com 44 itens, AB, com 43 itens e AC, com 27 itens, respectivamente apresentados nas Figura 46, Figura 47 e Figura 48.

Deste modo, na análise que segue, deu-se tratamento individualizado aos 44 produtos do grupo AA e tratamento agregado aos produtos do grupo AB, grupo AC e grupo B.

Clas.	Refer.	Descrição do produto	% Ac. I	% Ac. II
1	02.033	PAPEL CHAMEX PRINT COPY PAPER 75g 210x297 mm (A 4)	10,44%	13,04%
2	02.029	PAPEL CHAMEX LASER PREMIER 75 g/m ² 210x297 mm(A 4)	19,77%	24,71%
3	02.035	PAPEL CHAMEX PRINT COPY PAPER 75g 216x330 mm(OF 2)	25,13%	31,41%
4	02.344	PAPEL CHAMBRIL 75 g/m ² (24 kg) 66 x 96 cm (500)	28,10%	35,12%
5	02.454	PAPEL HP OFFICE 75 g/m ² 210 x 297 mm (A4)	31,05%	38,82%
6	02.026	PAPEL CHAMBRIL 180 g/m ² 66 x 96 cm (125)	32,99%	41,24%
7	02.019	PAPEL CHAMBRIL 56 g/m ² (18 kg) 66 x 96 cm (500)	34,92%	43,65%
8	02.022	PAPEL CHAMBRIL 90 g/m ² 66 x 96 cm (250)	36,61%	45,76%
9	02.505	PAPEL SAMASET 56 g/m ² 66 x 96 cm (500)	38,20%	47,75%
10	02.509	PAPEL SAMASET 75 g/m ² 66 x 96 cm (250)	39,79%	49,74%
11	02.024	PAPEL CHAMBRIL 120 g/m ² 66 x 96 cm (250)	41,26%	51,58%
12	02.189	PAPEL CHAMEX PRINT COPY PAPER 75g 297x420 mm (A 3)	42,72%	53,40%
13	06.191	HP 51629 A CABECOTE DE IMPRESSAO PRETO(40 ml)*	44,15%	55,18%
14	02.034	PAPEL CHAMEX PRINT COPY PAPER 75g 215x315 mm(OF 9)	45,31%	56,64%
15	02.508	PAPEL JORNAL STANDARD 48,8 g/m ² 66 x 96 cm (500)	46,37%	57,97%
16	02.193	PAPEL CHAMBRIL 70 g/m ² (22 Kg) 66 x 96 cm (500)	47,37%	59,21%
17	06.192	HP 51649 A CABECOTE DE IMPRESSAO COLORIDO(22,8ml)*	48,35%	60,44%
18	02.006	PAPEL AUTO ADESIVO BRILHANTE FINE PRINT 66x96(100)	49,24%	61,55%
19	02.121	PAPEL SUPERBOND 50 g/m ² CANARIO 66x96 SANTISTA(500)	50,04%	62,55%
20	02.507	PAPEL SAMASET 90 g/m ² 66 x 96 cm (250)	50,80%	63,50%
21	02.020	PAPEL CHAMBRIL 63 g/m ² (20 kg) 66 x 96 cm (500)	51,54%	64,42%
22	02.339	PAPEL CHAMBRIL 150 g/m ² 66 x 96 cm (250)	52,23%	65,28%
23	02.678	PAPEL COUCHE REFLEX MATTE L2 230 g/m ² 66x96cm(125)	52,91%	66,14%
24	06.033	FORMUL.CONT. 80 COL 1 VIA BCO 240x280 CLASSIC FORM	53,60%	66,99%
25	02.249	PAPEL CHAMEX LASER PREMIER 75g/m ² 216x279mm(CARTA)	54,24%	67,80%
26	02.008	PAPEL AUTO ADESIVO FOSCO ALL PRINT 66x96 cm (100)	54,87%	68,59%
27	02.018	PAPEL CHAMBRIL 50 g/m ² (16 kg) 66 x 96 cm (500)	55,50%	69,37%
28	06.198	HP C6625 A CABECOTE DE IMPRESSAO COLORIDO(15 ml)*	56,10%	70,13%
29	06.196	HP C6614 D CABECOTE DE IMPRESSAO PRETO(28 ml)*	56,67%	70,83%
30	06.194	HP 51645 A CABECOTE DE IMPRESSAO PRETO(42 ml)*	57,23%	71,53%
31	02.120	PAPEL SUPERBOND 50 g/m ² AZUL 66x96cm SANTISTA(500)	57,78%	72,23%
32	02.123	PAPEL SUPERBOND 50 g/m ² VERDE 66x96cm SANTISTA(500)	58,32%	72,90%
33	02.028	PAPEL CHAMEQUINHO 75 g/m ² 215x315 mm (OF 9)	58,84%	73,55%
34	02.122	PAPEL SUPERBOND 50 g/m ² ROSA 66x96 cm SANTISTA(500)	59,37%	74,21%
35	02.488	PAPEL COUCHE IMAGE ART L2 145 g/m ² 66 x 96 cm(250)	59,88%	74,85%
36	02.487	PAPEL COUCHE IMAGE ART L2 115 g/m ² 66 x 96 cm(250)	60,40%	75,49%
37	01.021	ENVELOPE RPC 70 (114 x 229 mm)	60,89%	76,11%
38	06.218	HP C6578 D CABECOTE DE IMPRESSAO COLORIDO (19 ml)*	61,37%	76,71%
39	06.347	HP C8797 A(2x C6615D)CAB. DE IMP. PRETO(2x25 ml)*	61,85%	77,31%
40	02.698	PAPEL SAMASET 60 g/m ² 66 x 96 cm (500)	62,31%	77,88%
41	02.027	PAPEL CHAMBRIL 240 g/m ² 66 x 96 cm (125)	62,76%	78,45%
42	02.207	PAPEL CHAMEX PREMIUM INK JET 90 g/m ² 210x297mm(A4)	63,21%	79,02%
43	02.680	PAPEL COUCHE REFLEX L2 230 g/m ² 66 x 96 cm (125)	63,66%	79,58%
44	02.489	PAPEL COUCHE IMAGE ART L2 170 g/m ² 66 x 96 cm(125)	64,10%	80,12%

Figura 46 – Produtos da classe A, na segunda classificação de Pareto (grupoAA)

Clas.	Refer.	Descrição do produto	% Ac. I	% Ac. II
45	02.588	PAPEL CHAMEQUINHO 75 g/m ² 210x297 cm (A4)	64,52%	80,65%
46	02.242	PAPEL CLEAN COPY CB BRANCO 54 g/m ² 66 x 96 cm(250)	64,94%	81,18%
47	06.197	HP C6615 D CABECOTE DE IMPRESSAO PRETO(25 ml)*	65,36%	81,70%
48	02.486	PAPEL COUCHE IMAGE ART L2 90 g/m ² 66 x 96 cm(250)	65,76%	82,20%
49	02.370	PAPEL COUCHE URUGLOSS L2 115 g/m ² 66 x 96 cm (250)	66,14%	82,67%
50	01.012	ENVELOPE JANELA RPC 70 J (114 x 229 mm)	66,51%	83,14%
51	02.710	PAPEL JORNAL ADESI 50 g/m ² 66 x 96 cm (500)	66,83%	83,54%
52	06.178	PAPEL FAX 216 mm x 30 m GOLDEN FAX	67,15%	83,94%
53	02.696	PAPEL SUPERBOND 75 g/m ² CANARIO 66x96 SANTISTA(500	67,46%	84,32%
54	06.345	HP C8798 A(2x C6614D)CAB. DE IMP. PRETO(2x28 ml)*	67,77%	84,71%
55	02.408	PAPEL CARBONO ONE TIME "DPA" 66 x 96 cm (500)	68,07%	85,09%
56	03.146	CARTAO SUPREMO ALTA ALVURA 250 g/m ² 66x96 cm (175)	68,37%	85,47%
57	02.179	PAPEL CHAMEX PRINT COPY PAPER 75g 216x279mm(CARTA)	68,68%	85,85%
58	02.563	PAPEL ECOGRAPH 90 g/m ² 66 x 96 cm (250)	68,98%	86,22%
59	02.592	PAPEL PRIMAPRESS 90 g/m ² 66 x 96 cm RIOCELL (250)	69,27%	86,59%
60	01.127	ENVELOPE SACO 54 SOS 90 (242 x 336 mm)	69,57%	86,96%
61	06.190	HP 51626 A CABECOTE DE IMPRESSAO PRETO(40 ml)*	69,86%	87,32%
62	02.369	PAPEL COUCHE URUGLOSS L2 90 g/m ² 66 x 96 cm (250)	70,15%	87,68%
63	02.577	PAPEL CHAMBRIL LASER PRINT 75 g/m ² 66 x 96 cm(500)	70,43%	88,04%
64	02.246	PAPEL CLEAN COPY CFB CANARIO 54 g/m ² 66x96 cm(250)	70,72%	88,40%
65	02.586	PAPEL IMUNE PRIMAPRESS 75 g/m ² 66 x 96 cm (250)	71,00%	88,75%
66	02.372	PAPEL COUCHE URUGLOSS L2 170 g/m ² 66 x 96 cm (125)	71,27%	89,08%
67	06.193	HP 51641 A CABECOTE DE IMPRESSAO COLORIDO(39 ml)*	71,53%	89,41%
68	02.713	PAPEL AUTO ADESIVO FOSCO BRAGA 66 x 96 cm (100)	71,78%	89,72%
69	02.325	PAPEL OFFSET CHAMBRIL FORA DE PADRAO 75g 66x96(500	72,03%	90,03%
70	02.704	PAPEL COUCHE URUGLOSS L2 150 g/m ² 66 x 96 cm (250)	72,27%	90,34%
71	02.562	PAPEL ECOGRAPH 75 g/m ² 66 x 96 cm (250)	72,51%	90,64%
72	03.075	CARTAO DUPLEX MFSUPER 250 g/m ² 66x96 cm (100)	72,75%	90,94%
73	02.125	PAPEL SUPERBOND 56 g/m ² CANARIO 66x96 SANTISTA(500	72,99%	91,24%
74	02.694	PAPEL MONOLUCIDO 75 g/m ² SANTA MARIA 66x96cm(250)	73,22%	91,52%
75	01.067	ENVELOPE SACO 36 SOS 90 (185 x 248 mm)	73,44%	91,80%
76	02.173	PAPEL VERGE PLUS 180 g/m ² DIAMANTE 66 x 96 cm(125)	73,67%	92,08%
77	02.726	PAPEL IMUNE MASTER SET 75 g/m ² "64 x 88 cm" (500)	73,88%	92,36%
78	02.244	PAPEL CLEAN COPY CFB AZUL 54 g/m ² 66 x 96 cm (250)	74,10%	92,63%
79	02.247	PAPEL CLEAN COPY CFB ROSA 54 g/m ² 66 x 96 cm (250)	74,32%	92,90%
80	03.143	CARTAO ART PREMIUM 250 g/m ² 66 x 96 cm (150)	74,53%	93,16%
81	03.077	CARTAO DUPLEX MFSUPER 350 g/m ² 66x96 cm (100)	74,73%	93,41%
82	06.182	FORMUL.CONT. 80 COL 2 VIA BCO 240x280 CLASSIC FORM	74,93%	93,66%
83	02.629	PAPEL COLORPLUS 180 g/m ² LOS ANGELES 66x96cm (125)	75,12%	93,90%
84	02.248	PAPEL CLEAN COPY CFB VERDE 54 g/m ² 66 x 96 cm(250)	75,31%	94,13%
85	06.350	HP 51649 N CABECOTE DE IMPRESSAO COLOR(11 ml)*	75,49%	94,37%
86	02.721	PAPEL ADESIVO COUCHE BRILHANTE BRAGA 66x96 cm(100)	75,68%	94,60%
87	02.711	PAPEL IMUNE MASTER SET 75 g/m ² 66 x 96 cm (500)	75,86%	94,82%

Figura 47 – Produtos da classe B, na segunda classificação de Pareto (grupoAB)

Clas.	Refer.	Descrição do produto	% Ac. I	% Ac. II
88	01.107	ENVELOPE SACO 36 SKN 80 (185 x 248 mm)	76,04%	95,05%
89	02.266	PAPEL COLORPLUS 180 g/m ² PORTO SEGURO 66x96cm(125)	76,22%	95,27%
90	02.705	PAPEL COUCHE URUMATT L2 115 g/m ² 66 x 96 cm (250)	76,40%	95,50%
91	02.124	PAPEL SUPERBOND 56 g/m ² AZUL 66x96cm SANTISTA(500)	76,57%	95,72%
92	02.679	PAPEL COUCHE REFLEX L2 170 g/m ² 66 x 96 cm (250)	76,75%	95,93%
93	01.069	ENVELOPE SACO 40 SOS 90 (229 x 324 mm)	76,92%	96,15%
94	01.166	ENVELOPE SACO KO 24 (185 x 248 mm) ESCORIAL	77,08%	96,35%
95	02.536	PAPEL VEGETAL CANSON 90/95 g/m ² 66 x 96 cm (100)	77,24%	96,55%
96	06.301	TONER HP C7115 A	77,40%	96,74%
97	02.128	PAPEL SUPERBOND 75 g/m ² AZUL 66x96cm SANTISTA(500)	77,55%	96,94%
98	02.037	PAPEL CHAMEX TONER LIQUIDO 75 g/m ² 210x297mm (A4)	77,71%	97,13%
99	02.126	PAPEL SUPERBOND 56 g/m ² ROSA 66x96cm SANTISTA(500)	77,86%	97,32%
100	03.156	PAPELCARTAO NOBRE 300 g/m ² 66 x 96 cm (100)	78,01%	97,51%
101	02.172	PAPEL VERGE PLUS 180 g/m ² BERILO 66 x 96 cm (125)	78,16%	97,70%
102	02.327	PAPEL ACACIA TEXT LINHO 180 g/m ² 66x96 cm (150)	78,31%	97,89%
103	02.636	PAPEL ADESIVO RP FOSCO C-2075 FASSON 66x96cm (100)	78,46%	98,08%
104	02.590	PAPEL IMUNE PRIMAPRESS 75 g/m ² "64 x 88 cm" (500)	78,61%	98,26%
105	03.076	CARTAO DUPLEX MFSUPER 300 g/m ² 66x96 cm (100)	78,76%	98,45%
106	02.056	PAPEL COLORPLUS 120 g/m ² MARFIM 66 x 96 cm (200)	78,90%	98,62%
107	02.289	PAPEL COUCHE REFLEX L2 150 g/m ² 66 x 96 cm (250)	79,04%	98,80%
108	01.128	ENVELOPE SACO 58 SOS 90 (260 x 360 mm)	79,18%	98,98%
109	02.127	PAPEL SUPERBOND 56 g/m ² VERDE 66x96cm SANTISTA(500)	79,32%	99,15%
110	02.576	PAPEL PRIMAPRESS 63 g/m ² 66 x 96 cm RIOCELL (500)	79,46%	99,33%
111	03.128	CARTAO ART PREMIUM 280 g/m ² 66 x 96 cm (150)	79,60%	99,50%
112	02.406	PAPEL PRIMAPRESS 180 g/m ² 66 x 96 cm RIOCELL (125)	79,74%	99,67%
113	06.195	HP C1823 D CABECOTE DE IMPRESSAO COLORIDO(30 ml)*	79,87%	99,84%
114	02.107	PAPEL KRAFT NATURAL 200 g/m ² 66 x 96 cm(150)IGARAS	80,00%	100,00%

Figura 48 – Produtos da classe C, na segunda classificação de Pareto (grupo AC)

4.4 Geração das Séries Temporais de Demanda

Através de sucessivas consultas ao banco de dados, foram geradas 47 tabelas que constituem as séries temporais de demanda individual dos 44 produtos do grupo AA, mais as séries temporais de demanda agregada dos produtos do grupo AB, grupo AC e grupo B. Das 47 séries temporais geradas, 24 apresentaram 82 observações de demanda, tendo as demais apresentado de 4 a 80 observações, respectivamente.

Uma análise mais detalhada, através de consultas ao banco de dados, revelou que a distribuição de vendas, entre 1º de novembro de 2001 e 31 de outubro de 2002, por grupos de clientes é a apresentada na Figura 49. Na categoria “outros” estão incluídos 31 segmentos. Face à predominância das vendas ao grupo constituído pela indústria gráfica — 48,05% — e a conseqüente rarefação das vendas aos demais grupos, optou-se pela não estratificação das séries temporais de demanda por grupo de clientes.

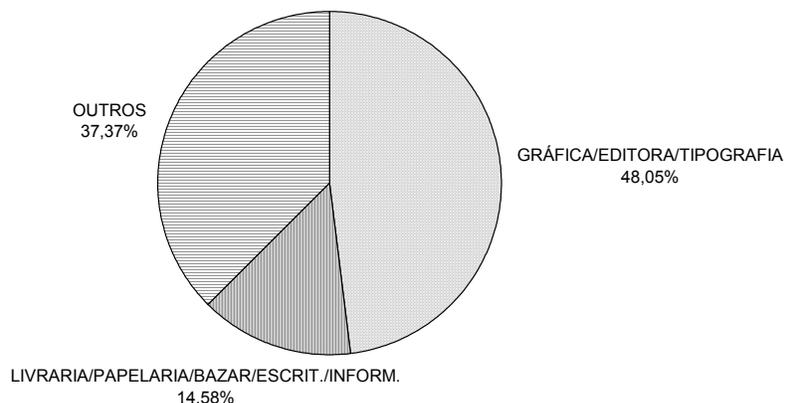


Figura 49 – Vendas por grupo de clientes

A distribuição das vendas, entre 1º de novembro de 2001 e 31 de outubro de 2002, pelas mesoregiões do estado, tais como definidas pelo IBGE (2002), revelou as características apresentadas na Figura 50.

Mesoregiões do Estado	% vendas
Noroeste Rio-Grandense	5,9 %
Nordeste Rio-Grandense	3,4 %
Centro Ocidental Rio-Grandense	2,4 %
Centro Oriental Rio-Grandense	4,3%
Metropolitana de Porto Alegre	80,1 %
Sudoeste Rio-Grandense	1,2 %
Sudeste Rio-Grandense	2,7%

Figura 50 – Vendas por mesoregiões do estado

Analogamente à estratificação por grupos de clientes, face ao grande percentual de vendas à Região Metropolitana de Porto Alegre — 80,1% — e a conseqüente rarefação das mesmas às demais mesoregiões, optou-se pela não estratificação das séries temporais de demanda por regiões geográficas do estado do Rio Grande do Sul.

4.5 Previsões de Demandas

4.5.1 Tratamento Preliminar das Séries Temporais Geradas

Das 47 séries temporais de demanda mensal, 5 continham, quer no interior quer no final, um valor faltante que os *experts* em comercialização da empresa atribuíram a um desabastecimento momentâneo por parte dos fornecedores. Alguns fornecedores importam mercadorias, caso em que o desabastecimento foi causado por escassez no mercado externo ou pela adoção de “procedimento padrão” por órgãos de fiscalização aduaneira. Outros fornecem ao mercado externo, caso em que o desabastecimento foi causado por uma excepcional cotação internacional de tais mercadorias, que foram exportadas em sua totalidade. As lacunas no interior das séries temporais foram preenchidas com a média aritmética dos valores adjacentes, posteriormente substituída pelo valor predito por um modelo provisoriamente ajustado à série temporal em questão. As lacunas no final das séries foram preenchidas com o valor predito por um modelo provisoriamente ajustado à série temporal em questão, conforme proposto na seção 3.5.

Completadas as lacunas provocadas por desabastecimento, o primeiro passo para a análise das séries temporais, conforme sugerido na seção 3.5, é a remoção de seus valores espúrios ou atípicos feita através do seguinte procedimento.

Às 47 séries temporais ajustaram-se provisoriamente modelos de previsão de demanda por meio do *software* Forecast Pro, tendo sido calculado os resíduos, isto é, a diferença entre os valores históricos e os preditos pelo modelo. Em seguida, para cada série, foi calculada a média e desvio padrão dos resíduos, assinalando-se os resíduos fora dos limites $r_{\text{médio}} \pm 3\sigma_r$. Tais valores foram analisados em conjunto com os *experts* em comercialização e concluiu-se que os resíduos significativamente maiores que $r_{\text{médio}}$, verificados quase em sua totalidade nos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2000 e de 2002, correspondiam a períodos pré-eleitorais, caracterizados por demandas acentuadamente acima das sazonalidades anuais. Os resíduos significativamente menores que $r_{\text{médio}}$ corresponderam, também, aos desabastecimentos referidos inicialmente. Compreendida a essência dos motivos causadores do aparecimento de valores *outliers* em 28 das 47 séries analisadas, procedeu-se à remoção e substituição dos mesmos pelos valores preditos nos modelos provisórios. Nas 19 séries restantes não foram encontrados valores espúrios ou atípicos.

4.5.2 Ajustamento dos Modelos de Previsão

O exame das séries originais, tratadas preliminarmente, revelou a ocorrência dos padrões relacionados na Figura 88 do Anexo e sintetizados na Figura 51.

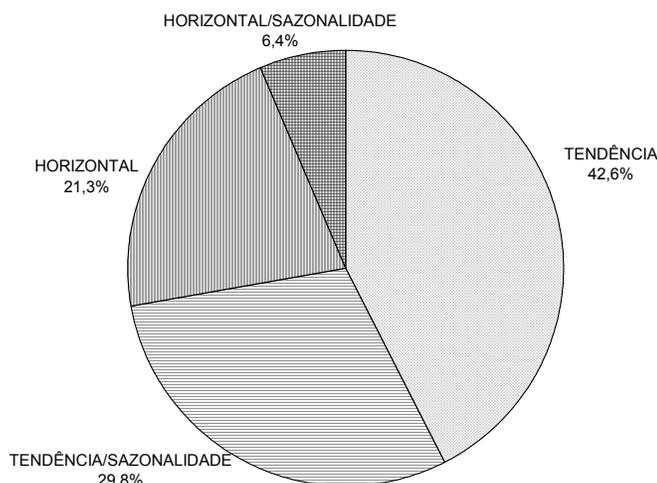


Figura 51 – Padrões observados nas séries temporais originais

Às 47 séries temporais originais ajustaram-se modelos de previsão de demanda por meio do *software* Forecast Pro, em sua modalidade de previsão em *batch* — que permite o processamento de 10 séries temporais simultaneamente — e utilizando-se a opção *Expert selection* que seleciona o modelo de previsão como aquele que minimiza o critério bayesiano de informação — BIC — (BUSINESS FORECAST SYSTEM, 1999, p. 42 e 46). O critério bayesiano de informação — BIC — proposto por Schwarz é uma modificação do critério de informação de Akaike — AIC — utilizado para a estimativa de parâmetros de modelos ARIMA (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 361). Um modelo específico é selecionado, pelo Forecast Pro, de uma família de modelos encontrando-se o modelo que minimiza o BIC (BUSINESS FORECAST SYSTEM, 1999, p. 172). A Figura 52, onde MAPE é o erro médio absoluto percentual, resume os resultados desta seleção.

Cabe ressaltar que nos casos em que o padrão de tendência da série não é muito acentuado, o *software* seleciona o modelo de suavização exponencial simples, atendendo ao critério de minimização do BIC, em detrimento do modelo de Holt.

Nº	Série (refer.)	Comprim. (nº elem.)	Modelo Selecionado	Constantes/ Parâmetros	Ajuste (R ²)	MAPE
1	02_033	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,46229, \beta=0, \gamma=0,28780$	0,8971	0,2061
2	02_029	82	Winters aditivo	$\alpha=0,30713, \beta=0,2251, \gamma=0,27116$	0,9485	0,51
3	02_035	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,51596, \beta=0, \gamma=0,32604$	0,7738	0,1585
4	02_344	66	Winters multiplicativo	$\alpha=0,47759, \beta=0, \gamma=0,08446$	0,2538	0,8788
5	02_454	52	Suav. expon. simples	$\alpha=1,00000$	0,6984	1,81
6	02_026	82	ARIMA(0,1,1)	$\theta_1=0,6668$	0,227	0,2136
7	02_019	82	ARIMA(1,0,0)	$\phi_1=0,2999$	0,08855	0,2279
8	02_022	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,42433, \beta=0, \gamma=0,22752$	0,61114	0,3091
9	02_505	12	Holt	$\alpha=0,32328, \beta=0,99945$	0,7592	0,4973
10	02_509	11	Holt	$\alpha=0,28210, \beta=0,16099$	0,5027	8,825
11	02_024	82	Suav. expon. simples	$\alpha=0,42500$	0,4576	0,2815
12	02_189	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,46791, \beta=0, \gamma=0,19637$	0,8968	0,5434
13	06_191	20	Suav. expon. simples	$\alpha=0,35000$	0,2424	0,6063
14	02_034	82	ARIMA(0,1,1)	$\theta_1=0,5850$	0,4023	0,2958
15	02_508	43	Suav. expon. simples	$\alpha=0,57187$	0,6913	0,8685
16	02_193	30	Winters multiplicativo	$\alpha=0,36397, \beta=0, \gamma=0,33830$	0,6482	1,275
17	06_192	20	Suav. expon. simples	$\alpha=0,65625$	0,5093	0,4063
18	02_006	82	Suav. expon. simples	$\alpha=0,60625$	0,1571	0,248
19	02_121	82	Suav. expon. simples	$\alpha=0,35937$	0,2832	0,2209
20	02_507	11	Holt	$\alpha=0,23449, \beta=0,23488$	0,4328	2,215
21	02_020	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,25455, \beta=0, \gamma=0,10868$	0,1578	1,249
22	02_339	61	Winters multiplicativo	$\alpha=0,28731, \beta=0, \gamma=0,11652$	0,3826	0,3637
23	02_678	14	Suav. expon. simples	$\alpha=0,12500$	0	1,286
24	06_033	78	ARIMA(0,1,1)	$\theta_1=0,4429$	0,6344	0,4411
25	02_249	80	Holt	$\alpha=0,04913, \beta=0,76247$	0,4667	2,226
26	02_008	82	ARIMA(1,1,1)	$\phi_1=0,2688, \theta_1=0,9106$	0,2492	0,2709
27	02_018	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,30090, \beta=0, \gamma=0,13156$	0,4176	0,8154
28	06_198	20	Suav. expon. simples	$\alpha=0,60625$	0,6019	1,57
29	06_196	20	Suav. expon. simples	$\alpha=1,00000$	0,5544	0,7631
30	06_194	14	Holt	$\alpha=0,09343, \beta=0,99381$	0,5395	2,462
31	02_120	82	Suav. expon. simples	$\alpha=0,15625$	0,2134	0,4799
32	02_123	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,40030, \beta=0, \gamma=0,16191$	0,3933	0,1844
33	02_028	82	ARIMA(0,1,1) (1,0,0) ₁₂	$\theta_1=0,7304, \Phi_1=0,4631$	0,5653	0,4754
34	02_122	82	Suav. expon. simples	$\alpha=0,32500$	0,2641	0,2033
35	02_488	49	Winters multiplicativo	$\alpha=0,24439, \beta=0, \gamma=0,53523$	0,4662	0,8356
36	02_487	49	Suav. expon. simples	$\alpha=0,45312$	0,1756	0,5698
37	01_021	82	ARIMA(0,1,1) (2,0,1) ₁₂	$\theta_1=0,6650, \Theta_1=0,7638$ $\Phi_1=0,4609, \Phi_2=0,5314$	0,6168	0,1564
38	06_218	14	Suav. expon. simples	$\alpha=0,95000$	0,8553	0,3832
39	06_347	4	Regr. linear simples	$a=70,5, b=7,6$	0,023	0,7435
40	02_698	11	Holt	$\alpha=0,26688, \beta=0,17911$	0,505	1,014
41	02_027	82	Holt	$\alpha=0,02873, \beta=0,03882$	0,1851	2,354
42	02_207	82	Winters multiplicativo	$\alpha=0,33693, \beta=0, \gamma=0,23046$	0,6377	0,265
43	02_680	14	Suav. expon. simples	$\alpha=0,27500$	0,002617	2,597
44	02_489	49	Winters multiplicativo	$\alpha=0,19022, \beta=0, \gamma=0,17224$	0,09857	0,8639
45	grup_AB	82	ARIMA(0,1,1) (0,1,1) ₁₂	$\theta_1=0,5419, \Theta_1=0,7967$	0,9473	0,1358
46	grup_AC	82	ARIMA(0,1,1) (1,0,0) ₁₂	$\theta_1=0,5243, \Phi_1=0,7664$	0,7613	0,1516
47	grupo_B	82	ARIMA(0,1,1) (1,0,0) ₁₂	$\theta_1=0,7323, \Phi_1=0,5583$	0,715	0,1116

Figura 52 – Seleção de modelos de previsão para as séries temporais originais

A série de nº 39, correspondente ao produto de referência 06_347, constituiu-se em um caso especial, uma vez que todos os modelos ajustados pelo *software* Forecast Pro, em suas várias opções de funcionamento, conduziam a um modelo com $R^2=0,0000$, motivado, provavelmente, pelo pequeno número de pontos amostrais na série. Uma vez que *software* utilizado não disponibiliza o modelo de regressão linear simples, optou-se, neste caso, pelo ajuste de tal modelo baseado na análise do gráfico com os 4 pontos da série.

