

MARCELO GONÇALVES TRENTIN

PLANEJAMENTO ESTRATEGICO DE MATERIAIS: UMA  
APLICAÇÃO DOS MÉTODOS AUTOMÁTICOS DE PREVISÃO DE  
SÉRIES TEMPORAIS

CURITIBA  
2002

**MARCELO GONÇALVES TRENTIN**

**PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE MATERIAIS: UMA  
APLICAÇÃO DOS MÉTODOS AUTOMÁTICOS DE PREVISÃO DE  
SÉRIES TEMPORAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de  
Pós-Graduação em Métodos Numéricos em  
Engenharia – Área de Concentração de  
Programação Matemática, da Universidade  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto

**CURITIBA  
2002**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**MARCELO GONÇALVES TRENTIN**

**PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE MATERIAIS: UMA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS  
AUTOMÁTICOS DE PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. ANSELMO CHAVES NETO, D.Sc.  
Departamento de Estatística , UFPR

Prof. SERGIO MAYERLE, D.Eng.  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - UFSC

Prof. RICARDO FERRARI PACHECO, D.Eng.  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas –  
PUC-PR

Prof. ALCEU SOUZA, D.Sc.  
Programa de Pós-graduação em Métodos Numéricos em Eng. - UFPR

Curitiba, 28 de maio de 2002

Dedico este trabalho à minha esposa que sempre me apoiou nas hora difíceis, sacrificando seus objetivos pessoais para melhor contribuir com esta minha caminhada.

Não posso deixar de mencionar os meus filhos Lucas, que deixou de receber muita atenção neste período, e Pedro Henrique que nasceu justamente no meio desta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por mais uma etapa vencida que contou com sua colaboração, com toda a certeza.

A todos os colegas que de uma forma ou de outra contribuíram com a caminhada até aqui e com a elaboração desta dissertação.

Meu agradecimento de forma particular aos amigos Gilson e Donizetti que desde o princípio foram parceiros nas dificuldades que, degrau a degrau, foram vencidas.

Ao orientador, Prof. Dr. Anselmo, que sempre me estimulou nos caminhos difíceis, procurando alternativas para melhor encaminhar meu projeto.

Agradecimento especial ao meu pai que auxiliou com suas sugestões de melhorias ortográficas.

“ Nem mesmo toda a ciência do homem lhe bastaria  
para conhecer a extensão de sua ignorância.”

Leoni Kaseff

## SUMÁRIO

|  |       |
|--|-------|
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                                      | ix    |
| <b>LISTA DE QUADROS.....</b>                                       | x     |
| <b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>                                      | xii   |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                       | xiii  |
| <b>LISTA DE SIGLAS.....</b>  | xiii  |
| <b>LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS.....</b>                          | xiv   |
| <b>RESUMO .....</b>  | xviii |
| <b>ABSTRACT.....</b>   | xix   |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | 1     |
| 1.1 O PROBLEMA .....   | 1     |
| 1.2 OBJETIVO.....  | 3     |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....  | 4     |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                    | 4     |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                               | 6     |
| 2.1 SÉRIES TEMPORAIS.....  | 6     |
| 2.1.1 Histórico .....  | 6     |
| 2.1.2 Definição.....   | 10    |
| 2.1.3 Objetivos .....  | 11    |
| 2.1.4 Notação e Decomposição.....                                  | 12    |
| 2.1.5 Considerações sobre os Métodos de Previsão .....             | 13    |
| 2.1.6 Métodos Automáticos .....                                    | 14    |
| 2.1.6.1 Introdução .....   | 14    |
| 2.1.6.2 Modelos para Séries Estacionárias .....                    | 15    |
| 2.1.6.2.1 Médias Móveis Simples (MMS).....                         | 16    |
| 2.1.6.2.2 Alisamento Exponencial Simples (AES) .....               | 18    |
| 2.1.6.2.3 Alisamento Exponencial Adaptativo de Trigg e Leach ..... | 20    |
| 2.1.6.3 Modelos para Séries com Tendência .....                    | 21    |
| 2.1.6.3.1 Alisamento Exponencial Linear de Brown (AELB).....       | 22    |



|  |            |
|--|------------|
| 2.2.3.2.5 <i>Just In Time</i> (JIT) .....  | 83         |
| 2.2.3.3 Gestão de Estoques.....  | 86         |
| 2.2.3.3.1 Controle de Estoques Baseado na Demanda Independente .....               | 90         |
| 2.2.3.3.2 Controle de Estoques Baseado na Demanda Dependente .....                 | 92         |
| <b>3 MATERIAL, MÉTODOS E APLICAÇÃO .....</b>                                       | <b>95</b>  |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....  | 95         |
| 3.2 DADOS UTILIZADOS .....   | 96         |
| 3.3 METODOLOGIA.....   | 98         |
| 3.3.1 Simulação.....   | 98         |
| 3.3.2 Séries Temporais .....   | 101        |
| 3.3.2.1 Introdução .....   | 101        |
| 3.3.2.2 Alisamento Exponencial Simples (AES) .....                                 | 102        |
| 3.3.2.3 Alisamento Exponencial Linear de Brown (AELB).....                         | 107        |
| 3.3.2.4 Alisamento Sazonal Linear de Holt-Winters (HW) .....                       | 114        |
| 3.3.3 Planejamento e Controle da Produção.....                                     | 121        |
| 3.3.3.1 Plano Mestre da Produção (MPS).....  | 122        |
| 3.3.3.2 Planejamento dos Requisitos de Materiais (MRP).....                        | 126        |
| 3.3.3.2.1 Registro do MRP .....  | 129        |
| 3.3.3.2.2 <i>Lead Time</i> de Fabricação e Compras (Ressuprimento) .....           | 132        |
| 3.3.3.2.3 Atualização e Progressão dos Registros .....                             | 133        |
| 3.3.4 Programação em Ambiente Visual .....   | 134        |
| 3.4 VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE PREVISÃO .....                                       | 139        |
| <b>3.5 APLICAÇÃO DO SISTEMA DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO<br/>DE MATERIAIS .....</b> | <b>144</b> |
| <b>4 RESULTADOS E CONCLUSÃO.....</b>   | <b>162</b> |
| 4.1 RESULTADOS .....   | 162        |
| 4.2 CONCLUSÃO.....   | 164        |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>168</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   | <b>172</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UM PROCESSO ESTOCÁSTICO .....      | 11  |
| FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA SÉRIE TEMPORAL .....           | 11  |
| FIGURA 3 - ESTRUTURA DAS FASES DE DETERMINAÇÃO DE UM MODELO ARIMA..... | 46  |
| FIGURA 4 - ESTRUTURA DO SISTEMA MRP .....                              | 78  |
| FIGURA 5 - ESTRUTURA DO SISTEMA MRP II .....                           | 80  |
| FIGURA 6 - SISTEMA DE REVISÃO PERIÓDICA DE ESTOQUES .....              | 90  |
| FIGURA 7 - SISTEMA DE REVISÃO CONTÍNUA DE ESTOQUES.....                | 91  |
| FIGURA 8 - SEQÜÊNCIA DE CÁLCULO DO MRP .....                           | 131 |
| FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE PREVISÃO – PROGRAMA SPEM .....     | 137 |
| FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA MPS – PROGRAMA SPEM.....             | 138 |
| FIGURA 11- FLUXOGRAMA DO SISTEMA MRP – PROGRAMA SPEM.....              | 139 |
| FIGURA 12 – ESTRUTURA DO PRODUTO LAPISEIRA .....                       | 145 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| QUADRO 1 – TABELA DE PLANEJAMENTO DO MPS .....  | 123 |
| QUADRO 2 – REGISTRO DO MRP .....  | 130 |
| QUADRO 3 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “A”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                     | 140 |
| QUADRO 4 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “B”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                     | 140 |
| QUADRO 5 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “C”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                     | 141 |
| QUADRO 6 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “D”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                     | 141 |
| QUADRO 7 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “E”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                     | 141 |
| QUADRO 8 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “F”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                     | 142 |
| QUADRO 9 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “G”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                     | 142 |
| QUADRO 10 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “H”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                    | 142 |
| QUADRO 11 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “I”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                    | 143 |
| QUADRO 12 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “J”<br>MORETTIN E TOLOI (1981).....                    | 143 |
| QUADRO 13 – MELHOR MODELO AJUSTADO, POR SÉRIE .....   | 144 |
| QUADRO 14 - COMPARATIVO DE PREVISÕES DOS ÚLTIMOS 12<br>MESES – PRODUTO LAPISEIRA .....              | 147 |
| QUADRO 15 - COMPARATIVO DO AJUSTE DOS MODELOS –<br>PRODUTO LAPISEIRA .....                          | 147 |
| QUADRO 16 - COMPARATIVO DE PREVISÕES COM OS DADOS<br>SINTÉTICOS ADICIONAIS – PRODUTO LAPISEIRA..... | 148 |
| QUADRO 17 – EVENTOS INICIAIS PARA O PRIMEIRO CÁLCULO<br>MRP .....                                   | 149 |

|  |     |
|--|-----|
| QUADRO 18 – PREVISÕES REALIZADAS DURANTE EVOLUÇÃO<br>DAS SEMANAS - MRP ..... | 150 |
| QUADRO 19 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 04/02/2002 .....                       | 150 |
| QUADRO 20 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 04/02/2002 .....                   | 150 |
| QUADRO 21 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 11/02/2002 .....                       | 151 |
| QUADRO 22 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 11/02/2002 .....                   | 151 |
| QUADRO 23 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 18/02/2002 .....                       | 151 |
| QUADRO 24 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 18/02/2002 .....                   | 151 |
| QUADRO 25 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 25/02/2002 .....                       | 152 |
| QUADRO 26 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 25/02/2002 .....                   | 152 |
| QUADRO 27 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 04/03/2002 .....                       | 152 |
| QUADRO 28 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 04/03/2002 .....                   | 152 |
| QUADRO 29 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 11/03/2002 .....                       | 153 |
| QUADRO 30 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 11/03/2002 .....                   | 153 |
| QUADRO 31 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 18/03/2002 .....                       | 153 |
| QUADRO 32 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 18/03/2002 .....                   | 153 |
| QUADRO 33 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 25/03/2002 .....                       | 154 |
| QUADRO 34 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 25/03/2002 .....                   | 154 |
| QUADRO 35 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 01/04/2002 .....                       | 154 |
| QUADRO 36 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 01/04/2002 .....                   | 154 |
| QUADRO 37 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 08/04/2002 .....                       | 155 |
| QUADRO 38 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 08/04/2002 .....                   | 155 |
| QUADRO 39 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 15/04/2002 .....                       | 155 |
| QUADRO 40 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 15/04/2002 .....                   | 155 |
| QUADRO 41 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 22/04/2002 .....                       | 156 |
| QUADRO 42 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 22/04/2002 .....                   | 156 |
| QUADRO 43 – PROCEDIMENTO EMERGENCIAIS INFORMADOS<br>PELO SPREM .....         | 156 |

|  |     |
|--|-----|
| QUADRO 44 – NÍVEIS DOS ESTOQUES CALCULADOS PELO<br>SPEM .....                            | 157 |
| QUADRO 45 – NÍVEIS DOS ESTOQUES CALCULADOS PELO<br>SPEM – SEGUNDA SIMULAÇÃO .....        | 160 |
| QUADRO 46 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 04/02/2002 –<br>SEGUNDA SIMULAÇÃO .....            | 160 |
| QUADRO 47 – PROCEDIMENTOS EMERGENCIAIS INFORMADOS<br>PELO SPEM – SEGUNDA SIMULAÇÃO ..... | 161 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |     |
|---|-----|
| GRÁFICO 1 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITENS 1, 8 E 15 .....            | 157 |
| GRÁFICO 2 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITENS 2 E 5 .....                | 158 |
| GRÁFICO 3 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITENS 3, 4 E 14 .....            | 158 |
| GRÁFICO 4 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITENS 6, 7, 9, 20, 21 E 22 ..... | 158 |
| GRÁFICO 5 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITEM 10 .....                    | 158 |
| GRÁFICO 6 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITEM 11.....                     | 159 |
| GRÁFICO 7 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITENS 12, 13, 16, 17 E 23 .....  | 159 |
| GRÁFICO 8 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS,<br>ITENS 18 E 19 .....              | 159 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |     |
|--|-----|
| TABELA 1 – LISTA DE ITENS DO PRODUTO LAPISEIRA (BOM) .....               | 146 |
| TABELA 2 – DADOS DE PEDIDOS E ESTOQUE INICIAL<br>PRODUTO LAPISEIRA ..... | 146 |

## **LISTA DE SIGLAS**

|       |   |  |
|-------|---|--|
| AEG   | - | Alisamento Exponencial Geral de Brown                        |
| AELB  | - | Alisamento Exponencial Linear de Brown                       |
| AEQB  | - | Alisamento Exponencial Quadrático de Brown                   |
| AES   | - | Alisamento Exponencial Simples                               |
| APE   | - | Erro Percentual Absoluto                                     |
| AR    | - | Auto-regressivo  |
| ARIMA | - | Auto-regressivo Integrado de Médias Móveis                   |
| ARMA  | - | Auto-regressivo e Médias Móveis                              |
| ATP   | - | Quantidade Disponível para Promessa                          |
| BOM   | - | Lista de Materiais e Estrutura do Produto(Bills of Material) |
| B&J   | - | Box & Jenkins  |
| EPR   | - | Planejamento dos Recursos do Empreendimento                  |
| EQM   | - | Erro Quadrático Médio  |
| HW    | - | Alisamento Exponencial Sazonal de Holt-Winters               |
| JIT   | - | <i>Just in Time</i>  |
| MA    | - | Médias Móveis  |
| MAE   | - | Erro Absoluto Médio  |
| MAPE  | - | Erro Percentual Absoluto Médio                               |
| ME    | - | Erro Médio   |

|        |   |  |
|--------|---|--|
| MMS    | - | Médias Móveis Simples                            |
| MOQ    | - | Mínimos Quadrados Ordinários                     |
| MPE    | - | Erro Percentual Médio                            |
| MPS    | - | Plano Mestre da Produção                         |
| MRP    | - | Planejamento dos Requisitos de Materiais         |
| MRP II | - | Planejamento de Recursos de Manufatura           |
| MSE    | - | Erro Quadrático Médio                            |
| PCP    | - | Planejamento e Controle da Produção              |
| RMSE   | - | Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio           |
| SPEM   | - | Sistema de Planejamento Estratégico de Materiais |
| S&OP   | - | Planejamento de Vendas e Operações               |

## LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS

|       |   |  |
|-------|---|--|
| $a_j$ | - | Parâmetros locais, AEG                           |
| $a_t$ | - | Ruído branco                                     |
| A     | - | Constante de alisamento referente ao nível, HW   |
| ATP   | - | Quantidade disponível para promessa, MPS         |
| B     | - | Operador de translação para o passado            |
| $b_2$ | - | Declividade AELB                                 |
| $b_j$ | - | Parâmetros do modelo AEQB                        |
| C     | - | Constante de alisamento referente a tendência HW |
| $C_e$ | - | Custo de estocagem                               |
| $C_f$ | - | Custo de ressuprimento                           |
| $C_t$ | - | Componente cíclica no instante $t$               |

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| $d$               | - | Número de diferenças utilizadas no modelo ARIMA             |
| D                 | - | Constante de alisamento referente a sazonalidade HW         |
| D                 | - | Demanda por período, revisão periódica de estoques          |
| E                 | - | Nível de estoque atual, revisão periódica de estoques       |
| $e_t$             | - | Erro de previsão a um passo                                 |
| $EP_t$            | - | Estoque planejado para o período $t$ .                      |
| $E_{SEG}$         | - | Estoque de segurança.                                       |
| $FS$              | - | Fator de segurança  |
| $f_{(t-N)}$       | - | Valor das funções determinísticas, AEG                      |
| $F_t$             | - | Previsão da demanda para o período $t$ , MPS                |
| $\hat{F}_t$       | - | Estimativa da sazonalidade no instante $t$ , HW             |
| $\underline{F}_t$ | - | Matriz de variáveis independentes                           |
| $\underline{G}_t$ | - | Matriz de sistema   |
| h                 | - | horizonte de previsão                                       |
| $I_t$             | - | Estoque do produto final acabado no período $t$ , MPS       |
| k                 | - | Ordem do modelo MMS   |
| LT                | - | <i>Lead Time</i> de ressuprimento                           |
| M                 | - | Graus de liberdade da distribuição $\chi_m^2$               |
| M                 | - | Nível máximo de estoque, sistema de revisão periódica       |
| $M_t$             | - | Estimativa do nível da série no MMS para o instante $t$     |
| $m_1$             | - | Intercepto AELB   |
| $n$               | - | Número de observações da série temporal                     |
| N                 | - | Número de observações geradas pelo simulador                |
| $NB_t$            | - | Necessidade bruta para o período $t$ .                      |
| $NL_t$            | - | Necessidade líquida para o período $t$ .                    |
| $O_t$             | - | Pedidos firmes a serem atendidos no período $t$ , MPS       |
| $p$               | - | número de parâmetros auto-regressivos                       |
| P                 | - | Período de revisão, sistema de revisão contínua de estoques |

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| PP                            | - | Periodicidade de revisão de estoques  |
| $q$                           | - | número de parâmetros de médias-móveis   |
| $Q$                           | - | Estatística de Ljung-Box  |
| QP                            | - | Quantidade já pedida  |
| $Q_t$                         | - | Quantidade a ser produzida no período $t$ , MPS                                     |
| R                             | - | Número aleatório U(0,1) utilizado no simulador                                      |
| $RP_t$                        | - | Recebimento programado para o período $t$ .   |
| $RPL_t$                       | - | Recebimento planejado para o período $t$  |
| s                             | - | Período de sazonalidade da série temporal   |
| S                             | - | Número aleatório U(0,1) utilizado no simulador                                      |
| $S_t$                         | - | Componente sazonal no instante $t$  |
| $t$                           | - | instante da série temporal  |
| $T_t$                         | - | Componente tendência no instante $t$  |
| $V_t$                         | - | Vetor aleatório, ruído da observação  |
| $w_t$                         | - | Vetor aleatório, perturbação do sistema   |
| X                             | - | Variável aleatória gerada pelo simulador  |
| $x_i$                         | - | Observação no instante $i$  |
| $\hat{x}_i$                   | - | Previsão da observação no instante $i$  |
| Y                             | - | Variável aleatória gerada pelo simulador  |
| $y_t$                         | - | Vetor de observações  |
| $Y_t$                         | - | Série livre de tendência  |
| $Z_t$                         | - | Valor da série temporal no instante $t$   |
| $\hat{Z}_t(h)$                | - | Previsão para o horizonte $h$ a partir do instante $t$                              |
| $\tilde{Z}_t$                 | - | Valor alisado no instante $t$ , AES, e AELB, e estimativa do nível para o modelo HW |
| $\tilde{\tilde{Z}}_t$         | - | Valor duplamente alisado no instante $t$ , AELB                                     |
| $\tilde{\tilde{\tilde{Z}}}_t$ | - | Valor triplamente alisado no instante $t$ , AEQB                                    |
| $\alpha$                      | - | Constante de alisamento   |

|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| $\beta$                | - | Fator de desconto, AEG                      |
| $\beta_k$              | - | Parâmetros do modelo de regressão           |
| $\Gamma$               | - | Matriz entrada de dados                     |
| $\delta$               | - | Termo constante                             |
| $\theta_t$             | - | Parâmetro de médias móveis                  |
| $\underline{\theta}_t$ | - | Vetor de estados                            |
| $\theta(B)$            | - | Polinômio característico da estrutura MA    |
| $\mu_t$                | - | Nível da série temporal no instante $t$     |
| $\phi(B)$              | - | Polinômio característico da estrutura AR    |
| $\rho_i$               | - | Auto-correlações dos resíduos               |
| $\sigma$               | - | Desvio padrão da demanda                    |
| $\sigma_a^2$           | - | Variância do ruído branco                   |
| $\phi_t$               | - | Parâmetro auto-regressivo                   |
| $\psi(B)$              | - | Função de transferência                     |
| $\omega_t$             | - | Valor diferenciado da série no instante $t$ |
| $\nabla$               | - | Operador de diferenças                      |

## **RESUMO**

No cenário econômico atual, o mercado consumidor tem exigido produtos com maior qualidade e com prazos de fornecimento cada vez menores. Nas indústrias, uma das grandes dificuldades para os responsáveis pelas linhas de produção é o gerenciamento adequado dos níveis dos estoques dos produtos. Assim, um problema é o dimensionamento dinâmico desses estoques, sabendo-se que cada produto é composto por muitos itens. Procura-se uma forma de proporcionar ao cliente uma pronta entrega ou, pelo menos, não comprometer prazos acordados com os clientes e, muito menos, não causar interrupções na produção por falta de materiais (diversos itens componentes). Uma restrição de suma importância, dentro do competitivo mercado, é o custo de se manter em estoque produtos por períodos de tempo desnecessários. Para tomar decisões com antecedência, os responsáveis necessitam de previsões confiáveis que podem ser obtidas pelos métodos de previsão para séries temporais. O estudo aborda os métodos conhecidos como automáticos. Dentre os métodos automáticos, foram utilizados os modelos de Alisamento Exponencial Simples, Alisamento Exponencial Linear de Brown e Alisamento Exponencial Sazonal de Holt-Winters. Modelos que se ajustam a comportamentos diferentes e que levam em consideração as componentes de tendência, sazonalidade e aleatoriedade. Propõe-se uma metodologia que, apoiada em programa computacional e no histórico da demanda de vendas e utilizando as metodologias citadas, será capaz de prever, para o período solicitado, a demanda de um determinado produto, bem como dos itens que o compõem. Esta metodologia pretende fornecer informações para um planejamento adequado da produção, bem como um gerenciamento ótimo de estoques. Operacionalmente, produzirá relatórios direcionados aos administradores da produção e de materiais da planta industrial, informando as quantidades dos vários produtos em estoque, sua demanda futura e as necessidades de componentes para a produção prevista a fim de se manter o nível ótimo de estoque.