Nos casos em que os modelos selecionados para as séries temporais originais apresentaram um ajuste considerado insatisfatório ($R^2<0,5$), os dados foram agregados bimestralmente e trimestralmente e as novas séries obtidas foram examinadas. Os padrões observados nas novas séries estão relacionados nas Figuras 89 e 90 do Anexo e resumidos nas Figuras 53 e 54.

Às séries bimestrais e trimestrais ajustaram-se modelos de previsão de demanda, também por meio do *software* Forecast Pro, em sua modalidade de previsão em *batch*, utilizando-se a opção *Expert selection*. As Figuras 55 e 56 resumem os resultados da modelagem.

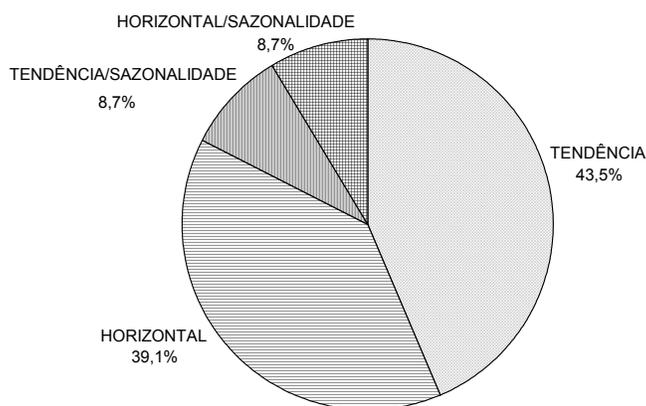


Figura 53 – Padrões observados nos dados agregados bimestralmente

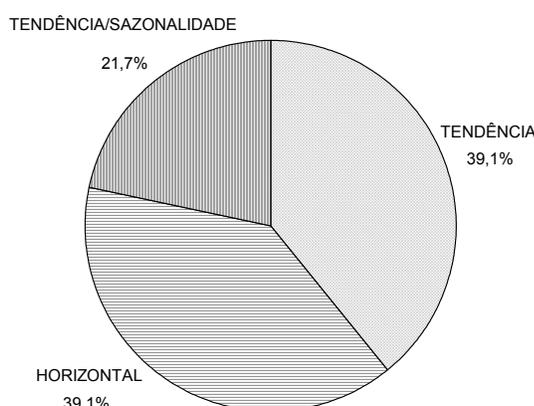


Figura 54 – Padrões observados nos dados agregados trimestralmente

Nº	Série (refer.)	Comp. (nº de elem.)	Modelo Selecionado	Constantes/ Parâmetros	Ajuste (R ²)	MAPE
4	02_344	33	Holt	$\alpha=0,08200, \beta=0,10688$	0,2182	0,4176
6	02_026	41	ARIMA(0,1,1)	$\theta_1=0,5914$	0,1628	0,1918
7	02_019	41	ARIMA(1,0,0)	$\phi_1=0,3072$	0,09375	0,1629
11	02_024	41	Winters multiplicativo	$\alpha=0,82426, \beta=0, \gamma=0,25466$	0,5303	0,2394
13	06_191	20	Holt	$\alpha=0,64889, \beta=0,99905$	0,8348	0,3
14	02_034	41	ARIMA(0,1,0)		0,4225	0,2768
18	02_006	41	Winters multiplicativo	$\alpha=0,03745, \beta=0, \gamma=0,12807$	0,1377	0,2034
19	02_121	41	Suav. expon. simples	$\alpha=0,53437$	0,2724	0,1892
20	02_507	5	Holt	$\alpha=0,4853, \beta=0,30300$	0,09046	1,669
21	02_020	41	ARIMA(1,0,0)	$\phi_1=0,4629$	0,2122	0,4367
22	02_339	31	Suav. expon. simples	$\alpha=0,63125$	0,3929	0,2554
23	02_678	7	Suav. expon. simples	$\alpha=0,14688$	0	3,385
25	02_249	40	Suav. expon. simples	$\alpha=0,40625$	0,5445	0,5967
26	02_008	41	Winters multiplicativo	$\alpha=0,37419, \beta=0, \gamma=0,11429$	0,3247	0,214
27	02_018	41	ARIMA(1,0,0)	$\phi_1=0,5320$	0,2824	0,3027
31	02_120	41	ARIMA(0,1,1)	$\theta_1=0,7271$	0,2901	0,166
32	02_123	41	Suav. expon. simples	$\alpha=0,54687$	0,3338	0,1565
34	02_122	41	ARIMA(0,1,1)	$\theta_1=0,4635$	0,2971	0,1585
35	02_488	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,54760, \beta=0, \gamma=0,63042$	0,4946	0,4694
36	02_487	24	Suav. expon. simples	$\alpha=0,56875$	0,1047	0,3809
41	02_027	41	Holt	$\alpha=0,06904, \beta=0,03012$	0,256	0,3642
43	02_680	6	Suav. expon. simples	$\alpha=0,84062$	0,07261	0,207
44	02_489	24	Suav. expon. simples	$\alpha=0,35625$	0,02523	0,5943

Figura 55 – Seleção de modelos de previsão para os dados agregados bimestralmente

Ainda em busca de um melhor ajuste dos modelos às séries históricas, uma vez que os *experts* da empresa assinalaram um salto para novos patamares de comercialização em alguns produtos nos últimos dois anos, procurou-se trabalhar com as séries originais

truncadas em seus 24 últimos elementos, compreendendo os valores correspondentes aos meses de novembro de 2000 a outubro de 2002. Os padrões observados nas séries truncadas estão relacionados na Figura 91 do Anexo e são apresentados, resumidamente, na Figura 57.

Nº	Série (refer.)	Comp. (nº de elem.)	Modelo Selecionado	Constantes/ Parâmetros	Ajuste (R ²)	MAPE
4	02_344	22	Holt	$\alpha=0,13281, \beta=0,16228$	0,2051	0,4168
6	02_026	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,40312$	0,0171	0,1735
7	02_019	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,07188$	0	0,1833
11	02_024	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,80937$	0,5149	0,2397
13	06_191	6	Holt	$\alpha=1,00000, \beta=1,00000$	0,7031	0,4774
14	02_034	27	Winters multiplicativo	$\alpha=0,89407, \beta=0, \gamma=0,99273$	0,6284	0,1867
18	02_006	27	Winters multiplicativo	$\alpha=0,03593, \beta=0, \gamma=0,14140$	0,1462	0,0,185
19	02_121	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,55937$	0,1637	0,1872
20	02_507	3	Holt	$\alpha=0,99999, \beta=0,06455$	0,9319	0,1302
21	02_020	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,06250$	0	0,4796
22	02_339	20	Suav. expon. simples	$\alpha=1,00000$	0,3118	0,258
23	02_678	4	Holt	$\alpha=1,00000, \beta=1,00000$	0,3017	0,1013
25	02_249	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,59687$	0,5871	0,646
26	02_008	27	Winters multiplicativo	$\alpha=0,92761, \beta=0, \gamma=0,99350$	0,3807	0,1749
27	02_018	27	Holt	$\alpha=0,07704, \beta=0,73737$	0,486	0,1889
31	02_120	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,34687$	0,3253	0,1388
32	02_123	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,54062$	0,2278	0,1451
34	02_122	27	Suav. expon. simples	$\alpha=0,54687$	0,2017	0,1411
35	02_488	16	Winters multiplicativo	$\alpha=0,54309, \beta=0, \gamma=0,44268$	0,3432	0,4444
36	02_487	16	Suav. expon. simples	$\alpha=0,0,02188$	0	0,4913
41	02_027	27	Winters multiplicativo	$\alpha=0,0,07770, \beta=0, \gamma=0,99975$	0,4986	0,1744
43	02_680	4	Holt	$\alpha=0, \beta=0$	0,5766	0,1885
44	02_489	16	Suav. expon. simples	$\alpha=0,0,22812$	0	0,5356

Figura 56 – Seleção de modelos de previsão para os dados agregados trimestralmente

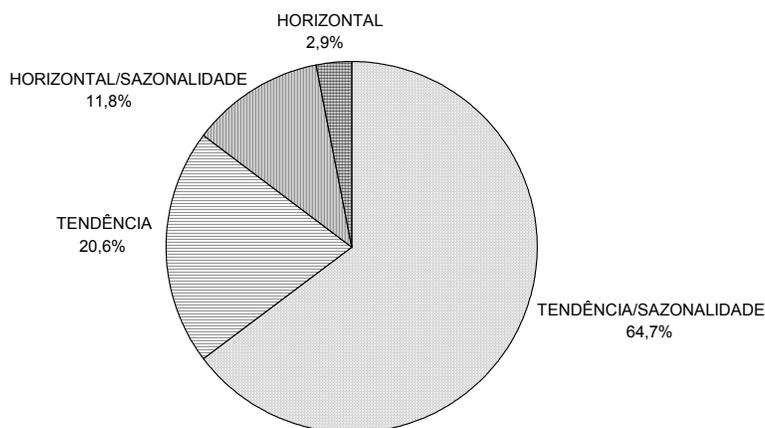


Figura 57 – Padrões observados nas séries truncadas

Às séries truncadas ajustaram-se modelos de previsão de demanda, também por meio do *software* Forecast Pro, em sua modalidade de previsão em *batch*, utilizando-se a opção *Expert selection*. A Figura 58 resume os resultados da modelagem.

Nº	Série (refer.)	Comp. (nº elem.)	Modelo Selecionado	Constantes/ Parâmetros	Ajuste (R ²)	MAPE
1	02_033	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,14806, \beta=0,4095, \gamma=0,42967$	0,5974	0,1447
2	02_029	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,08527, \beta=0,3008, \gamma=0,23193$	0,8476	0,1287
3	02_035	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,13141, \beta=0, \gamma=0,55875$	0,5063	0,12
4	02_344	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,26732, \beta=0, \gamma=0,53957$	0,4268	0,3255
5	02_454	24	Suav. expon. simples	$\alpha=1,00000$	0,6528	0,7364
6	02_026	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,40034, \beta=0, \gamma=0,44039$	0,5705	0,161
7	02_019	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,04198, \beta=0,25087, \gamma=0,3761$	0,4196	0,1882
8	02_022	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,12169, \beta=0,9979, \gamma=0,35299$	0,66849	0,1834
11	02_024	24	Suav. expon. simples	$\alpha=0,53750$	0,4599	0,251
12	02_189	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,18469, \beta=0,35399, \gamma=0,3928$	0,8847	0,1291
14	02_034	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,1209, \beta=0,91493, \gamma=0,36337$	0,6945	0,173
15	02_508	24	Suav. expon. simples	$\alpha=0,69375$	0,6035	0,1931
16	02_193	24	Holt	$\alpha=0,13141, \beta=0,09854$	0,5485	1,556
18	02_006	24	Suav. expon. simples	$\alpha=0,49062$	0,1749	0,1961
19	02_121	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,06709, \beta=0,04339, \gamma=0,3414$	0,3437	0,1566
21	02_020	24	Holt	$\alpha=0,02954, \beta=0,99000$	0,2149	0,5639
22	02_339	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,31869, \beta=0, \gamma=0,34034$	0,362	0,3283
24	06_033	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,70765, \beta=0, \gamma=0,99285$	0,5048	0,2534
25	02_249	24	Holt	$\alpha=0,09663, \beta=0,05841$	0,1642	0,8083
26	02_008	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,77267, \beta=0, \gamma=0,99937$	0,2068	0,1953
27	02_018	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,08315, \beta=0,05818, \gamma=0,2597$	0,3394	0,6522
31	02_120	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,04380, \beta=0, \gamma=0,47072$	0,3315	0,2086
32	02_123	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,1453, \beta=0,24974, \gamma=0,56554$	0,7837	0,09506
33	02_028	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,62533, \beta=0, \gamma=0,99999$	0,6928	0,2082
34	02_122	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,14225, \beta=0,05673, \gamma=0,2922$	0,393	0,1759
35	02_488	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,15604, \beta=0,1001, \gamma=0,23086$	0,5612	0,6728
36	02_487	24	Holt	$\alpha=0,12387, \beta=0,03547$	0,2419	0,6314
37	01_021	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,14841, \beta=0, \gamma=0,39947$	0,2812	0,1561
41	02_027	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,01237, \beta=0, \gamma=0,29268$	0,1406	5,876
42	02_207	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,17671, \beta=0, \gamma=0,78465$	0,7311	0,125
44	02_489	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,18499, \beta=0, \gamma=0,39010$	0,1941	0,7764
45	grup_AB	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,03526, \beta=0,6663, \gamma=0,30589$	0,7796	0,176
46	grup_AC	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,03346, \beta=0,08304, \gamma=0,5412$	0,6921	0,1001
47	grupo_B	24	Winters multiplicativo	$\alpha=0,1712, \beta=0,31886, \gamma=0,59014$	0,8136	0,06564

Figura 58 – Seleção de modelos de previsão para as séries truncadas

Comparando os valores apresentados na Figura 52, Figura 55, Figura 56 e Figura 58, pode-se escolher entre cada tipo de série os modelos que apresentam o melhor ajustamento, isto é, com o maior valor para R² e menor valor para o MAPE. O erro médio absoluto percentual — MAPE — é a mais utilizada medida de acurácia de previsão de vendas, conforme Khan (1999, p. 22); mais precisamente, esta medida é utilizada em cerca de 52% das vezes (MENTZER; KAHN, 1995, p.473).

Assim, dentre as séries originais, a Figura 59 apresenta os modelos de melhor ajuste e menor MAPE, bem como seu desvio padrão e previsões para o horizonte de três meses.

Nº	Série (refer.)	Modelo Selecionado	Ajuste (R ²)	MAPE	σ	Previsões mensais		
						nov/02	dez/02	jan/03
1	02_033	Winters multiplicativo	0,8971	0,2061	4792	12944	11517	10597
2	02_029	Winters aditivo	0,9485	0,51	3788	12252	12371	12216
3	02_035	Winters multiplicativo	0,7738	0,1585	1535	5285	4550	4292
5	02_454	Suav. expon. simples	0,6984	1,81	2159	5903	5903	5903
9	02_505	Holt	0,7592	0,4973	458	1638	1952	2267
10	02_509	Holt	0,5027	8,825	810	2066	2271	2477
12	02_189	Winters multiplicativo	0,8968	0,5434	310	1095	935	1026
15	02_508	Suav. expon. simples	0,6913	0,8685	201	527	527	527
16	02_193	Winters multiplicativo	0,6482	1,275	131	295	268	267
17	06_192	Suav. expon. simples	0,5093	0,4063	123	197	197	197
20	02_507	Holt	0,4328	2,215	366	851	941	1032
24	06_033	ARIMA(0,1,1)	0,6344	0,4411	128	181	181	181
28	06_198	Suav. expon. simples	0,6019	1,57	71	144	144	144
29	06_196	Suav. expon. simples	0,5544	0,7631	106	37	37	37
30	06_194	Holt	0,5395	2,462	90	229	245	261
37	01_021	ARIMA(0,1,1) (2,0,1) ₁₂	0,6168	0,1564	181	331	401	245
38	06_218	Suav. expon. simples	0,8553	0,3832	61	121	121	121
39	06_347	Regr. linear simples	0,023	0,7435	65	109	116	124
40	02_698	Holt	0,505	1,014	131	351	385	419
45	grup AB	ARIMA(0,1,1) (0,1,1) ₁₂	0,9473	0,1358	2132	8221	5767	6895
46	grup AC	ARIMA(0,1,1) (1,0,0) ₁₂	0,7613	0,1516	307	1399	1298	1148

Figura 59 – Modelos de previsão escolhidos entre as séries originais

Do mesmo modo, dentre as séries bimestrais, a Figura 60 apresenta os modelos de melhor ajuste, bem como seu desvio padrão e previsões para o horizonte de dois bimestres.

Nº	Série (refer.)	Modelo Selecionado	Ajuste (R ²)	MAPE	σ	Previsões bimestrais	
						nov-dez/02	jan-fev/03
11	02_024	Winters multiplicativo	0,5303	0,2394	195	852	758
13	06_191	Holt	0,8348	0,3	294	1228	1556
22	02_339	Suav. expon. simples	0,3929	0,2554	80	316	316

Figura 60 – Modelos de previsão escolhidos entre os dados agregados bimestralmente

Dentre as séries trimestrais, a Figura 61 apresenta os modelos de melhor ajuste, bem como seu desvio padrão e previsões para o horizonte de dois trimestres.

Nº	Série (refer.)	Modelo Selecionado	Ajuste (R ²)	MAPE	σ	Previsões trimestrais	
						out-nov-dez/02	jan-fev-mar/03
20	02_507	Holt	0,9319	0,1302	681	2183	2864
23	02_678	Holt	0,3017	0,1013	132	865	1096
25	02_249	Suav. expon. simples	0,5871	0,646	588	1852	1852
26	02_008	Winters multiplicativo	0,3807	0,1749	70	389	342
27	02_018	Holt	0,486	0,1889	247	414	431
41	02_027	Winters multiplicativo	0,4986	0,1744	106	247	358
43	02_680	Holt	0,5766	0,1885	76	320	341

Figura 61 – Modelos de previsão escolhidos entre os dados agregados trimestralmente

Finalmente, dentre as séries truncadas, a Figura 62 apresenta os modelos de melhor ajuste, bem como seu desvio padrão e previsões para o horizonte de três meses.

Nº	Série (refer.)	Modelo Selecionado	Ajuste (R^2)	MAPE	σ	Previsões mensais		
						nov/02	dez/02	jan/03
4	02 344	Winters multiplicativo	0,4268	0,3255	252	787	852	572
6	02 026	Winters multiplicativo	0,5705	0,161	199	844	878	840
7	02 019	Winters multiplicativo	0,4196	0,1882	155	702	670	833
8	02 022	Winters multiplicativo	0,66849	0,1834	250	1112	1063	943
14	02 034	Winters multiplicativo	0,6945	0,173	358	861	448	448
18	02 006	Suav. expon. simples	0,1749	0,1961	30	154	154	154
19	02 121	Winters multiplicativo	0,3437	0,1566	62	280	316	261
21	02 020	Holt	0,2149	0,5639	52	161	163	166
31	02 120	Winters multiplicativo	0,3315	0,2086	47	172	177	143
32	02 123	Winters multiplicativo	0,7837	0,09506	39	215	184	297
33	02 028	Winters multiplicativo	0,6928	0,2082	183	660	286	610
34	02 122	Winters multiplicativo	0,393	0,1759	40	211	211	218
35	02 488	Winters multiplicativo	0,5612	0,6728	27	135	91	136
36	02 487	Holt	0,2419	0,6314	56	143	148	153
42	02 207	Winters multiplicativo	0,7311	0,125	127	282	314	349
44	02 489	Winters multiplicativo	0,1941	0,7764	66	175	154	95
47	grupo B	Winters multiplicativo	0,8136	0,06564	1743	10971	9065	11039

Figura 62 – Modelos de previsão escolhidos entre as séries truncadas

Considerando-se que 17 das 34 séries truncadas — 50% — apresentaram o melhor ajuste dos modelos de previsão, parece sustentável a afirmação dos *experts* da empresa de que houve um salto para novos patamares de comercialização em alguns produtos nos últimos dois anos.

4.6 Definição do Sistema de Gestão de Estoques a Ser Adotado

Enfatizando a facilidade de apresentação nesta dissertação, a operacionalização do sistema de gestão de estoques proposto será desenvolvida através dos 10 primeiros produtos constantes na classificação ABC. Assim, para os mesmos, o cálculo do lote econômico de compra (*EOQ*), número de pedidos por ano (*N*) e do respectivo tempo entre pedidos (*TEP*) apresentou os resultados constantes na Figura 63.

O fato dos lotes econômicos serem, com relação às demandas, pequenos e os tempos entre pedidos serem inferiores a uma semana decorre dos baixos custos dos pedidos (*A*), cerca de R\$ 3,55, e do alto custo anual de manutenção do estoque (*i*), da ordem de 39,29% ao ano.

Efetivamente, na estimativa do custo do pedido, a preponderância absoluta é do valor da mão-de-obra envolvida — um diretor e um auxiliar de escritório — distribuído por

cerca de 400 pedidos mensais. Os custos de “transmissão” dos pedidos são muito baixos em função da utilização da internet, *fac-símile* e telefone.

Nº.	Refer.	Valor unit. C	Dem.anual D	C x D	EOQ	N (pedidos/ano)	TEP (semanas)
1	02.033	R\$ 10,00	148.780,0	R\$ 1.487.800,00	519	287	0,18
2	02.029	R\$ 10,27	129.548,5	R\$ 1.330.463,10	477	271	0,19
3	02.035	R\$ 11,42	66.953,5	R\$ 764.608,97	325	206	0,25
4	02.344	R\$ 51,52	8.210,0	R\$ 422.979,20	54	153	0,34
5	02.454	R\$ 10,00	42.146,5	R\$ 421.465,00	276	153	0,34
6	02.026	R\$ 29,52	9.357,0	R\$ 276.218,64	76	124	0,42
7	02.019	R\$ 40,16	6.838,0	R\$ 274.614,08	55	123	0,42
8	02.022	R\$ 30,28	7.973,0	R\$ 241.422,44	69	116	0,45
9	02.505	R\$ 35,96	6.301,0	R\$ 226.583,96	56	112	0,46
10	02.509	R\$ 23,99	9.439,0	R\$ 226.441,61	84	112	0,46

Figura 63 – Cálculo do lote econômico e do tempo entre pedidos

O principal componente do custo anual de manutenção do estoque é o custo de capital, podendo, em economias estáveis — com taxas anuais de juros da ordem de 6% — representar mais de 80% do mesmo, como afirma Ballou (2001, p. 256). Entretanto, na economia brasileira, com a taxa de juros para o capital de giro estabelecida em 2,80% ao mês, equivalente a 39,29% ao ano, o custo de capital pode ser considerado absolutamente preponderante.

Apesar dos lotes econômicos serem, com relação às demandas, pequenos e os respectivos tempos entre pedidos serem inferiores a uma semana, os grandes fornecedores impõem certas condições, como foi apresentado no início do capítulo 4. As condições a que estão sujeitos os fornecimentos dos 10 produtos principais são as constantes na Figura 64.

Assim, pela imposição dos fornecedores, adotou-se o sistema de revisão periódica e, para os oito primeiros produtos, a colocação dos pedidos no início do mês para entrega em meados do mesmo. Para os produtos de referências 02.505 e 02.509, os pedidos são colocados no início e meados de cada mês, devendo ser recebidos em meados e final do mês, respectivamente.

Com o sistema acima proposto, foram feitas sucessivas estimativas dos tamanhos dos pedidos a serem colocados, para os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março de 2003, meses em que se dispõe de registros do desempenho real dos estoques da empresa com os quais o desempenho do sistema proposto pudesse ser comparado. Para avaliação do sistema ora proposto, simulou-se seu desempenho através de uma planilha Excel, denominada **simul_estoques.xls**, onde foram lançadas, diariamente, as demandas atendidas bem como os pedidos recebidos (Q), para os dez produtos em questão, durante os

cinco meses mencionados. O estoque disponível (NE) de cada produto, ao fim de cada dia, é a soma do estoque do dia anterior com o pedido eventualmente recebido no dia, menos a demanda atendida naquele dia. Os lançamentos relativos à segunda quinzena de novembro de 2002 estão exemplificados na Figura 92 do Anexo.

Nº	Refer.	Descrição do produto	Nome do fornecedor	Colocação ped.	Lead time
1	02.033	PAPEL CHAMEX PRINT COPY PAPER 75 g/m ² (A 4)	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
2	02.029	PAPEL CHAMEX LASER PREMIER 75 g/m ² (A 4)	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
3	02.035	PAPEL CHAMEX PRINT COPY PAPER 75g (OF 2)	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
4	02.344	PAPEL CHAMBRIL 75 g/m ² (24 kg) 66 x 96 cm	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
5	02.454	PAPEL HP OFFICE 75 g/m ² (A4)	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
6	02.026	PAPEL CHAMBRIL 180 g/m ² 66 x 96 cm	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
7	02.019	PAPEL CHAMBRIL 56 g/m ² (18 kg) 66 x 96 cm	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
8	02.022	PAPEL CHAMBRIL 90 g/m ² 66 x 96 cm	INTERNATIONAL PAPER	mensal	15 dias
9	02.505	PAPEL SAMASET 56 g/m ² 66 x 96 cm	SANTA MARIA	quinzenal	15 dias
10	02.509	PAPEL SAMASET 75 g/m ² 66 x 96 cm	SANTA MARIA	quinzenal	15 dias

Figura 64 – Condições de fornecimento estipuladas pelos fornecedores

4.7 Dimensionamento dos Pedidos

Inicialmente, com auxílio dos modelos anteriormente ajustados para as séries históricas com valores até outubro de 2002, retomou-se a previsão para o horizonte de um período, cujos resultados estão resumidos na Figura 65. O erro relativo das previsões (E_{rel}) foi calculado pela diferença entre a demanda realizada (D_{real}) e a prevista (D_{prev}) tomada com relação à demanda realizada.