## **ABSTRACT**

In the current economic scenery, the buyer's market has demanded products with more quality and supplying terms shorter and shorter. In industries, one of the great difficulties for the persons in charge of production lines is the appropriate management concerning the levels of product stocks. Within this realm, a problem is the dynamic sizing of these stocks, with the knowledge that each product is composed by many items. It becomes necessary to find out a way to provide the customer a prompt delivery or, at least, not to jeopardize terms agreed on with the customers and, much less, not to cause interruptions in the production due to lack of materials (the diverse component items). A restriction of utmost importance, inside of the competitive market, is the cost to keep products in stock for unnecessary periods of time. In order to make decisions in advance, the responsible ones need trustworthy forecasts that can be obtained by the methods of forecasting for time series. This study approaches the methods known as automatic. Among them, the models used were of Simple Exponential Smoothing, Brown's Linear Exponential Smoothing and Holt-Winters's Seasonal Exponential Smoothing. Models that adjust to different behaviors and that take into account the trend components, seasonality and randomness. In this sense, it is proposed a methodology that, based on a computer program and on the description of sales demand and using the above mentioned methodologies, will be able to forecast, for a requested period, the demand of both a given product as well as the items that compose it. This methodology intends to offer information for an appropriate production planning and an excellent stock management, as well. Operationally, it will produce reports directed to the administrators of production and materials of an industrial plant, informing the quantity of the several products in stock, its potential demand and the necessities of components for the forecast production in order to keep an excellent level of stock.

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias, nos dias atuais, dependem cada vez mais de um mercado competitivo e globalizado. São obrigadas a modernizarem-se, caso desejem manter os seus mercados ou conquistar novos. Os seus clientes dentro dos mercados, por sua vez, estão sendo também cobrados pelos seus respectivos mercados. Então, existe uma busca contínua por maior produtividade e consequentemente competitividade. Esta é a regra atual. Mas, a busca por novas alternativas, soluções técnicas e econômicas, são preocupantes em função da velocidade com que são solicitadas.

O mercado consumidor tem exigido das empresas um atendimento cada vez mais flexível, personalizado e rápido. Assim, as empresas têm que se adequar às “necessidades dos clientes”. A satisfação do consumidor é um dos objetivos mais importantes das empresas. Com esse intuito, tem-se aumentado a atenção dispensada à Administração da Produção, que, dentro dos processos de fabricação, procura integrar os diversos setores envolvidos visando ao melhor desempenho de todo processo produtivo. O planejamento da produção e a integração harmoniosa entre fornecedor, fabricante e consumidor têm um papel de destaque no cenário econômico mundial atual.

### 1.1 O PROBLEMA

A Administração da Produção tem como uma de suas principais atribuições o gerenciamento de materiais, ou seja, de peças, produtos e matérias-primas necessárias ao atendimento dos pedidos e, principalmente, no prazo acordado ou no menor tempo possível, normalmente crítico.

A finalidade acima exposta, exige a necessidade de se determinar ao setor de compras quanto será necessário comprar de cada material e em que dias estes materiais

deverão estar disponíveis na fábrica, ou seja, determina “o que”, “quando” e “quanto” é necessário comprar e os prazos de entrega.

Em uma indústria, mesmo com os materiais disponibilizados para a linha de fabricação e/ou montagem, o processo de produção necessita de uma programação que coordene a utilização e aproveitamento dos bens disponíveis, compatibilizando os prazos de entrega acordados com as restrições e limitações de fabricação.

Ante a competitividade do mercado, as empresas necessitaram aumentar a sua produtividade e uma das maneiras é reduzir os custos. Um dos principais é o da manutenção dos níveis de estoques, tanto de matérias-primas e itens para a linha de fabricação e montagem, quanto o de produtos acabados. Com isso, os valores agregados a materiais na “prateleira” foram reduzidos e puderam ser investidos no processo produtivo ou em outras atividades, acelerando o crescimento da produtividade.

Uma das principais dificuldades do setor que gerencia a parte de materiais está na necessidade de tomar decisões sobre atividades futuras. Portanto, necessita de uma previsão da demanda de vendas dos produtos para que possa administrar a produção.

A previsão da demanda é a base para o planejamento estratégico da produção, vendas e finanças de qualquer empresa. Partindo destes dados, as empresas podem desenvolver os planos de capacidade, de fluxo de caixa, de vendas, de produção e estoques, de mão-de-obra, de compras, etc..

As previsões têm uma função muito importante nos processos de planejamento dos sistemas de produção, pois permitem que os administradores destes sistemas antevejam o futuro e planejem adequadamente suas ações. A aplicação de métodos de previsão de séries temporais, comprovadamente eficientes, aliadas a moderna informática, é a forma mais eficaz de garantir-se previsões confiáveis.

## 1.2 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é a elaboração de um Sistema de Planejamento Estratégico de Materiais (SPEM) para linha de fabricação, que colabore com os responsáveis pelo Planejamento e Controle de Produção (PCP) de uma indústria de manufatura, na tomada de decisões operacionais e administrativas, visando o controle e à diminuição do nível de estoque, e consequentemente redução de custo de manutenção dos mesmos. E, ainda, agilizar o tempo de entrega, de atendimento a pedidos, indo em direção ao sistema “just in time”. O SPEM, a partir do cadastro de componentes e materiais de um determinado produto acabado, baseado no histórico da demanda de vendas, deverá ser capaz de gerar previsões através de modelos de previsão de séries temporais, e informar quanto de cada componente deverá estar disponível para a linha de fabricação, em cada período futuro previsto. Com base nessas informações, poderá ser elaborado um planejamento direcionado do PCP. O sistema é programado de forma que o usuário não necessite de grande habilidade ou conhecimento em estatística ou qualquer outro modelamento matemático. Necessitando apenas de um treinamento simples.

Os objetivos específicos são:

- criar um sistema otimizado de previsões utilizando os métodos automáticos de previsão de séries temporais combinando modelos que se ajustam a comportamentos distintos;
- verificar os pontos críticos para um sistema de previsões baseado em séries temporais;
- determinar as melhores formas e as dificuldades em implementar o controle de materiais em uma indústria.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A previsão do volume de vendas, que é uma das variáveis mais importantes dentro de um sistema de produção possibilita um planejamento de produção em base realista.

Atualmente as empresas, em sua maioria, necessitando de previsões para planejamento do seu estoque futuro de matérias-primas, recorrem a informações dos setores de vendas e marketing. Outras, possuem programas de computador, que muitas vezes são muito complexos para a necessidade apresentada. Desta forma exigem conhecimentos específicos da área de estatística que os operadores não dominam. Os responsáveis pelo PCP, quando não conseguem as informações necessárias dos setores envolvidos, são obrigados a fazer suas próprias estimativas de vendas. Isto pode acarretar erros grandes e informações não confiáveis. Existe, então, a necessidade da melhoria das previsões, baseá-las em uma metodologia científica apropriada e criar uma ferramenta prática e "amigável" ao usuário. Assim, pode-se reduzir os riscos de planejamentos errôneos de estoques futuros, que acarretam custos altos na sua manutenção, prazos de entrega muito longos ou atrasos nos fornecimentos, por não possuir materiais necessários para todos os pedidos.

As ferramentas utilizadas neste trabalho, baseadas nos modelos de previsão de séries temporais, seguem a metodologia chamada de modelos automáticos. OLIVEIRA (2002) aborda em seu trabalho estimação através do método Box & Jenkins (ARIMA), que é uma metodologia paramétrica de difícil automação.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é composta pelo capítulo inicial, onde são abordadas as

preocupações, justificativas e o objetivo deste estudo. Na seqüência, o segundo capítulo aborda como se encontram os trabalhos sobre o assunto Séries Temporais e como são empregadas, bem como, relata como é tratada a questão da Administração da Produção dentro de um processo produtivo e como se relaciona com o gerenciamento de materiais.

No capítulo 3 apresenta-se o embasamento teórico utilizado e necessário a atingir os objetivos propostos, tanto da modelagem matemática quanto de forma de controle e gerenciamento de materiais. Também são apresentados os dados tomados como base para comprovar e conferir os resultados esperados.

Os resultados e conclusões obtidas são discutidas e analisadas no último capítulo, onde, comparam-se esses resultados com os objetivos traçados e são feitas recomendações para futuros trabalhos ou complementações.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SÉRIES TEMPORAIS

A utilização da hipótese de que o futuro seja uma continuação do passado, ao menos do passado recente, onde as mesmas tendências de crescimento ou declínio observadas devem permanecer no futuro, assim como a sazonalidade ou ciclicidade observadas no passado, isto pode ser considerado um modelo temporal (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

As séries temporais podem ser estudas através de dois enfoques: no domínio do tempo, onde se enquadram os modelos paramétricos (número finito de parâmetros), abordado neste trabalho, e no domínio da freqüência, modelos não paramétricos, onde destaca-se a análise espectral, que é aplicada em ciências físicas e engenharia, não fazendo parte deste estudo.

#### 2.1.1 Histórico

Nas décadas de 30 e 40, segundo CHAVES NETO (2000), considerava-se a série temporal (ST)  $\{Z_t, t = 1,2,3, \dots ,n\}$  como composta por 4 componentes, não observáveis e distintas:  $T_t$  (tendência),  $S_t$  (sazonalidade),  $C_t$  (ciclo) e ruído aleatório ( $a_t$ ) ou seja  $Z_t = f(T_t, S_t, C_t, a_t)$ . As formas de decomposição dessas componentes são:

$$\text{modelo aditivo: } Z_t = T_t + S_t + C_t + a_t$$

$$\text{modelo multiplicativo: } Z_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot a_t$$

$$\text{modelo misto: } Z_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t + a_t.$$

Cita também que WOLD<sup>1</sup> (1938), mostrou que qualquer série temporal  $Z_t$  discreta poderia ser representada por modelos AR (auto-regressivos) e MA (médias móveis). Porém, só foi possível a implementação destes métodos na década de 60, com o advento dos computadores de segunda geração (transistor). O resultado de Wold faz parte de uma abordagem mais geral de processos estocásticos desenvolvida, entre outros, por Kolmogorov, Wiener e Whittle.

Nas décadas de 50 e 60 foram desenvolvidos os chamados Métodos Automáticos de Previsão, que são metodologias que podem ser programadas no computador e que requerem pouquíssima ou nenhuma intervenção do analista. Correspondem a métodos de ajustamento de curvas com parâmetros seqüencialmente atualizados no tempo. Os métodos de alisamento (amortecimento) exponencial constituem a formulação mais popular desta categoria.

MAKRIDAKIS, WHEELWRIGHT e McGEE (1983) citam que os métodos de alisamento foram inicialmente desenvolvidos no final do anos 50 por pesquisadores operacionais. Este desenvolvimento se deve a BROWN<sup>2</sup> (1956), HOLT<sup>3</sup> (1957), e ainda MAGEE<sup>4</sup> (1958). Brown trabalhou para a Marinha Americana durante a 2<sup>a</sup> Guerra Mundial, onde tinha a missão de desenvolver um sistema de informação para calcular a localização de submarinos. Mais tarde, ele aplicou a técnica desenvolvida para prever demandas de produtos. A pesquisa de Holt foi suportada pelo Office of Naval Research; independentemente de Brown, ele desenvolveu modelos de amortecimento exponencial para processos constantes, com tendência linear e para séries sazonais.

---

<sup>1</sup> WOLD, W. H. A Study in the analysis of stationary time series. 2. ed. Estocolmo: Almqvist & Wiksel, 1938.

<sup>2</sup> BROWN,R.G. Exponential Smoothing for Predicting Demand. Presented at Tenth National Meeting of the Operations Research Society of America, San Francisco, November 16,1956.

<sup>3</sup> HOLT, C.C. Forecasting Seasonal and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages. Office of Naval Research, Research Memorandum Nr. 52, 1957

<sup>4</sup> MAGEE, J.F. Production Planning and Inventory Control. New York: McGraw-Hill, 1958.

Os mais importantes trabalhos desenvolvidos sobre alisamento exponencial, segundo CHAVES NETO (2000), foram completados no final dos anos 50 e publicados no início dos anos 60. Nestes trabalhos incluem-se os realizados por BROWN<sup>2</sup> (1956) e HOLT<sup>3</sup> (1957) e subsequentemente por MAGEE<sup>4</sup> (1958), BROWN<sup>5</sup> (1959), HOLT ET AL.<sup>6</sup> (1960), WINTERS<sup>7</sup> (1960), BROWN e MEYER<sup>8</sup> (1961), e BROWN<sup>9</sup> (1963). Deste então, o conceito de alisamento exponencial foi crescendo e se tornou um método prático com vastas aplicações, principalmente na previsão de estoques (inventários).

O trabalho básico sobre alisamento exponencial simples teve dois propósitos: introduzir o método para uma vasta audiência de acadêmicos, pesquisadores, demonstrando sua aplicabilidade e ainda mostrar a teoria dos métodos. Este último propósito foi lançado por BROWN e MEYER<sup>8</sup> (1961) e continuado pelo trabalho de NERLOVE e WAGE<sup>10</sup> (1964), THEIL e WAGE<sup>11</sup> (1964), e diversos outros (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; McGEE, 1983).

A teoria fundamental do alisamento exponencial foi construída por BROWN e MEYER<sup>8</sup> (1961) e nela estabeleceu-se que, em qualquer série temporal  $\{Z_t, t = 0, 1, \dots, n\}$ , deve existir no tempo  $t$  um único polinômio representando a série temporal:

- <sup>5</sup> BROWN, R.G. Statistical Forecasting for Inventory Control. New York: McGraw-Hill, 1959.
- <sup>6</sup> HOLT, C.C.; MODIGLIANI, F.; MUTH, J.F.; SIMON, H.A. Planning Production Inventories and Work Force. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1960.
- <sup>7</sup> WINTERES, P.R. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Management Science, 6, pp. 324-42, 1960.
- <sup>8</sup> BROWN, R.G.; MEYER, The Fundamental Theorem of Exponential Smoothing. Operations Research, 9, nr.5, pp. 673-85 1961.
- <sup>9</sup> BROWN, R.G. Smoothing, Forecasting and Prediction. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1963.
- <sup>10</sup> NERLOVE, M.; WAGE, S. On the Optimality of Adaptive Forecasting. Management Science, 10, nr. 2, pp. 207-24, 1964.
- <sup>11</sup> THEIL, H., WAGE, S. Some Observations on Adaptive Filtering. Management Science, 10, nr. 2, pp. 198-224, 1964.

$$Z_{t+m} = a_t + b_t m + \frac{c_t}{2} m^2 + \dots + \frac{g_t}{K'} m^K,$$

onde  $Z_{t+m}$  é a previsão para o horizonte  $m$  estando no instante  $t$  e  $a_t, b_t, c_t, \dots, g_t$  são os coeficientes da combinação linear da equação. Os coeficientes da equação podem ser estimados como combinações lineares dos valores resultantes dos primeiros  $K+1$  graus (simples, duplo, triplo, etc.) de alisamento aplicado para os valores  $Z_t$ . A prova deste resultado pode ser encontrada em BROWN e MEYER<sup>8</sup> (1961) e BROWN<sup>9</sup> (1963). Estimando os valores de  $a_t, b_t, c_t, \dots, g_t$  requeridos para expressar  $Z_{t+m}$  como uma expansão em série de Taylor em função de  $t$  e tomando  $K$  derivadas obtém-se  $K$  equações simultâneas que expressam os graus de alisamento. Todos os métodos de alisamento podem ser obtidos a partir deste resultado fundamental, tal como os casos especiais dos múltiplos alisamentos exponenciais.

Os Métodos de Amortecimento (Alisamento) Exponencial ainda são muito utilizados para suavizar séries temporais discretas e prever valores futuros. A razão deste fato é a simplicidade dos métodos e a eficiência computacional. Estas técnicas tornaram-se muito populares como métodos de previsão para uma vasta variedade de séries temporais (CHAVES NETO, 2000).

Uma propriedade adicional do alisamento exponencial múltiplo é a de que o alisamento exponencial é um caso especial da classe geral dos modelos autoregressivos e médias móveis.

Na década de 1970 surgiu a metodologia Box & Jenkins que é considerada, sem dúvida, um dos mais importantes trabalhos na área de Previsão de Séries Temporais. Foi esse estudo o responsável pelo grande desenvolvimento e pela correspondente formalização da área de estudo de Séries Temporais. O trabalho dos pesquisadores Box e Jenkins foi baseado no importante resultado de WOLD<sup>1</sup> (1938): “*qualquer série temporal pode ser representada por uma estrutura de médias móveis infinita*”, ou melhor, “*qualquer processo estocástico estacionário  $Y_t$  pode ser*

*representado como a soma de dois processos mutuamente interrelacionados,  $Y_t = D_t + A_t$ , onde  $D_t$  é linearmente determinístico (sistêmico) e  $A_t$  é um processo Médias Móveis infinito ( $MA(\infty)$ )".* A parte determinística pode ser uma função exata do tempo. Box e Jenkins, em 1970, propuseram uma classe geral de modelos lineares conhecida como ARIMA (autoregressive integrated moving average) para a série temporal  $\{Z_t, t=1,2,3, \dots, n\}$  para modelar séries temporais e também para controle em engenharia de sistemas.

### 2.1.2 Conceitos Básicos e Definição

Séries Temporais são observações ordenadas no tempo, ou melhor, seqüência de valores que seguem uma ordem não aleatória. Esta análise é diferente das observações aleatórias que são discutidas no contexto da estatística "convencional" (MORETTIN; TOLOI, 1981).

A análise das séries temporais é baseada na suposição de que valores sucessivos dos dados representam formas de medidas consecutivas tomadas em intervalos de tempos iguais, denominadas séries discretas. Existem também as chamadas séries contínuas onde o levantamento das observações pode ser feito a qualquer tempo.

Def. 1 – Processo Estocástico: um processo estocástico  $Z(\omega,t)$  é uma família (classe)  $Z = \{ Z_t, t = 1, 2, \dots, n\}$  tal que, para cada  $t$ ,  $Z_t$  é uma variável aleatória.

Def. 2 – Série Temporal: uma série temporal  $Z_t$  é uma realização do processo estocástico  $Z(\omega,t)$  onde  $t \in T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  com  $t_{i+1} - t_i = h \quad \forall i$

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UM PROCESSO ESTOCÁSTICO

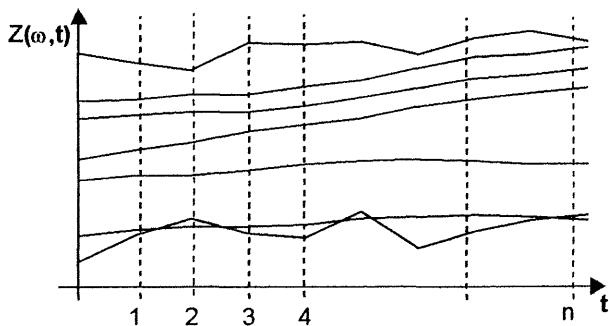
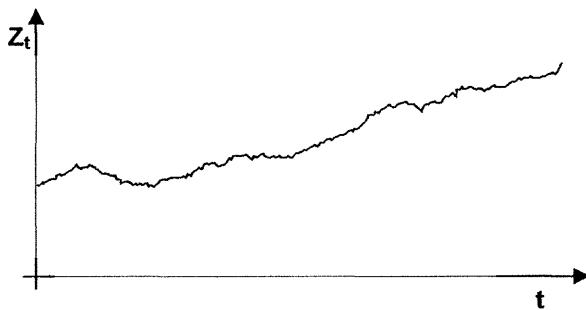


FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA SÉRIE TEMPORAL



### 2.1.3 Objetivos

Existem dois objetivos principais na análise de séries temporais, o primeiro consiste em identificar a natureza do fenômeno gerador da seqüência de observações. O segundo, é fazer previsões de valores futuros da série temporal. Para alcançar estes objetivos, necessita-se identificar o padrão gerador dos dados da seqüência observada. Uma vez identificado o padrão de comportamento, é possível extrapolar o padrão identificado e prever eventos futuros (STATSOFT, 1999). Geralmente o que se faz é identificar a estrutura do processo gerador da série, dentro de uma classe de modelos predefinidos e sob algumas condições se estimam os parâmetros e faz-se previsões. Ou ainda, modela-se a seqüência segundo premissas de amortecimento da variação e ajustamento de tendência atualizada no tempo, finalmente faz-se previsões.

#### 2.1.4 Notação e Decomposição

Os modelos empregados para representar séries temporais são processos controlados por leis probabilísticas, ou seja, são processos estocásticos (MORETTIN; TOLOI, 1981) conforme definido em 2.1.2.

Dependendo da natureza das observações e parâmetros do modelo, verifica-se a existência de séries univariadas e multivariadas.

A representação das séries temporais é feita normalmente considerando-se a série temporal (uma realização de um processo estocástico), como  $Z(t)$ , onde as observações são registradas em instantes discretos e igualmente distribuídos no tempo, com a notação  $Z_1, Z_2, \dots, Z_N$ . A forma clássica de se escrever uma série é  $Z_t = f(t) + a_t$ , em que  $f(t)$  é uma função completamente determinada (parte sistemática, determinística) e  $a_t$  é uma seqüência aleatória, independente de  $f(t)$  sendo que as variáveis aleatórias  $a_t$  não são correlacionadas e possuem média zero e variância constante. A variável aleatória  $a_t$  também é chamada de ruído branco (MORETTIN; TOLOI, 1981) quando tem distribuição  $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$ .

Segundo THURY (1998) uma série observada é vista como uma combinação de vários componentes: série = tendência + sazonalidade + cíclica + irregular. Por isso, esta forma de representação é chamada de aditiva. A componente cíclica na maioria das vezes não é considerada, normalmente possui grande período, maior que ano, por este motivo é difícil ser determinada no intervalo de observações analisadas. Algumas vezes um comportamento identificado como tendência pode ser parte de um ciclo com período muito grande. A componente irregular é determinada como a parte estocástica do modelo. Existe também a forma multiplicativa, mais utilizada para decomposição de séries econômicas e podem ser convertidas para a forma aditiva através de operações com logaritmos (MORETTIN; TOLOI, 1981).

WHEELWRIGHT e MARKIDRAKIS (1985) citam a existência de vários procedimentos que foram desenvolvidos para decomposição de séries temporais. Cada

método procura retirar as componentes não observáveis da forma mais precisa possível. Estes procedimentos, uma vez identificada cada uma das componentes, possibilitam melhor compreensão do comportamento da série e, com isso, possibilitam a previsão de valores mais precisos.

MORETTIN e TOLOI (1981) afirmam que para qualquer classificação, existem diversos modelos de séries temporais que descrevem o comportamento de uma série em particular. A construção destes modelos depende do comportamento do fenômeno e/ou de sua natureza e do objetivo da análise. Na prática, segundo o autor, depende também da existência de métodos ótimos de estimação e da disponibilidade de programas (“softwares”) adequados.

Segundo MORETTIN e TOLOI (1981), todos os modelos probabilísticos ou estocásticos devem ser simples, com o menor número de parâmetros possível e não devem apresentar dificuldades ao interessado em manipulá-los.

### 2.1.5 Considerações sobre os Métodos de Previsão

O problema maior da previsão da demanda de vendas de uma empresa, conforme colocado por CORRÊA, GIANESI e CAON (2000), é a magnitude do erro de previsão. Em muitos casos chega-se a valores bem discrepantes com os reais. Existem, segundo esses autores, basicamente dois motivos para este fato: o primeiro, responsável por boa parte dos erros, é a instabilidade do próprio mercado; o segundo motivo, se deve ao sistema de previsão que está sujeito à confiabilidade dos dados históricos e à escolha do melhor modelo. O primeiro motivo afeta o desempenho da empresa, mas também atinge os concorrentes. O autor chama a atenção para o segundo motivo, uma vez que cada empresa terá o seu método de previsão, fazendo deste o diferencial de competitividade.

WHEELWRIGHT e MARKIDRAKIS (1985) verificaram a eficiência de

previsão de vários métodos comumente utilizados em séries temporais. Compararam os resultados obtidos e identificaram situações onde esses métodos apresentaram melhor desempenho. A acuidade de previsão não está baseada somente no horizonte de previsão desejado, mas também é fortemente influenciada pelas características das observações da série analisada. Citam que a combinação de previsões de mais de um modelo, aumenta a confiabilidade e reduz grandes desvios dos valores projetados.

## 2.1.6 Métodos Automáticos

### 2.1.6.1 Introdução

MORETIN e TOLOI (1981) sugerem a divisão dos métodos de previsão de séries temporais em duas categorias: métodos automáticos, que são aqueles aplicados diretamente com a utilização de um computador (processos iterativos), e métodos não automáticos, aqueles que exigem a intervenção de um operador especializado na seleção do modelo devido à dificuldade de automatização do método. A grande popularidade atribuída aos métodos automáticos é devido à facilidade de implementação, eficiência computacional e a sua boa previsão. Adiante descreve-se os principais métodos automáticos (2.1.6.2) e em 2.1.7 os principais métodos não automáticos.

Na escolha de modelos para previsão de séries temporais, deve-se levar em consideração o comportamento dos dados, CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) e, basicamente, quatro hipóteses podem ser levantadas: hipótese de *permanência* (estacionariedade), pela qual se admite que a série tem comportamento estável e uniforme, sem tendência de aumento ou decréscimo, e nem sazonalidade que possa ser

identificada; hipótese de *trajetória* padrão (tendência), em que se admite que a série tem comportamento de aumento ou decréscimo a determinada taxa uniforme, mas sem sazonalidade que possa ser identificada; hipótese *sazonal com permanência* (sazonalidade), na qual se admite que há sazonalidade que pode ser identificada e justificada, mas sem tendência de aumento ou decréscimo na média; hipótese *sazonal com trajetória* (tendência e sazonalidade), a mais complexa, em que admite-se que há sazonalidade que pode ser identificada e justificada, com tendência de aumento a determinada taxa uniforme.

#### 2.1.6.2 Modelos para Séries Estacionárias

MORETTIN e TOLOI (1981) definem um processo estacionário se ele se desenvolve no tempo de modo que a escolha de uma origem dos tempos não seja relevante. Sendo  $Z(t)$  um processo estocástico estacionário, as características de  $Z(t+\tau)$ , para todo  $\tau$ , são as mesmas de  $Z(t)$ , em termos de média e variância.

As séries temporais, com este tipo de comportamento, podem ser decompostas em nível e ruído aleatório:

$$Z_t = \mu_t + a_t \quad t = 1, 2, \dots, N,$$

onde  $\mu_t$  é um parâmetro desconhecido, constante ou que pode variar suavemente com o tempo e  $a_t$  é a componente estocástica do modelo com  $E(a_t) = 0$  e  $V(a_t) = \sigma_a^2$ .

Na modelagem de séries temporais partindo-se desses pressupostos, basicamente, procura-se determinar o melhor modelo que possa representar a parte determinística da série e padrão de comportamento. Isto implica em se reduzir os resíduos  $\hat{a}_t$ .

### 2.1.6.2.1 Médias Móveis Simples (MMS)

Os modelos de médias móveis são adequados quando se trabalha com a hipótese de estacionariedade na série (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000), sem que se identifique uma tendência de aumento ou decréscimo acentuado nos dados observados. Para estes casos assume-se que as variações são, na maioria, devidas a causas aleatórias e distribuídas de forma simétrica em relação à média. Este modelo procura suavizar essas variações e realiza previsões assumindo a média dos K últimos valores históricos registrados. No final do período T de uma série temporal, temos o histórico  $Z_1, Z_2, \dots, Z_T$  para o qual deseja-se estimar os parâmetros  $\mu$  e  $\sigma_a^2$ . Usando-se o procedimento de Médias Móveis Simples de ordem  $k$  calcula-se a média aritmética das  $k$  observações mais recentes :

$$M_t = \frac{Z_t + Z_{t-1} + Z_{t-2} + \dots + Z_{t-k+1}}{k} \quad \text{ou} \quad M_t = M_{t-1} + \frac{Z_t - Z_{t-k}}{k}.$$

Neste processo  $M_t$  é uma estimativa do nível de série e não pondera as observações mais antigas com a mesma importância dada às mais recentes. O nome média móvel se deve ao fato de se substituir a observação mais antiga pela mais recente.

A previsão para o horizonte  $h$  é dada pela última média móvel :

$$\hat{Z}_t(h) = M_t, \quad \forall h > 0.$$

Para atualização de previsões, pode-se utilizar a seguinte equação:

$$\hat{Z}_t(h) = \hat{Z}_{t-1}(h+1) + \frac{Z_t - Z_{t-k}}{k} \quad \forall h > 0.$$

Os parâmetros do modelo foram estimados por:  $E[\hat{Z}_t(h)] = \mu$  e  $V[\hat{Z}_t(h)] = \frac{\sigma_a^2}{k^2}$  onde é  $\sigma_a^2$  a variância dos erros.

É citado por CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) que a escolha de  $k$  influencia muito o desempenho do método na previsão. Quanto maior for o seu valor, maior será a suavização das variações aleatórias e menor será a sensibilidade do modelo a mudanças.

MORETTIN e TOLOI (1981), citam que um valor grande de  $k$  faz com que a previsão acompanhe lentamente as mudanças do parâmetro  $\mu$ . Um valor pequeno implica numa alteração mais rápida. Os extremos são analisados:  $k = 1$ , o último valor da série será utilizado para a previsão, considera-se um “método ingênuo”;  $k = T$ , todos os valores da série, a previsão será a média aritmética de todos os valores das observações, indicado para séries altamente aleatórias. A escolha do valor de  $k$  deverá ser proporcional à aleatoriedade de  $a_t$ . O melhor valor de  $k$  é aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão (MSE) durante o processo de verificação de ajuste do modelo à serie temporal observada.

É mencionado por DIAS (1995) que as vantagens do método são: simplicidade e facilidade de implantação e ainda, admite processamento manual. CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) citam a facilidade de previsão de muitos itens com histórico de pequenas flutuações e sem indicação de tendência. Em MORETTIN e TOLOI (1981) o modelo pode ser aplicável quando se tem um número pequeno de observações; grande flexibilidade devido a possibilidade de escolha de  $k$  de acordo com o padrão da série.

DIAS (1995) acusa algumas desvantagens que este método apresenta: possibilidade de gerar movimentos cílicos, ou de outra natureza, não existentes nos dados originais; o modelo é afetado pelos valores extremos; as observações mais antigas possuem o mesmo peso que as mais atuais. É citado por CORRÊA, GIANESI e CAON (2000): para séries que apresentem tendência a previsão poderá ficar sub ou superestimada.

Em MORETTIN e TOLOI (1981) é encontrado que este modelo deve ser utilizado somente para previsões de séries estacionárias uma vez que, os pesos atribuídos às últimas observações são todos iguais e não considera as observações anteriores a este período. Cita como desvantagem a necessidade de armazenar ( $k-1$ ) observações.

#### 2.1.6.2.2 Alisamento Exponencial Simples (AES)

O Alisamento Exponencial Simples é uma média ponderada que atribui pesos maiores às observações mais recentes (MORETTIN; TOLOI 1981). CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) citam que o AES utiliza todos os valores históricos, com coeficientes de ponderação que decrescem exponencialmente.

O modelo pode ser descrito por:

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + (1-\alpha) \tilde{Z}_{t-1}, \quad \tilde{Z}_0 = Z_1 \quad t = 1, \dots, N$$

ou também por,

$$\tilde{Z}_t = \alpha \sum_{k=0}^{t-1} (1-\alpha)^k Z_{t-k} + (1-\alpha)^t \tilde{Z}_0, \quad t = 1, \dots, N \quad \text{e} \quad k = 1, 2, \dots, t,$$

com  $\tilde{Z}_0$  a estimativa inicial de  $\mu$ .  $\tilde{Z}_t$  é denominado valor exponencialmente alisado e  $\alpha$  é a constante de alisamento. A soma dos pesos atribuídos às observações converge para 1 quando  $t \rightarrow \infty$ :

$$\alpha[1 + (1-\alpha) + (1-\alpha)^2 + \dots] = \alpha + \alpha(1-\alpha) + \alpha(1-\alpha)^2 + \dots ,$$

ocorrendo a soma de uma progressão geométrica com  $q = (1 - \alpha)$  de onde se obtém,

$$S = \frac{\alpha}{1 - (1 - \alpha)} = 1$$

A constante de alisamento e ponderação  $\alpha$  está limitada ao intervalo entre 0 e 1. Quanto maior o seu valor, maior será o peso dado às observações mais recentes (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

MORETTIN e TOLOI (1981) citam que a previsão de todos os valores futuros é obtida pelo último valor exponencialmente alisado:

$$\hat{Z}_t(h) = \tilde{Z}_t, \quad \forall h > 0.$$

CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) citam a grande utilização deste método na previsão da demanda de vendas de produtos, principalmente quando se tem conhecimento de que a demanda possui um comportamento estável.

MARTINS e LAUGENI (1999) referem-se ao emprego do alisamento exponencial simples para previsões da demanda de vendas como um dos métodos que podem ser adotados quando se possui dados históricos e se admite que o futuro será uma continuação do passado para o produto analisado. Quando se está lidando com demanda de vendas de produtos que possuem um comportamento estável, um método rotineiro de atualização regular de previsão é o Alisamento Exponencial Simples (ARNOLD, 1999). As vantagens citadas para este método referem-se à redução do número de observações a serem armazenadas, de fácil entendimento e aplicação, de grande flexibilidade em função da escolha mais adequada da constante de alisamento  $\alpha$ . Para DIAS (1995), a previsão deste modelo considera apenas a sua tendência geral, eliminado a reação exagerada a valores aleatórios.

SNYDER e GROSE (1996) buscaram a construção de um intervalo de confiança para previsões realizadas com o alisamento exponencial simples e um

modelo com tendência corrigida. Propuseram um método baseado em aproximação linear, e concluíram que o mais correto intervalo de confiança pode ser obtido com uma forma paramétrica do método *bootstrap*<sup>1</sup>. Esbarraram em problemas de tempo computacional.

#### 2.1.6.2.3 Alisamento Exponencial Adaptativo de Trigg e Leach

Este método é uma variação do Alisamento Exponencial Simples, não sendo necessário especificar a constante de alisamento. É considerado adaptativo por permitir a alteração do valor da constante de alisamento  $\alpha$  quando ocorrer uma alteração no padrão básico da série (MORETTIN; TOLOI, 1981)

O método é descrito matematicamente por:

$$S_t = \frac{E_t}{M_t}, \quad t = 1, \dots, N, \text{ onde,}$$

$$E_t = \beta e_t + (1 - \beta) E_{t-1} \quad \text{e} \quad M_t = \beta |e_t| + (1 - \beta) M_{t-1}$$

$$e_t = Z_t - \hat{Z}_{t-1}(1), \text{ erro de previsão no instante } t \text{ e } \beta = 0,1 \text{ ou } 0,2.$$

Os valores que  $S_t$  pode assumir estão no intervalo  $[-1, 1]$ . Valores de  $S_t$  próximos de zero indicam que o modelo se ajustou bem aos dados da série temporal, proporcionando então erros pequenos de previsão. Valor de  $S_t$  próximo de  $\pm 1$ , indica erros de previsão grandes, logo o modelo não está bem ajustado.

A previsão é baseada na equação:

---

<sup>1</sup> *Bootstrap* é uma técnica poderosa, no que diz respeito a medir quão bom é o nível de confiança num determinado parâmetro, produzido por um estimador qualquer. (RODRIGUES; GUEDES, 1999)

$$\hat{Z}_t(h) = \alpha_t Z_t + (1 - \alpha_t) \hat{Z}_{t-1}(h+1), \quad \forall h > 0$$

onde os valores da constante de alisamento  $\alpha_t$  são obtidos por:

$$\alpha_t = \left| \frac{E_t}{M_t} \right| = |S_t|, \quad t = 2, \dots, N.$$

A consideração sobre a escolha da constante de alisamento ou seja, se ela é baseada na verificação de que quando o sistema não estiver bem ajustado ( $S_t$  próximo de  $\pm 1$ , fora de controle), deverá se dar peso maior aos dados mais recentes. Neste caso a constante é aumentada. Quando o sistema estiver bem ajustado aos dados ( $S_t$  próximo de zero, sistema sob controle), a constante deverá ser diminuída.