Estabelecidas as previsões de demanda, passou-se a dimensionar o tamanho dos pedidos a serem colocados em 1º de novembro e recebidos no dia 14 do mesmo mês, conforme apresentado na Figura 66. Relativamente aos primeiros oito produtos do quadro da Figura 66, para a demanda média durante o intervalo de proteção (μ_{P+L}) e o desvio-padrão da demanda durante o intervalo de proteção (σ_{P+L}) valem as seguintes expressões.

$$\mu_{P+L} = (P + L) \times D_{prev} = (1,0 + 0,5) \times D_{prev} = 1,5 \times D_{prev} \quad (81)$$

$$\sigma_{P+L} = \sqrt{P+L} \times \sigma = \sqrt{1,0+0,5} \times \sigma = \sqrt{1,5} \times \sigma \quad (82)$$

Nº	Refer.	Modelo selecionado	R ²	MAPE	σ	D _{prev}	D _{real}	E _{rel}
1	02.033	Wint. multiplicativo	0,8971	0,2061	4.792,0	12.944,2	15.194,5	0,1481
2	02.029	Winters aditivo	0,9485	0,51	3.788,0	12.251,7	6.810,0	-0,7991
3	02.035	Wint. multiplicativo	0,7738	0,1585	1.535,0	5.284,9	3.729,0	-0,4172
4	02.344	Wint. multiplicativo	0,4268	0,3255	252,0	787,3	415,0	-0,8971
5	02.454	Suav. expon. simples	0,6984	1,81	2.159,0	5.902,5	3.306,0	-0,7854
6	02.026	Wint. multiplicativo	0,5705	0,161	198,7	844,1	855,0	0,0127
7	02.019	Wint. multiplicativo	0,4196	0,1882	155,2	701,5	588,0	-0,1930
8	02.022	Wint. multiplicativo	0,6685	0,1834	249,6	1.112,4	616,0	-0,8058
9	02.505	Holt	0,7592	0,4973	457,9	1.638,0	1.290,0	-0,2698
10	02.509	Holt	0,5027	8,825	809,7	2.065,5	2.079,0	0,0065

Figura 65 – Previsão de demanda para novembro de 2002

Já para os dois últimos produtos, de referências 02.505 e 02.509, uma vez que o intervalo entre pedidos é de 15 dias, aplicam-se as seguintes expressões.

$$\mu_{P+L} = (P+L) \times D_{prev} = (0,5+0,5) \times D_{prev} = 1,0 \times D_{prev} \quad (83)$$

$$\sigma_{P+L} = \sqrt{P+L} \times \sigma = \sqrt{0,5+0,5} \times \sigma = \sqrt{1,0} \times \sigma \quad (84)$$

Adotando-se um nível de serviço (SL_I) de 90%, que daqui por diante foi mantido para o dimensionamento dos próximos pedidos, o estoque de segurança (ES) necessário pode ser calculado pela expressão abaixo.

$$ES = z_1 \times \sigma_{P+L} = 1,2816 \times \sigma_{P+L} \quad (85)$$

O nível alvo para o estoque (T) será a soma da demanda média durante o intervalo de proteção (μ_{P+L}) e o estoque de segurança (ES). O tamanho do pedido (Q) será a diferença entre o nível alvo para o estoque (T) e o nível de estoque por ocasião da colocação do pedido (NE_{inic}).

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
1	02.033	19.416,3	5.869,0	7.521,4	26.937,7	14.461,5	12.476,2
2	02.029	18.377,6	4.639,3	5.945,5	24.323,1	1.565,0	22.758,1
3	02.035	7.927,4	1.880,0	2.409,3	10.336,6	5.720,0	4.616,6
4	02.344	1.181,0	308,6	395,5	1.576,5	547,0	1.029,5
5	02.454	8.853,8	2.644,2	3.388,7	12.242,5	5.016,0	7.226,5
6	02.026	1.266,2	243,4	311,9	1.578,0	226,0	1.352,0
7	02.019	1.052,3	190,1	243,6	1.295,8	680,0	615,8
8	02.022	1.668,6	305,7	391,8	2.060,4	382,0	1.678,4
9	02.505	1.638,0	457,9	586,8	2.224,8	1.270,0	954,8
10	02.509	2.065,5	809,7	1.037,7	3.103,2	574,0	2.529,2

Figura 66 – Pedidos colocados no início de novembro de 2002

A seguir, passou-se a dimensionar os pedidos a serem colocados em meados de novembro para recebimento em final de novembro, cujas características constam na Figura 67.

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
9	02.505	1.638,0	457,9	586,8	2.224,8	1.520,8	704,0
10	02.509	2.065,5	809,7	1.037,7	3.103,2	2.121,2	982,0

Figura 67 – Pedidos colocados em meados de novembro de 2002

Iterativamente, com o intervalo de um mês, novas previsões de demanda foram feitas, agora incorporando às séries históricas os valores da demanda realizada nos meses anteriores. Às séries assim complementadas, ajustaram-se modelos de previsão de demanda, também, por meio do *software* Forecast Pro, conforme apresentado nas Figuras 68, 71, 74 e 77. Estabelecidas as previsões de demanda passou-se a dimensionar o tamanho dos pedidos a serem colocados, cujas características constam nas Figuras 69, 70, 72, 73, 75, 76, 78 e 79.

Nº	Refer.	Modelo selecionado	R ²	MAPE	σ	D _{prev}	D _{real}	E _{rel}
1	02.033	Wint. multiplicativo	0,8995	0,2050	4.879,0	12562,5	8.061,5	-0,5583
2	02.029	ARIMA(1,1,0) (1,0,0)	0,9265	0,3399	3.797,0	9812,2	6.056,0	-0,6202
3	02.035	Wint. multiplicativo	0,7615	0,1614	1.526,0	3835,3	3.602,5	-0,0646
4	02.344	Wint. multiplicativo	0,3438	0,3774	247,8	680,9	337,0	-1,0205
5	02.454	Suav. expon. simples	0,6781	1,7910	2.165,0	3306	4.261,0	0,2241
6	02.026	Wint. multiplicativo	0,5965	0,1545	200,4	884,7	632,0	-0,3998
7	02.019	Wint. multiplicativo	0,3991	0,1896	152,9	627,8	281,0	-1,2342
8	02.022	Wint. multiplicativo	0,5844	0,2180	246,2	639,7	285,0	-1,2446
9	02.505	Holt	0,7613	0,4533	487,1	1728,9	763,0	-1,2659
10	02.509	Holt	0,5998	4,4700	848,7	2697,6	1.105,0	-1,4413

Figura 68 – Previsão de demanda para dezembro de 2002

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
1	02.033	18.843,8	5.975,5	7.657,9	26.501,7	11.743,2	14.758,5
2	02.029	14.718,3	4.650,4	5.959,7	20.678,0	17.513,1	3.164,9
3	02.035	5.753,0	1.869,0	2.395,2	8.148,1	6.607,6	1.540,5
4	02.344	1.021,4	303,5	388,9	1.410,3	1.161,5	248,8
5	02.454	4.959,0	2.651,6	3.398,1	8.357,1	8.936,5	0,0
6	02.026	1.327,1	245,4	314,5	1.641,6	799,0	842,6
7	02.019	941,7	187,3	240,0	1.181,7	707,8	473,8
8	02.022	959,6	301,5	386,4	1.346,0	1.444,4	0,0
9	02.505	1.728,9	487,1	624,2	2.353,1	1.638,8	714,3
10	02.509	2.697,6	848,7	1.087,7	3.785,3	2.006,2	1.779,1

Figura 69 – Pedidos colocados no início de dezembro de 2002

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
9	02.505	1.728,9	487,1	624,2	2.353,1	1.905,1	448,0
10	02.509	2.697,6	848,7	1.087,7	3.785,3	3.006,3	779,0

Figura 70 – Pedidos colocados em meados de dezembro de 2002

Nº	Refer.	Modelo selecionado	R ²	MAPE	σ	D _{prev}	D _{real}	E _{rel}
1	02.033	Wint. multiplicativo	0,8905	0,2106	4.857,0	9437,9	7.540,0	-0,2517
2	02.029	Wint. multiplicativo	0,9267	0,3540	3.775,0	5836,9	6.981,0	0,1639
3	02.035	Wint. multiplicativo	0,7612	0,1602	1.517,0	3490	3.113,0	-0,1211
4	02.344	Wint. multiplicativo	0,2845	0,4083	245,6	370,6	478,0	0,2247
5	02.454	Suav. exp. simples	0,6886	1,7620	2.193,0	4261	14.917,5	0,7144
6	02.026	Wint. multiplicativo	0,5312	0,1659	196,4	732,2	606,0	-0,2083
7	02.019	Wint. multiplicativo	0,2409	0,2200	156,2	610,9	525,0	-0,1636
8	02.022	Wint. multiplicativo	0,5117	0,2547	244,0	355,7	387,0	0,0809
9	02.505	Suav. exp. simples	0,5689	0,4456	470,4	861,1	1.488,0	0,4213
10	02.509	Suav. exp. simples	0,3839	2,8830	813,6	1513,3	403,0	-2,7551

Figura 71 – Previsão de demanda para janeiro de 2003

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
1	02.033	14.156,9	5.948,6	7.623,4	21.780,3	18.440,2	3.340,1
2	02.029	8.755,4	4.623,4	5.925,1	14.680,5	14.622,0	58,5
3	02.035	5.235,0	1.857,9	2.381,0	7.616,0	4.545,6	3.070,4
4	02.344	555,9	300,8	385,5	941,4	1.073,3	0,0
5	02.454	6.391,5	2.685,9	3.442,1	9.833,6	4.675,5	5.158,1
6	02.026	1.098,3	240,5	308,3	1.406,6	1.009,6	397,0
7	02.019	916,4	191,3	245,2	1.161,5	900,7	260,8
8	02.022	533,6	298,8	383,0	916,5	1.159,4	0,0
9	02.505	861,1	470,4	602,8	1.463,9	2.038,1	0,0
10	02.509	1.513,3	813,6	1.042,7	2.556,0	3.459,3	0,0

Figura 72 – Pedidos colocados no início de janeiro de 2003

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
9	02.505	861,1	470,4	602,8	1.463,9	1.295,1	168,8
10	02.509	1.513,3	813,6	1.042,7	2.556,0	3.058,3	0,0

Figura 73 – Pedidos colocados em meados de janeiro de 2003

Nº	Refer.	Modelo selecionado	R ²	MAPE	σ	D _{prev}	D _{real}	E _{rel}
1	02.033	Wint. multiplicativo	0,8889	0,2113	4.833,0	7152,4	8.498,5	0,1584
2	02.029	Wint. multiplicativo	0,9269	0,3514	3.773,0	5366,3	8.086,5	0,3364
3	02.035	Wint. multiplicativo	0,7602	0,1600	1.509,0	2939,8	2.895,0	-0,0155
4	02.344	Wint. multiplicativo	0,2884	0,4012	240,9	468,3	514,0	0,0889
5	02.454	ARIMA(0,1,1)	0,707	1,6760	2.200,4	4370,2	3.225,5	-0,3549
6	02.026	Wint. multiplicativo	0,5151	0,1684	192,6	603,6	476,0	-0,2681
7	02.019	Wint. multiplicativo	0,257	0,2383	153,3	500,3	459,0	-0,0900
8	02.022	Wint. multiplicativo	0,5235	0,2460	239,7	698,2	361,0	-0,9341
9	02.505	Holt	0,6495	0,6743	508,4	1431,1	998,0	-0,4340
10	02.509	Suav. exp. simples	0,2756	2,4810	796,2	609,5	0,0	—

Figura 74 – Previsão de demanda para fevereiro de 2003

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
1	02.033	10.728,6	5.919,2	7.585,7	18.314,3	14.285,3	4.029,1
2	02.029	8.049,5	4.621,0	5.922,0	13.971,4	8.045,0	5.926,5
3	02.035	4.409,7	1.848,1	2.368,5	6.778,2	4.543,0	2.235,1
4	02.344	702,5	295,0	378,1	1.080,6	607,3	473,3
5	02.454	6.555,3	2.694,9	3.453,7	10.009,0	5.526,1	4.482,9
6	02.026	905,4	235,9	302,3	1.207,7	805,6	402,1
7	02.019	750,5	187,8	240,6	991,1	636,5	354,5
8	02.022	1.047,3	293,6	376,2	1.423,5	773,4	650,2
9	02.505	1.431,1	508,4	651,5	2.082,6	741,9	1.340,7
10	02.509	609,5	796,2	1.020,4	1.629,9	3.056,3	0,0

Figura 75 – Pedidos colocados no início de fevereiro de 2003

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE _{inic}	Q
9	02.505	1.431,1	508,4	651,5	2.082,6	1.554,6	528,0
10	02.509	609,5	796,2	1.020,4	1.629,9	3.056,3	0,0

Figura 76 – Pedidos colocados em meados de fevereiro de 2003

Nº	Refer.	Modelo selecionado	R ²	MAPE	σ	D _{prev}	D _{real}	E _{rel}
1	02.033	Wint. multiplicativo	0,8886	0,2105	4.814,0	14472,1	11.105,5	-0,3031
2	02.029	Wint. multiplicativo	0,9226	0,3516	3.785,0	10993,3	6.195,5	-0,7744
3	02.035	Wint. multiplicativo	0,7605	0,1586	1.502,0	4917,7	3.285,0	-0,4970
4	02.344	Wint. multiplicativo	0,2904	0,3898	236,4	739,6	373,0	-0,9828
5	02.454	ARIMA(0,1,1)	0,7175	1,6520	2.200,2	3717,6	4.141,0	0,1022
6	02.026	Wint. multiplicativo	0,5015	0,1705	191,0	739,6	689,0	-0,0734
7	02.019	Wint. multiplicativo	0,2523	0,2220	150,6	642,3	390,0	-0,6469
8	02.022	Wint. multiplicativo	0,4572	0,2814	236,0	516,5	607,0	0,1491
9	02.505	Suav. exp. simples	0,5638	0,4511	498,5	1115,4	1.320,0	0,1550
10	02.509	Suav. exp. simples	0,3086	2,2420	804,0	50,1	1.056,0	0,9526

Figura 77 – Previsão de demanda para março de 2003

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE_{inic}	Q
1	02.033	21.708,2	5.895,9	7.555,9	29.264,1	9.770,8	19.493,2
2	02.029	16.490,0	4.635,7	5.940,8	22.430,8	5.539,4	16.891,3
3	02.035	7.376,6	1.839,6	2.357,5	9.734,0	3.843,2	5.890,9
4	02.344	1.109,4	289,5	371,0	1.480,4	554,6	925,9
5	02.454	5.576,4	2.694,7	3.453,4	9.029,8	6.733,5	2.296,3
6	02.026	1.109,4	233,9	299,8	1.409,2	726,7	682,5
7	02.019	963,5	184,4	236,4	1.199,8	532,1	667,8
8	02.022	774,8	289,0	370,4	1.145,2	1.061,5	83,6
9	02.505	1.115,4	498,5	638,9	1.754,3	1.589,6	164,6
10	02.509	50,1	804,0	1.030,4	1.080,5	3.056,3	0,0

Figura 78 – Pedidos colocados no início de março de 2003

Nº	Refer.	μ_{P+L}	σ_{P+L}	ES	T	NE_{inic}	Q
9	02.505	1.115,4	498,5	638,9	1.754,3	1.147,3	607,0
10	02.509	50,1	804,0	1.030,4	1.080,5	2.856,3	0,0

Figura 79 – Pedidos colocados em meados de março de 2003

Os valores dos níveis de estoque por ocasião da colocação do pedido (NE_{inic}), apresentados nos quadros das Figuras 66 e 67, foram retirados do relatório de estoques emitido em 1º de novembro, uma vez que o sistema utilizado pela empresa não dispõe de registros diários de estoques; os constantes nos quadros das Figuras 69, 70, 72, 73, 75, 76, 78 e 79, são resultantes do preenchimento iterativo da planilha **simul_estoques.xls**, referida no final da seção 4.6, com as quantidades dos pedidos recebidos.

Com o estabelecimento do tamanho dos pedidos a serem colocados de novembro de 2002 a março de 2003, completa-se o período com que se conta com dados reais de desempenho da empresa objeto deste estudo de caso. Entretanto, com o objetivo de validar os procedimentos de previsão de demanda empregados para os meses em referência, ressalta-se o fato de que 88% dos valores de demanda, posteriormente realizada, incidiram no interior do intervalo de confiança de 95% predito, como pode ser verificado comparando-se os valores da demanda realizada (D_{real}), apresentados nas Figuras 65, 68, 71, 74 e 77, com os limites apresentados nas Figuras 93 a 142 do Anexo. Os erros relativos verificados são predominantemente negativos, indicando uma diminuição sistemática das demandas realizadas com relação às preditas. Tal diminuição da demanda é consistente com a observação que a conjuntura setorial é nitidamente recessiva, agravada pelo fato de que a tentativa de cartelização de preços, praticada por um grupo expressivo de empresas do setor em questão, face à conjuntura recessiva, desestruturou-se provocando uma competição de preços pedratória. Os pedidos de tamanho nulo, constantes nas Figuras 69, 72, 73, 75, 76, 78 e

79, correspondem a níveis alvo de estoque (T) superiores ao estoque disponível no início do período (NE_{inic}), indicando o cálculo um valor para Q negativo, o que obviamente não faz sentido. Neste caso, simplesmente deixa-se de efetuar o pedido do item.

Finalmente, como resultado do preenchimento da planilha **simul_estoques.xls** com o tamanho dos pedidos recebidos e as demandas diárias de novembro de 2002 a março de 2003, fica simulado o desempenho do sistema proposto no que diz respeito à situação dos estoques disponíveis diariamente, conforme é apresentado na Figura 80, apenas para os primeiros cinco produtos para preservar a clareza do gráfico.

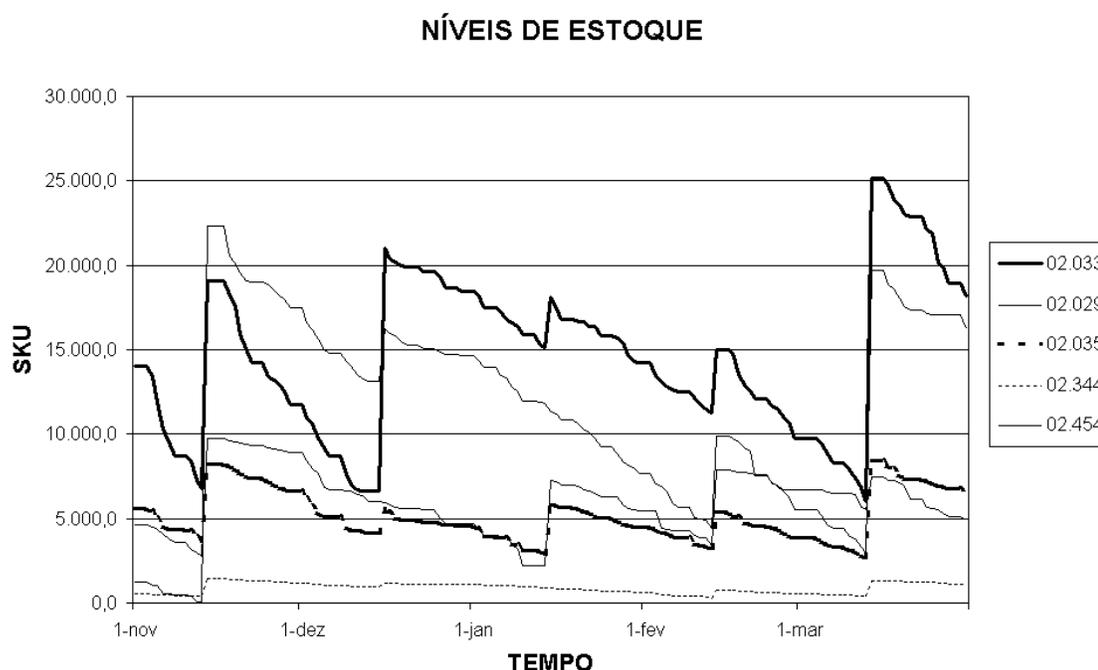


Figura 80 – Níveis de estoque conforme sistema proposto

Deste modo, pode-se passar a comparar o desempenho real com o desempenho simulado do sistema proposto, no mesmo período.

4.8 Determinação dos Benefícios da Adoção do Sistema Proposto

O indicador da confiabilidade de um sistema de gestão de estoques é o nível de serviço praticado. Considere-se o ciclo típico do sistema de revisão periódica representado na Figura 81. Se o estoque cair a zero no final do *lead time*, a seguinte expressão para o estoque de segurança (ES) em função do nível alvo para o estoque (T) e da demanda (D) durante o tempo entre pedidos (P) é válida.

$$ES = T - D \quad (86)$$

Por outro lado, se a demanda for homogeneamente distribuída por todo o intervalo de proteção $P+L$, o nível alvo para o estoque (T) e o estoque médio no ciclo (EM) guardam a seguinte relação.

$$T \cong 2 \times EM \quad (87)$$

Nestas condições, o estoque de segurança pode ser expresso como

$$ES \cong 2 \times EM - D \quad (88)$$

Estimado o valor do estoque de segurança, pode-se chegar ao valor do nível de serviço praticado, SL_1 , através das seguintes relações.

$$ES = z_1 \times \sigma_{P+L} \quad (89)$$

$$z_1 = \frac{\sigma_{P+L}}{ES} \quad (90)$$

$$z_1 \Rightarrow SL_1 \quad (91)$$

Aplicando as expressões acima desenvolvidas, pode-se calcular, a partir dos estoques médios mensais — obtidos pela média ponderada dos valores constantes nos relatórios de estoques emitidos nas sextas-feiras — os níveis de serviço praticados em novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março de 2003, pela empresa em questão, ainda que estes índices não tenham sido considerados explicitamente pela mesma. O resultado deste cálculo é apresentado na Figura 82.

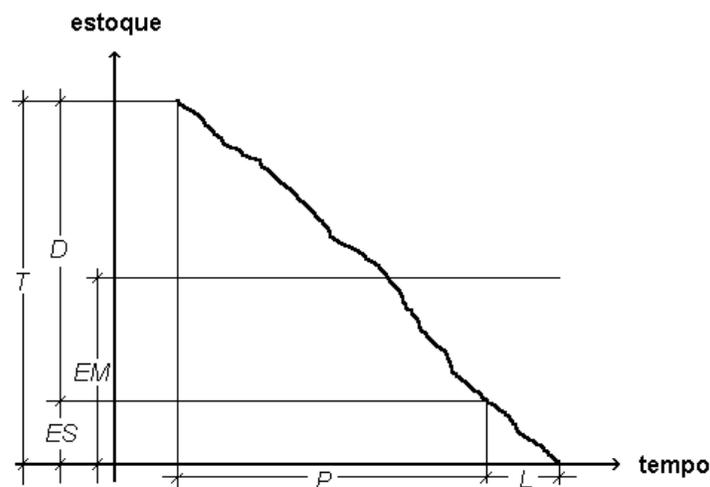


Figura 81 – Ciclo do sistema de revisão periódica

Nº	Refer.	Nível de serviço				
		nov/2002	dez/2002	jan/2003	fev/2003	mar/2003
1	02.033	80,6599%	18,0155%	46,8870%	81,0805%	50,2755%
2	02.029	43,5729%	95,1096%	99,7675%	98,7758%	47,4545%
3	02.035	99,9828%	99,9999%	99,9999%	99,9999%	99,9999%
4	02.344	96,7677%	64,2880%	99,9998%	99,9576%	99,9999%
5	02.454	99,9998%	99,9953%	99,9999%	99,9999%	99,9989%
6	02.026	57,8609%	99,4115%	88,8176%	98,2906%	64,4404%
7	02.019	92,4581%	93,6929%	99,9999%	99,9999%	99,9999%
8	02.022	56,8221%	99,9414%	99,9999%	99,9999%	99,9998%
9	02.505	99,9671%	99,9976%	99,7918%	98,7116%	99,9999%
10	02.509	95,6114%	61,4832%	41,8248%	49,9999%	99,9999%

Figura 82 – Níveis de serviço praticados implicitamente

Note-se que o menor nível de serviço praticado foi de 18,0155% e o maior foi de 99,9999%. Os níveis de serviço de 99,9999% denotam estoques redundantemente grandes e com custos totais desnecessariamente altos, ao passo que os menores indicam estoques pequenos que não asseguram probabilidade de não-escassez suficientemente elevada — 90% no caso do sistema proposto.

Se forem tomadas as médias dos níveis de serviço praticados mensalmente, ponderados conforme o número de dias no mês, e comparadas com o nível de serviço do sistema proposto — 90% — obtém-se a variação nos níveis de serviço a serem obtidos com a adoção do sistema proposto, conforme consta na Figura 83. As variações positivas nos níveis de serviço são, em resumo, os benefícios do sistema de gestão de estoques proposto.

Nº	Refer.	Nível de serviço médio	Nível de serviço proposto	Varição no nível de serviço
1	02.033	54,7058%	90%	35,2942%
2	02.029	76,7231%	90%	13,2769%
3	02.035	99,9965%	90%	-9,9965%
4	02.344	92,0183%	90%	-2,0183%
5	02.454	99,9988%	90%	-9,9988%
6	02.026	81,5941%	90%	8,4059%
7	02.019	97,2067%	90%	-7,2067%
8	02.022	91,4095%	90%	-1,4095%
9	02.505	99,7113%	90%	-9,7113%
10	02.509	70,0059%	90%	19,9941%

Figura 83 – Benefícios do sistema proposto

4.9 Determinação dos Custos Associados

Os custos associados aos estoques existentes, durante os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março de 2003, foram os constantes na Figura 84.

Nº	Refer.	Dem.real.	Valor unit.	Est.médio	C.PED.	C.PRODUTO	C.GUARDA	C.TOTAL
1	02.033	50.400,0	R\$ 10,00	5.422,1	R\$ 17,75	R\$ 504.000,00	R\$ 8.030,18	R\$ 512.047,93
2	02.029	34.129,0	R\$ 10,27	6.392,8	R\$ 17,75	R\$ 350.504,83	R\$ 9.723,42	R\$ 360.246,00
3	02.035	16.624,5	R\$ 11,42	8.000,0	R\$ 17,75	R\$ 189.851,79	R\$ 13.530,44	R\$ 203.399,98
4	02.344	2.117,0	R\$ 51,52	702,0	R\$ 17,75	R\$ 109.067,84	R\$ 5.356,49	R\$ 114.442,08
5	02.454	19.291,0	R\$ 10,00	8.895,8	R\$ 17,75	R\$ 192.910,00	R\$ 13.174,73	R\$ 206.102,48
6	02.026	3.182,0	R\$ 29,52	480,4	R\$ 17,75	R\$ 93.932,64	R\$ 2.100,20	R\$ 96.050,59
7	02.019	2.243,0	R\$ 40,16	691,8	R\$ 17,75	R\$ 90.078,88	R\$ 4.114,62	R\$ 94.211,25
8	02.022	2.256,0	R\$ 30,28	794,8	R\$ 17,75	R\$ 68.311,68	R\$ 3.564,11	R\$ 71.893,54
9	02.505	5.859,0	R\$ 35,96	1.627,8	R\$ 35,50	R\$ 210.689,64	R\$ 8.669,04	R\$ 219.394,18
10	02.509	4.643,0	R\$ 23,99	1.132,4	R\$ 35,50	R\$ 111.385,57	R\$ 4.023,15	R\$ 115.444,22

Figura 84 – Custos totais verificados nos meses sob controle

No custo da guarda, ou custo de manutenção do estoque, a taxa de guarda (*i*) considerada durante o período de 5 meses foi de 14,81%, equivalente a 2,80% ao mês. Os custos associados ao sistema proposto, durante o mesmo período, seriam os constantes na Figura 85. Portanto, os acréscimos de custos são os apresentados na Figura 86.