MORETTIN e TOLOI (1981) atribuem ao método todas as vantagens do Alisamento Exponencial Simples, acrescido da não necessidade de especificação da constante de alisamento. A desvantagem citada é a falta de clareza para métodos que utilizam várias constantes de alisamento.

GODOFREY e POWELL (2000) utilizam este método como uma das formas de detectar mudanças no processo da demanda de transporte de cargas.

#### 2.1.6.3 Modelos para Séries com Tendência

Para estes modelos, as séries consideradas não são estacionárias. Na decomposição tradicional  $Z_t = T_t + S_t + a_t$ , inicialmente se faz necessária a determinação da tendência, inclusive por esta possuir forte influência sobre a sazonalidade que será vista posteriormente (MORETTIN; TOLOI, 1981). Para o estudo da tendência, considera-se inicialmente o modelo  $Z_t = T_t + a_t$ ; não considerando a componente sazonal. Existem vários métodos para estimar a  $T_t$ , como: ajustar uma

função no tempo, através de um polinômio, uma exponencial, ou uma outra função suave em função do tempo; suavizar (filtrar) os valores da série ao redor de um ponto, estimando a tendência neste ponto.

Uma vez estimada a tendência ( $\hat{T}_t$ ), podemos obter a série livre de tendência  $Y_t = Z_t - \hat{T}_t$ . Outro procedimento para eliminar a tendência é o de tomar diferenças, muito utilizado para séries econômicas, por exemplo  $\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1}$  (primeira diferença). A série é diferenciada até que alcança-se a estacionariedade. Geralmente uma ou duas diferenças são suficientes.

#### 2.1.6.3.1 Alisamento Exponencial Linear de Brown (AELB)

Desenvolvido com base no Alisamento Exponencial Simples, que apresenta erros sistemáticos nas previsões em séries que possuem tendência (MORETTIN; TOLOI, 1981). O AELB é um procedimento simples que consiste basicamente em calcular um segundo valor exponencialmente alisado. O modelo matemático pode ser definido por:

$$\tilde{\tilde{Z}}_t = \alpha \tilde{Z}_t + (1-\alpha) \tilde{\tilde{Z}}_{t-1}, \quad \tilde{Z}_1 = Z_1 \quad \text{onde,}$$

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + (1-\alpha) \tilde{Z}_{t-1} \quad \text{e} \quad 0 < \alpha < 1,$$

$\tilde{Z}$  é o valor obtido através do alisamento exponencial simples,  $\tilde{\tilde{Z}}$  é o valor duplamente alisado e  $\alpha$  é a constante de alisamento entre 0 e 1.

Supondo que a tendência seja linear, o modelo poderá ser determinado por:

$$Z_t = m_1 + b_2 t + \alpha_t, \quad t = 1, \dots, N,$$

onde  $m_1$  é o intercepto e  $b_2$  é a declividade. A equação de previsão é:

$$\hat{Z}_t(h) = \hat{m}_{1,t} + \hat{b}_{2,t}(h), \text{ onde}$$

$$\hat{m}_{1,t} = 2\tilde{Z}_t - \tilde{\tilde{Z}}_t$$

$$\hat{b}_{2,t} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \left( \tilde{Z}_t - \tilde{\tilde{Z}}_t \right).$$

Segundo MORETTIN e TOLOI (1981), as vantagens do método são a grande flexibilidade de ajuste devido à constante de alisamento, facilidade de entendimento e aplicação, adequado a séries que apresentam tendência linear. A desvantagem do método é que ele é direcionado para a tendência linear.

GODOFREY e POWELL (2000) aplicam o método de Brown para a previsão de transporte de cargas. Devido à complexidade do calendário, mudanças em função de feriados, épocas do ano e eventos, acrescentaram uma variável indicadora  $I_t$  que determina a sazonalidade no dia  $t$ :

$$Z_t = [m_1 + b_2 t] I_t + a_t, \quad t = 1, \dots, N.$$

Ainda segundo GODOFREY e POWELL (2000), a variação deste método foi comparada com os modelos ARIMA (Metodologia Box & Jenkins), sendo este último utilizado como padrão de conferência. Segundo os autores, o desempenho foi considerado bom.

#### 2.1.6.3.2 Alisamento Exponencial Biparamétrico de Holt

Este método é similar ao princípio do AELB, com a diferença de que ao

invés do alisamento duplo, ele alisa diretamente os valores da tendência (MORETTIN; TOLOI, 1981).

O Alisamento Exponencial Biparamétrico de Holt possui grande flexibilidade possibilitando a escolha de valores distintos para o nível e tendência. O nível e a tendência são estimados por:

$$\tilde{Z}_t = AZ_t + (1-A)(\tilde{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}) , \quad 0 < A < 1 \quad \text{e} \quad t = 2, \dots, N$$

$$\hat{T}_t = C(\tilde{Z}_t - \tilde{Z}_{t-1}) + (1-C)\hat{T}_{t-1} , \quad 0 < C < 1 \quad \text{e} \quad t = 2, \dots, N.$$

onde A e C são denominadas constantes de alisamento. As equações acima modificam estimativas anteriores quando uma nova observação é obtida.

A previsão para a observação  $Z_{t+h}$ , com origem no instante t e horizonte de previsão h é obtida por:

$$\hat{Z}_t(h) = \tilde{Z}_t + h\hat{T}_t, \quad \forall h > 0.$$

A previsão é obtida ao se adicionar o valor do nível (valor básico) a uma tendência multiplicada pelo número de passos a serem previstos (h). A equação para se atualizar a previsão, tendo-se uma nova observação  $Z_{t+1}$ , é dada por :

$$\tilde{Z}_{t+1} = AZ_{t+1} + (1-A)(\tilde{Z}_t + \hat{T}_t) ,$$

$$\hat{T}_{t+1} = C(\tilde{Z}_{t+1} - \tilde{Z}_t) + (1-C)\hat{T}_t.$$

O novo valor da previsão  $Z_{t+h}$  será obtido :

$$\hat{Z}_{t+1}(h-1) = \tilde{Z}_{t+1} + (h-1)\hat{T}_{t+1}.$$

Para a equação acima são necessárias estimativas iniciais para  $\hat{T}_2$  e  $\tilde{Z}_2$ , que podem ser obtidas por:

$$\hat{T}_2 = Z_2 - Z_1, \quad \tilde{Z}_2 = Z_2.$$

A escolha das constantes de alisamento A e C, como nos métodos anteriores, deverá minimizar a soma quadrática dos erros, sendo que para o Alisamento Exponencial Biparamétrico de Holt não será a escolha de apenas uma constante e, sim, para a combinação de duas constantes, ou seja, para o vetor [A C].

As vantagens atribuídas ao método por MORETTIN e TOLOI (1981) são: a grande flexibilidade de ajuste do modelo à série, uma vez que se podem alterar as constantes de alisamento; de fácil entendimento e aplicação; adequado a séries que apresentam tendência linear. Desvantagem citada para o método é a dificuldade de se determinar o valor mais adequado para as constantes A e C.

WILLIANS e MILLER (1999) relatam em seu trabalho o problema de ajuste de modelos a séries que possuem mudanças de nível. Propõem um modelo baseado no método de Holt, cujos parâmetros são independentes, e proporcionam com isso melhor adaptação e menor erro de previsão. Este modelo proposto inclui mais um componente chamado de fator de ajuste, que representa o efeito cumulativo da série. O modelo proposto é:

$$\hat{Z}_t(h) = \tilde{Z}_t + h\hat{T}_t + A_t, \quad \forall h > 0, \text{ onde } A_t \text{ é o fator de ajuste.}$$

#### 2.1.6.3.3 Alisamento Exponencial Quadrático de Brown (AEQB)

É uma das formas mais complexas de alisamento. Adequado para prever séries cujo comportamento da tendência seja quadrático. Similar ao AELB já citado,

incorpora um terceiro alisamento, mais um nível, e mais uma constante de alisamento a ser determinada.

Seu modelo matemático pode ser representado por:

$$Z_t = b_1 + b_2 t + \frac{1}{2} b_3 t^2 + a_t, \quad t = 1, \dots, N.$$

As equações de alisamento são:

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + (1 - \alpha) \tilde{Z}_{t-1}, \quad t = 2, \dots, N,$$

$$\tilde{\tilde{Z}}_t = \alpha \tilde{Z}_t + (1 - \alpha) \tilde{\tilde{Z}}_{t-1}, \quad t = 2, \dots, N,$$

$$\tilde{\tilde{\tilde{Z}}}_t = \alpha \tilde{\tilde{Z}}_t + (1 - \alpha) \tilde{\tilde{\tilde{Z}}}_{t-1}, \quad t = 2, \dots, N.$$

A previsão deste modelo  $Z_{t+h}$  poderá ser obtida pela equação a seguir, sendo necessária a obtenção das estimativas para  $\hat{b}_1, \hat{b}_2$  e  $\hat{b}_3$ :

$$\hat{Z}_t(h) = \hat{b}_1 + \hat{b}_2(t+h) + \frac{1}{2}\hat{b}_3(t+h)^2.$$

Mudando a origem dos tempos para o instante  $t$ :

$$\hat{Z}_t(h) = \hat{a}_{1,t} + \hat{a}_{2,t}h + \hat{a}_{3,t}h^2,$$

onde:

$$\hat{a}_{1,t} = 3\tilde{Z}_t - 3\tilde{\tilde{Z}}_t + \tilde{\tilde{\tilde{Z}}}_t,$$

$$\hat{a}_{2,t} = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} \left[ (6-5\alpha)\tilde{Z}_t - 2(5-4\alpha)\tilde{\tilde{Z}}_t + (4-3\alpha)\tilde{\tilde{\tilde{Z}}}_t \right],$$

$$\hat{a}_{3,t} = \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \left( \tilde{Z}_t - 2\tilde{\tilde{Z}}_t + \tilde{\tilde{\tilde{Z}}}_t \right).$$

A escolha da constante de alisamento  $\alpha$  se dará pela minimização do cálculo do erro quadrático médio, como nos métodos anteriores.

A vantagem deste método é a de se adequar à séries que apresentam tendência quadrática (MORETTIN; TOLOI, 1981).

#### 2.1.6.4 Modelos para Séries Sazonais

Estes modelos são ajustados aos dados de séries que apresentam uma componente sazonal  $S_t$ . O modelo tradicional completo  $Z_t = T_t + S_t + a_t$ , onde a sazonalidade definida pode ser diagnosticada pelas observações, sendo que,  $Z_t$  é relacionada com  $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots$ , mas também é fortemente relacionada com  $Z_{t-s}, Z_{t-s}, \dots$ , sendo  $s$  o período de sazonalidade (MORETTIN; TOLOI, 1981). Isto implica que séries sazonais apresentam alta correlação em defasagens múltiplas do período  $s$ . A sazonalidade pode ser do tipo determinística. Assim ela é aquela que pode ser prevista a partir de observações anteriores. Pode ser também do tipo estocástica, aí então a componente sazonal varia com o tempo.

##### 2.1.6.4.1 Alisamento Exponencial Sazonal de Holt-Winters (HW)

Este modelo procura determinar as três componentes determinísticas da decomposição da série: nível, tendência e sazonalidade. Dependendo das características da série analisada, existem duas formas de procedimento que estão relacionadas com as relações entre as componentes, ou seja, uma forma dita multiplicativa e outra aditiva (MORETTIN; TOLOI, 1981). As componentes são determinadas com base em três equações de alisamento.

O modelo sazonal multiplicativo, variante mais usual de HW, em um período de sazonalidade  $s$ , considera um fator de sazonalidade  $F_t$  como multiplicativo e conforme MORETTIN e TOLOI (1981) tem -se:

$$Z_t = \mu_t \cdot F_t + T_t + a_t , \quad t = 1, \dots, N,$$

onde  $\mu_t$  é o nível da série e pode ser estimado por  $\tilde{Z}_t$ .

As equações de alisamento são definidas em função das constantes de alisamento A, C e D e representam, respectivamente, os fatores de nível, de tendência e de sazonalidade sendo:

$$\tilde{Z}_t = A \left( \frac{Z_t}{\hat{F}_{t-s}} \right) + (1-A) (\tilde{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}) \quad 0 < A < 1 \quad t = s+1, \dots, N,$$

$$\hat{T}_t = C (\tilde{Z}_t - \tilde{Z}_{t-1}) + (1-C) \hat{T}_{t-1} \quad 0 < C < 1 \quad t = s+1, \dots, N,$$

$$\hat{F}_t = D \left( \frac{Z_t}{\tilde{Z}_t} \right) + (1-D) \hat{F}_{t-s} \quad 0 < D < 1 \quad t = s+1, \dots, N.$$

A previsão para este procedimento, multiplicativo, observa as seguintes equações em função do horizonte:

a) previsões dentro do período sazonal,

$$\hat{Z}_t(h) = (\tilde{Z}_t + h\hat{T}_t) \hat{F}_{t+h-s} , \quad h = 1, 2, \dots, s.$$

b) previsões entre o primeiro e o segundo período sazonal  $s$ ,

$$\hat{Z}_t(h) = (\tilde{Z}_t + h\hat{T}_t) \hat{F}_{t+h-2s} , \quad h = s+1, s+2, \dots, 2s.$$

Este procedimento de previsão, por semelhança, pode ser estendido aos demais horizontes.

ORD, KOEHLER e SNYDER (1997) mencionam o destaque dado à forma multiplicativa do modelo Holt-Winters para previsão, em função de aplicações em modelos que dependem de efeitos de tendência e sazonalidade, uma propriedade almejada para muitas séries temporais econômicas. Para maiores detalhes do procedimento multiplicativo, ver item 3.3.2.4.

O modelo sazonal aditivo difere do multiplicativo, em sua decomposição, no que se refere ao fator sazonal  $F_t$ . Passa de multiplicador do nível para se somar aos demais fatores, independentemente:

$$Z_t = \mu_t + F_t + T_t + a_t, \quad t = 1, \dots, N,$$

onde,  $\mu_t$  é o nível da série e pode ser estimado por  $\tilde{Z}_t$ .

As equações de alisamento para obtenção dos fatores nível, tendência e sazonalidade desta nova composição são definidas por:

$$\tilde{Z}_t = A(Z_t - \hat{F}_{t-s}) + (1-A)(\tilde{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}) \quad 0 < A < 1 \quad t = s+1, \dots, N,$$

$$\hat{T}_t = C(\tilde{Z}_t - \tilde{Z}_{t-1}) + (1-C)\hat{T}_{t-1} \quad 0 < C < 1 \quad t = s+1, \dots, N,$$

$$\hat{F}_t = D(Z_t - \tilde{Z}_t) + (1-D)\hat{F}_{t-s} \quad 0 < D < 1 \quad t = s+1, \dots, N.$$

A previsão, no procedimento aditivo está baseada nas equações :

a) previsões dentro do período sazonal  $s$ :

$$\hat{Z}_t(h) = \tilde{Z}_t + h\hat{T}_t + \hat{F}_{t+h-s}, \quad h = 1, 2, \dots, s;$$

b) previsões entre o primeiro e o segundo período sazonal  $s$ :

$$\hat{Z}_t(h) = \tilde{Z}_t + h\hat{T}_t + \hat{F}_{t+h-2s}, \quad h = s+1, s+2, \dots, 2s.$$

Por semelhança, este procedimento pode ser estendido aos demais horizontes. Quando se obtém uma nova observação, a atualização das estimativas dos fatores é dada por:

$$\tilde{Z}_{t+1} = A(Z_{t+1} - \hat{F}_{t+1-s}) + (1-A)(\tilde{Z}_t + \hat{T}_t),$$

$$\hat{T}_{t+1} = C(\tilde{Z}_{t+1} - \tilde{Z}_t) + (1-C)\hat{T}_t,$$

$$\hat{F}_{t+1} = D(Z_{t+1} - \tilde{Z}_{t+1}) + (1-D)\hat{F}_{t+1-s}.$$

A nova previsão para  $Z_{t+h}$ , será obtida por:

$$\hat{Z}_{t+1}(h-1) = \tilde{Z}_{t+1} + (h-1)\hat{T}_{t+1} + \hat{F}_{t+1+h-s}, \quad h = 1, 2, \dots, s+1$$

$$\hat{Z}_{t+1}(h-1) = \tilde{Z}_{t+1} + (h-1)\hat{T}_{t+1} + \hat{F}_{t+1+h-2s}, \quad h = s+2, \dots, 2s+1.$$

Deve-se escolher os valores das constantes A, C e D, de forma a melhor ajustar o modelo aos valores da série temporal analisada. MORETTIN e TOLOI (1981) atribuem como vantagens deste método a adequação às séries com comportamento mais geral, a grande flexibilidade em função da escolha das constantes de alisamento e ser de fácil entendimento e aplicação. São citadas como desvantagens para este método, a dificuldade de se determinar os melhores valores para as constantes de alisamento, no caso o vetor [A C D], as dificuldades de estudo de propriedades estatísticas como média e a variância de previsão que dificultam a construção do intervalo de confiança para os valores previstos.

BARAKAT (2001) verifica em seu trabalho que os modelos clássicos de séries temporais, entre eles o Holt-Winters, têm dificuldades em ajustar-se bem e possibilitar boas previsões quando os dados possuem um comportamento não estacionário e tendência irregular. Alerta quanto ao perigo de comumente se assumir a

sazonalidade baseado em informações superficiais. Em seu estudo conseguiu melhores resultados utilizando um modelo determinístico específico.

RAJOPADHYE et al (2001) aplicam Holt-Winter para a previsão da demanda de ocupação de um hotel. Atribuem a escolha deste método à simplicidade de implementação, ao fato de considerar a tendência linear local e à sazonalidade dos dados. Citam que a acurácia do método é comparável a qualquer outro procedimento de previsão univariado. O estudo trabalha com a combinação de duas previsões chamadas de longo prazo e de curto prazo. Para previsão de longo prazo, que corresponde até cerca de 1 ano, utilizou-se o método Holt-Winters na versão multiplicativa, justificada por se assumir que os efeitos sazonais são proporcionais ao tamanho da média local. As previsões a curto prazo são baseadas nos registros dos últimos 60 dias, onde são realizadas ponderações com o número de reservas e cancelamentos de ocupação. Elaboraram um algoritmo computacional que determina as constantes de alisamento, através da escolha da combinação que minimiza o mais recente erro de previsão. O programa é responsável pelas previsões a curto prazo, pela atribuição de pesos e combinação para previsão final. Os autores alertam sobre a necessidade de análise e interferência por parte de um especialista na verificação e confirmação da previsão. Na aplicação estudada, a demanda está sujeita a influências diversas que não podem ser previstas.

GRUBB e MASON (2001) utilizaram o método de Holt-Winters para realizar previsões de tráfego aéreo de passageiros na Inglaterra. Este estudo visava um plano de decisões de investimentos em infra-estrutura no transporte aéreo. Utilizaram o modelo aditivo, sendo o horizonte de previsão longo, os valores finais estimados para a tendência foram bem maiores que os obtidos no restante dos dados. Propuseram então, um modelo de *damped trend*<sup>1</sup> onde os valores das previsões, para  $h$  períodos a frente, foram obtidos por:

---

<sup>1</sup> Para maiores detalhes sobre *damped trend*, ver GARDNER (1985, P.12-13)

$$\hat{Z}_t(h) = \hat{Z}_t + h\bar{T} + (\hat{T}_t - \bar{T}) \sum_{i=1}^h \phi^i + \hat{F}_{t-s+h}$$

onde,  $\bar{T}$  é a tendência média, e  $\phi$  é o fator de decrescimento.