Nº	Refer.	Dem.real.	Valor unit.	Est.médio	C.PED.	C.PRODUTO	C.GUARDA	C.TOTAL
1	02.033	50.400,0	R\$ 10,00	14.622,1	R\$ 17,75	R\$ 504.000,00	R\$ 21.655,29	R\$ 525.673,04
2	02.029	34.129,0	R\$ 10,27	11.474,3	R\$ 17,75	R\$ 350.504,83	R\$ 17.452,23	R\$ 367.974,81
3	02.035	16.624,5	R\$ 11,42	5.165,9	R\$ 17,75	R\$ 189.851,79	R\$ 8.737,10	R\$ 198.606,64
4	02.344	2.117,0	R\$ 51,52	881,2	R\$ 17,75	R\$ 109.067,84	R\$ 6.723,72	R\$ 115.809,31
5	02.454	19.291,0	R\$ 10,00	6.085,3	R\$ 17,75	R\$ 192.910,00	R\$ 9.012,34	R\$ 201.940,09
6	02.026	3.182,0	R\$ 29,52	814,2	R\$ 17,75	R\$ 93.932,64	R\$ 3.559,70	R\$ 97.510,09
7	02.019	2.243,0	R\$ 40,16	732,2	R\$ 17,75	R\$ 90.078,88	R\$ 4.354,78	R\$ 94.451,41
8	02.022	2.256,0	R\$ 30,28	1.015,6	R\$ 17,75	R\$ 68.311,68	R\$ 4.554,57	R\$ 72.884,00
9	02.505	5.859,0	R\$ 35,96	1.219,0	R\$ 35,50	R\$ 210.689,64	R\$ 6.491,77	R\$ 217.216,91
10	02.509	4.643,0	R\$ 23,99	2.427,6	R\$ 35,50	R\$ 111.385,57	R\$ 8.624,94	R\$ 120.046,01

Figura 85 – Custos totais associados ao sistema proposto

Nº	Refer.	Custo realizado	Custo proposto	Acréscimo	Acr. percentual
1	02.033	R\$ 512.047,93	R\$ 525.673,04	R\$ 13.625,12	2,66%
2	02.029	R\$ 360.246,00	R\$ 367.974,81	R\$ 7.728,81	2,15%
3	02.035	R\$ 203.399,98	R\$ 198.606,64	-R\$ 4.793,35	-2,36%
4	02.344	R\$ 114.442,08	R\$ 115.809,31	R\$ 1.367,23	1,19%
5	02.454	R\$ 206.102,48	R\$ 201.940,09	-R\$ 4.162,39	-2,02%
6	02.026	R\$ 96.050,59	R\$ 97.510,09	R\$ 1.459,51	1,52%
7	02.019	R\$ 94.211,25	R\$ 94.451,41	R\$ 240,15	0,25%
8	02.022	R\$ 71.893,54	R\$ 72.884,00	R\$ 990,46	1,38%
9	02.505	R\$ 219.394,18	R\$ 217.216,91	-R\$ 2.177,27	-0,99%
10	02.509	R\$ 115.444,22	R\$ 120.046,01	R\$ 4.601,79	3,99%
Total		R\$ 1.993.232,25	R\$ 2.012.112,31	R\$ 18.880,06	0,95%

Figura 86 – Comparação entre os custos realizados e os propostos

4.10 Análise Custo–Benefício

Uma tentativa de verificar se aos acréscimos de custo correspondem acréscimos de benefícios pode ser feita correlacionando–se uns com os outros. Assim, tomando–se, como variável explicada, os acréscimos percentuais de custo e, como variável explanatória, os acréscimos nos níveis de serviço, obteve–se o coeficiente de correlação $r=0,8265$ e a reta de regressão na Figura 87.

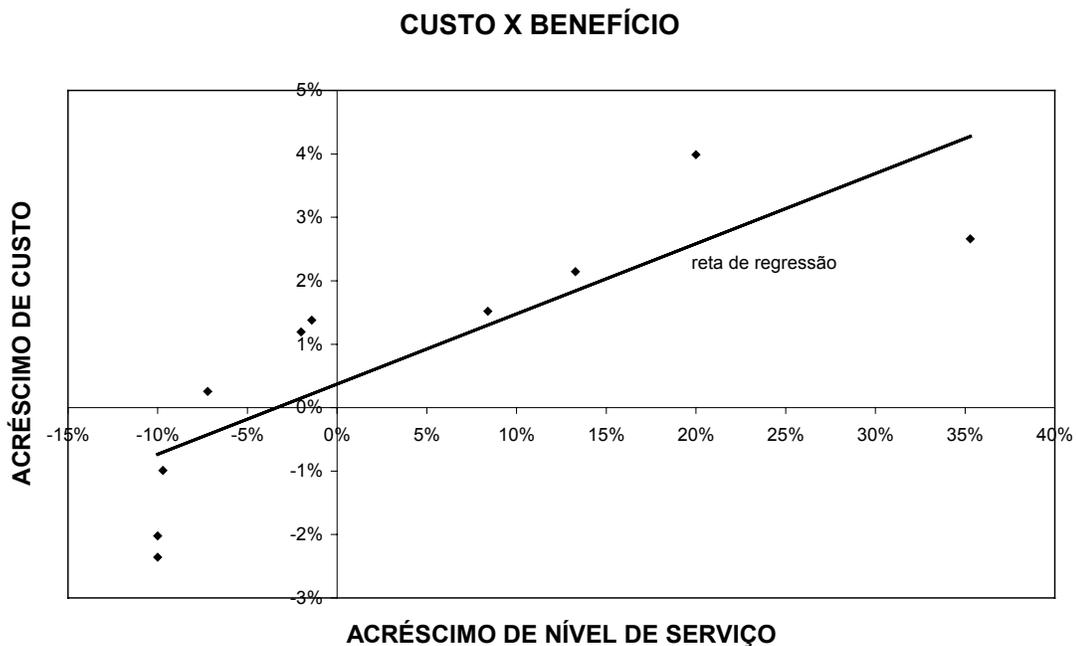


Figura 87 – Reta de regressão entre custo e benefício do sistema proposto

Como o valor $r=0,8265$ é significativo se testado pela estatística t de Student, ao nível de significância de 1% (STEVENSON, 1986, p. 379), conclui–se que, sendo adotado o sistema de gestão de estoques sugerido, aos acréscimos de custos corresponderiam acréscimos de benefícios, pelo menos no que diz respeito aos dez produtos considerados.

4.11 Recomendações para Implementação do Sistema de Gestão de Estoques

Decidida a adoção do sistema de gestão de estoques, resta constituir uma unidade de previsão de vendas e gestão de estoques. Khan (1999, p. 23) observa que empresas satisfeitas com seus processos de previsão de demanda reconhecem seu departamento de previsão como uma unidade independente. Tal unidade, para ter início, necessita uma

infraestrutura mínima para seu funcionamento. Essa infraestrutura é constituída de *software*, pessoal e treinamento.

O *software* de previsão de demanda adequado parece ser o Forecast Pro XE — *extended edition* — que, semelhante ao utilizado neste estudo de caso, possibilita um processamento em *batch* de 100 séries temporais por vez, agilizando assim a preparação das previsões. O preço deste *software*, informado pela *software house* — Business Forecast Systems, Inc., é de US\$ 995.

O pessoal pode ser constituído por um auxiliar de escritório supervisionado, por exemplo, pelo diretor responsável pela área de compras. Esse diretor, graças ao seu conhecimento do mercado, pode associar técnicas qualitativas às previsões estatísticas anteriormente sugeridas, superando assim o grande desafio de obter previsões acuradas (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998, p. 503).

O treinamento deverá ser provido por uma empresa de consultoria com experiência na área, uma vez que a *software house* tem sua sede no exterior.

Estando o novo sistema de gestão de estoques implantado, sugere-se sua operação simulada, concomitantemente com o sistema “intuitivo” em uso, até que suas vantagens infundam a indispensável confiança em todos os envolvidos na empresa.

5 COMENTÁRIOS FINAIS

5.1 Conclusões

Estoques são definidos como matérias-primas, produtos semi-acabados e produtos acabados que estão no sistema de produção/distribuição em qualquer instante de tempo (ELSAIED; BOUCHER, 1994, p. 63). Constituem, muitas vezes, o maior ativo circulante e a maior parcela do capital de giro requerido por uma empresa. Tal é a situação da empresa distribuidora atacadista do presente estudo de caso. Se os estoques são adequadamente geridos, as necessidades de capital de giro são reduzidas e o fluxo de caixa é incrementado, possibilitando a prosperidade e o crescimento da organização. Contrariamente, o descuido na gestão de estoques, muitas vezes, conduz a um fluxo de caixa declinante e a uma perda para os competidores no *market share*.

A implementação de um sistema de controle de estoques baseado em previsão de demanda é um importante passo na procura da melhor gestão de negócios para uma empresa em particular inserida em uma cadeia de suprimentos, rede complexa de facilidades e organizações com objetivos diversos e antagônicos.

A elaboração da presente dissertação de mestrado, cujo objetivo geral é o desenvolvimento de uma metodologia para implementação de um sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda, pelos contatos feitos tanto com fornecedores como com clientes da empresa que ilustrou o estudo de caso, ressaltou a quase total inexistência de sistemas estruturados de previsão de demanda e gestão de estoques, contrariamente ao que ocorre em países desenvolvidos, como é o caso dos Estados Unidos em que Mentzer e Kahn (1995, p. 468) constataram, por exemplo, que apenas 4,4% dos fabricantes de bens de consumo pesquisados não apresentavam nenhuma atividade de previsão. A metodologia foi proposta de forma ampla o suficiente para poder ser aplicada genericamente. As especificidades foram consideradas no estudo de caso em que foi aplicada.

Quanto aos objetivos específicos do presente trabalho, apresentados na seção 1.2, cabem as seguintes observações.

Na revisão bibliográfica procurou-se abordar os modelos de previsão de demanda de forma simplificada, com vistas à sua aplicação prática no estudo de caso. Assim, os modelos de Box-Jenkins, de embasamento estatístico e matemático complexo, foram apresentados de forma gradual, com aplicações em séries estacionárias, em séries com

tendência não sazonal e em séries com tendência e sazonalidade. O mesmo critério de simplicidade, visando a aplicação prática, conduziu a abordagem aos sistemas de gestão de estoques.

No estudo de caso, a constatação que 88% dos valores de demanda posteriormente realizada incidiram no interior do intervalo de confiança de 95% predito com o ajuste de modelos de suavização exponencial e de Box–Jenkins, validou os procedimentos de previsão de demanda desenvolvidos. Complementarmente, a análise custo–benefício indicou haver uma correlação significativa entre os acréscimos de custos e os acréscimos de benefícios com a adoção do sistema de gestão de estoques sugerido, indicando sua conveniência. A formulação de recomendações de ordem prática, adequadas à implementação do sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda em uma empresa distribuidora atacadista de papel, concluiu o atendimento aos objetivos específicos.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

A empresa do presente estudo de caso encontra-se na fase de implantação de um novo sistema de informações gerenciais — SIG. Um possível desdobramento do presente trabalho seria a verificação da conveniência da adoção, para alguns dos produtos por ela comercializados, de um sistema de revisão contínua ou de um sistema híbrido de controle de estoques compatíveis com o grau de sofisticação mais elevado do novo SIG.

A diminuição da demanda provocada por uma conjuntura setorial claramente recessiva nos meses sob observação no estudo de caso sugere como outro possível desdobramento deste trabalho, por ocasião da retomada do crescimento da demanda, a análise comparativa da necessidade de investimentos em ativos fixos — basicamente na ampliação de áreas de armazenagem do estabelecimento distribuidor–atacadista — com medidas gerenciais baseadas em curvas de trocas que protelem a necessidade de ampliação das atuais instalações de armazenagem, tal como sugerem Elsayed e Boucher (1994, p 123).

Outra sugestão para desdobramento deste trabalho seria a integração de módulos de previsão de demanda e gestão de estoques a sistemas de informações gerenciais que não disponham deles, possibilitando assim o desenvolvimento de previsões e sua aplicação na gestão de estoques em janelas de tempo, cada vez mais estreitas, que a gerência dispõe para fazê-lo (LAWLESS, 1997, p. 3).

REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 532p.
- BENBASAT, I.; ZMUD, R. W. Empirical Research in Information Systems: the practice of relevance. **MIS Quarterly**, Minneapolis, v.23, n.1, p.3–16, mar. 1999.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time Series Analysis**: forecasting and control. 3.ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice–Hall, 1994. 598p.
- BUSINESS FORECAST SYSTEM, INC. **Forecast Pro for Windows**. Belmont, MA, 1999. 207p.
- CHASE, C. W. What You Need to Know When Building a Sales Forecasting System. **The journal of Business Forecasting Methods & Systems**, v.15, n.3, p.2 e 23, fall 1996.
- CROOM, S.; ROMANO, P.; GIANNAKIS, M. Supply Chain Management: an analytical framework for critical literature review. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v.6, n.1, p.67–83, mar. 2000.
- ELSAYED, E. A.; BOUCHER, T. O. **Analysis and Control of Production Systems**. 2.ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice–Hall, 1994. 450p.
- FOGLIATTO, F. S. **Coleta e Distribuição**: material de suporte. Porto Alegre: PPGEP, 2001. 172p.
- HYNDMAN, R.; AKRAN, M. **Time Series Data Library**. Disponível em <<http://www-personal.buseco.monash.edu.au/~hyndman/TSDL/>>. Acesso em 18 maio 2002.
- IBGE. **Unidades Territoriais do Nível Mesoregião Geográfica**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 4 novembro 2002.
- JOHNSON, L. A.; MONTGOMERY, D. C. **Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control**. 1.ed. New York: John Wiley, 1974. 525p.
- KAHN, K. B. Benchmarking Sales Forecasting Performance Measures. **The journal of Business Forecasting Methods & Systems**, v.17, n.4, p.19–23, winter 1998/1999.
- KOEHLER, A. B.; SNYDER, R. D.; ORD, J. K. Forecasting Models and Prediction Intervals for the Multiplicative Holt–Winters Method. **International Journal of Forecasting**, v.17, n.2, p.269–286, apr./jun. 2001.
- KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. **Operations Management**: strategy and analysis. 6.ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice–Hall, 2002. 908p.
- KRIGER, J. S. **Implementação e Gestão de Custos em Empresas de Distribuição**. 2002. 153f. Dissertação submetida ao Programa de Pós–Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- LAWLESS, M. J. Ten prescriptions for forecasting success. **The Journal of Business Forecasting Methods & Systems**, v.16, n.1, p.3–5, spring 1997.
- MAKRIDAKIS, S.; WHELLRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting**: methods and applications. 3.ed. New York: John Wiley, 1998, 642p.
- MEADE, N. Evidence for the Selection of Forecasting Methods. **Journal of Forecasting**, v.19, n.6, p.515–535, nov. 2000.

- MENTZER, J. T.; KAHN, K. B. Forecasting Technique Familiarity, Satisfaction, Usage, and Application. **Journal of Forecasting**, Chichester, v.14, n.5, p.465–476, set. 1995.
- MEYER, P. L. **Introductory Probability and Statistical Applications**. 1.ed. New York: Addison–Wesley, 1966, 349p.
- MICROSOFT PRESS. **Dicionário de Informática**. 3.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998. 814p.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Anuário Estatístico 2001**. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/Outras_Estatisticas/anuarioEstatistico.html>. Acesso em 4 out 2002.
- MONTGOMERY, D. C.; JOHNSON, L. A.; GARDINER, J. S. **Forecasting and Time Series Analysis**. 2.ed. New York: McGraw–Hill, 1990, 381p.
- NCSS STATISTICAL SOFTWARE. **Ncss 6.0 Help System**. Kaysville, UT, 1996. 6 disquetes 3½ HD.
- NCSS STATISTICAL SOFTWARE. **Ncss 6.0 Data**. Kaysville, UT, 1996. 6 disquetes 3½ HD.
- NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 1.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 409p.
- PELLEGRINI, F. R. **Metodologia para Implementação de Sistemas de Previsão de Demanda**. 2000. 146f. Dissertação submetida ao Programa de Pós–Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. S. Estudo Comparativo Entre os Modelos de Winters e de Box–Jenkins Para Previsão de Demanda Sazonal. **Revista Produto & Produção**, Porto Alegre, v.14, n. especial, p.72–85, abr. 2000.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3.ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.121p. Disponível em <<http://www.stela.ufsc.br/ppgep>>. Acesso em 9 out 2002.
- SIMCHI-LEVI, D; KAMINSKY, P; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and Managing Supply Chain**. 1.ed. Boston: McGraw-Hill, 2000. 321p.
- STEVENSON, W. J. **Estatística Aplicada à Administração**. 1.ed. São Paulo: Harbra, 1986. 506p.
- TAPIERO, C. S. Ex-post Inventory Control. **International Journal of Production Research**, v.38, n.6, p.1397–1406, 2000.
- ZHOU, W. Integration of Different Forecasting Models. **The Journal of Business Forecasting Methods & Systems**, v.18, n.3, p.26–29, fall 1999.

ANEXO

Nº	Série (refer.)	Comprimento (nº elem.)	Padrões observados		
			Horizontal	Tendência	Sazonalidade
1	02_033	82			
2	02_029	82			
3	02_035	82			
4	02_344	66			
5	02_454	52			
6	02_026	82			
7	02_019	82			
8	02_022	82			
9	02_505	12			
10	02_509	11			
11	02_024	82			
12	02_189	82			
13	06_191	20			
14	02_034	82			
15	02_508	43			
16	02_193	30			
17	06_192	20			
18	02_006	82			
19	02_121	82			
20	02_507	11			
21	02_020	82			
22	02_339	61			
23	02_678	14			
24	06_033	78			
25	02_249	80			
26	02_008	82			
27	02_018	82			
28	06_198	20			
29	06_196	20			
30	06_194	14			
31	02_120	82			
32	02_123	82			
33	02_028	82			
34	02_122	82			
35	02_488	49			
36	02_487	49			
37	01_021	82			
38	06_218	14			
39	06_347	4			
40	02_698	11			
41	02_027	82			
42	02_207	82			
43	02_680	14			
44	02_489	49			
45	grup_AB	82			
46	grup_AC	82			
47	grupo_B	82			

Figura 88 – Padrões observados nas séries temporais originais

Nº	Série (refer.)	Comprimento (nº de elem.)	Padrões observados		
			Horizontal	Tendência	Sazonalidade
4	02_344	33			
6	02_026	41			
7	02_019	41			
11	02_024	41			
13	06_191	20			
14	02_034	41			
18	02_006	41			
19	02_121	41			
20	02_507	5			
21	02_020	41			
22	02_339	31			
23	02_678	7			
25	02_249	40			
26	02_008	41			
27	02_018	41			
31	02_120	41			
32	02_123	41			
34	02_122	41			
35	02_488	24			
36	02_487	24			
41	02_027	41			
43	02_680	6			
44	02_489	24			

Figura 89 – Padrões observados nos dados agregados bimestralmente

Nº	Série (refer.)	Comprimento (nº de elem.)	Padrões observados		
			Horizontal	Tendência	Sazonalidade
4	02_344	22			
6	02_026	27			
7	02_019	27			
11	02_024	27			
13	06_191	6			
14	02_034	27			
18	02_006	27			
19	02_121	27			
20	02_507	3			
21	02_020	27			
22	02_339	20			
23	02_678	4			
25	02_249	27			
26	02_008	27			
27	02_018	27			
31	02_120	27			
32	02_123	27			
34	02_122	27			
35	02_488	16			
36	02_487	16			
41	02_027	27			
43	02_680	4			
44	02_489	16			

Figura 90 – Padrões observados nos dados agregados trimestralmente

Nº	Série (refer.)	Padrões observados		
		Horizontal	Tendência	Sazonalidade
1	02_033			
2	02_029			
3	02_035			
4	02_344			
5	02_454			
6	02_026			
7	02_019			
8	02_022			
11	02_024			
12	02_189			
14	02_034			
15	02_508			
16	02_193			
18	02_006			
19	02_121			
21	02_020			
22	02_339			
24	06_033			
25	02_249			
26	02_008			
27	02_018			
31	02_120			
32	02_123			
33	02_028			
34	02_122			
35	02_488			
36	02_487			
37	01_021			
41	02_027			
42	02_207			
44	02_489			
45	grup_AB			
46	grup_AC			
47	grupo_B			

Figura 91 – Padrões observados nas séries truncadas

Refer.		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	19/11	20/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11
02.033	Q	12.476,2																
	Demanda	185,5				860,0	665,0	1.655,5	819,5	827,5			857,0	235,5	275,0	375,5	780,0	
	NE	19.093,7	19.093,7	19.093,7	19.093,7	18.233,7	17.568,7	15.913,2	15.093,7	14.266,2	14.266,2	14.266,2	13.409,2	13.173,7	12.898,7	12.523,2	11.743,2	11.743,2
02.029	Q	22.758,1																
	Demanda	510,0				1.770,0	385,0	560,0	475,0	105,0			140,0	350,0	355,0	150,0	490,0	
	NE	22.293,1	22.293,1	22.293,1	22.293,1	20.523,1	20.138,1	19.578,1	19.103,1	18.998,1	18.998,1	18.998,1	18.858,1	18.508,1	18.153,1	18.003,1	17.513,1	17.513,1
02.035	Q	4.616,6																
	Demanda	45,0				95,0	235,0	156,0	195,0	182,0			135,0	185,0	250,0	70,0	135,0	
	NE	8.245,6	8.245,6	8.245,6	8.245,6	8.150,6	7.915,6	7.759,6	7.564,6	7.382,6	7.382,6	7.382,6	7.247,6	7.062,6	6.812,6	6.742,6	6.607,6	6.607,6
02.344	Q	1.029,5																
	Demanda	5,0				26,0	32,0	20,0	25,0	5,0			16,0	35,0	21,0	24,0	61,0	
	NE	1.426,5	1.426,5	1.426,5	1.426,5	1.400,5	1.368,5	1.348,5	1.323,5	1.318,5	1.318,5	1.318,5	1.302,5	1.267,5	1.246,5	1.222,5	1.161,5	1.161,5
02.454	Q	7.226,5																
	Demanda	265,0				145,0	60,0	45,0	75,0	70,5			155,0	25,0	110,0	55,0	45,0	
	NE	9.722,0	9.722,0	9.722,0	9.722,0	9.577,0	9.517,0	9.472,0	9.397,0	9.326,5	9.326,5	9.326,5	9.171,5	9.146,5	9.036,5	8.981,5	8.936,5	8.936,5
02.026	Q	1.352,0																
	Demanda	21,0				13,0	27,0	18,0	110,0	74,0			17,0	28,0	66,0	104,0	75,0	
	NE	1.331,0	1.331,0	1.331,0	1.331,0	1.318,0	1.291,0	1.273,0	1.163,0	1.089,0	1.089,0	1.089,0	1.072,0	1.044,0	978,0	874,0	799,0	799,0
02.019	Q	615,8																
	Demanda	3,0				56,0	37,0	38,0	54,0	15,0			5,0	28,0	13,0	22,0	64,0	
	NE	1.039,8	1.039,8	1.039,8	1.039,8	983,8	946,8	908,8	854,8	839,8	839,8	839,8	834,8	806,8	793,8	771,8	707,8	707,8
02.022	Q	1.678,4																
	Demanda					20,0	29,0	37,0	57,0	10,0			3,0	14,0	49,0	87,0	76,0	
	NE	1.826,4	1.826,4	1.826,4	1.826,4	1.806,4	1.777,4	1.740,4	1.683,4	1.673,4	1.673,4	1.673,4	1.670,4	1.656,4	1.607,4	1.520,4	1.444,4	1.444,4
02.505	Q	954,8																704,0
	Demanda	73,0				41,0	5,0	71,0	64,0	52,0			30,0	97,0	85,0	54,0	87,0	
	NE	1.520,8	1.520,8	1.520,8	1.520,8	1.479,8	1.474,8	1.403,8	1.339,8	1.287,8	1.287,8	1.287,8	1.257,8	1.160,8	1.075,8	1.021,8	1.638,8	1.638,8
02.509	Q	2.529,2																982,0
	Demanda	20,0				113,0	67,0	148,0	26,0	42,0			9,0	49,0	350,0	142,0	151,0	
	NE	2.121,2	2.121,2	2.121,2	2.121,2	2.008,2	1.941,2	1.793,2	1.767,2	1.725,2	1.725,2	1.725,2	1.716,2	1.667,2	1.317,2	1.175,2	2.006,2	2.006,2

Figura 92 – Folha da planilha simul_estoques.xls relativa à segunda quinzena de novembro de 2002

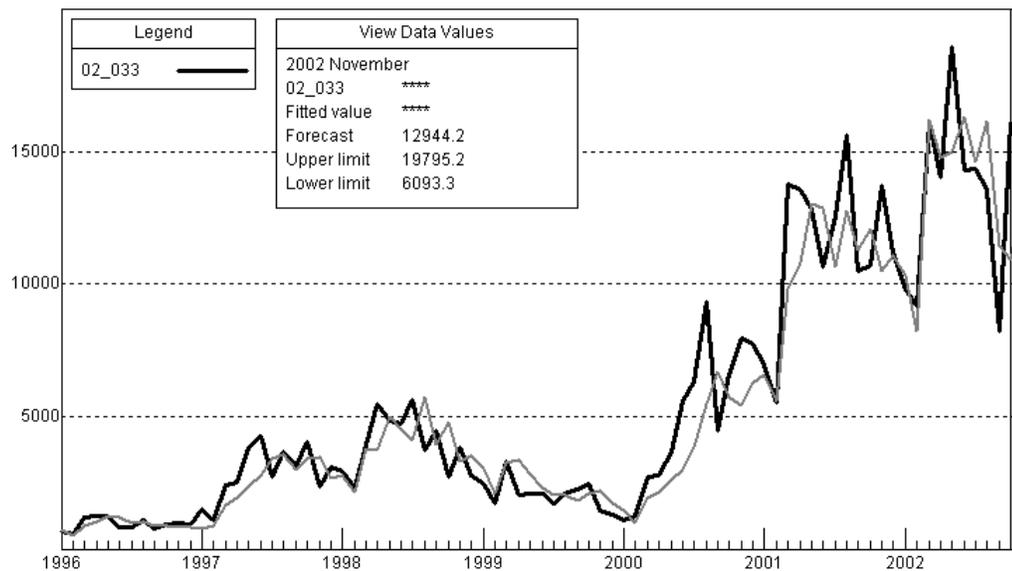


Figura 93 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para novembro de 2002