LAWTON (1998) estudou, em particular, o modelo Holt-Winters aditivo. Verificou que são necessárias modificações neste modelo quando forem requeridas boas estimativas dos fatores de nível, tendência e sazonalidade. Segundo o autor, as incorreções são resultantes das mudanças na tendência, que poderão afetar as estimativas dos termos sazonais, de forma que, não possa desaparecer. Concluiu também que, as alterações nos termos sazonais não afetam as previsões porque existe um contrabalanço atuando na estimativa do nível.

SEGURA e VERCHER (2001) programaram o modelo Holt-Winters utilizando um sistema de planilha eletrônica. Este procedimento de programação visou a previsão a curto prazo para séries de dados de vendas e níveis da demanda para produtos acabados. Na planilha foi utilizado um algoritmo de programação não linear para estimação, de forma mais eficiente, dos parâmetros do melhor modelo ajustado aos dados. Com seu trabalho, concluíram que Holt-Winters pode ser implementado, de forma eficiente, num ambiente mais acessível aos tomadores de decisões.

PROIETTI (2000) estudou diversas representações para os modelos sazonais lineares, com formas de trabalho estruturais. Concluiu que a performance na previsão do modelo estrutural básico ( $Z_t = T_t + F_t + a_t$ ) depende das características da série temporal investigada, e em particular, do grau de suavidade do padrão sazonal.

#### 2.1.6.4.2 Alisamento Exponencial Geral (AEG)

Também conhecido como Método de Brown, difere dos anteriores por não separar as componentes sazonalidade, tendência e nível da série temporal em estudo.

Para ajuste e previsão utiliza um conjunto de funções arbitrárias. Baseia-se em combinar, localmente,  $k$  funções do tempo, sendo essas funções determinísticas e conhecidas, adicionadas a um resíduo aleatório,  $e_t$  (ruído branco de média zero e variância constante,  $e_t \sim N(0, \sigma_e^2)$ ):

$$Z_t = \sum_{j=1}^k a_j f_j(t-N) + e_t , \quad t = 1, \dots, N.$$

As funções  $f_j$  podem ser compostas por polinômios, exponenciais ou misturas de termos senos e cossenos. Os parâmetros  $a_j$  são constantes locais. Uma utilização de importância para o método é utilizar funções trigonométricas para modelar e prever séries temporais sazonais. Para uma análise não local, o procedimento mais indicado é o de minimizar a soma descontada dos erros quadráticos, minimizando a soma em função da escolha das constantes  $a_j$ :

$$S = \sum_{t=1}^N \beta^{N-t} \left[ Z_t - \sum_{j=1}^k a_j f_j(t-N) \right]^2, \quad 0 < \beta < 1,$$

onde  $\beta$  é chamado fator de desconto.

Os cálculos, afim de se estimar os valores de  $a_j$ , podem ser feitos matricialmente e aí os componentes são descritos como:  $Z$ , um vetor com dimensão N composto pelas N observações da série;  $a$  o vetor de dimensão k dos coeficientes a serem estimados; H, uma matriz ( $N \times k$ ) que representa os valores das funções  $f_j = (t-N)$ , com  $j = 1, \dots, k$  e  $t = 1, \dots, N$ ; W uma matriz diagonal dos pesos, de ordem ( $N \times N$ ) formada como os pesos  $\beta^{(N-t)/2}$ . MORETTIN e TOLOI (1981) demonstram que os valores dos  $a_j$  que minimizam S, podem ser obtidos por:

$$\hat{a}(N) = F^{-1}(N)g(N), \text{ onde}$$

$$F(N) = \sum_{t=1}^N \beta^{N-t} f(t-N) f'(t-N) \quad \text{e} \quad (2.1)$$

$$g(N) = f(0)Z_N + \beta L^{-1} g(N-1). \quad (2.2)$$

É demonstrado, também, que se a estatística  $\hat{g}(N)$  é um estimador não viciado do parâmetro  $\underline{a}$  então,  $E(\hat{g}(N)) = \underline{a}$ , e a matriz de covariância é dada por  $Cov(\hat{a}_i, \hat{a}_j) = V_{ij}\sigma_e^2$ , onde  $V_{ij}$  são os elementos ij da matriz de covariância e  $\sigma_e^2$  é a variância do ruído branco. É claro que, na prática, tem-se que trabalhar com estimativas desses outros parâmetros. A previsão para h passos a frente, com origem em t, pode ser obtida por:

$$\hat{Z}_t(h) = f'(h)\hat{g}(t),$$

ou também por,

$$\hat{Z}_t(h) = f'(h)F^{-1}g(t),$$

onde F é obtida da equação (2.1) e g(t) da equação (2.2). Pode-se construir, ainda, o intervalo de confiança para os valores previstos, supondo ser satisfeita a condição de gaussianidade dos resíduos, com grau de confiança  $(1-\alpha)$  para  $Z_{t+h}$ . Assim tem-se:

$$P\left(\hat{Z}_t(h) - z_{1-\alpha/2} \sqrt{f'(h)Vf(h)\sigma_e^2} \leq Z(t+h) \leq \hat{Z}_t(h) + z_{1-\alpha/2} \sqrt{f'(h)Vf(h)\sigma_e^2}\right) = 1 - \alpha$$

e então:

$$\left(\hat{Z}_t(h) - z_{1-\alpha/2} \sqrt{f'(h)Vf(h)\sigma_e^2}; \hat{Z}_t(h) + z_{1-\alpha/2} \sqrt{f'(h)Vf(h)\sigma_e^2}\right) \text{ é o intervalo.}$$

MORETTIN e TOLOI (1981) citam que a constante de alisamento  $\beta$  (fator de desconto) é estimada através de inspeção visual das características da série

considerada; ou por processo de otimização sobre uma parte dos valores da série; ou ainda, que alguns autores sugerem a escolha do valor de  $\beta$  de forma que  $\beta^k$  esteja entre (0,75 ; 0,95).

A vantagem deste modelo segundo MORETTIN e TOLOI, (1981) é a de atualizar, de forma eficiente, os coeficientes do modelo, sem a necessidade de inversão da matriz  $F(t)$  com freqüência. Os problemas citados, com este procedimento, são: os erros do modelo ajustado são serialmente correlacionados; dificuldade de se determinar quantos harmônicos se ajustam a uma série temporal sazonal; utilização de apenas uma constante de alisamento  $\beta$ , o que dificulta a sua aplicação, pois, em algumas séries mais complexas, um valor elevado permite que um grande número de observações tenham peso significativo, porém, em outros casos, existe a necessidade de um procedimento de alisamento exponencial que se adapte rapidamente a mudanças e, para isso, necessitaria de pesos maiores em poucas observações, o que não seria possível.

#### 2.1.6.5 Modelos de Auto-Regressão

MORETTIN e TOLOI (1981) mostram que os modelos de auto-regressão procuram se ajustar ao comportamento dos dados passados, uma vez que a sua representação é diretamente relacionada a quantidades observáveis, sendo funções lineares dos parâmetros.

##### 2.1.6.5.1 Modelos de Regressão

Os modelos de regressão partem da suposição de que a varável aleatória  $Z_t$  se

relaciona de forma linear aos valores passados (MORETTIN; TOLOI, 1981). Abaixo representa-se um modelo auto-regressivo de ordem k:

$$Z_t = \beta_1 Z_{t-1} + \beta_2 Z_{t-2} + \dots + \beta_k Z_{t-k} + a_t, \quad t = 1, \dots, N,$$

onde  $\beta_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ , são os parâmetros a serem estimados e  $a_t$  são os erros (ruído branco,  $E(a_t) = 0$ ,  $V(a_t) = \sigma_a^2$ ) com distribuição  $N(0, \sigma_a^2)$ .

O modelo limita-se à escolha dos valores dos parâmetros  $\beta_k$ , utilizando os mínimos quadrados ordinários (MQO), de forma a resolver o problema:

$$\text{Minimizar } \sum_{t=k+1}^N (Z_t - \beta_1 Z_{t-1} - \beta_2 Z_{t-2} - \dots - \beta_k Z_{t-k})^2.$$

Em razão das variáveis independentes serem valores defasados das variáveis dependentes, o modelo só poderá ser aplicado quando o número de observações for grande. Caso contrário, os estimadores serão viciados, não serão eficientes e ainda não serão consistentes.

O estimador do vetor de parâmetros  $\underline{\beta}$  é dado por :

$\hat{\underline{\beta}} = (W'W)^{-1} W' \underline{Z}$       onde       $\underline{Z}' = [Z_1, Z_2, \dots, Z_N]$  e  $W$  é a matriz do modelo dada por:

$$W = \begin{bmatrix} Z_0 & Z_{-1} & Z_{-2} & \dots & Z_{1-k} \\ Z_1 & Z_0 & Z_{-1} & \dots & Z_{2-k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{N-1} & Z_{N-2} & \dots & \dots & Z_{N-k} \end{bmatrix}$$

A construção do intervalo de confiança para os parâmetros, é feita conforme citado por MORETTIN e TOLOI (1981). O estimador têm uma distribuição:

$$N_k \left( \underline{\beta}, \sigma_a^2 (W'W)^{-1} \right),$$

onde  $W$  é a matriz do modelo de ordem ( $N \times k$ ). Quando  $\sigma_a^2$  é conhecida, o intervalo de confiança é dado por:

$$P \left( \hat{\beta}_i - z_{1-\alpha/2} \sqrt{V(\hat{\beta}_i)} \leq \beta_i \leq \hat{\beta}_i + z_{1-\alpha/2} \sqrt{V(\hat{\beta}_i)} \right) = 1 - \alpha$$

$$\text{e então, } \left( \hat{\beta}_i - z_{1-\alpha/2} \sqrt{V(\hat{\beta}_i)}, \hat{\beta}_i + z_{1-\alpha/2} \sqrt{V(\hat{\beta}_i)} \right)$$

onde: a estimativa da  $V(\hat{\beta}_i)$  é obtida da matriz  $s^2(W'W)^{-1}$ , e  $z_{1-\alpha/2}$  é o escore obtido de uma  $N(0,1)$ , com coeficiente de confiança  $1 - \alpha$ .

A previsão, utilizando este modelo, pode ser verificada pela equação:

$$\hat{Z}_t(h) = W_{t+h}' \hat{\beta} = \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j \tilde{Z}_{t+h-j},$$

onde,

$$\tilde{Z}_{t+h-j} = \begin{cases} \hat{Z}_t(h-j), & \text{se } h-j > 0 \\ Z_{t+h-j}, & \text{se } h-j \leq 0. \end{cases}$$

e o erro de previsão a um passo a frente é dado por:

$$e_t(h) = Z_{t+h} - \hat{Z}_t(h).$$

Os erros de previsão acima estimados possuem distribuição Gaussiana e o intervalo de confiança para os valores previstos é dado por:

$$P \left( \hat{Z}_t(h) - z_{1-\alpha/2} s \sqrt{\sum_{j=0}^{h-1} \psi_j^2} \leq Z(t+h) \leq \hat{Z}_t(h) + z_{1-\alpha/2} s \sqrt{\sum_{j=0}^{h-1} \psi_j^2} \right) = 1 - \alpha$$

Então,  $\left( \hat{Z}_t(h) - z_{1-\alpha/2} s \sqrt{\sum_{j=0}^{h-1} \psi_j^2} ; \hat{Z}_t(h) + z_{1-\alpha/2} s \sqrt{\sum_{j=0}^{h-1} \psi_j^2} \right)$ , onde

$$s^2 = \frac{1}{N-K} (\underline{Z} - \underline{W}\hat{\beta})'(\underline{Z} - \underline{W}\hat{\beta}) \quad \text{e}$$

$\psi_j$  são os pesos da soma ponderada  $Z_t = \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j a_{t-j}$ ,  $z_{1-\alpha/2}$  é um escore obtido da normal padrão de forma a atender  $P(-z_{1-\alpha/2} < X < z_{1-\alpha/2}) = 1 - \alpha$ , com  $X \sim N(0,1)$ .

Uma característica importante deste método é a de existirem variações sistemáticas entre os resíduos das observações (auto-correlações). Deve-se observar a correlação entre os erros e os valores de defasagem das variáveis dependentes, pois, dependendo da combinação, podem ser gerados estimadores viciados ou até mesmo inconsistentes. Para que se possa aplicar testes confiáveis, podem ser processadas transformações com o intuito de se retirar as correlações existentes entre as observações e, consequentemente, entre os resíduos (MORETTIN; TOLOI, 1981).

#### 2.1.6.5.2 Filtragem Adaptativa

Este modelo tem como base a aplicação de uma média ponderada dos valores passados, onde a determinação dos pesos são obtidos através do método não linear de mínimos quadrados *steepest descent* (MORETTIN; TOLOI, 1981).

Sendo a série  $Z_1, \dots, Z_N$ , a previsão  $Z_{t+1}$ , estando na origem t, pode ser obtida por:

$$\hat{Z}_t(1) = \sum_{i=t-k+1}^t Z_i P_{i-t+k},$$

onde :

$Z_i$  é o i-ésimo instante analisado;

$P_{i-t+k}$  é o referido peso da observação  $Z_i$ ;

$k$  é o número de períodos utilizados para obtenção da média ponderada.

São considerados apenas os  $k$  períodos mais recentes, uma vez que são os mais relevantes. A utilização de todos os valores da série aumentaria o trabalho para determinação dos pesos e faria com que estes não se adaptassem somente ao padrão de comportamento da serie mas também do ruído. Alguns pesquisadores indicam esta determinação em função de coeficientes de correlação, outros indicam que devem ser da ordem de um processo auto-regressivo. Esta determinação de quantidade é apontada como uma das dificuldades do método. Após a definição da quantidade de pesos, necessita-se calcular o valor destes. Um método indica a determinação de forma empírica, partindo de pesos de valor unitário e verificando o erro de previsão a um passo através da equação anteriormente descrita e os valores observados. Os pesos, ajustados conforme a equação apresentada na seqüência, devem ser atualizados de forma a reduzir o erro da próxima previsão. O processo é repetido até a determinação do melhor conjunto de pesos. Outra forma de obtenção dos pesos se dá através da resolução de um sistema de equações lineares, visando minimizar a soma do quadrado dos erros de previsão. A solução do sistema por Cramer pode indicar, caso o determinante da matriz dos coeficientes dos pesos seja zero, que o número de pesos é maior do que o necessário (MORETTIN; TOLOI, 1981). Os pesos deverão ser modificados com as alterações do comportamento da série. A atualização dos pesos deverá ser processada a cada período, em função do erro de previsão anterior. A forma indicada para tal correção é:

$$P_i' = P_i + \delta \frac{e_t Z_{t-k+i}}{\sum_{i=1}^k Z_{t-k+i}^2} \quad i = 1, \dots, k,$$

onde  $\delta$  é a constante de atualização dos pesos e atende  $0 \leq \delta \leq 1$ . A determinação desta constante não se dá de forma simples, pois, cada padrão de comportamento deve

possuir um valor diferente.

São citadas como vantagens do método: o fato de não necessitar de suposição inicial sobre o padrão de comportamento da série; pode ser utilizado com número limitado de dados; pode ser aplicado a séries não estacionárias em que o padrão de comportamento se modifica com o tempo, caso os pesos sejam corrigidos sistematicamente. As desvantagens relacionadas são as da dificuldade de se determinar a quantidade de pesos e o valor da constante de atualização; tempo computacional, caso se necessite de um número de pesos próximo à quantidade de observações da série; limitação de ser adequado somente a previsões a um passo à frente (MORETTIN; TOLOI, 1981).

Este método foi criticado por diversos pesquisadores, que alegam: dificuldades na melhor escolha dos valores iniciais; a constante de atualização dos pesos pode ser determinada para a fase de ajustamento e diferir muito na fase de previsão; demonstraram que outros métodos podem obter melhores resultados; se dispõem de poucas informações sobre o método e são confusas; falta de rigor matemático nas demonstrações (MORETTIN; TOLOI, 1981).

## 2.1.7 Métodos Não Automáticos

### 2.1.7.1 Introdução

Os métodos não automáticos, nas últimas décadas, têm tomado bastante atenção dos pesquisadores, uma vez que possuem um rigor matemático bem consistente. Estes métodos diferem dos automáticos devido a dificuldade de análise, exigindo bastante conhecimento e experiência do usuário para aplicá-lo

adequadamente, caso contrário, seu desempenho fica comprometido. Devido ao grau de complexidade em sua aplicação, os pacotes computacionais ainda não conseguiram uma total flexibilidade para utilização automática, ou seja, exigem uma experiência teórica forte do analista.

### 2.1.7.2 Metodologia Box & Jenkins

Os modelos propostos por BOX e JENKINS (1976), também conhecidos como modelos ARIMA, consistem em uma classe de modelos lineares que associam de forma conjunta parte auto-regressiva e parte médias móveis, ou seja, é feita a integração dos processos (modelos auto-regressivos, integrados, de médias móveis). Uma aplicação que aborda este estudo em situação semelhante pode ser vista em OLIVEIRA (2002).

#### 2.1.7.2.1 Modelos Auto-regressivos (AR)

Um modelo auto-regressivo (AR) pode ser representado por uma soma ponderada de  $p$  valores passados adicionados a um ruído (parte aleatória) e que, em sua forma geral, pode ser apresentado por (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; McGEE, 1983):

$$Z_t = \delta + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t ,$$

onde :

$Z_t$  é o valor observável da série temporal no instante  $t$ ;

$\delta$  representa o termo constante da série;

$\phi_i$  corresponde ao  $i$ -ésimo parâmetro auto-regressivo,  $i = 1, 2, \dots, p$ ;  
 $a_t$  é o erro (ruído) no instante  $t$ .

Em função da quantidade de termos auto-regressivos existentes no modelo, pode-se dizer que o modelo é de ordem  $p$ , AR( $p$ ). Existem restrições específicas quanto ao número de parâmetros do modelo auto-regressivo. Os casos mais comuns são modelos auto-regressivos de ordem 1 e 2, isto é, AR(1) e AR(2) (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; McGEE, 1983). Caso os valores da série possam ser representados pelo modelo AR( $p$ ), sendo identificada a estrutura do processo gerador da série e estimados os parâmetros, este modelo poderá ser utilizado para previsões de valores futuros depois da sua adequação ser analisada.

#### 2.1.7.2.2 Modelos de Médias Móveis (MA)

Um modelo de Médias Móveis (MA) pode ser representado por uma soma ponderada dos ruídos (erros), observados em cada período passado. A representação geral deste modelo pode ser definida por (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; McGEE, 1983):

$$Z_t = \delta + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q},$$

onde :

$Z_t$  é o valor observável da série temporal no instante  $t$ ;

$\delta$  representa o termo constante da série;

$\theta_i$  corresponde ao  $i$ -ésimo parâmetro auto-regressivo,  $i = 1, 2, \dots, q$ ;

$a_t$  é o erro (ruído) no instante  $t$  não explicáveis pelo modelo.

Em função da necessidade de utilização de  $q$  parâmetros para melhor

representar a série analisada, define-se a ordem do modelo de Médias Móveis como sendo MA(q). Como nos modelos Auto-Regressivos, a escolha dos parâmetros de médias móveis são sujeitos a restrições quanto ao número. Os dois casos mais comuns de serem encontrados na prática são os modelos de ordem 1 e 2, MA(1) e MA(2) (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; McGEE, 1983). Como no caso dos auto-regressivos, estando a série bem representada pelo modelo MA, podem ser geradas previsões. A razão de se desejar modelos parcimoniosos ou seja, com poucos parâmetros, está na necessidade de se preservar o maior número de graus de liberdade.