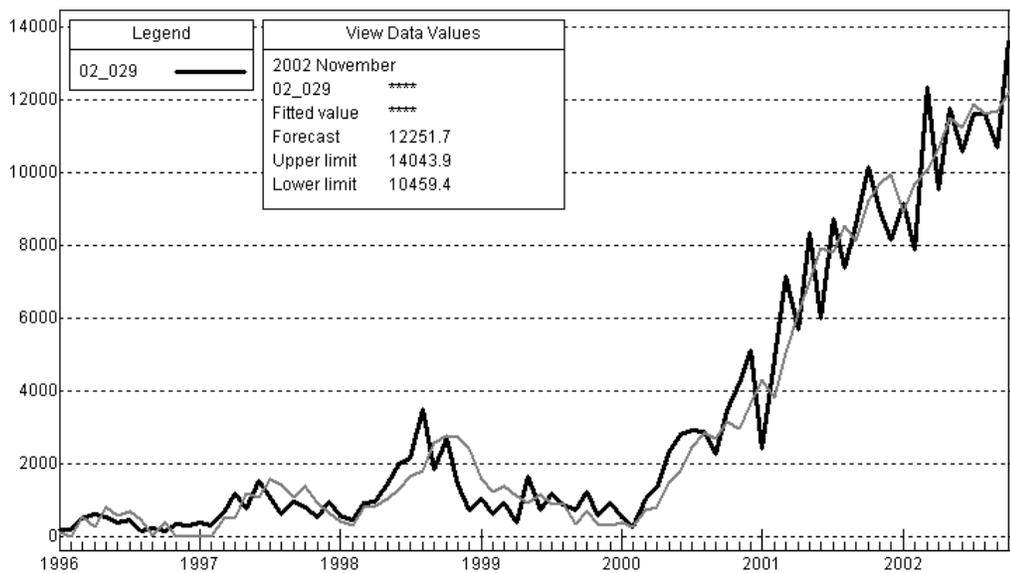


Figura 94 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para novembro de 2002

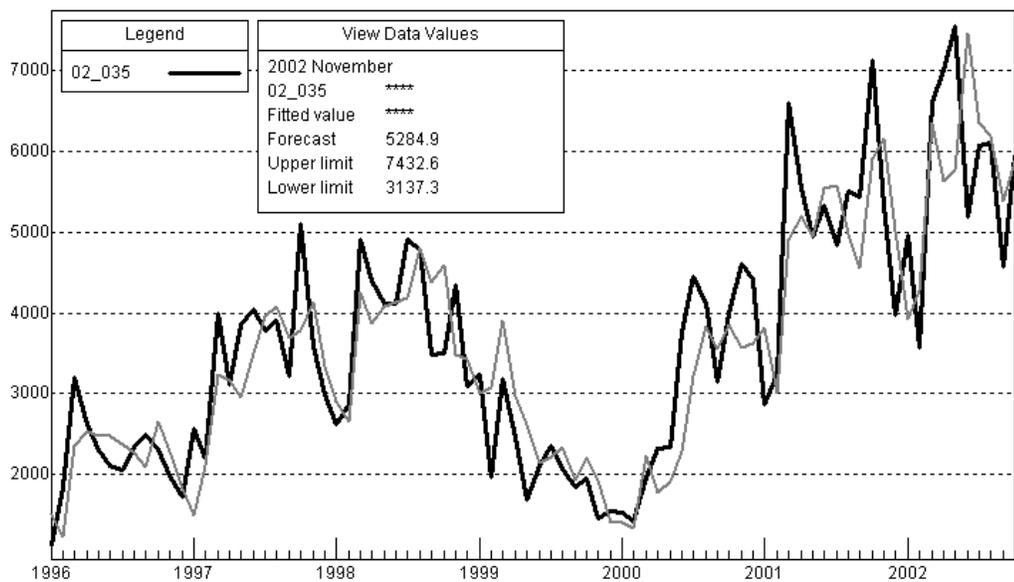


Figura 95 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para novembro de 2002

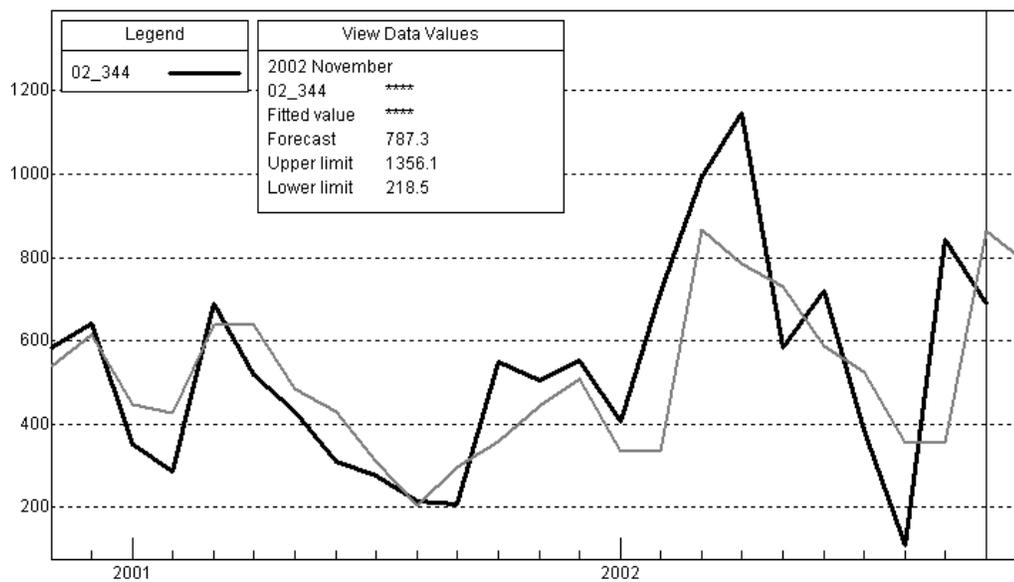


Figura 96 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para novembro de 2002

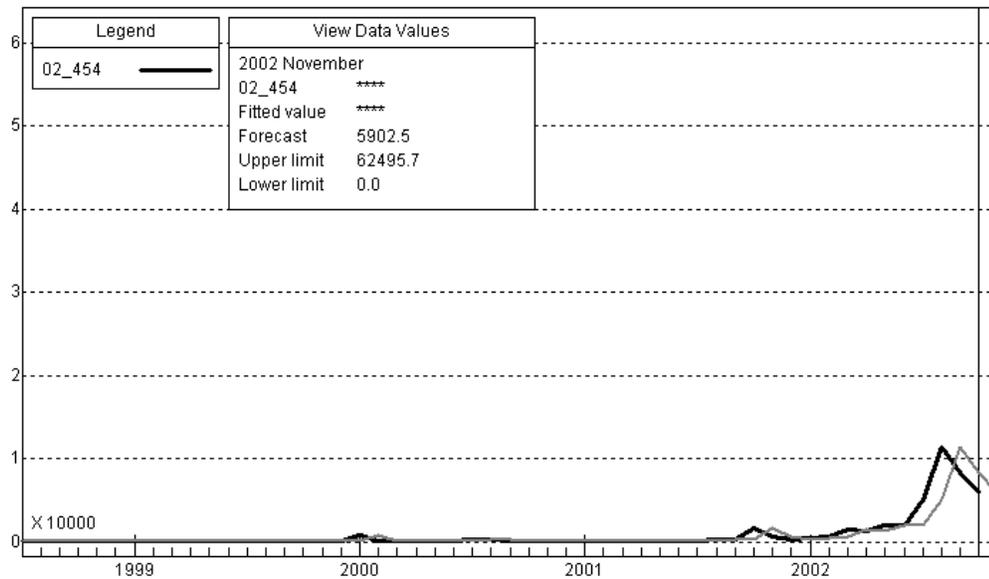


Figura 97 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para novembro de 2002

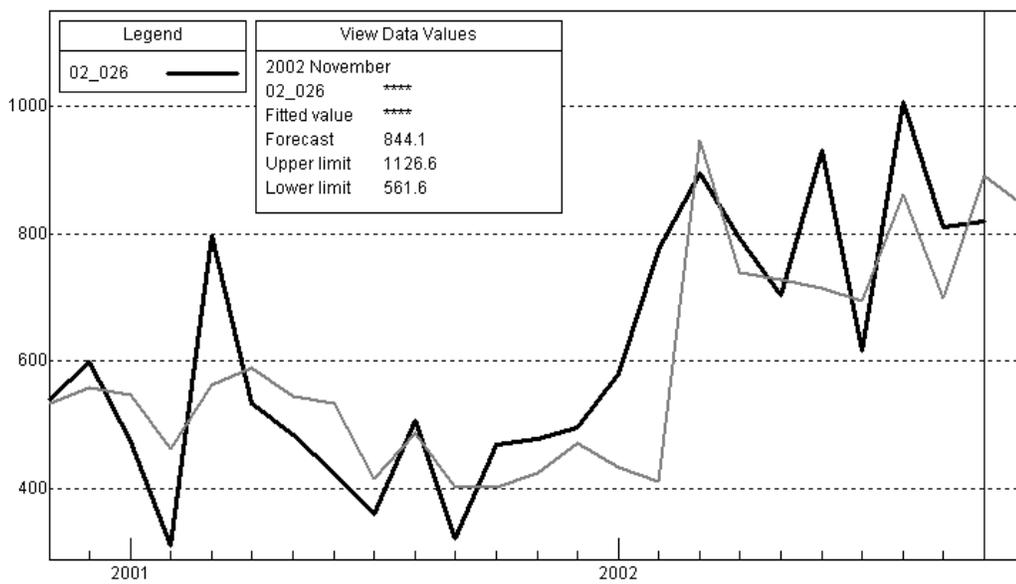


Figura 98 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para novembro de 2002

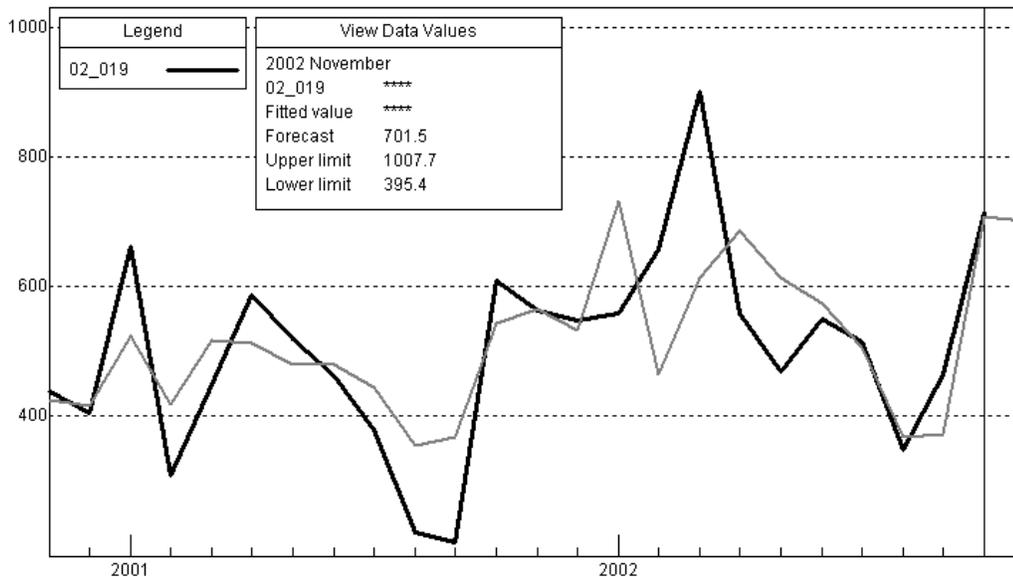


Figura 99 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para novembro de 2002

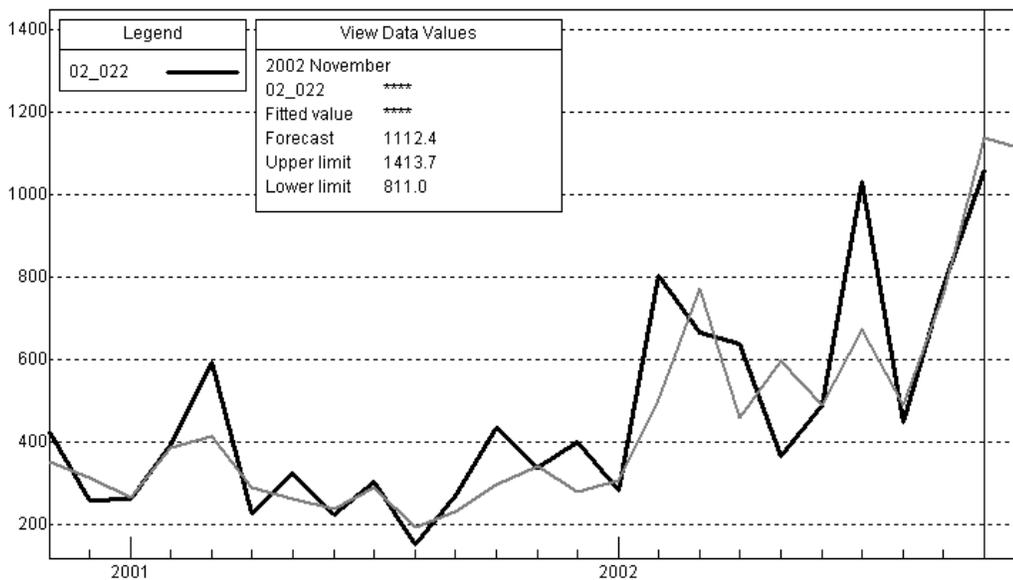


Figura 100 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para novembro de 2002

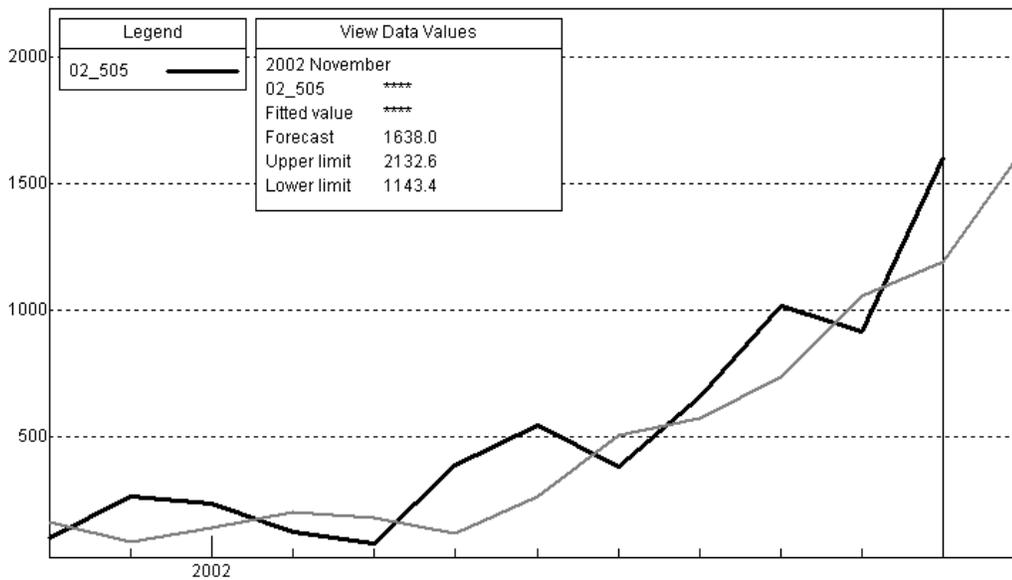


Figura 101 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para novembro de 2002

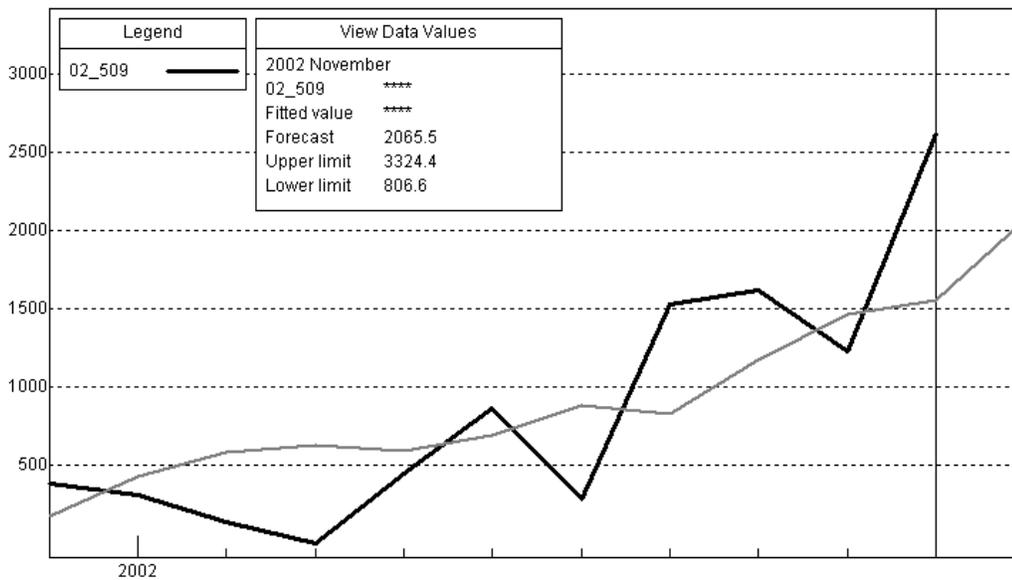


Figura 102 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para novembro de 2002

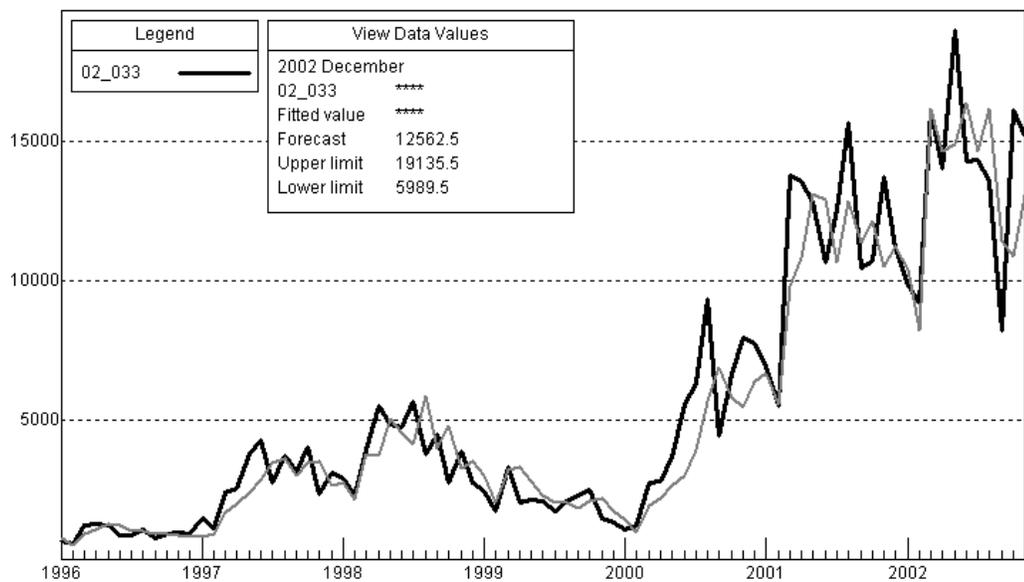


Figura 103 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para dezembro de 2002

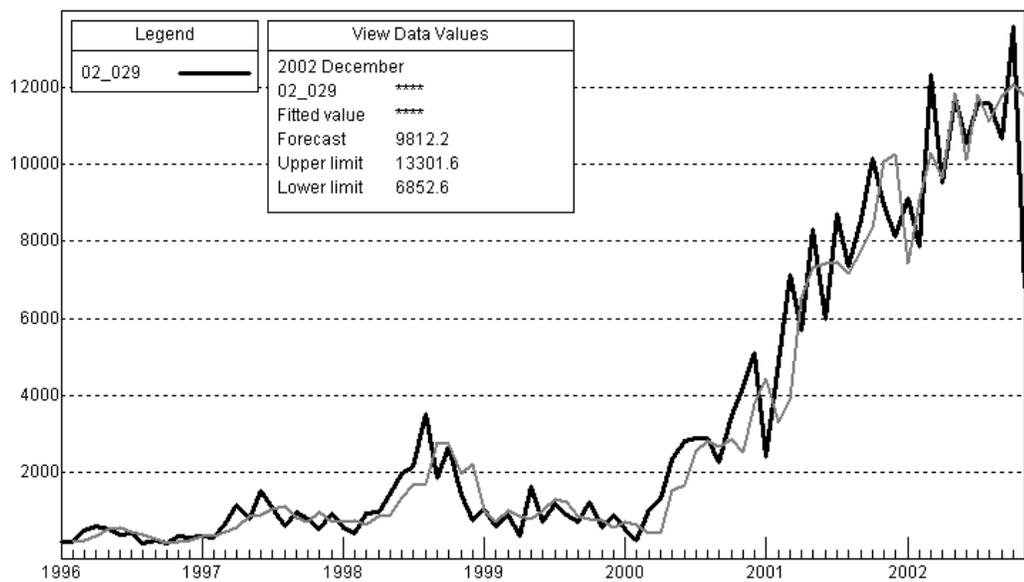


Figura 104 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para dezembro de 2002

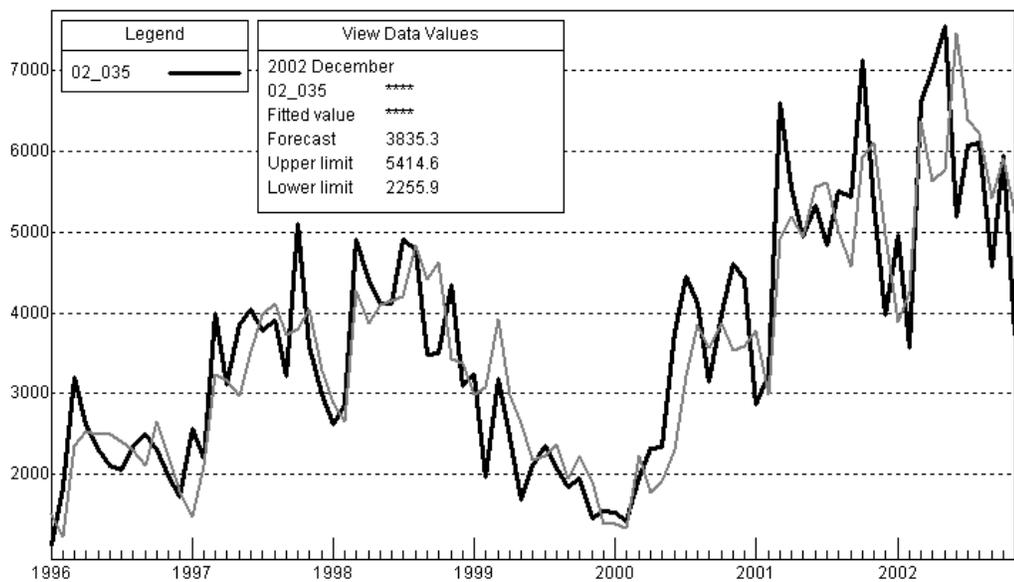


Figura 105 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para dezembro de 2002

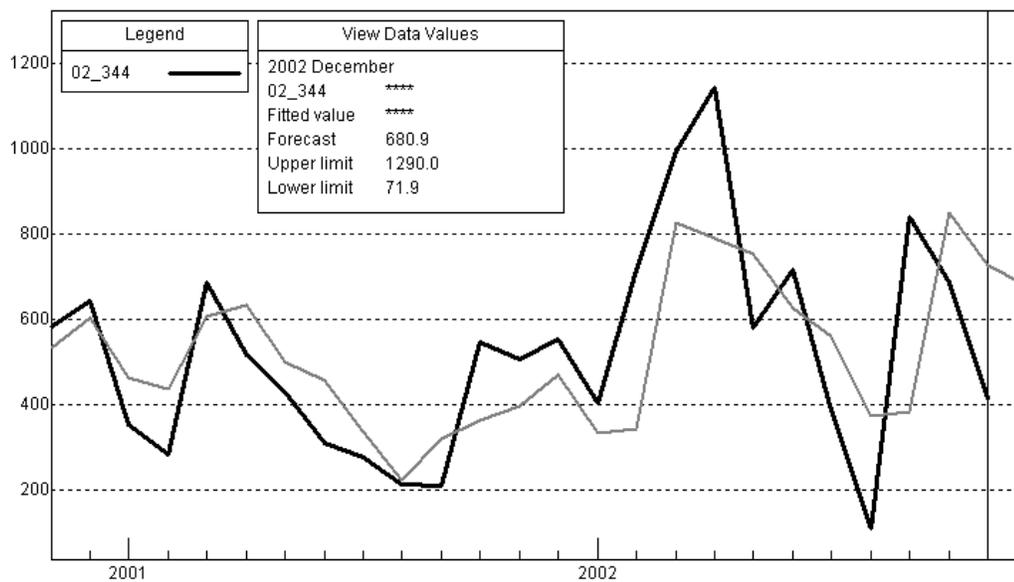


Figura 106 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para dezembro de 2002

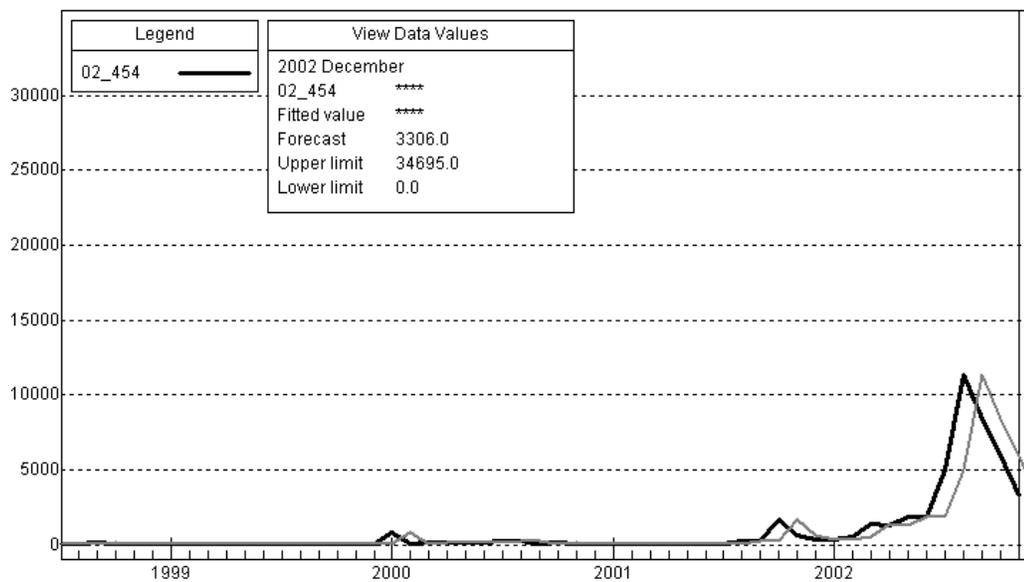


Figura 107 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para dezembro de 2002

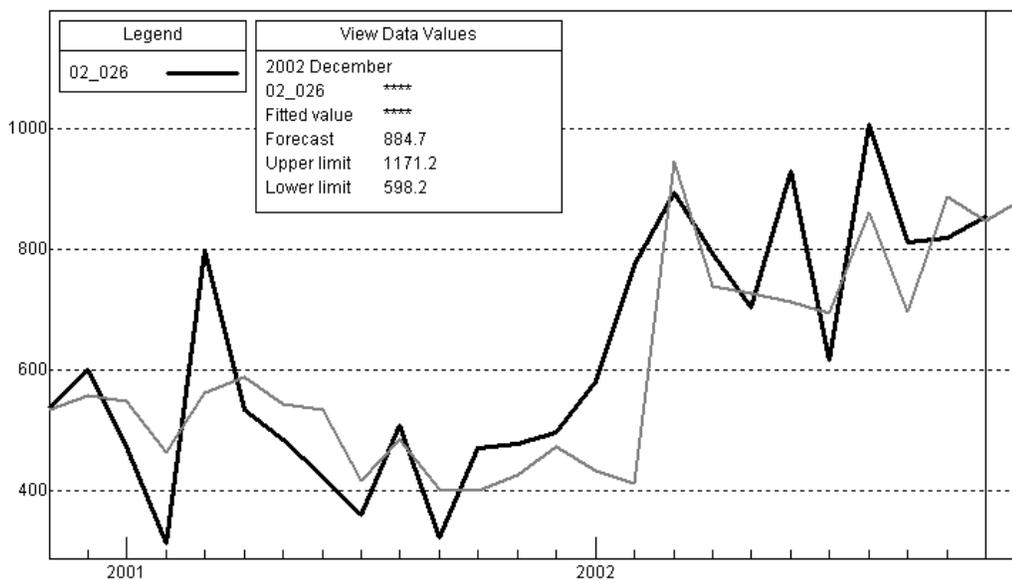


Figura 108 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para dezembro de 2002