#### 2.1.7.2.3 Modelos Auto-Regressivos e de Médias Móveis (ARMA)

Os modelos Auto-Regressivos (AR) e os modelos de Médias Móveis (MA) podem ser combinados e, com isso, gerar um novo modelo conhecido como modelo Auto-regressivo e de Médias Móveis (ARMA). Os modelos puros AR e MA podem representar uma grande variedade de séries temporais, e com a combinação ARMA, aumentam em muito as possibilidades dos modelos ajustados serem parcimoniosos (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; McGEE, 1983). Da mesma forma que se aumentam as possibilidades de melhor representação, aumenta-se a complexidade de identificação do melhor modelo a ser ajustado a uma determinada série temporal. A representação geral deste modelo é obtida por:

$$Z_t = \delta + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} .$$

Este modelo relaciona os valores passados observados e os erros obtidos em cada período ocorrido. A ordem do modelo é definida em função da quantidade de parâmetros auto-regressivos e de parâmetros de médias móveis ARMA(p,q).

#### 2.1.7.2.4 Modelos Auto-regressivos Integrados de Médias Móveis (ARIMA)

Os modelos AR, MA e ARMA são válidos para representação de séries estacionárias. Séries estacionárias são aquelas que no decorrer do tempo permanecem com seus valores em torno de uma média constante, possuem variância constante e a função de covariância só depende da diferença de “lags”. A maioria das séries encontradas na prática não são estacionárias e necessitam ser colocadas nesta forma para receberem análise B&J. Uma série não estacionária pode ser transformada em estacionária desde que ela seja não estacionária homogênea, tomando-se um número finito de diferenças  $d$  (MORETTIN; TOLOI, 1981). A diferenciação é feita utilizando-se o operador de retardo  $B$ , tal que,

$$BZ_t = Z_{t-1}$$

e então tem-se:

$$\omega_t = Z_t - Z_{t-1} = \nabla Z_t.$$

Se a ordem da diferenciação é  $d = 2$ , tem-se:

$$\omega_t = (Z_t - Z_{t-1}) - (Z_{t-1} - Z_{t-2}) = Z_t - 2Z_{t-1} + Z_{t-2} = \nabla^2 Z_t,$$

e genericamente tem-se:

$$\omega_t = \nabla^d Z_t.$$

Uma série, após transformada em estacionária ( $\omega_t$ ), pode ser representada por um modelo ARMA ( $p, q$ ). Na maioria dos casos, uma ou duas diferenças ( $d = 1, d = 2$ ) são suficientes para deixar as séries na forma estacionária (MORETTIN; TOLOI,

1981). Se  $\omega_t$  é uma diferença de  $Z_t$ , então  $Z_t$  é uma integral de  $\omega_t$ , de onde vem o modelo auto-regressivo integrado de médias móveis ARIMA, que pode ser designado por ARIMA (p,d,q), onde  $p$  e  $q$  são respectivamente a quantidade de parâmetros AR e MA e  $d$  o número de diferenças necessárias para transformar a série em estacionária.

O modelo em sua forma geral é representado por;

$$\omega_t = \phi_1 \omega_{t-1} + \phi_2 \omega_{t-2} + \dots + \phi_p \omega_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

onde :

$\omega_t$  é o valor da série no instante  $t$  após a diferença ou não;

$\phi_i$  são os parâmetros auto-regressivos,  $i = 1, 2, \dots, p$ ;

$\theta_i$  são os parâmetros de médias móveis,  $i = 1, 2, \dots, q$ ;

$a_t$  representa o ruído branco, (ruído com média zero e variância  $\sigma_a^2$ ).

A construção do modelo está baseada num ciclo iterativo onde a determinação e estruturação do modelo propriamente dito está baseado nos dados. Este ciclo pode ser resumido nas seguintes etapas (MORETTIN; TOLOI, 1981) onde uma classe de modelos é considerada para análise:

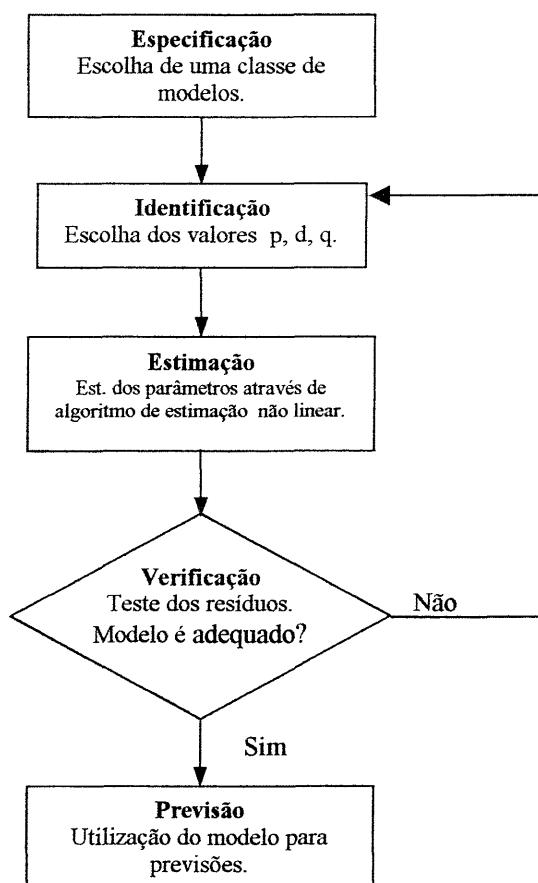
- a) *identificação da estrutura do processo gerador* - identifica-se com base na análise dos correlogramas das auto-correlações e auto-correlações parciais as ordens  $p$ ,  $d$  e  $q$  da estrutura, é uma das fases críticas do método.
- b) *estimação* -- fase em que os parâmetros de um modelo da estrutura identificada são estimados, sendo que nesta etapa é necessária a utilização de um algoritmo de programação não linear (Algoritmo de Marquardt);
- c) *verificação* -- através de uma análise de resíduos procura-se verificar se o modelo é o correto; caso seja, pode-se empregar o modelo para a

fase de previsão;

- d) *previsão* – com o modelo devidamente estimado e verificado, pode-se realizar previsões para futuros valores da série.

As fases de aplicação de um modelo ARIMA podem ser vistas melhor através do fluxograma da Figura 3. Para maiores detalhes, consultem-se BOX e JENKINS (1976) e MAKRIDAKIS, WHEELWRIGHT, McGEE (1983).

FIGURA 3 - ESTRUTURA DAS FASES DE DETERMINAÇÃO DE UM MODELO ARIMA



#### 2.1.7.3 Método Bayesiano

Este método requer, por parte do usuário, um conhecimento formal mais

complexo do que o necessário para utilização dos métodos automáticos. As vantagens deste método são as de fornecer ao sistema informações instantâneas; capacidade de detectar e de se adaptar rapidamente a mudanças bruscas de níveis e inclinação; e a possibilidade de utilização com número pequeno de observações (MORETTIN; TOLOI, 1981).

A modelagem da série ocorre através de um modelo linear dinâmico que é representado por uma equação da observação:

$$\underline{y}_t = \underline{F}_t \underline{\theta}_t + \underline{V}_t$$

e por uma equação do estado:

$$\underline{\theta}_t = \underline{G}_t \underline{\theta}_{t-1} + \underline{w}_t$$

onde:

- $t$  é o instante analisado;
- $\underline{y}_t$  vetor de observações ( $M \times 1$ );
- $\underline{\theta}_t$  vetor de estados ( $k \times 1$ );
- $\underline{F}$  matriz de variáveis independentes ( $M \times k$ );
- $\underline{G}$  matriz de sistema ( $k \times k$ );
- $\underline{V}$  vetor aleatório ( $M \times 1$ ), representando o ruído da observação;
- $\underline{w}$  vetor aleatório ( $k \times 1$ ), representando a perturbação do sistema.

A estimativa do vetor de parâmetros  $\underline{\theta}_t$  é obtida através da utilização do Filtro de Kalman. O Filtro de Kalman é um algoritmo de estimação, onde suas equações permitem uma estimação recursiva de mínimos quadrados. Este filtro faz a estimação do vetor de estados  $\underline{\theta}_t$  através de um sistema linear dinâmico estocástico discreto:

$$\underline{\theta}_t = \underline{G}_t \underline{\theta}_{t-1} + \underline{\Gamma} \underline{w}_{t-1},$$

a partir de um vetor de observações, relacionado linearmente ao vetor de estados,

$$\underline{y}_t = \underline{E}_t \underline{\theta}_t + \underline{V}_t ,$$

onde  $\Gamma$  é a matriz de entrada de dados. As equações utilizadas para previsões são:

$$\underline{y}_{t+h} = \underline{E}_{t+h} \underline{\theta}_{t+h} + \underline{V}_{t+h} ,$$

$$\underline{\theta}_{t+h} = \underline{G}_{t+h} \underline{\theta}_{t+h-1} + \underline{w}_{t+h} ,$$

onde as matrizes  $\underline{V}_{t+h}$ ,  $\underline{w}_{t+1} \dots \underline{w}_{t+h}$  são conhecidas, sendo necessária a inferência do vetor  $\underline{\theta}_{t+h}$  e da matriz  $\underline{E}_{t+h}$ .

A capacidade de adaptação deve-se ao modelo de crescimento linear de estados múltiplos onde quatro modelos podem representar possíveis estados: normal, transiente, mudança de nível e mudança de inclinação. O modelo do estado *normal* indica que os desvios em relação à previsão são causados apenas pelos ruídos das observações. O modelo do estado *transiente* é caracterizado por uma observação anômala (“outlier”) que não afeta as observações futuras, porém, acarreta um erro de previsão muito grande. O modelo do estado *mudança de crescimento (inclinação)* possui uma única alteração no parâmetro responsável pelo crescimento do processo. O modelo de estado *mudança de nível* possui alteração no parâmetro responsável pelo nível do processo (MORETTIN; TOLOI, 1981).

NEMBHARD e NEMBHARD (2001) propuseram a utilização do método Bayesiano em sistemas com comportamento dinâmico, onde, em operações de manufatura, o processo de fabricação necessita continuamente ser ajustado, estando associado com a transição na produção como na alteração do estilo ou composição do produto. Desenvolveram um controle de ajustamento para períodos de transição baseado na utilização da previsão Bayesiana, a fim de incorporar as informações anteriores e consideraram o sistema suficientemente robusto para responder efetivamente em tais períodos, onde dados históricos estão disponíveis. A implementação da proposta poderá evitar que os operadores da indústria utilizem suas

experiências anteriores para ajustar o processo durante períodos de transição. Os autores esperam empregar o modelo em operações industriais de um produto, ou mesmo, de diversos produtos.

### 2.1.8 Outros Métodos de Previsão

CHAN, KINGSMAN e WONG (1999) utilizam em seu estudo uma combinação linear convexa de previsões realizadas através de diversos métodos para se obter uma melhor previsão final:

$$X_t^c = \sum_{i=1}^n k_i X_{it} = \underline{k}_t \underline{X}_t ,$$

onde:

$\underline{X}_t$  é um vetor coluna com as previsões obtidas por  $n$  métodos ( $X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{nt}$ ) no tempo  $t$  e  $\underline{k}_t$  é um vetor coluna com os pesos para cada um dos  $n$  métodos ( $k_{1t}, k_{2t}, \dots, k_{nt}$ ), no tempo  $t$ , com  $0 \leq k_{it} \leq 1$ . A determinação da melhor combinação de pesos, vetor  $\underline{k}_t$ , é baseada na solução do sistema de Programação Quadrática:

$$\text{Minimizar } \left( \sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^n k_i X_{it} - Y_t \right)^2 ,$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad \text{e} \quad k_i \geq 0 ,$$

onde  $Y_t$  são os dados atuais ( $t=1, 2, \dots, m$ ).

Foram utilizados métodos de previsão de séries temporais divididos em três grupos, Alisamento Exponencial, Box-Jenkins e Regressão. Segundo os autores, o desempenho dos diferentes métodos de previsão varia de caso a caso. Ainda, segundo os autores, não é geralmente aceita a conclusão de que sofisticados métodos gerem

resultados melhores que os mais simples. A combinação dos métodos proporcionou melhorias de previsões da ordem de até 10%.

ASSIMAKOPOULOS e NIKOLOPOULOS (2000) propuseram um novo método de previsão chamado de Modelo Theta. Este foi um dos métodos testados na competição M3-*Competition* (MAKRIDAKIS ; HIBON, 2000), tendo apresentado um desempenho que chamou a atenção dos pesquisadores.

Este modelo decompõe a série em dois termos, curto e longo. Basicamente, a concepção está em se modificar a curvatura local da série temporal. Isto é obtido através de um coeficiente ( $\theta$ ) o qual é aplicado diretamente à segunda diferença da série temporal original (este processo gera uma série modificada chama Theta-line):

$$X''_{novo}(\theta) = \theta \cdot X''_{dados},$$

onde:

$$X''_{dados} = X_t - 2X_{t-1} + X_{t-2}.$$

Inicialmente, a série é decomposta em duas ou mais Theta-lines, cada uma possuindo comportamento diferente em função do parâmetro  $\theta$  utilizado. São extrapoladas separadamente e simplesmente combinadas para gerar previsões. Qualquer método pode ser utilizado para extração de acordo com a experiência existente.

ADYA, COLLOPY, ARMSTRONG e KENNDY (2001) descrevem um sistema especialista para previsão de séries temporais. Este sistema, chamado de Rule-Based Forecasting (RBF), utiliza quatro métodos: *random walk*, regressão linear, Alisamento Exponencial de Holt e Alisamento Exponencial de Brown. Neste sistema é estimado o nível e tendência, envolvendo correções, simplificações, identificação automática de características e recalibrações. Esta metodologia também participou da “M3-*Competition*” (MAKRIDAKIS; HIBON, 2000), obtendo bons resultados em diversos tipos de séries.

HYNDMAN et al. (2000) propuseram, para cada um dos modelos de alisamento exponencial, um modelo de previsão obtido através de equações de espaço de estado. Com esta metodologia, determinaram a escolha do melhor modelo ajustado através do critério de seleção AIC (Akaike's Information Criterion), ver AWAD (1996) e CAVANAUGH (1997), e calcularam intervalos de confiança para cada um dos modelos.

### 2.1.9 Medidas de Precisão dos Métodos de Previsão e Desempenhos

WHEELWRIGHT e MARKIDRAKIS (1985) mostram que nos modelos de previsão de séries temporais, os valores das observações seguem um padrão de comportamento que é repetido no tempo e por uma componente estocástica. Mesmo que o padrão de comportamento seja bem definido, as previsões apresentarão desvios quando comparadas com os valores reais observados. Esta componente aleatória não pode ser prevista, mas pode ter seu valor estimado para que se possa verificar o grau de incerteza da previsão.

Existem vários tipos de medidas do erro de previsão que podem mensurar o desvio entre os valores previstos  $\hat{x}_i$  e os observados  $x_i$ :

$$\text{Erro Médio:} \quad \text{ME} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)}{n},$$

$$\text{Erro Absoluto Médio:} \quad \text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |(x_i - \hat{x}_i)|}{n},$$

$$\text{Erro Quadrático Médio: } \text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n},$$

$$\text{Erro Percentual Absoluto: } \text{APE} = \left| \frac{(x_i - \hat{x}_i)}{x_i} \right| \cdot 100,$$

$$\text{Erro Percentual Médio: } \text{MPE} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \hat{x}_i)}{x_i} \cdot 100}{n},$$

$$\text{Erro Absoluto Percentual Médio: } \text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{(x_i - \hat{x}_i)}{x_i} \right| \cdot 100}{n},$$

onde:  $x_i$  é o valor da observação no instante  $i$ ;  $\hat{x}_i$  é o valor previsto para o instante  $i$  e  $n$  é o número de observações.

A verificação da qualidade do ajuste de um modelo a uma série observada é feita utilizando-se os critérios acima. Quanto menor for o erro, melhor estará ajustado o modelo à série. O erro quadrático médio (MSE) é geralmente preferido.

GODOFREY e POWELL (2000) propõem um modelo de previsão de séries temporais baseado no método de Alisamento Exponencial Linear de Brown, onde, para comparar a eficiência de sua proposta, utilizam os modelos ARIMA (metodologia Box & Jenkins) como padrão. Os autores testam aproximadamente 100 modelos ARIMA e, comparando-os com o modelo proposto (AELB) através do RMSE (Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio), concluem que na aplicação por eles almejada, o método proposto obteve melhores previsões que o mais ajustado modelo ARIMA. Citam que os modelos ARIMA, por eles empregados, não são práticos para a maioria das aplicações que motivaram a sua pesquisa. Citam que os métodos ARIMA e os métodos clássicos de alisamento exponencial não são designados para séries com padrões irregulares como as criadas ou influenciadas pelo chamado efeito calendário.

RAJOPADHYE et al (2001) utilizam o Erro Quadrático Médio para determinação da melhor escolha de pesos para combinação de previsões, utilizando o valor previsto através da combinação e o valor real da série temporal. No mesmo trabalho, para medir a performance do algoritmo de previsão, utilizam o Erro Absoluto Médio. Também como forma de verificação cita a utilização do Erro Absoluto Percentual Médio.

ALON, QI, SADOWSKI (2001), utilizando dados de vendas varejistas dos Estados Unidos, que possuem fortes padrões de tendências e sazonalidades, compararam o desempenho dos métodos tradicionais: Holt-Winters, ARIMA e Regressão Multivariada com o de Redes Neurais Artificiais. O comparativo realizado utiliza como critério o MAPE (Erro Absoluto Percentual Médio). Concluem que todos os métodos obtiveram comportamentos semelhantes, não existindo diferenças significativas. Pelos critérios dos autores, Redes Neurais Artificiais obteve melhor desempenho nas previsões a um passo. Holt-Winters teve melhor desempenho em previsões a múltiplos períodos, o que demonstra a eficiência desse método. O método da regressão, em média, apresentou maiores erros.

THURY e STEPHEN (1998) apresentam um estudo com dados de produção industrial da Áustria e Alemanha. Os dados consistem de séries cíclicas. Em seu trabalho os autores analisam duas modelagens. A primeira, um modelo estrutural básico, ou seja, um modelo que decompõe a série em tendência, sazonalidade e erro. A segunda, o mesmo modelo estrutural anterior, porém, com uma componente cíclica aditiva (componentes: tendência, sazonalidade, erro, cíclica). Essas séries são modeladas segundo a classe ARIMA, para efeito de critério de desempenho. Na avaliação da performance, utilizaram o MAPE (Erro Absoluto Percentual Médio). Os autores concluem pelos resultados e para as séries modeladas que o método estrutural demonstrou melhor precisão que os modelos ARIMA. Citam a grande flexibilidade do modelo ARIMA e suas propriedades, porém, não é difícil a seleção de um modelo não apropriado. Entre os modelos estruturais ajustados, aquele que não considerou a

componente cíclica obteve melhor desempenho.