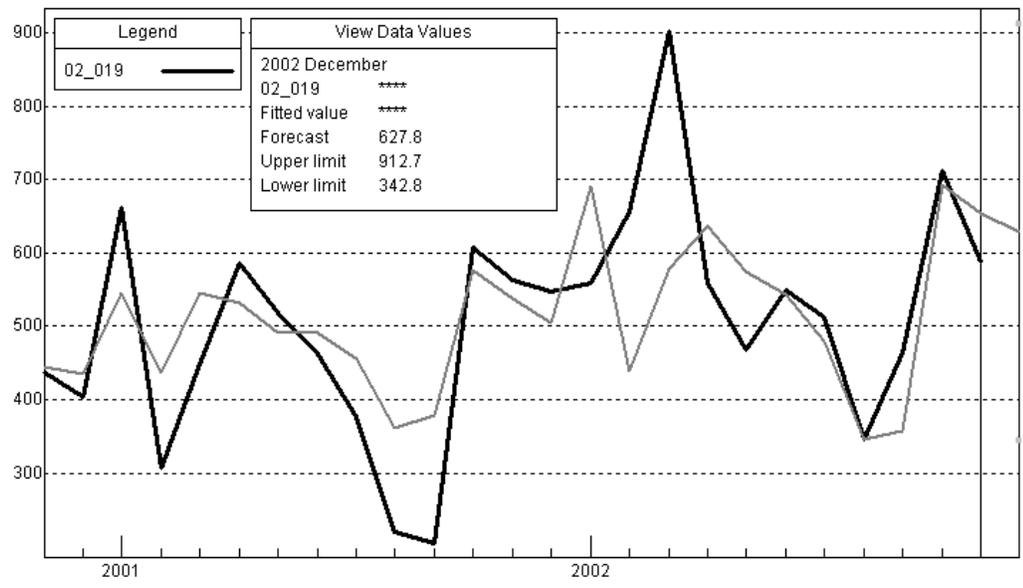


Figura 109 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para dezembro de 2002

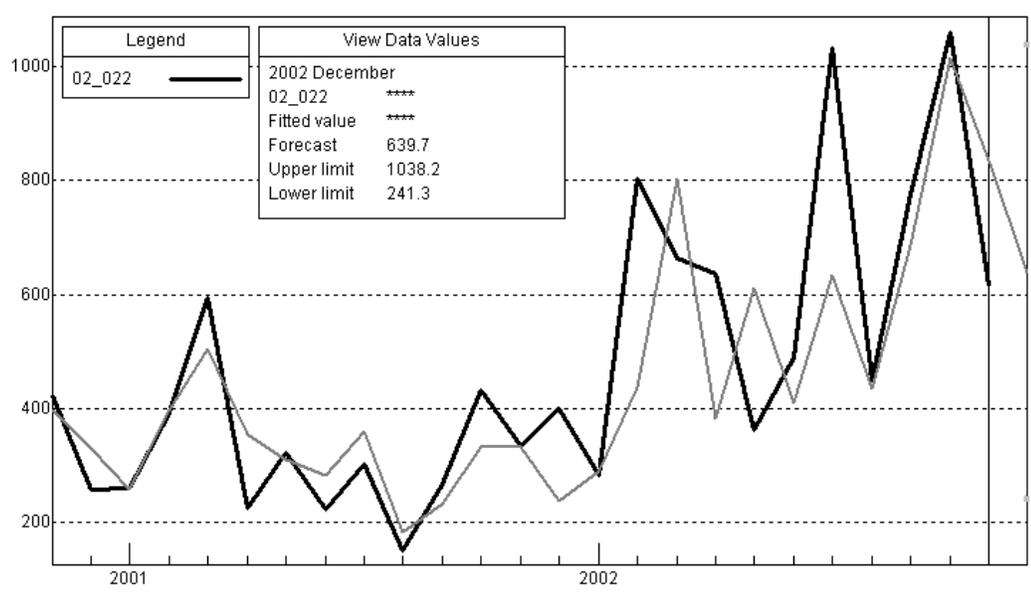


Figura 110 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para dezembro de 2002

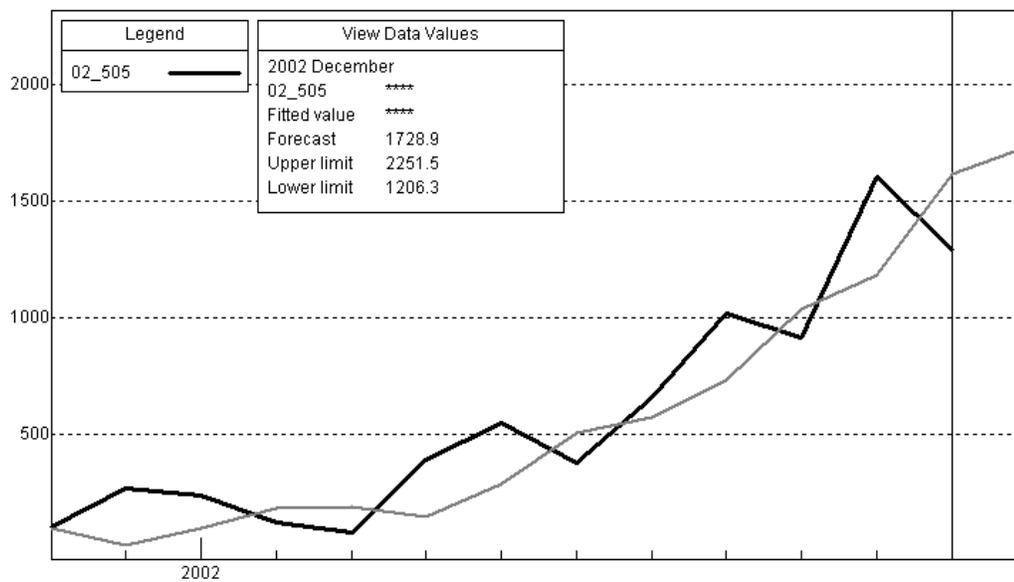


Figura 111 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para dezembro de 2002

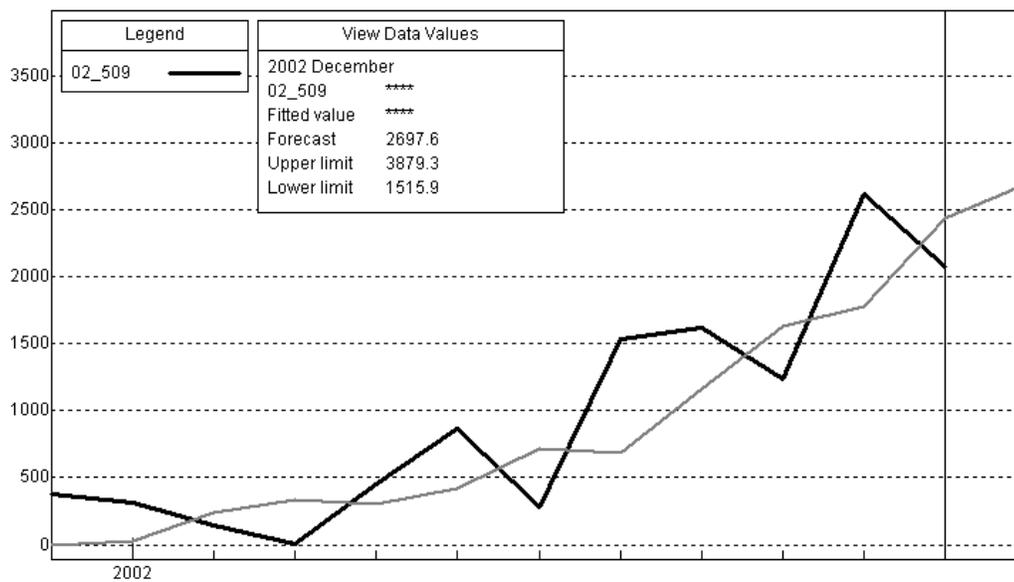


Figura 112 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para dezembro de 2002

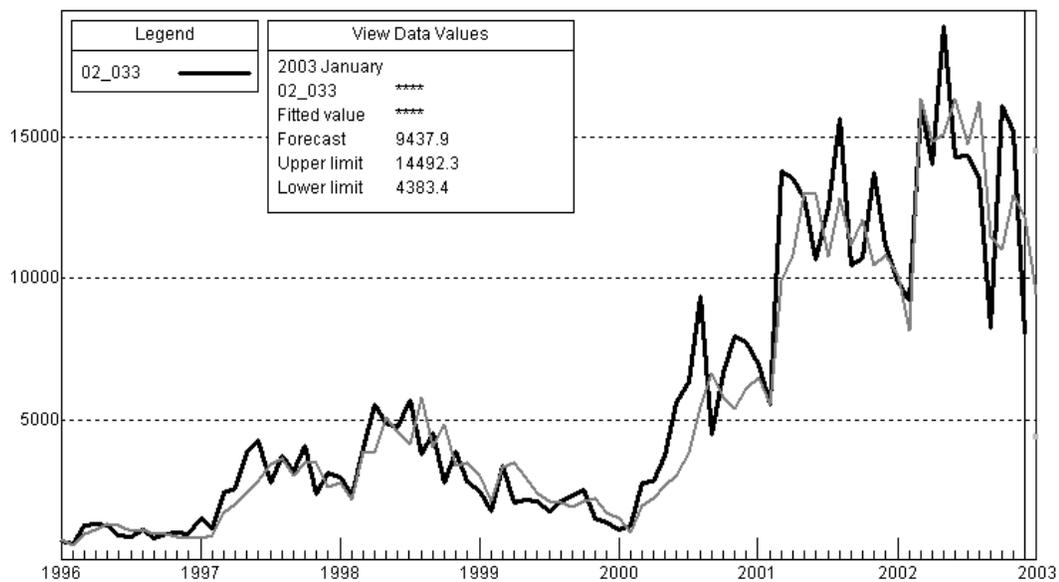


Figura 113 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para janeiro de 2003

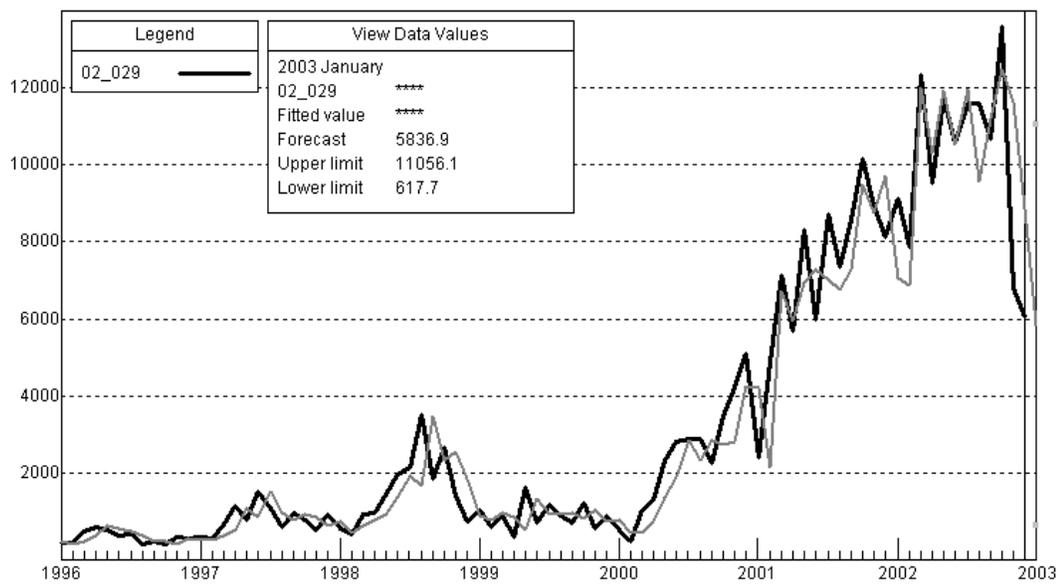


Figura 114 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para janeiro de 2003

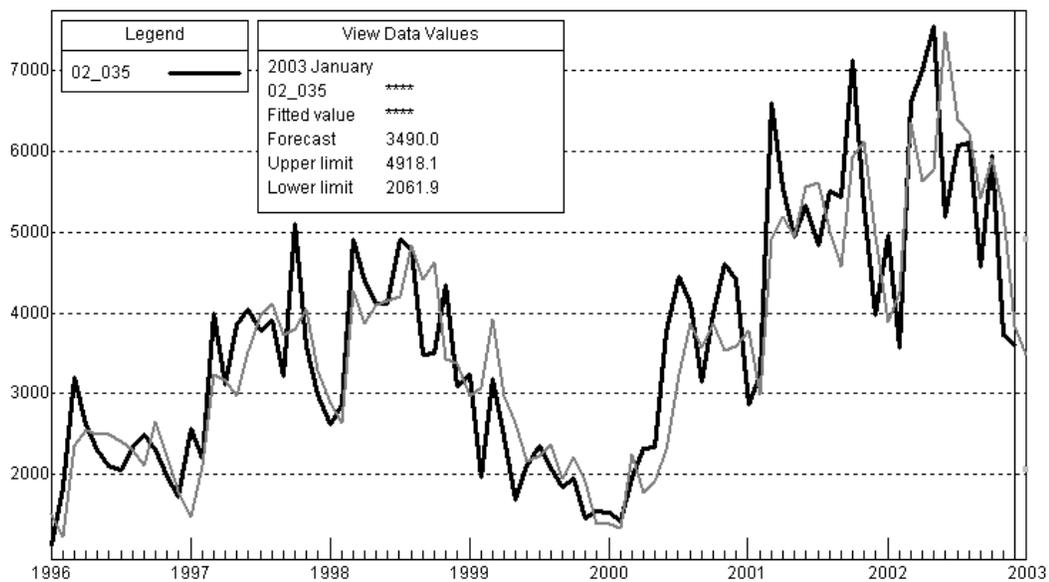


Figura 115 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para janeiro de 2003

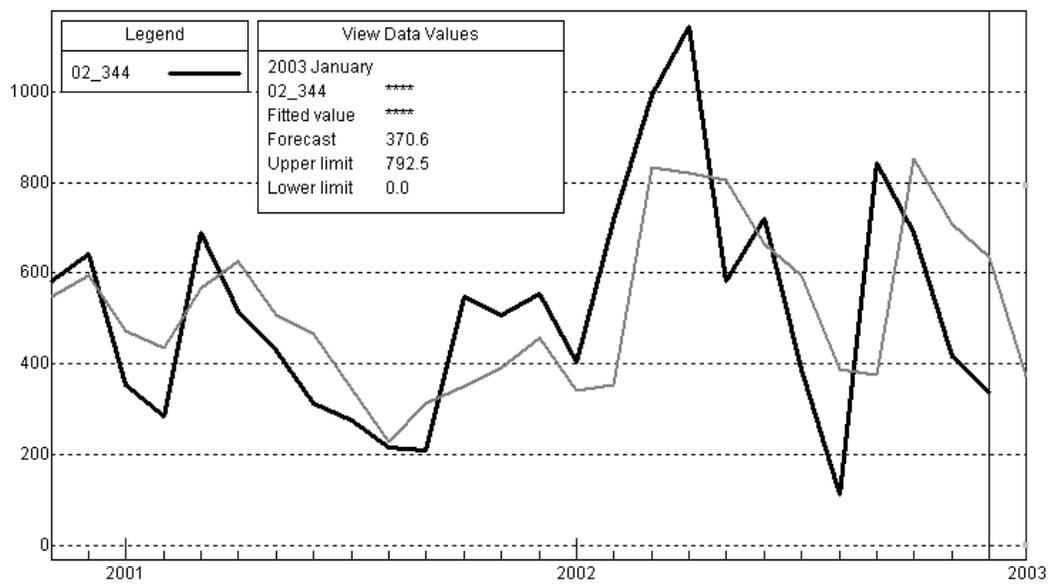


Figura 116 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para janeiro de 2003

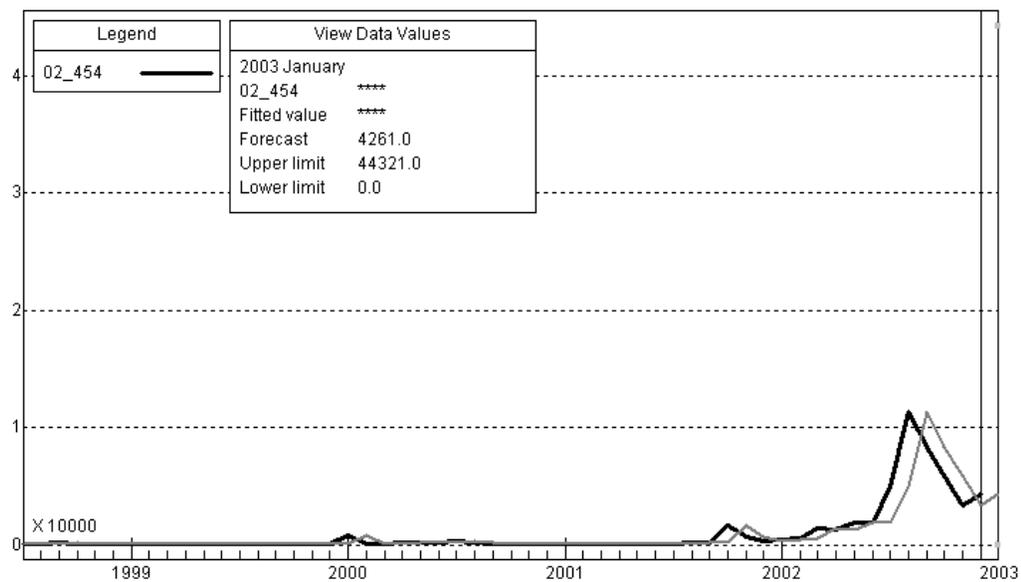


Figura 117 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para janeiro de 2003

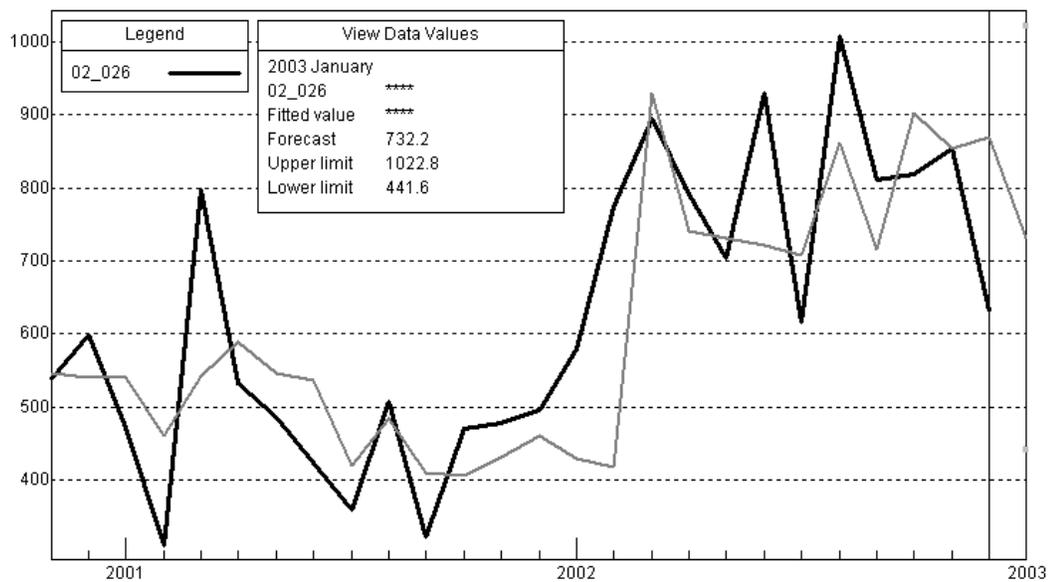


Figura 118 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para janeiro de 2003

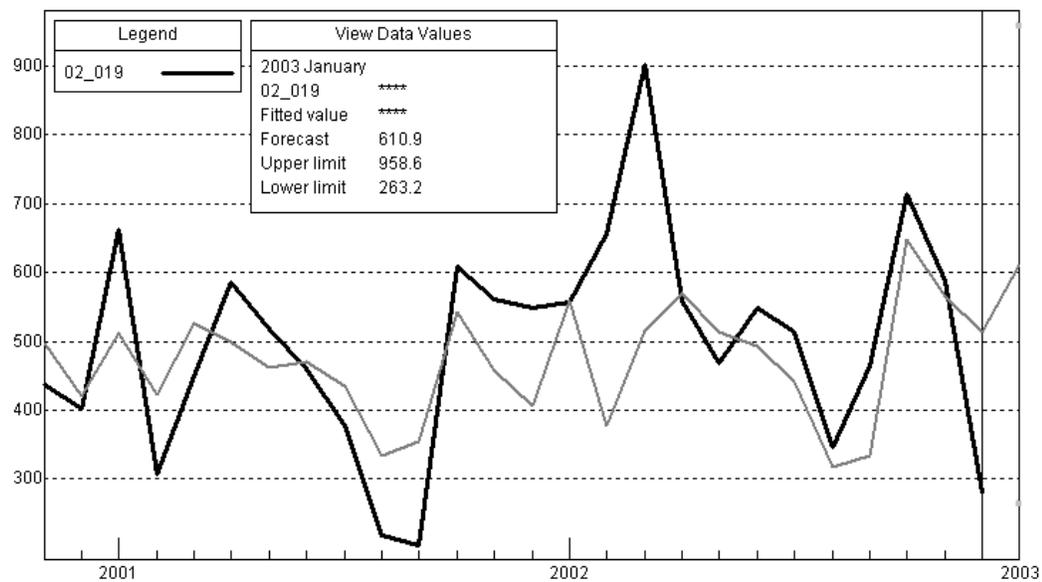


Figura 119 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para janeiro de 2003

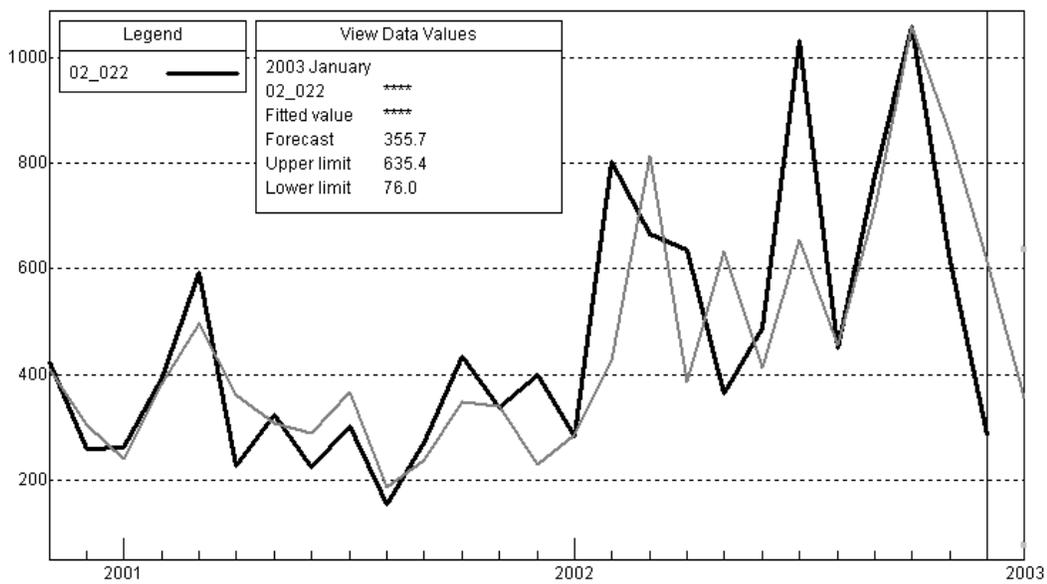


Figura 120 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para janeiro de 2003

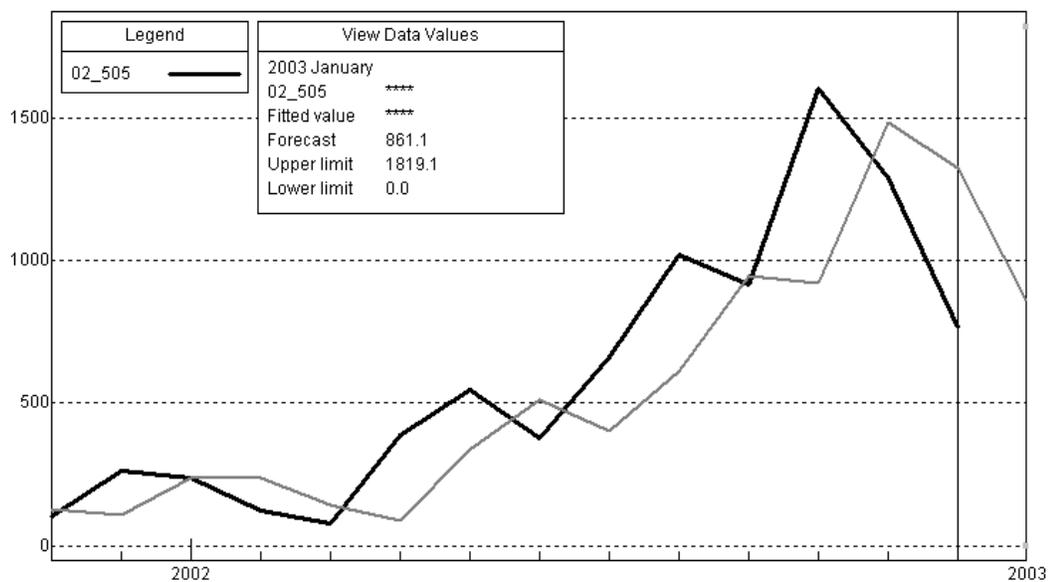


Figura 121 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para janeiro de 2003

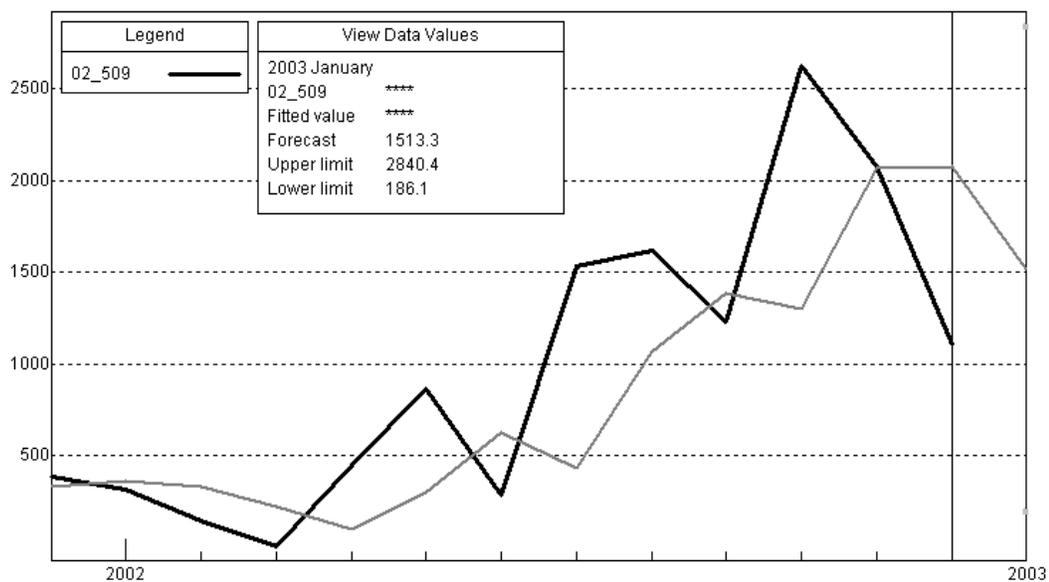


Figura 122 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para janeiro de 2003

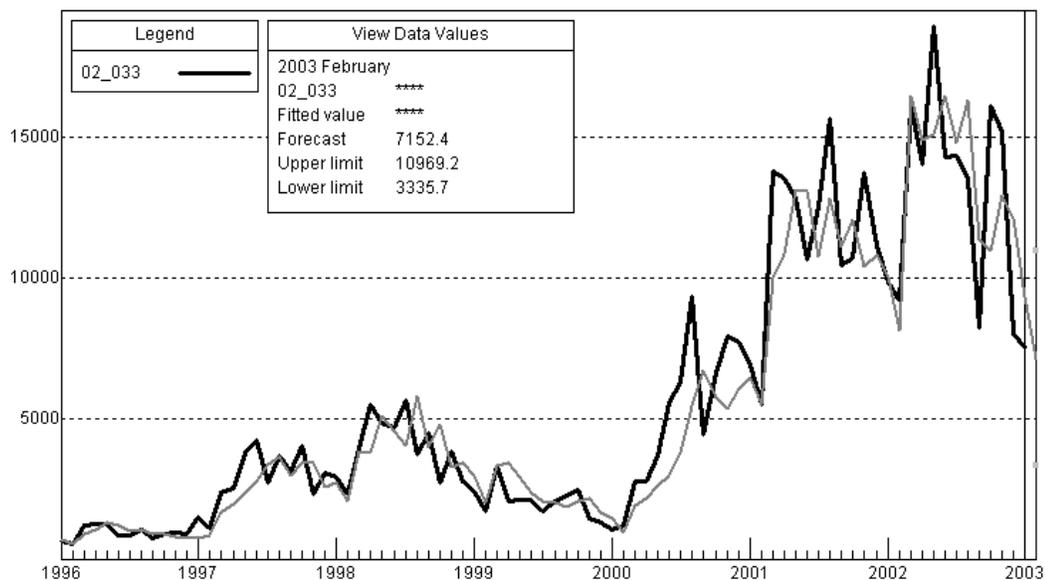


Figura 123 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para fevereiro de 2003

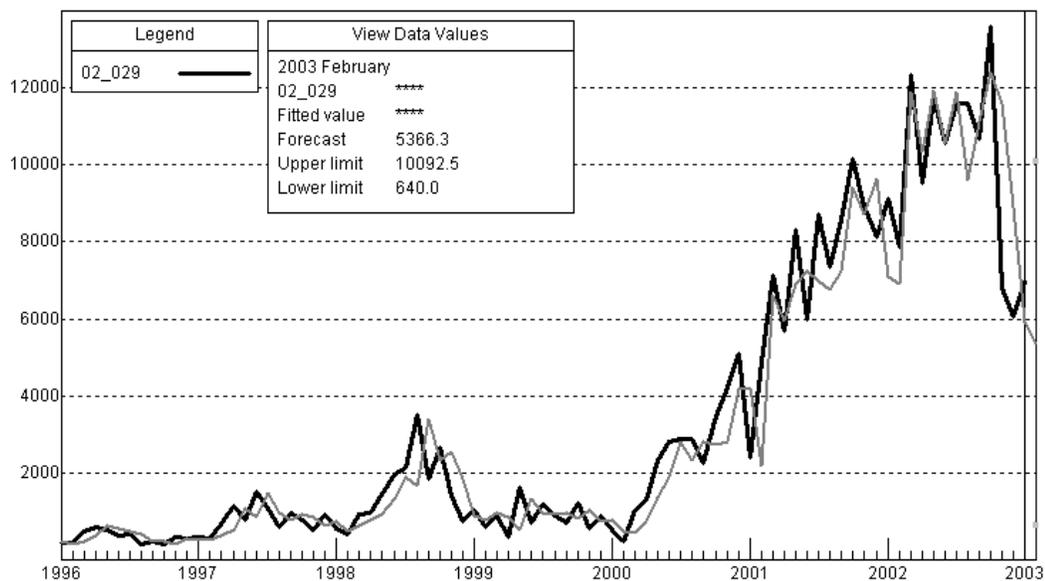


Figura 124 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para fevereiro de 2003

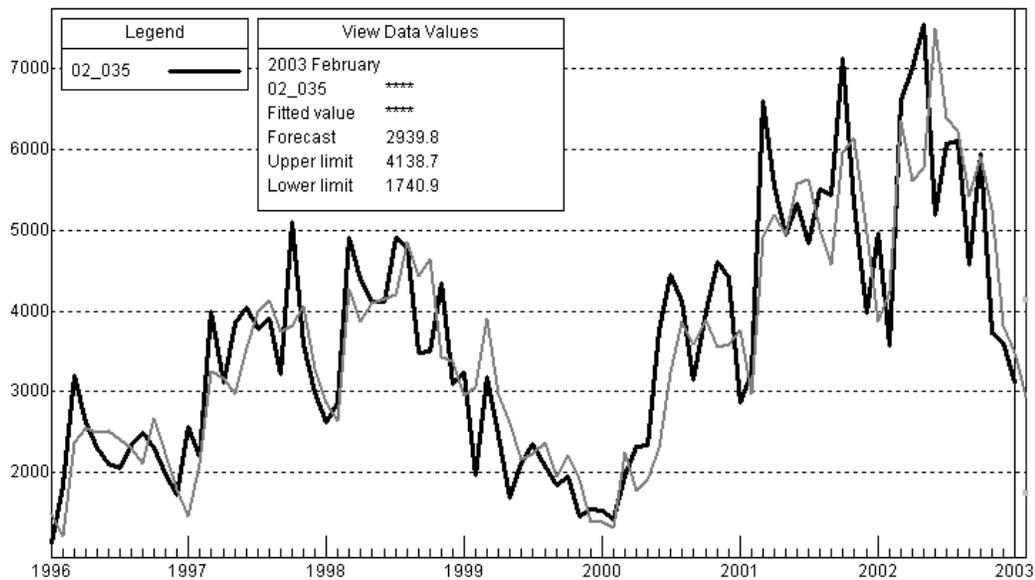


Figura 125 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para fevereiro de 2003

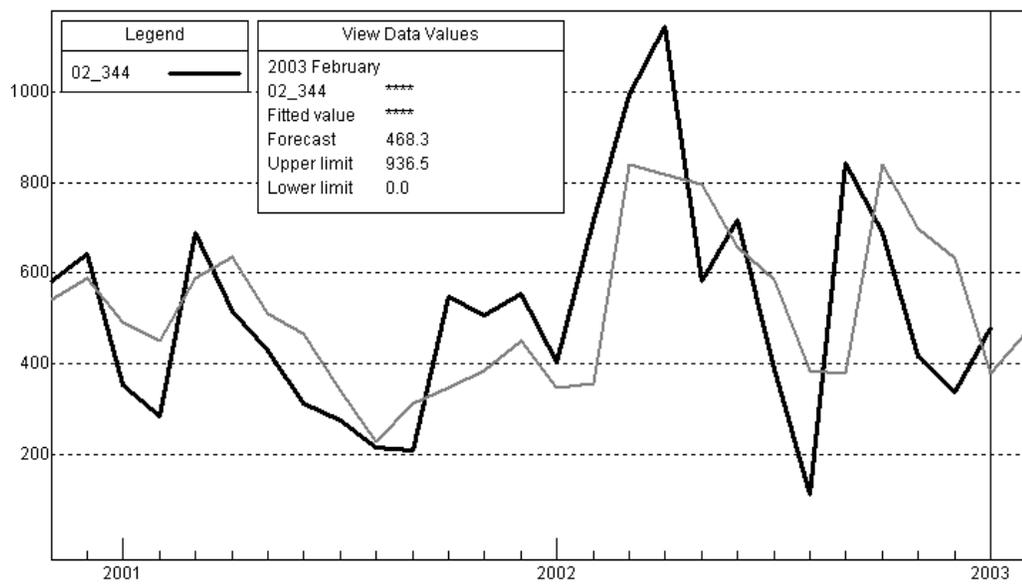


Figura 126 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para fevereiro de 2003

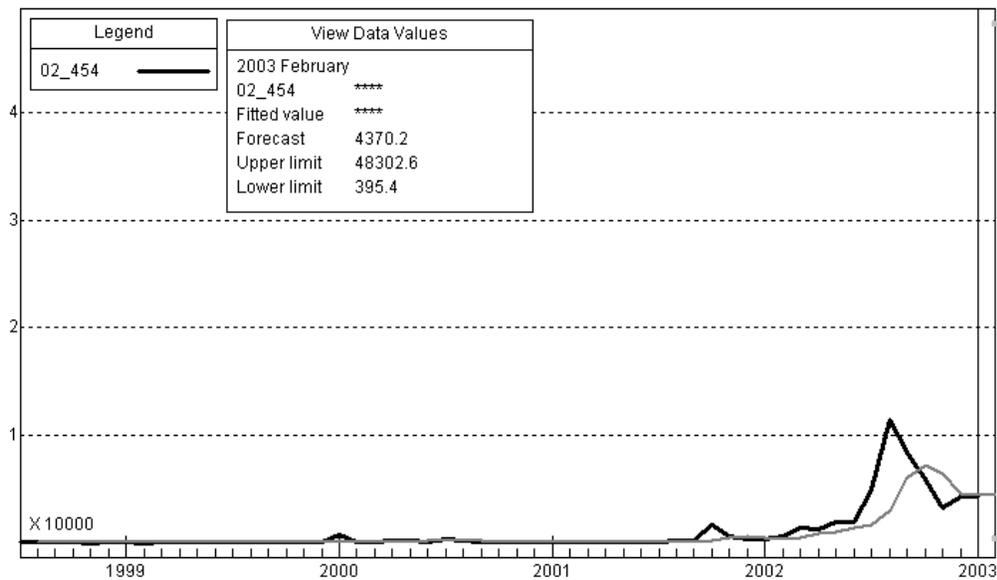


Figura 127 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para fevereiro de 2003

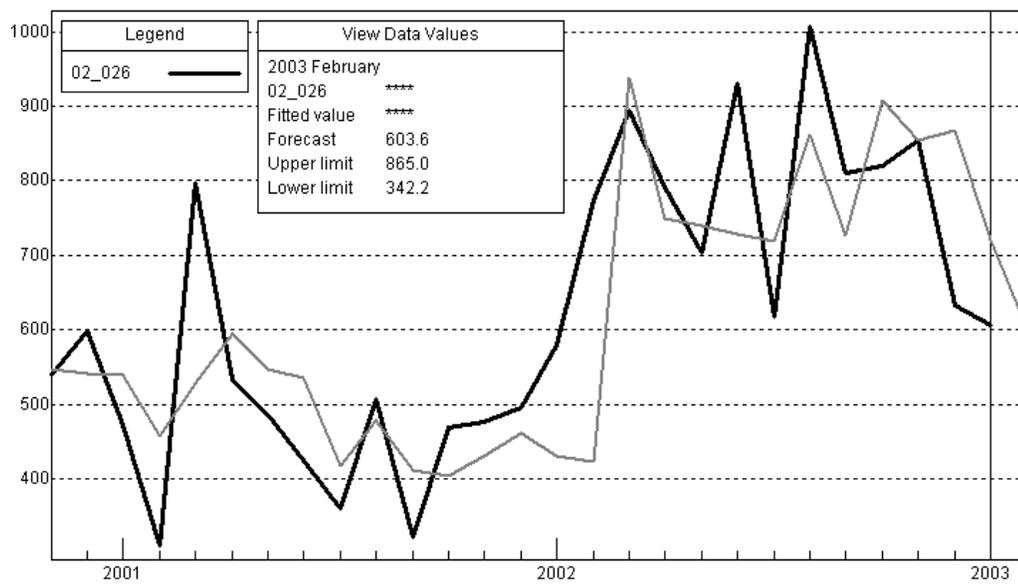


Figura 128 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para fevereiro de 2003

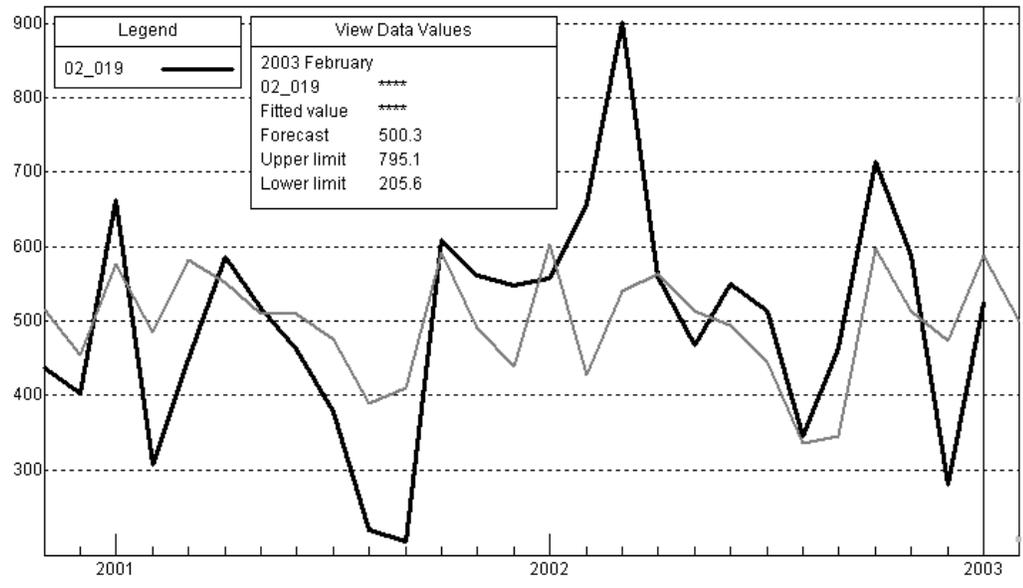


Figura 129 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para fevereiro de 2003

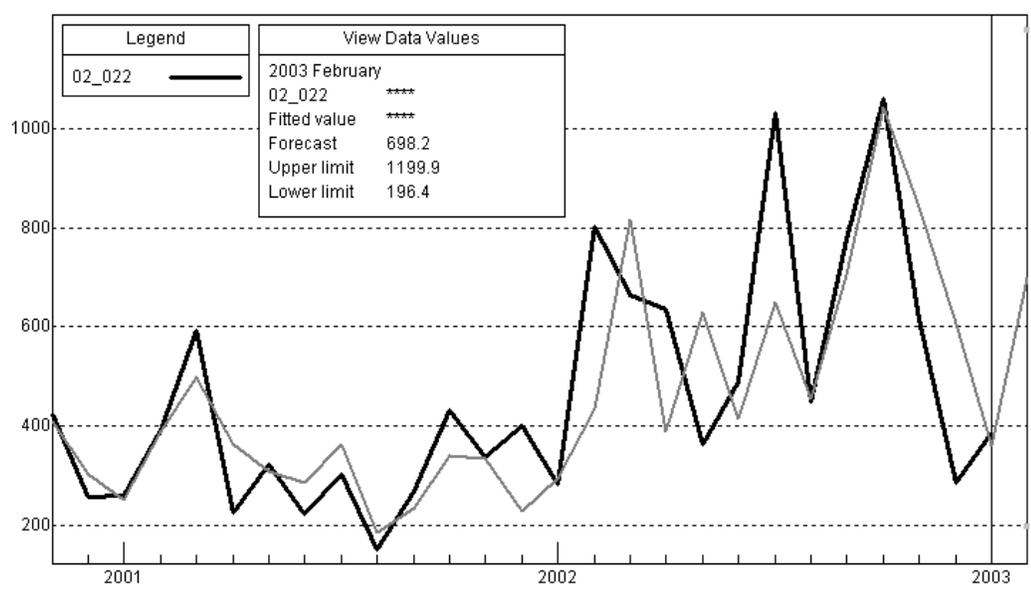


Figura 130 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para fevereiro de 2003

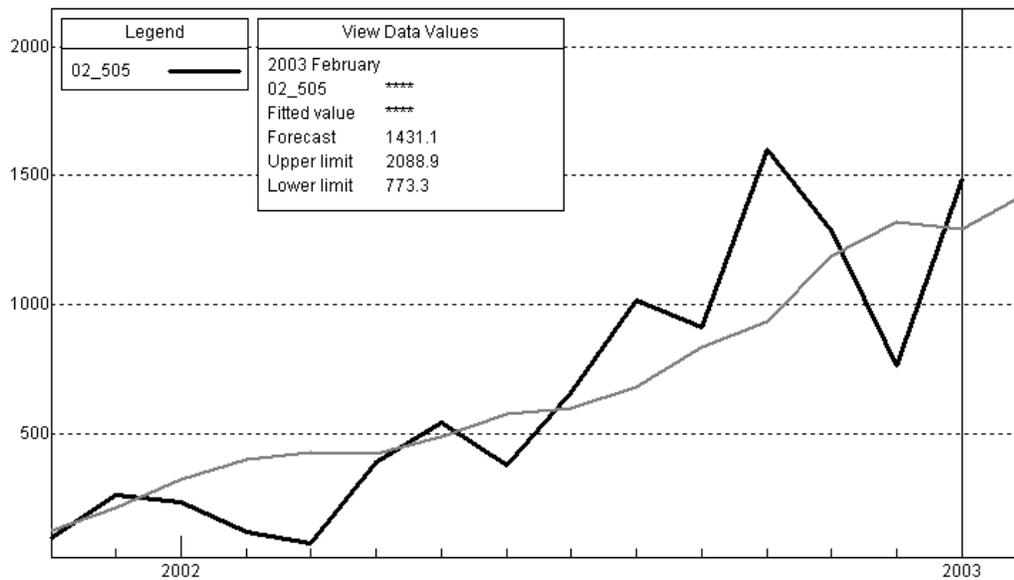


Figura 131 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para fevereiro de 2003

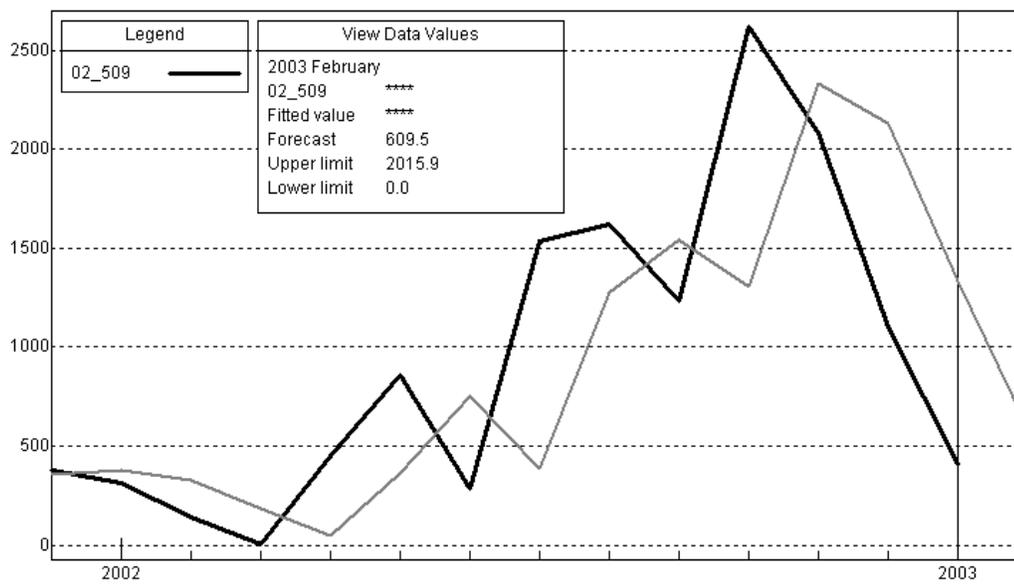


Figura 132 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para fevereiro de 2003

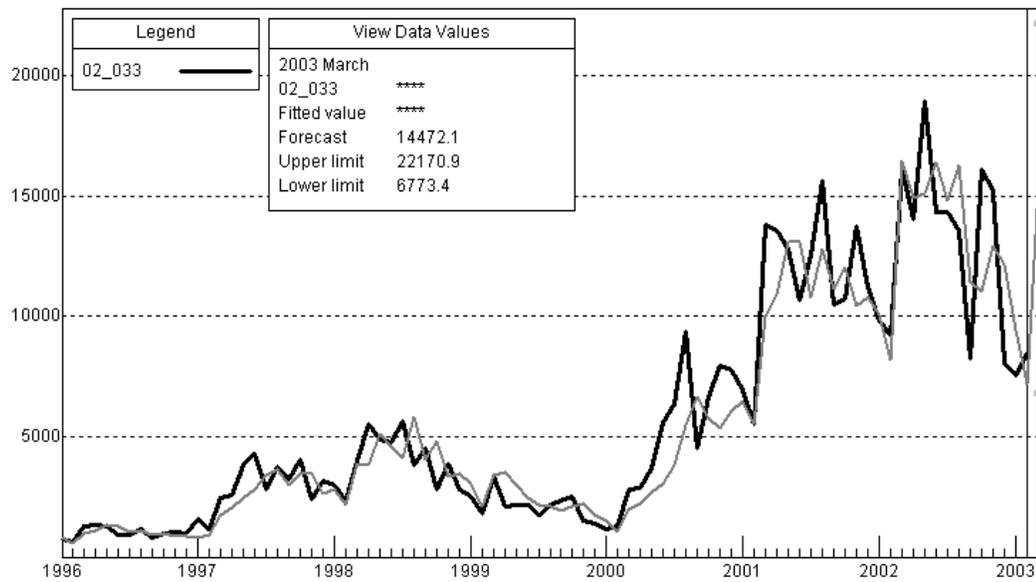


Figura 133 – Previsão de demanda do produto referência 02.033, para março de 2003

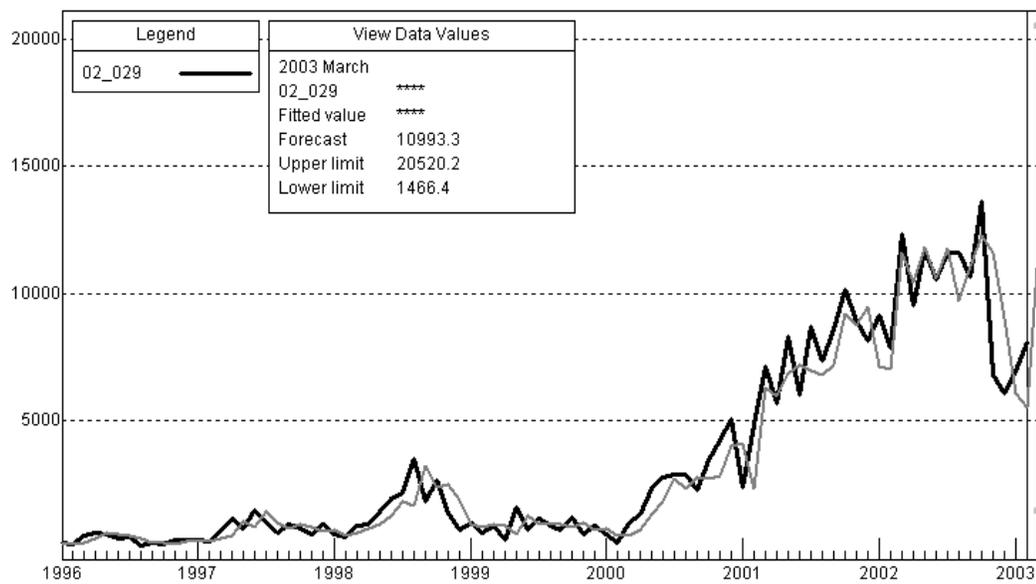


Figura 134 – Previsão de demanda do produto referência 02.029, para março de 2003

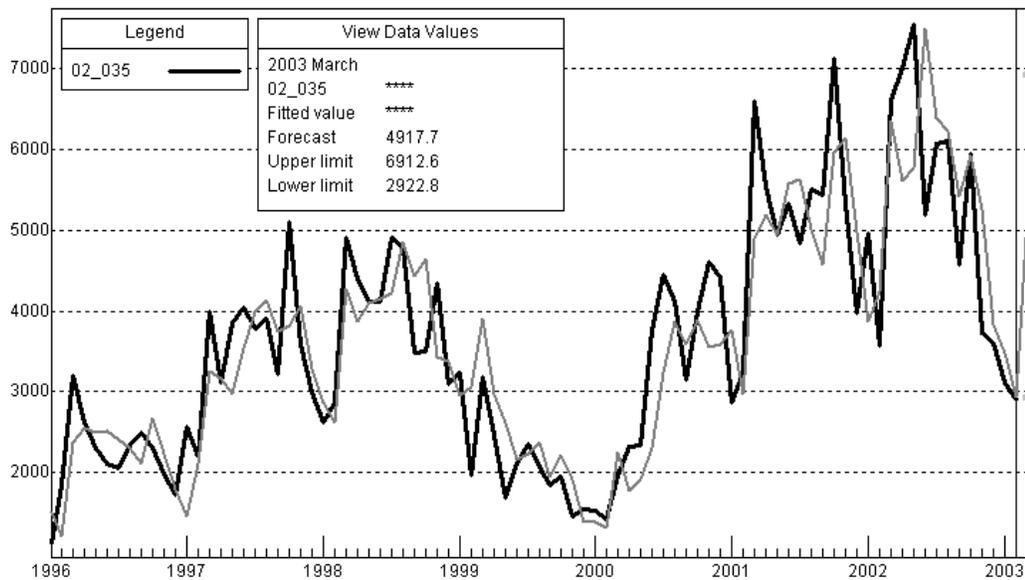


Figura 135 – Previsão de demanda do produto referência 02.035, para março de 2003