MAKRIDAKIS e HIBON (2000) realizaram a chamada “M3-*Competition*”, onde, utilizando 3003 séries, de vários tipos de dados temporais, de diferentes intervalos de tempo entre observações sucessivas, comparam o desempenho de diversos métodos. As séries foram ajustadas e manipuladas por especialistas de cada método e, posteriormente, as previsões foram enviadas aos pesquisadores para comparação com os dados reais. Entre os métodos que participaram da análise estavam: o Alisamento Exponencial Simples, Holt-Winter, ARIMA, e diversos outros métodos. Comparando os resultados obtidos neste estudo com os de competições semelhantes anteriores, ratificaram-se os seguintes pontos:

- 1º) os métodos mais sofisticados não necessariamente possuem melhor performance que os mais simples, inclusive em muitas situações o desempenho dos métodos simples foi melhor;
- 2º) confirmou-se que a escolha do critério de verificação de precisão de previsões influencia na classificação dos métodos com relação ao desempenho de previsão;
- 3º) a classificação e escolha do melhor método depende do horizonte de previsão, isto é, alguns métodos tem melhor desempenho para um determinado horizonte e pior para outros.

Os autores destacam o bom desempenho do novo método Theta (ver item 2.1.8), inclusive a sua simplicidade. Este método não é baseado em forte teoria estatística, porém, sua performance foi muito boa em diferentes tipos de séries, em diferentes horizontes de previsão e medidas de precisão.

## 2.2 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

A gestão eficaz das atividades de uma empresa na transformação de insumos em produtos acabados e/ou serviços, visando atender seus objetivos de curto, médio e longo prazos e que se inter-relacionam de forma complexa, é definido por MARTINS e LAUGENI (1999) como Administração da Produção.

### 2.2.1 Histórico

A função da produção (MARTINS; LAUGENI, 1999), é entendida como as atividades que levam à transformação de um bem tangível em um outro com maior valor de mercado. Esta função segue com o homem desde seus primórdios. Desde o polimento da pedra a fim de transformá-la em um bem de utilidade maior e mais eficaz, o homem realiza atividades de produção. No início das atividades humanas, como não existia o comércio, e a troca de bens era muito pequena, os utensílios eram utilizados quase que exclusivamente por quem os produzia.

No decorrer do tempo e com o avanço da civilização, as pessoas mais habilidosas se destacaram na confecção de certos bens, e passaram a fornecer a terceiros. Desta forma surgiram os primeiros artesãos e as primeiras produções organizadas. Os artesãos, evoluíram e passaram a estabelecer prioridades, prazos de entregas, atendimento às especificações e preços. Com o crescimento destas atividades, tornou-se necessário o emprego de ajudantes. Uma componente muito importante nesta evolução da produção foi a guerra, que exigia muitas armas e ainda a manutenção delas.

A partir da Revolução Industrial e da descoberta da máquina a vapor, em 1764 por J. Watt, os artesãos entraram em decadência, uma vez que a mão-de-obra

humana passou a ser substituída pela máquina. O trabalho, antes realizado em casa pelo artesão, passou a ser realizado nas primeiras fábricas. A nova forma de produção passou a exigir a padronização dos produtos e do processo de fabricação, treinamento e habilitação de mão-de-obra, desenvolvimento da hierarquia de chefia, desenvolvimento das técnicas de planejamento e controle de produção e financeiro, desenvolvimento de técnicas de vendas.

O conceito de padronização não foi um dos mais fáceis a serem assimilados. Só em 1790 é que se tem registro das primeiras padronizações de produção. Eli Whitney foi responsável pela produção de mosquetões com peças intercambiáveis. Iniciou-se o registro, através de desenhos e croquis, dos produtos e processo fabrís, surgindo a função de projeto de produto, de processos de fabricação, de instalações, equipamentos, etc.

No fim do século XIX, surge, nos Estados Unidos, Frederick W. Taylor, considerado o pai da Administração Científica. Ele introduz o conceito de produtividade, ou seja, procura por melhores métodos de trabalho e processos de produção, com a finalidade de produzir muito mais com o menor custo possível. Hoje essa busca se constitui no principal objetivo da moderna empresa, sendo que as técnicas mudaram. A produtividade, relação entre o que foi produzido e os insumos utilizados (custos de produção), sempre foi um bom indicador de sucesso ou fracasso das empresas.

Henry Ford criou na década de 1910 a revolucionária montagem seriada que veio introduzir o conceito de produção em massa. Caracteriza-se, esta forma de produção, por produzir grandes volumes de bens padronizados. A busca da melhoria da produtividade através de novas técnicas faz parte da abrangência da engenharia industrial. Com a engenharia industrial, novos conceitos foram incorporados: linha de montagem, posto de trabalho, estoques, monotonia de trabalho, arranjo físico, produtos em processo, motivação, sindicatos, manutenção preventiva, controle estatístico de qualidade, fluxogramas de processos, etc..

A produção em massa, trouxe um grande aumento da produtividade e também da qualidade, bem como a maior uniformização dos produtos em razão da padronização e da necessidade da aplicação de técnicas de controle estatístico da qualidade.

O conceito de produção em massa e as suas técnicas produtivas predominaram nas fábricas até a década de 60, quando novas técnicas surgiram e passou-se a utilizar a denominada produção enxuta. Os novos conceitos advindos foram: *just-in-time*, engenharia simultânea, tecnologia de grupo, consórcio modular, células de produção, desdobramento da função qualidade, *comakership* (otimização das relações cliente e fornecedor), sistemas flexíveis de manufatura, manufatura integrada por computador, *benchmarking*, entre outros.

Neste processo de evolução e modernização, cresceu a importância dada à figura do consumidor. A busca pela satisfação do consumidor é que tem motivado a evolução das técnicas de produção, cada vez mais eficazes, eficientes e de alta produtividade. Chegou-se a tal ponto de flexibilidade que, em alguns casos, o consumidor já especifica seu produto e isto normalmente não atrapalha o processo de produção do fornecedor.

Alguns especialistas já citam que se está caminhando para a produção segundo à preferência do consumidor, onde a produção está ficando cada vez mais personalizada para cada cliente.

A globalização veio fazer com que as empresas se voltem cada vez mais para os seus clientes e, através de indicadores, monitorem seus desempenhos comparando-os com os dos concorrentes locais ou mundiais. Assim, começou de forma incessante, o que se costuma denominar de melhoria contínua (*kaizen*) dos produtos, buscando-se com o aperfeiçoamento da qualidade o aumento da produtividade.

## 2.2.2 Importância da Administração da Produção

Segundo CORRÊA, GIANESI e CAON (2000), o que se espera de um sistema de administração da produção, independentemente da lógica que utilize para atingir os objetivos estratégicos da organização, é que devem ser capazes de apoiar o responsável pela decisões logísticas ou seja:

- a) planejar as necessidades futuras de capacidade produtiva da organização;
- b) planejar os materiais comprados;
- c) planejar os níveis adequados de estoques de matérias-primas, semi-acabados e produtos finais, nos pontos certos;
- d) programar atividades de produção para garantir que os recursos produtivos envolvidos estejam sendo utilizados, em cada momento, nas coisas certas e prioritárias;
- e) ser capaz de informar corretamente a respeito da situação corrente dos recursos (pessoas, equipamentos, instalações, materiais) e das ordens (de compra e produção);
- f) ser capaz de prometer os menores prazos possíveis aos clientes e depois fazer cumpri-los;
- g) ser capaz de reagir eficazmente.

As principais técnicas e lógicas utilizadas na Administração da Produção, nos últimos 15 anos, são: MRP (*Material Requirements Planning*), MRP II (*Manufacturing Resources Planning*), ERP (*Enterprise Resources Planning*), *Just in Time*, Programação de Produção com Capacidade Finita (Técnicas de Simulação em Computador), (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

### 2.2.3 Administração de Materiais

O elemento gerencial essencial na Administração da Produção é a Administração de Materiais. Ela tem impacto direto na lucratividade de empresa e na qualidade dos produtos, havendo necessidade de uma gestão com o objetivo de reduzir estoques e manter o cliente satisfeito (MARTINS; LAUGENI, 1999).

As principais atribuições delegadas aos responsáveis pela administração de materiais são: compras, programação da produção e armazenamento. Dependendo do porte e complexidade de cada empresa, as atribuições podem estar subordinadas a um único órgão/setor ou podem constituir setores isolados. A comunicação entre os setores ou órgãos que compõem a Administração de Materiais deve ser rápida e eficiente. Das funções da Administração de Materiais, pode-se citar:

- 1) *análise das necessidades dos clientes* – realizada pelo planejamento, que verifica a existência de todos os recursos materiais necessários ao atendimento da demanda de um determinado pedido, planejando a produção interna ou informando ao setor de compras a necessidade de reposição de algum item;
- 2) *reposição/aquisição de materiais* – responsabilidade do setor de compras, procede à seleção/cadastramento de fornecedores, emissão de pedidos de compras, acompanhamento do pedido (*follow-up*);
- 3) *recebimento de materiais* – a cargo do setor de armazenamento ou, em alguns casos, do setor de recebimento e conferência de materiais, onde é verificada a conformidade com o pedido, a situação fiscal e contábil e, posteriormente, o encaminhamento para o estoque/armazenamento;
- 4) *armazenamento de materiais* – local destinado a guardar e estocar materiais para serem utilizados na linha de produção, necessitando organização, ambiente adequado para manter a qualidade dos materiais e

- informação confiável das quantidades armazenadas;
- 5) *gerenciamento de estoques* – a cargo do setor de armazenagem ou setor específico de controle ligado à produção, possui a finalidade de controlar os níveis de estoques de forma eficiente, não permitindo a falta do mesmo para produção e reduzindo ao mínimo a sua permanência, a fim de reduzir custos (manutenção/financeiro).
  - 6) *logística de distribuição* - setor de transportes e entregas, visa a entrega dos materiais no ponto certo, ao menor custo e prazo, mantendo a qualidade.

#### 2.2.3.1 Previsão e Comportamento da Demanda (Vendas)

A demanda de produtos de uma determinada empresa é influenciada por diversos fatores, sendo que para o planejamento possa ser o mais confiável possível, é de grande importância o conhecimento de seu comportamento, quer por previsões baseadas em dados passados, quer por conhecimento dos fatores que possam afetar o seu comportamento (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). Estes autores destacam:

- a) *habilidade para prever a demanda* – a empresa necessita manter dados históricos, confiáveis, das demandas passadas por produto, bem como informações de ocorrências conhecidas que possam explicar o seu comportamento, inclusive alterações ou influências sofridas. Assim, com base nesses dados, deve-se utilizar modelos estatísticos adequados que possam explicar variações e ajustar modelos para estimar/prever o comportamento futuro;
- b) *canal de comunicação com o mercado* – os colaboradores da empresa que estão diretamente em contato com os clientes (vendedores e representantes), de uma forma geral, estão somente preocupados em vender. Uma função

extremamente importante e que normalmente é negligenciada, é a de trazer informações da satisfação dos clientes e as necessidades do mercado para a empresa. Esse tipo de informação é tão importante quanto as previsões baseadas em históricos das demandas de vendas;

- c) *poder de influência sobre a demanda* – algumas atitudes da própria empresa podem alterar o comportamento da demanda como, por exemplo, parcelamento de entregas, uma vez que o cliente pode estar rotineiramente comprando desnecessariamente lotes grandes, promoções, propagandas, disponibilização de *mix* de produtos forçando a venda de itens que normalmente têm menos vendas; os responsáveis pela previsão de vendas deverão ser informados das estratégias futuras da empresa;
- d) *promessa de prazos* – item de grande importância para garantir o desempenho em confiabilidade de entregas;
- e) *prioridades e alocação* – o planejamento é realizado para que se possam criar condições de se atender toda a demanda prevista, porém, caso no decorrer dos prazos isto não seja possível, ocorra falta de recursos e materiais necessários, deverão ser estabelecidas prioridades para se decidir quais clientes serão atendidos total ou parcialmente e quais terão que esperar. Esta decisão deve envolver a área comercial da empresa.

O acompanhamento e controle da demanda em uma empresa envolve diversas áreas e setores. Uma vez que se relaciona com os clientes, deve existir a participação da área comercial (vendas e marketing). Porém, como devem ser geradas informações de previsão, que são fundamentais ao processo de planejamento, bem como, decisões de prazos de entrega, a área de planejamento deve ser envolvida. Em algumas empresas, o controle e acompanhamento da demanda está sob responsabilidade da área de planejamento. A área comercial, com freqüência, não assume compromisso pelas previsões seja por acreditar que não possa contribuir e que

as previsões possam ser obtidas exclusivamente de dados históricos, seja por ser avaliada exclusivamente pelo volume de vendas, ou mesmo por não se comprometer com erros que normalmente ocorrem implicitamente no processo (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). A área de planejamento, com freqüência, não confia nas informações e previsões passadas pela área comercial. Devido às divergências entre as duas áreas citadas, é comum que as previsões utilizadas para alimentar os planejamentos sejam elaboradas somente pela área de planejamento e com base nos dados históricos e informações da carteira de pedidos, sendo uma avaliação calçada apenas em números e que não considera informações vindas do mercado. Desta forma, o desempenho do planejamento terá um desempenho satisfatório por não se estar utilizando todas as informações disponíveis. As campanhas de marketing e promoções de vendas devem ser consideradas por influenciarem na demanda futura. A falta de comprometimento da área comercial com as previsões da demanda poderá fazer com que o plano de vendas não tenha coerência com o plano de produção (plano mestre), o que poderá ocasionar problemas de desempenho acarretando problemas de atendimento aos clientes, inclusive no nível de atendimento e satisfação.

O controle e previsão da demanda somente pela área comercial pode ser confundido com o plano de metas de vendas, distorcendo as informações a serem passadas à área de planejamento. CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) indicam como melhor condição para o “gerenciamento da demanda”, o comprometimento das diversas áreas com informações relevantes e consistentes que possam melhor entender e explicar o comportamento do mercado. Algumas empresas criaram um setor de “administração de vendas”, ligado à área comercial, visando ao seu comprometimento, e por esta área possuir melhor contato e visão do mercado. Outras empresas, evitando o perfil da área comercial de prioritariamente estar ligada à atividade de vendas, criaram uma área de gestão da demanda, ligada diretamente à diretoria. Este setor necessita articular com as demais áreas visando o comprometimento de todos e buscando informações necessárias ao seu desempenho.

#### 2.2.3.1.1 Previsão da Demanda

SIPPER e BULFIN (1997) apontam como objetivos do sistema de previsão de fornecer previsões com precisão apropriada de forma pontual e a custo razoável. E segundo CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) “O processo de previsão de vendas (demanda) é possivelmente o mais importante dentro da gestão da demanda”. Um dos problemas da previsão é a presença de erros dado que se trabalha com variáveis aleatórias. Com isso o planejamento, que necessita de previsões, sempre terá de ser revisto e atualizado quando da obtenção dos registros reais, ou quando os planejamentos vão se concretizando. Mas, com as facilidades da informática de hoje isto não é um problema.

As principais características dos problemas de previsão são: horizonte de previsão, nível de detalhes, precisão necessária e o número de previsões a serem feitas (SIPPER; BULFIN, 1997).

A elaboração de um sistema de previsões envolve coleta de dados e tratamento e análise das informações. Isto é necessário para que se obtenha estimativas futuras das demandas, por produto e segundo a unidade de tempo (dias, semanas, meses, etc.). De acordo com CORRÊA, GIANESI e CAON (2000), na previsão da quantidade de vendas devem ser observados:

- 1) dados históricos da demanda de vendas, por período;
- 2) informações que auxiliem no entendimento de comportamentos atípicos do passado;
- 3) variáveis atuais que possam influenciar a demanda futura;
- 4) previsão de variáveis que possam influenciar a demanda;
- 5) conhecimento sobre a conjuntura econômica atual e previsão futura;
- 6) informações de clientes que possam indicar seu comportamento de compra;
- 7) informações sobre concorrentes que possam alterar o comportamento das

vendas futuras;

- 8) dados das área comercial sobre decisões que possam alterar a quantidade de vendas.

Os dados históricos são tratados, estatisticamente, por modelos de séries temporais (vide item 2.1). Dados passados que possam explicar o comportamento são utilizados para entendimento do fenômeno. As previsões obtidas por meio de métodos estatísticos não devem ser consideradas definitivas, pois os programas, mesmo os mais sofisticados, não conseguem considerar toda a multiplicidade de fatores que evolvem o comportamento da demanda (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). Com os dados estatísticos e demais fatores que possam interferir no comportamento da demanda é necessário que um especialista ou responsável experiente tome a decisão de indicar a demanda a ser utilizada no planejamento e controle da produção. Em algumas empresas, no lugar de especialistas, são reunidos os representantes das áreas envolvidas (área comercial, de planejamento da produção, financeira e de desenvolvimento de produtos) para uma “reunião de previsão” onde existirá o comprometimento de todos com os valores consensados (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). Contudo, a existência de um sistema de previsão com base científica é fundamental a uma decisão sábia.

ARNOLD (1999) cita que as previsões da demanda de vendas devem ser estudadas a curto, médio e longo prazo. As projeções a longo prazo são necessárias para o planejamento estratégico de máquinas e instalações. A médio prazo, necessita-se da projeção da demanda agregada para o planejamento da produção. A curto prazo, é necessária a informação para cada item e está diretamente relacionada com o Plano Mestre da Produção (MPS, item 2.2.3.2.1).

CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) classificam as previsões como de curto, médio e longo prazo. As previsões de curto prazo são de até quatro meses. São obtidas utilizando-se, basicamente, modelos de previsão de séries temporais (vide item

2.1), considerando-se os fatores de tendência e sazonalidade dos dados passados. As previsões são baseadas na hipótese de que os dados futuros continuarão com o comportamento dos dados passados. Para o tratamento estatístico, existem pacotes computacionais que permitem esta análise, porém, necessitam de algum conhecimento estatístico por parte do analista. A previsão para médio prazo, o peso dado à previsão estatística (modelo de séries temporais) é diminuído e a análise feita após o tratamento estatístico terá maior importância. Passa-se a dar importância aos modelos causais, onde procura-se estabelecer relações entre as vendas no passado e outras variáveis que expliquem seu comportamento. Podendo para tanto adotar modelos de regressão múltipla, onde se procura verificar as correlações entre os dados passados e as variáveis escolhidas. Para a previsão a longo prazo (vários anos), a hipótese de que as relações que existiam no passado entre as vendas e outras variáveis pudessem vir a exprimir o comportamento futuro, podem não ser mais confiáveis. Mudanças tecnológicas, a introdução de novos produtos substitutos, novas aplicações, entre outras, podem alterar relações anteriormente existentes. Para períodos longos de previsão deve ser dada maior importância à opinião de especialistas. Modelos temporais podem ser utilizados, porém, deve-se atribuir pesos maiores na análise dos fatores que possam explicar a demanda passada e os que possam vir a interferir nas vendas futuras.

ARNOLD (1999) classifica as técnicas de previsão em três categorias:

1º) técnicas *intrínsecas*, as que utilizam dados históricos, registrados pelas empresas e que refletirão no futuro. “O que aconteceu no passado acontecerá no futuro”. “Na falta de qualquer outra bola de cristal, o melhor guia para o futuro é o que aconteceu no passado”. A técnica intrínseca é importante para o Plano Mestre de Produção;

2º) técnica de previsão *extrínseca*, pela qual indicadores externos são relacionados à demanda por produtos da empresa. A dificuldade é encontrar

um indicador que melhor se relate com a demanda. Esta técnica é melhor empregada para previsões de famílias de produtos ou demanda total de produtos da empresa. Mais freqüentemente utilizada no planejamento de negócios ou da produção do que na previsão de itens finais individuais.