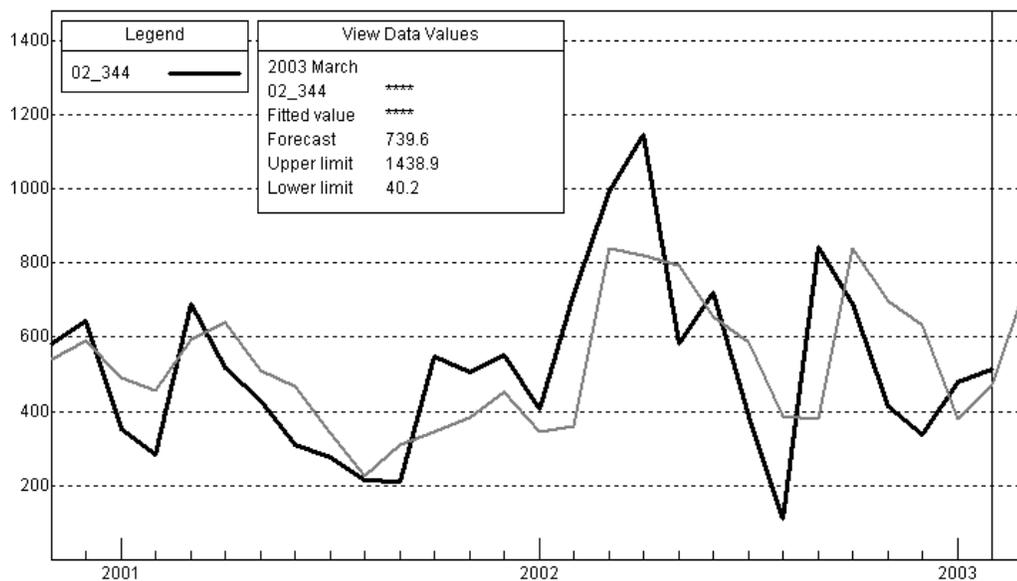


Figura 136 – Previsão de demanda do produto referência 02.344, para março de 2003

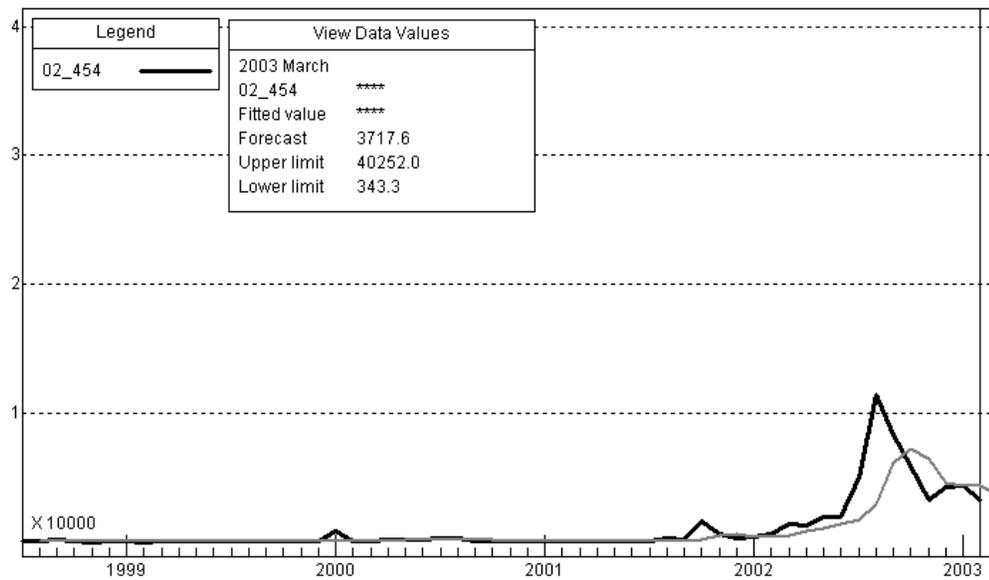


Figura 137 – Previsão de demanda do produto referência 02.454, para março de 2003

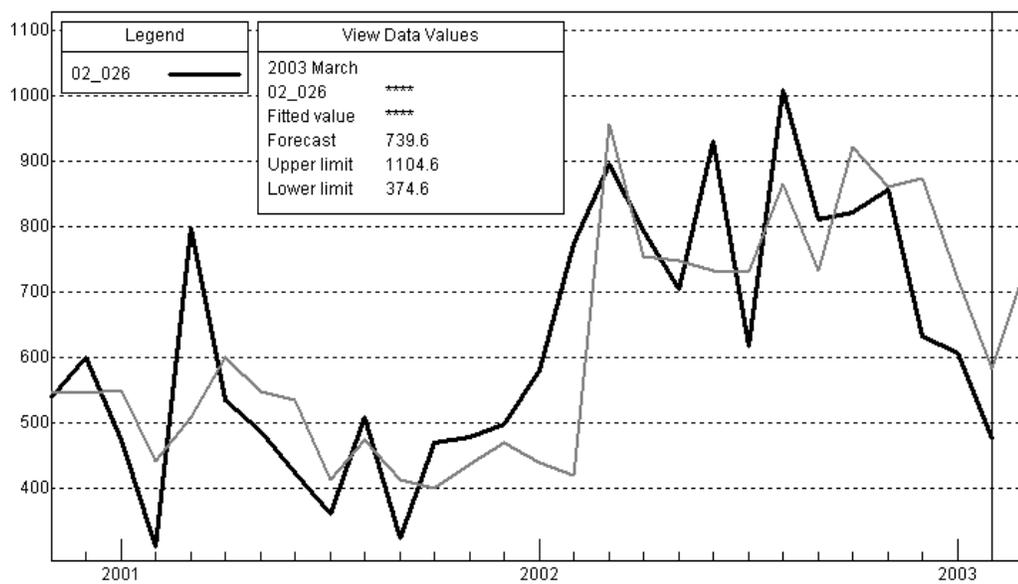


Figura 138 – Previsão de demanda do produto referência 02.026, para março de 2003

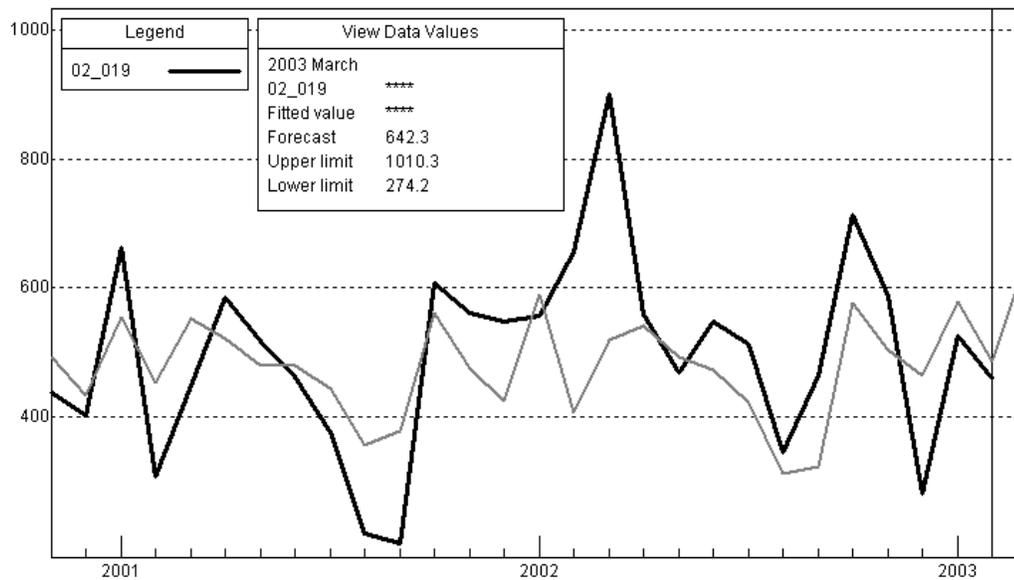


Figura 139 – Previsão de demanda do produto referência 02.019, para março de 2003

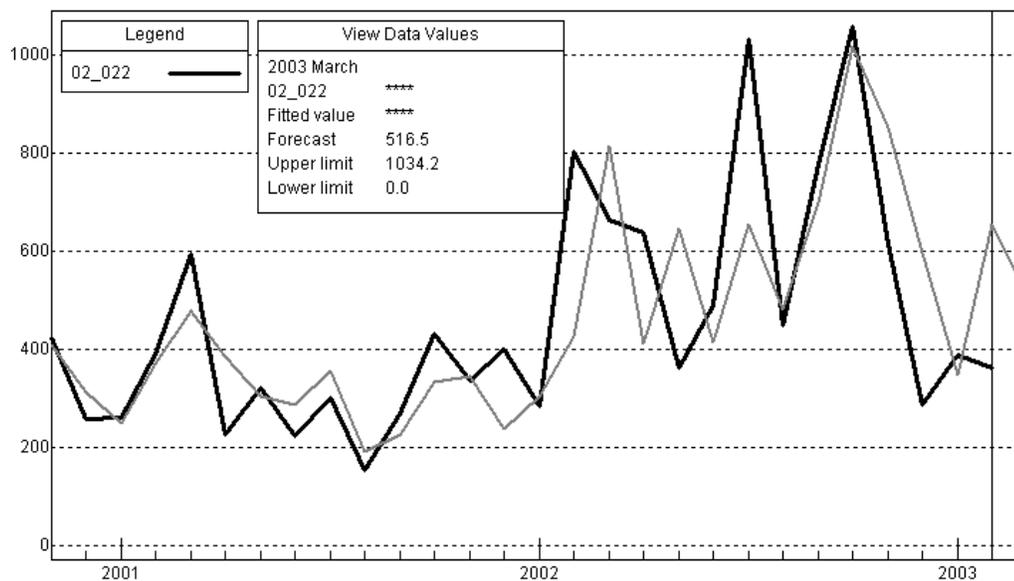


Figura 140 – Previsão de demanda do produto referência 02.022, para março de 2003

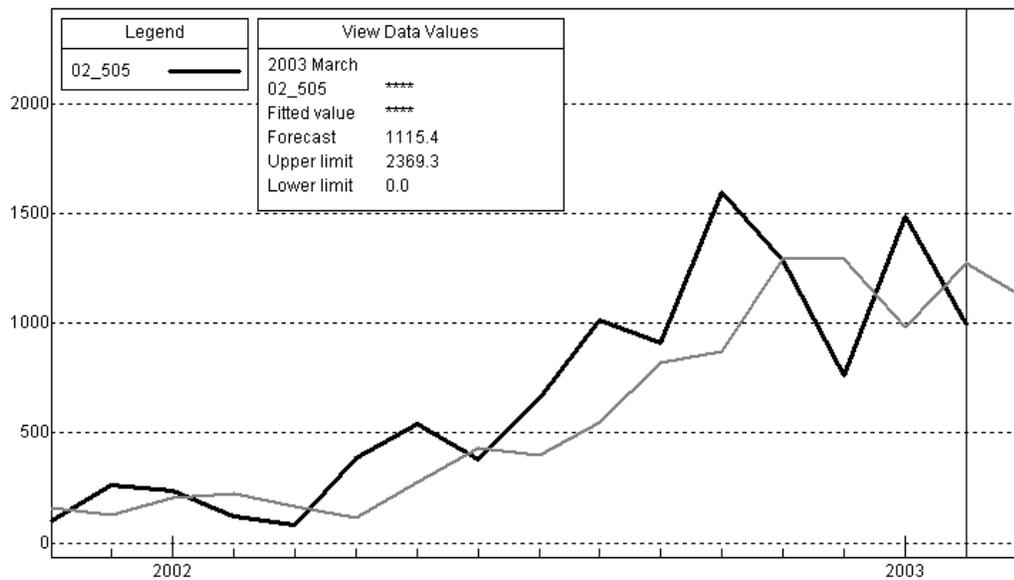


Figura 141 – Previsão de demanda do produto referência 02.505, para março de 2003

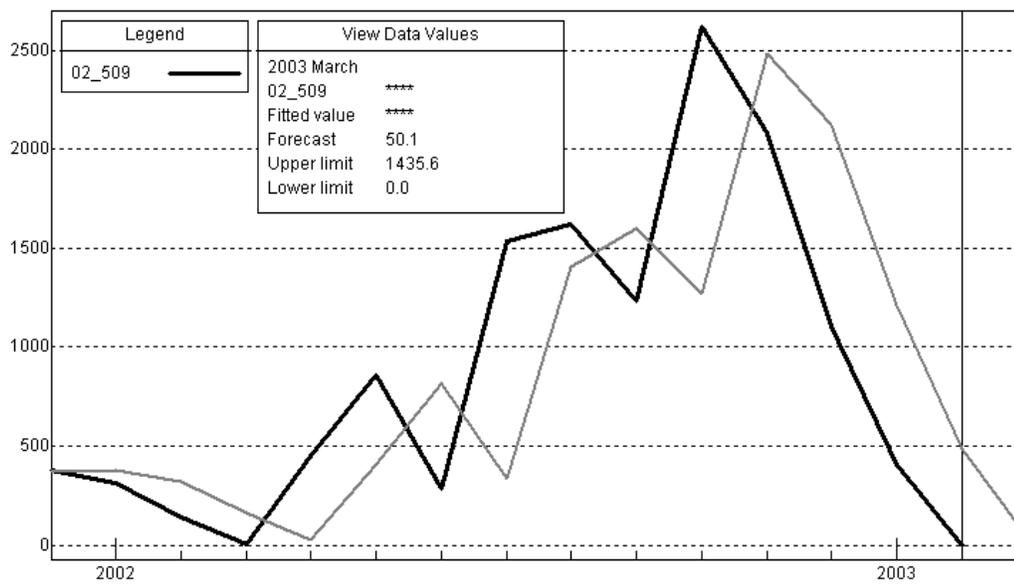


Figura 142 – Previsão de demanda do produto referência 02.509, para março de 2003

Tabela 1 – Índice de preços europeus do trigo, retirada a tendência, de 1500 a 1869

t	x_t														
1	106	51	103	101	97	151	119	201	99	251	90	301	139	351	78
2	118	52	129	102	80	152	136	202	85	252	99	302	117	352	86
3	124	53	100	103	90	153	102	203	72	253	95	303	105	353	105
4	94	54	90	104	90	154	72	204	88	254	90	304	94	354	138
5	82	55	100	105	80	155	63	205	77	255	80	305	125	355	141
6	88	56	123	106	77	156	76	206	66	256	85	306	114	356	138
7	87	57	156	107	81	157	75	207	64	257	117	307	98	357	107
8	88	58	71	108	98	158	77	208	69	258	112	308	93	358	82
9	88	59	71	109	115	159	103	209	125	259	95	309	94	359	81
10	68	60	81	110	94	160	104	210	175	260	91	310	94	360	97
11	98	61	84	111	93	161	120	211	108	261	88	311	104	361	116
12	115	62	97	112	100	162	167	212	103	262	100	312	140	362	107
13	135	63	105	113	99	163	126	213	115	263	97	313	121	363	92
14	104	64	90	114	100	164	108	214	134	264	88	314	96	364	79
15	96	65	78	115	94	165	91	215	108	265	95	315	96	365	81
16	110	66	112	116	88	166	85	216	90	266	101	316	130	366	94
17	107	67	100	117	92	167	73	217	89	267	106	317	178	367	119
18	97	68	86	118	100	168	74	218	89	268	113	318	126	368	118
19	75	69	77	119	82	169	80	219	94	269	108	319	94	369	93
20	86	70	80	120	73	170	74	220	107	270	108	320	86	370	102
21	111	71	93	121	81	171	78	221	89	271	131	321	84		
22	125	72	112	122	99	172	83	222	79	272	136	322	76		
23	78	73	131	123	124	173	84	223	91	273	119	323	77		
24	86	74	158	124	106	174	106	224	94	274	106	324	71		
25	102	75	113	125	106	175	134	225	110	275	105	325	71		
26	71	76	89	126	121	176	122	226	111	276	88	326	69		
27	81	77	87	127	105	177	102	227	103	277	84	327	82		
28	129	78	87	128	84	178	107	228	94	278	94	328	93		
29	130	79	79	129	97	179	115	229	101	279	87	329	114		
30	129	80	90	130	109	180	113	230	90	280	79	330	103		
31	125	81	90	131	148	181	104	231	96	281	87	331	110		
32	139	82	87	132	114	182	92	232	80	282	88	332	105		
33	97	83	83	133	108	183	84	233	76	283	94	333	82		
34	90	84	85	134	97	184	86	234	84	284	94	334	80		
35	76	85	76	135	92	185	101	235	91	285	92	335	78		
36	102	86	110	136	97	186	74	236	94	286	85	336	82		
37	100	87	161	137	98	187	75	237	101	287	84	337	88		
38	73	88	97	138	105	188	66	238	93	288	93	338	102		
39	86	89	84	139	97	189	62	239	91	289	108	339	117		
40	74	90	106	140	93	190	76	240	122	290	108	340	107		
41	74	91	111	141	99	191	79	241	159	291	86	341	95		
42	76	92	97	142	99	192	97	242	110	292	78	342	101		
43	80	93	108	143	107	193	134	243	90	293	87	343	92		
44	96	94	100	144	106	194	169	244	81	294	85	344	88		
45	112	95	119	145	96	195	111	245	84	295	103	345	92		
46	144	96	131	146	82	196	109	246	102	296	130	346	115		
47	80	97	143	147	88	197	111	247	102	297	95	347	139		
48	54	98	138	148	116	198	128	248	100	298	84	348	90		
49	69	99	112	149	122	199	163	249	109	299	87	349	80		
50	100	100	99	150	134	200	137	250	104	300	120	350	74		

Fonte: HYNDMAN; AKRAN, 2002.

Tabela 2 – Valores de concentração amostrados em um processo químico, em intervalos de 2 horas

t	x_t														
1	1,7	26	1,76	51	1,76	76	1,7	101	1,65	126	1,73	151	1,72	176	1,7
2	1,66	27	1,74	52	1,69	77	1,69	102	1,72	127	1,72	152	1,72	177	1,69
3	1,63	28	1,73	53	1,67	78	1,7	103	1,64	128	1,73	153	1,74	178	1,71
4	1,61	29	1,7	54	1,68	79	1,66	104	1,7	129	1,72	154	1,72	179	1,72
5	1,71	30	1,78	55	1,68	80	1,67	105	1,7	130	1,72	155	1,69	180	1,74
6	1,69	31	1,75	56	1,72	81	1,68	106	1,67	131	1,75	156	1,68	181	1,75
7	1,68	32	1,81	57	1,68	82	1,67	107	1,62	132	1,69	157	1,7	182	1,79
8	1,74	33	1,75	58	1,76	83	1,64	108	1,66	133	1,69	158	1,74	183	1,7
9	1,71	34	1,74	59	1,72	84	1,65	109	1,69	134	1,69	159	1,72	184	1,7
10	1,7	35	1,74	60	1,66	85	1,64	110	1,65	135	1,7	160	1,72	185	1,7
11	1,67	36	1,71	61	1,71	86	1,66	111	1,66	136	1,65	161	1,71	186	1,72
12	1,74	37	1,76	62	1,69	87	1,65	112	1,66	137	1,67	162	1,71	187	1,73
13	1,72	38	1,77	63	1,66	88	1,67	113	1,7	138	1,68	163	1,71	188	1,74
14	1,74	39	1,74	64	1,8	89	1,64	114	1,71	139	1,67	164	1,74	189	1,74
15	1,74	40	1,78	65	1,72	90	1,64	115	1,71	140	1,67	165	1,72	190	1,7
16	1,7	41	1,76	66	1,73	91	1,62	116	1,67	141	1,66	166	1,69	191	1,8
17	1,73	42	1,75	67	1,7	92	1,64	117	1,68	142	1,65	167	1,69	192	1,82
18	1,72	43	1,65	68	1,69	93	1,63	118	1,63	143	1,7	168	1,7	193	1,76
19	1,74	44	1,78	69	1,73	94	1,64	119	1,66	144	1,67	169	1,67	194	1,78
20	1,68	45	1,73	70	1,68	95	1,7	120	1,68	145	1,67	170	1,69	195	1,77
21	1,71	46	1,73	71	1,73	96	1,69	121	1,69	146	1,69	171	1,73	196	1,72
22	1,74	47	1,71	72	1,74	97	1,71	122	1,71	147	1,74	172	1,78	197	1,74
23	1,74	48	1,74	73	1,77	98	1,71	123	1,68	148	1,71	173	1,78		
24	1,75	49	1,69	74	1,68	99	1,67	124	1,7	149	1,7	174	1,76		
25	1,74	50	1,73	75	1,69	100	1,69	125	1,72	150	1,68	175	1,75		

Fonte: NCSS STATISTICAL SOFTWARE, 1996b.

Tabela 3 – Produto nacional bruto dos Estados Unidos, entre 1890 e 1974, em bilhões de dólares

t	x_t										
1	52,7	16	96,3	31	140	46	169,5	61	355,3	76	617,8
2	55,1	17	107,5	32	127,8	47	193	62	383,4	77	658,1
3	60,4	18	109,2	33	148	48	203,2	63	395,1	78	675,2
4	57,5	19	100,2	34	165,9	49	192,9	64	412,8	79	706,6
5	55,9	20	116,8	35	165,5	50	209,4	65	407	80	725,6
6	62,6	21	120,1	36	179,4	51	227,2	66	438	81	722,5
7	61,3	22	123,2	37	190	52	263,7	67	446,1	82	746,3
8	67,1	23	130,2	38	189,8	53	297,8	68	452,5	83	792,5
9	68,6	24	131,4	39	190,9	54	337,1	69	447,3	84	839,2
10	74,8	25	125,6	40	203,6	55	361,3	70	475,9	85	821,1
11	76,9	26	124,5	41	183,5	56	355,2	71	487,7		
12	85,7	27	134,3	42	169,3	57	312,6	72	497,2		
13	86,5	28	135,2	43	144,2	58	309,9	73	529,8		
14	90,8	29	151,8	44	141,5	59	323,7	74	551		
15	89,7	30	146,4	45	154,3	60	324,1	75	581,1		

Fonte: HYNDMAN; AKRAN, 2002.

Tabela 4 – Dados após a primeira diferenciação da série de valores do produto nacional bruto dos Estados Unidos

t	$(1-B)x_t$										
1	2,4	16	11,2	31	-12,2	46	23,5	61	28,1	76	40,3
2	5,3	17	1,7	32	20,2	47	10,2	62	11,7	77	17,1
3	-2,9	18	-9	33	17,9	48	-10,3	63	17,7	78	31,4
4	-1,6	19	16,6	34	-0,4	49	16,5	64	-5,8	79	19
5	6,7	20	3,3	35	13,9	50	17,8	65	31	80	-3,1
6	-1,3	21	3,1	36	10,6	51	36,5	66	8,1	81	23,8
7	5,8	22	7	37	-0,2	52	34,1	67	6,4	82	46,2
8	1,5	23	1,2	38	1,1	53	39,3	68	-5,2	83	46,7
9	6,2	24	-5,8	39	12,7	54	24,2	69	28,6	84	-18,1
10	2,1	25	-1,1	40	-20,1	55	-6,1	70	11,8		
11	8,8	26	9,8	41	-14,2	56	-42,6	71	9,5		
12	0,8	27	0,9	42	-25,1	57	-2,7	72	32,6		
13	4,3	28	16,6	43	-2,7	58	13,8	73	21,2		
14	-1,1	29	-5,4	44	12,8	59	0,4	74	30,1		
15	6,6	30	-6,4	45	15,2	60	31,2	75	36,7		

Tabela 5 – Número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais, em milhares, de janeiro de 1949 a dezembro de 1960

t	x_t														
1	112	21	158	41	183	61	204	81	312	101	355	121	360	141	508
2	118	22	133	42	218	62	188	82	274	102	422	122	342	142	461
3	132	23	114	43	230	63	235	83	237	103	465	123	406	143	390
4	129	24	140	44	242	64	227	84	278	104	467	124	396	144	432
5	121	25	145	45	209	65	234	85	284	105	404	125	420		
6	135	26	150	46	191	66	264	86	277	106	347	126	472		
7	148	27	178	47	172	67	302	87	317	107	305	127	548		
8	148	28	163	48	194	68	293	88	313	108	336	128	559		
9	136	29	172	49	196	69	259	89	318	109	340	129	463		
10	119	30	178	50	196	70	229	90	374	110	318	130	407		
11	104	31	199	51	236	71	203	91	413	111	362	131	362		
12	118	32	199	52	235	72	229	92	405	112	348	132	405		
13	115	33	184	53	229	73	242	93	355	113	363	133	417		
14	126	34	162	54	243	74	233	94	306	114	435	134	391		
15	141	35	146	55	264	75	267	95	271	115	491	135	419		
16	135	36	166	56	272	76	269	96	306	116	505	136	461		
17	125	37	171	57	237	77	270	97	315	117	404	137	472		
18	149	38	180	58	211	78	315	98	301	118	359	138	535		
19	170	39	193	59	180	79	364	99	356	119	310	139	622		
20	170	40	181	60	201	80	347	100	348	120	337	140	606		

Fonte: HYNDMAN; AKRAN, 2002.

Tabela 6 – Série temporal após diferenciação sazonal do número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais, em milhares

t	x_t'												
1	3	21	26	41	46	61	38	81	43	101	8	121	57
2	8	22	29	42	25	62	45	82	32	102	13	122	49
3	9	23	32	43	34	63	32	83	34	103	26	123	13
4	6	24	26	44	30	64	42	84	28	104	38	124	65
5	4	25	26	45	28	65	36	85	31	105	0	125	52
6	14	26	30	46	20	66	51	86	24	106	12	126	63
7	22	27	15	47	8	67	62	87	39	107	5	127	74
8	22	28	18	48	7	68	54	88	35	108	1	128	47
9	22	29	11	49	8	69	53	89	37	109	20	129	45
10	14	30	40	50	-8	70	45	90	48	110	24	130	54
11	10	31	31	51	-1	71	34	91	52	111	44	131	28
12	22	32	43	52	-8	72	49	92	62	112	48	132	27
13	30	33	25	53	5	73	42	93	49	113	57		
14	24	34	29	54	21	74	44	94	41	114	37		
15	37	35	26	55	38	75	50	95	34	115	57		
16	28	36	28	56	21	76	44	96	30	116	54		
17	47	37	25	57	22	77	48	97	25	117	59		
18	29	38	16	58	18	78	59	98	17	118	48		
19	29	39	43	59	23	79	49	99	6	119	52		
20	29	40	54	60	28	80	58	100	0	120	68		

Tabela 7 – Série resultante da diferenciação da série diferenciada sazonalmente do número mensal de passageiros de linhas aéreas internacionais, em milhares

t	x_t^*												
1	5	21	3	41	-21	61	7	81	-11	101	5	121	-8
2	1	22	3	42	9	62	-13	82	2	102	13	122	-36
3	-3	23	-6	43	-4	63	10	83	-6	103	12	123	52
4	-2	24	0	44	-2	64	-6	84	3	104	-38	124	-13
5	10	25	4	45	-8	65	15	85	-7	105	12	125	11
6	8	26	-15	46	-12	66	11	86	15	106	-7	126	11
7	0	27	3	47	-1	67	-8	87	-4	107	-4	127	-27
8	0	28	-7	48	1	68	-1	88	2	108	19	128	-2
9	-8	29	29	49	-16	69	-8	89	11	109	4	129	9
10	-4	30	-9	50	7	70	-11	90	4	110	20	130	-26
11	12	31	12	51	-7	71	15	91	10	111	4	131	-1
12	8	32	-18	52	13	72	-7	92	-13	112	9		
13	-6	33	4	53	16	73	2	93	-8	113	-20		
14	13	34	-3	54	17	74	6	94	-7	114	20		
15	-9	35	2	55	-17	75	-6	95	-4	115	-3		
16	19	36	-3	56	1	76	4	96	-5	116	5		
17	-18	37	-9	57	-4	77	11	97	-8	117	-11		
18	0	38	27	58	5	78	-10	98	-11	118	4		
19	0	39	11	59	5	79	9	99	-6	119	16		
20	-3	40	-8	60	10	80	-15	100	8	120	-11		