3º) As técnicas *qualitativas*, que são projeções baseadas no discernimento, na intuição e em opiniões de especialistas. São subjetivas, e utilizadas para prever tendências gerais dos negócios e demanda potencial de grandes famílias de produtos para um período longo. Raramente são adequadas a previsões de estoques e produção. Pode ser utilizada para prever demanda de um novo produto que ainda não tenha dados históricos suficientes para outra forma de análise. Nestes casos a técnica qualitativa é realizada através de pesquisa de mercado e análises comparativas com lançamentos e crescimentos de produtos semelhantes.

SIPPER e BULFIN (1997) também citam como métodos de previsão o *qualitativo*, o *causal* e os *estatísticos* (séries temporais).

MARTINS e LAUGENI (1999) dividem o período de previsão em curto, médio e longo prazos. No curto prazo, até três meses, são utilizados métodos estatísticos. No médio prazo, de 4 meses até 2 ou 3 anos, e também no longo prazo, acima de 3 anos, são empregados modelos explicativos ou modelos econométricos, que utilizam variáveis relacionadas com a demanda a ser prevista.

As previsões da demanda voltada para a produção são, normalmente, classificadas como: previsão agregada e previsão desagregada (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). A primeira utiliza como previsão um conjunto de produtos ou família de produtos. O fato de agrupar os itens diminui o nível de incerteza. É utilizada para prazos longos, podem orientar decisões sobre ampliações, capacidades produtivas, expansões. Os custos envolvidos são altos, e o erro de previsão é diminuído pelo agrupamento, o erro global é reduzido. A segunda forma de previsão ocorre por

produto, por item. É utilizada para curtos prazos e para decisões por produto, incluindo materiais e composição por item. Os custos envolvidos são menores. A desagregação gera maior incerteza na previsão, porém, os períodos previstos são curtos (dias, semanas ou alguns meses), fazendo com que os erros de previsão não sejam demasiadamente grandes. Itens isolados possuem erros maiores de previsão.

CHAN, KINGSMAN e WONG (1999) utilizam uma combinação de diversos métodos de previsão, atribuindo pesos a cada um deles, obtendo uma melhor previsão para o gerenciamento de estoques de formulários, utilizados diariamente em um banco em Hong Kong. Para o cálculo do estoque de segurança, basearam-se nos desvios padrões das previsões.

#### 2.2.3.1.2 Comportamento da Demanda

A demanda de um produto normalmente é incerta, porém, em alguns casos pode ser razoavelmente previsível (SLACK et al., 1997). Dependendo do produto ou do ramo da empresa, o comportamento da demanda possui características diferentes. Algumas seguem um tipo de comportamento padrão, com poucos desvios, outras são muito sensíveis em função do mercado em que o produto está inserido.

Para SLACK et al. (1997), algumas atividades são previsíveis e se pode decidir sobre recursos e materiais necessários. Isto por que se tem pedidos futuros firmes (certos) ou se tem uma noção razoavelmente boa dos pedidos dos clientes que irão entrar ou mesmo por se ter algum tipo de informação da demanda de um determinado produto final onde o produto produzido pela empresa irá fazer parte. Esta atividade é baseada em um tipo da demanda que pode ser chamada de demanda dependente. Existem outras atividades que não se tem noção de como poderá ser o seu comportamento e para se efetivar a previsão, somente estarão disponíveis os dados históricos. Este tipo de atividade é baseada em um tipo da demanda conhecida por

demandas independentes. A demanda dependente é relativamente previsível devido à sua dependência em alguns fatores conhecidos. A demanda independente não deixa escolha e tem-se que tomar decisões sem qualquer pedido firme ou conhecimento mais seguro do comportamento da demanda. Nesta situação, procura-se fazer a melhor avaliação (previsão) da demanda futura e tenta-se prever os recursos necessários para atendê-la. Caso a previsão não seja cumprida, deve-se ter mecanismos ágeis para se adaptar à demanda real.

ARNOLD (1999) classifica a demanda como independente e dependente. A demanda independente não é relacionada à demanda de nenhum outro produto, e com isso necessita ser prevista. A demanda dependente, por sua vez, é diretamente relacionada/vinculada à demanda de montagens ou de produtos em que o item produzido/analizado será empregado. Em função do conhecimento da demanda destes produtos de níveis mais altos, pode ser calculada a necessidade dos produtos de níveis mais baixos. Indica a utilização do sistema *Material Requirements Planning* (MRP) para o controle dos itens da demanda dependente (ver item 2.2.3.2.2).

SIPPER e BULFIN (1997) classificam a demanda independente como aquela em que a demanda de um item não está relacionada com a demanda de outro e é, principalmente, influenciada pelas condições de mercado. Este tipo de demanda é característica de vendas a varejo ou de produtos acabados. Na demanda dependente, a demanda de um item é derivada da demanda de outro item. Este tipo de demanda é típica de produtos manufaturados. Também indicam o MRP como o sistema mais indicado para controle de produção baseado na demanda dependente.

CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) indicam como diferença básica entre as duas formas de demanda, que a independente tem de ser prevista com base nas características do mercado consumidor, e a dependente não precisa ser prevista e, sim, calculada com base na demanda conhecida do item a que se é dependente.

### 2.2.3.2 Planejamento e Controle da Produção

O planejamento e controle da produção é um dos mais importantes conceitos da Administração da Produção, e consiste em planejar as necessidades futuras de capacidade, que costuma ser a inércia intrínseca dos processos de decisão (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

A complexidade de produção, variando de empresa para empresa, ou até mesmo de linha de fabricação para linha de fabricação, envolve a utilização de maquinários, equipamentos, materiais e habilidades de trabalhos diferentes. Para ser competitiva, uma empresa precisa gerenciar/organizar todos esses fatores para a fabricação dos seus produtos certos, no tempo certo, com o maior nível de qualidade e de forma mais econômica possível (ARNOLD, 1999).

O propósito do Planejamento e Controle é “Garantir que a produção ocorra eficazmente e produza produtos e serviços como deve. Isto requer que os recursos produtivos estejam disponíveis: na *quantidade* adequada; no *momento* adequado e no nível de *qualidade* adequado.” O planejamento pode ser interpretado como um conjunto de intenções e o controle como um conjunto de ações que visam ao direcionamento do planejamento (SLACK et al., 1997).

O planejamento é dependente de previsões. Os sistemas de previsões deverão ser eficazes, pois condicionarão decisões sobre o que, quanto e quando produzir e comprar e, ainda, com que recursos produzir. Uma exceção a esta forma de utilização de previsões é no sistema Just in Time, onde a compra ou fabricação só é feita com a chegada do pedido. A previsão, nesta forma de produção, serve para dimensionar o *kanban*.

O traçado dos planos e estratégias de produção e vendas, depende inicialmente de definições do horizonte de planejamento. Esse horizonte engloba o prazo para efetivação das decisões, o prazo para replanejamento (revisão do planejado) e o tempo de validade das informações (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). O

replanejamento, que é necessário para verificar o posicionamento do que está sendo realizado e o que foi previsto, serve para corrigir desvios e/ou até mesmo reavaliar o planejamento. Este período depende da estabilidade do mercado envolvido. Em alguns casos pode ser mensal, em outros, semanal ou mesmo diário. Para que esta etapa de replanejamento possa ser confiável, deverá ser executada com base em dados atualizados. Os principais elementos que influenciam a determinação desse período são: estabilidade da demanda, confiabilidade do processo, confiabilidade dos fornecedores e tempo de decisão (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

O horizonte de planejamento, normalmente, é classificado em curto, médio e longo prazo. Quanto maior o prazo, maiores serão os níveis de recursos envolvidos, maiores relevâncias nas tomadas de decisões erradas. Previsões de longo prazo, são geralmente feitas sob condições de maior incerteza. Probabilidade de erro cresce com o horizonte de previsão, onde se justifica a necessidade do replanejamento.

Segundo SLACK et al. (1997), os planejamentos e controles a longo prazo são relativos ao que se pretende fazer, que recursos serão necessários e quais objetivos se espera atingir. A ênfase maior é dada ao planejamento e os objetivos serão em grande parte estabelecidos em termos financeiros. A médio prazo, é visado um detalhamento maior das operações. Neste horizonte de planejamento, devem ser elaborados planos contingenciais para viabilizar alterações nos planos sem grandes transtornos, permitindo maior flexibilidade de correções em busca do alcance dos objetivos que serão estabelecidos tanto em função de termos financeiros como operacionais. Os planejamentos e controles de curto prazo possuem maior ênfase no controle, uma vez que os recursos estarão definidos e as tarefas da produção detalhadas e distribuídas. Podem ser feitas alterações, porém, mudanças muito bruscas trarão transtornos à linha de produção. As atividades estarão detalhadas ao máximo e os objetivos serão basicamente operacionais.

A tarefa de Planejamento e Controle está sujeita a algumas limitações (SLACK et al., 1997), pois o fornecimento de recursos não é infinito. Genericamente

cita-se: *limitações de custos* – os produtos e serviços devem ser produzidos dentro de custos determinados; *limitações de capacidade* - os produtos e serviços devem ser produzidos dentro de limites de capacidade projetados para a operação; *limitação de tempo* – os produtos e serviços devem ser produzidos dentro de um intervalo de tempo, no qual eles ainda têm valor para o consumidor; *limitações de qualidade* – os produtos e serviços devem ter conformidade aos dados limites de tolerância projetados para o produto ou serviço.

É citado por SLACK et al. (1997) que, em resposta ao comportamento da demanda, a produção deverá adotar um tipo de estratégia que influenciará o atendimento ao mercado. Os tipos de produção poderão ser: produção para estoque, onde os produtos fabricados se destinarão a manter os estoques da fábrica ou dos canais de vendas sempre nos níveis adequados; produção contra pedido, onde normalmente se utiliza o plano mestre de produção (ver item 2.2.3.2.1) para controle e gerência da produção, atuando no nível dos conjuntos ou componentes semi-acabados utilizados para montar o produto final; e produção sob encomenda, onde não existe o planejamento para fabricação dos produtos. O planejamento de fabricação ocorre somente quando da chegada de uma encomenda.

#### 2.2.3.2.1 Plano Mestre de Produção (MPS)

O Plano Mestre de Produção (*Master Production Schedule – MPS*) é um plano que visa à fabricação de itens individuais finais, no qual se coordena a demanda do mercado com os recursos internos da empresa, de forma a programar taxas adequadas de produção (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). O MPS permite fornecer aos clientes um nível adequado de serviço, baseado nas restrições impostas pelos níveis de estoques, recursos e tempo disponível. ARNOLD (1999) define MPS como uma declaração sobre quais itens finais devem ser produzidos, a quantidade de

cada um e as datas em que devem ser completados. Isso conduz o sistema MRP (ver item 2.2.3.2.2) fornecendo dados iniciais para os itens necessários a serem produzidos. Para se desenvolver um MPS são necessárias as seguintes informações: planejamento de produção e estratégico; previsões para itens finais e de forma individual, pedidos em carteira, níveis de estoque dos produtos acabados e restrições de capacidade.

Para elaboração do MPS, devem-se levar em consideração os planos estratégicos da empresa onde são levantadas as decisões de longo prazo, que deverão ser seguidas. Estes planos estratégicos envolvem diversos setores como: marketing, financeiro, produção e engenharia de produto. Além do delineamento de caminhos a serem seguidos (objetivos a serem atingidos), leva-se em consideração o nível de fabricação, níveis de estoques desejados, recursos materiais, humanos e financeiros (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). Para que o MPS possa ser elaborado sobre bases confiáveis e adequadas de informações, este deve receber e seguir as informações do Planejamento de Vendas e Operações (S&OP – *Sales and Operations Planning*), que é um módulo recente criado para ser incorporado no sistema MRP II. O S&OP busca a revisão contínua e integradora dos planos individuais de cada área, ou seja, busca a integração dos planos de marketing, de produção, de engenharia e financeiro. Com esta integração, os planos das diversas áreas serão mais realísticos em direção aos objetivos da empresa e permitirão melhor planejamento da produção, dos estoques e compras/encomendas (ARNOLD, 1999).

O MPS deve ser realista, factível e refletir o equilíbrio entre a capacidade exigida e disponível. O horizonte de planejamento do MPS estende-se, normalmente, de três a dezoito meses, variando de acordo com os *lead times* de compra e fabricação, sendo os planos revisados e modificados semanalmente ou mensalmente (ARNOLD, 1999). As suas principais funções são:

- formar o elo entre o planejamento estratégico da cúpula da empresa através do S&OP e o que é executado pela produção;

- planejamento das necessidades de capacidade, uma vez que determina a capacidade exigida;
- planejar as necessidades de materiais que serão coordenadas pelo MRP;
- ser um plano de prioridades para a produção;
- auxiliar na determinação de prazos de entregas ao clientes, uma vez que informa quando as mercadorias estarão disponíveis para entrega;
- ser um plano consensual entre marketing e produção.

As consequências de um MPS mal formulado podem resultar em: sobrecarga ou ociosidade dos recursos da fábrica; má qualidade dos serviços de entrega; manutenção de estoques em níveis altos; má qualidade de serviço aos clientes; perda de credibilidade do sistema de planejamento (ARNOLD, 1999).

S&OP faz o planejamento agregado dos itens (ex. por família, ou similaridade), porém, o MPS deve ser elaborado considerando os itens individualmente (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

O MPS não deve ser confundido como um sistema de previsões. Um sistema de previsão representa uma estimativa da demanda, enquanto o MPS constitui um plano de produção onde leva em conta o estoque existente, restrições de capacidade, disponibilidade de material e tempo necessário para produção (*lead time*). Podendo inclusive ser alterada a quantidade de produção no decorrer do tempo como necessário. No desenvolvimento do MPS deve-se considerar a natureza e o mercado do produto onde costumeiramente se divide em produção para estoque, produção sob encomenda e montagem sob encomenda (SIPPER; BULFIN, 1997). Para atendimento a cada uma das formas de produção, o MPS deve ser devidamente adaptado, uma vez que deve ser escolhida a política de produção que melhor se adapte (ex., produção lote a lote, lote econômico e outros, de forma similar ao exposto no item 2.2.3.3).

O MPS não considera detalhadamente a capacidade de produção, que é um

elemento crucial na sua implementação. A capacidade pode ser medida em termos de itens produzidos por unidade de tempo (por hora, por minuto). Este acompanhamento ocorre no nível do MPS e ao nível do MRP (ver item 2.2.3.2.2). Ao nível do MPS, o controle é rápido e verifica a capacidade total para confirmar a factibilidade do planejamento, podendo identificar a violação de capacidade, porém, não garante a implementação. Ao nível do MRP o controle é mais severo, uma vez que o acompanhamento ocorre por itens, inclusive por máquinas (SIPPER; BULFIN, 1997).

#### 2.2.3.2.2 Planejamento dos Requisitos de Materiais (MRP)

A concepção de cálculo de necessidades de materiais é simples e conhecida. Sua fundamentação está calçada no conhecimento de todos os componentes de determinado produto e os tempos de obtenção de cada um deles, com base na visão do futuro das necessidades de disponibilidade do produto analisado, calcula os momentos e as quantidades que devem ser obtidas, de cada um dos componentes para que não haja falta nem sobra de nenhum deles, no suprimento das necessidades dadas pela produção do referido produto (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

Nas últimas décadas, muitas indústrias mudaram seus sistemas de estoque de baseados na demanda independente para o sistema MRP (baseado na demanda dependente). Isto só foi possível com a tecnologia dos computadores. Como o sistema MRP é apropriado para produtos complexos, a habilidade dos computadores em armazenar e manipular dados e produzir informações rapidamente fez com que se tornasse possível sua implementação (SIPPER; BULFIN, 1997).

Os três maiores componentes de entrada de dados para um sistema MRP são: plano mestre de produção (MPS), registro de estoques e lista de materiais (Bills of Material-BOM). O MPS é a entrada mais importante, pois seu maior objetivo é traduzir as necessidades das fases de fabricação do produto final para componentes

individuais. Os registros de estoques são de grande importância devido ao MRP considerar esta informação em seu cálculo. Caso esteja desatualizado, as informações geradas pelo sistema não serão confiáveis. A lista de material informa a composição do produto final, registrando a quantidade de cada item necessária para a fabricação de uma unidade, o tempo de reposição e os tempos de fabricação (SIPPER; BULFIN, 1997).

Do MPS vem a informação de quantos e quando os produtos finais deverão ser produzidos. Ainda nesta parte do programa é realizado um cálculo inicial e superficial de factibilidade de produção. Passando estas informações ao MRP, este realiza um cálculo detalhado da capacidade de produção dos itens informados pelo MPS. O MRP emite planos de fabricação para itens a serem produzidos internamente ou comprados de fornecedores cadastrados. Emite as ordens somente quando necessárias e para entregas nos momentos mais próximos possíveis de sua utilização.

MARTINS e LAUGENI (1999) citam como informações do sistema MRP: planejamento de compras, necessidades de capital de giro, necessidades de equipamento e demais insumos produtivos. Possibilita realizar simulações em diferentes cenários sendo um instrumento muito útil na tomada de decisões. A explosão de itens gerada pelo MRP, possibilita uma análise minuciosa dos custos envolvidos e sua alocação. Com um sistema informatizado e com informações detalhadas e registradas, reduz-se significativamente os registros informais do processo produtivo que estariam nas mãos de alguns funcionários.

Os benefícios citados sobre o sistema MRP são a possibilidade de planejamentos e simulações de factibilidades de diferentes planos de produção, identificação de faltas e excessos e revisão dos tempos de ressuprimento. As desvantagens deste sistema são considerar o sistema com capacidade de produção infinita e os tempos de ressuprimento (*lead times*) fixos (SIPPER; BULFIN, 1997).

PLENERT (1999) buscou em seu trabalho, pontos sobre sucessos e desapontamentos com o sistema MRP. Investigou se suas falhas podem ser corrigidas

e quais as consequências da não correção das deficiências. Procurou verificar se o sistema ainda poderia ser utilizado ou se já estava superado por outros sistemas como: *Just in Time*, Teoria de Restrições (TOC)/Tecnologia de Produção Otimizada (OPT), entre outras. Concluiu que o MRP possui o seu espaço, é melhor aplicado em produções não padronizadas, onde se necessita de flexibilidade no sistema de produção, em quantidade de produção e no tempo do processo de produção. Seu desempenho em produção seqüencial ou em produção que possui um determinado “gargalo”, não é das melhores. Porém, em produção sobre encomenda seu desempenho supera qualquer outro. O conceito de MRP é aplicável e atualizável. A forma como é utilizado é que está desatualizada. Para ser competitivo em ambientes de produção repetitiva, devem ser ajustados os erros costumeiros em sua forma de utilização. As principais falhas apontadas em sua operação são :

- considerar *lead times* maiores que os necessários, acobertando problemas de produtividade, tornando o processo produtivo com melhor eficiência nas tarefas, sacrificando o desempenho do sistema de estoques; recomenda-se verificar as rotinas de produção buscando diminuição dos tempos desnecessários (desperdiçados);
- a determinação do tamanho dos lotes de compra ou produção, que normalmente tem um vício para maior, acarretando aumento do estoque;
- a determinação de lotes de produção menores que o necessário, gerando maior quantidade de lotes, esbarrando nos *lead times* informados ao MRP, não contemplando somente o tempo de preparação de máquina, e sim, incluindo diversos tempos como de espera, transferência e outros.

PLENERT (1999) conclui que, a forma de utilização do MRP é a causa de sua perda de competitividade frente aos outros sistemas, não a arquitetura ou a sua lógica.

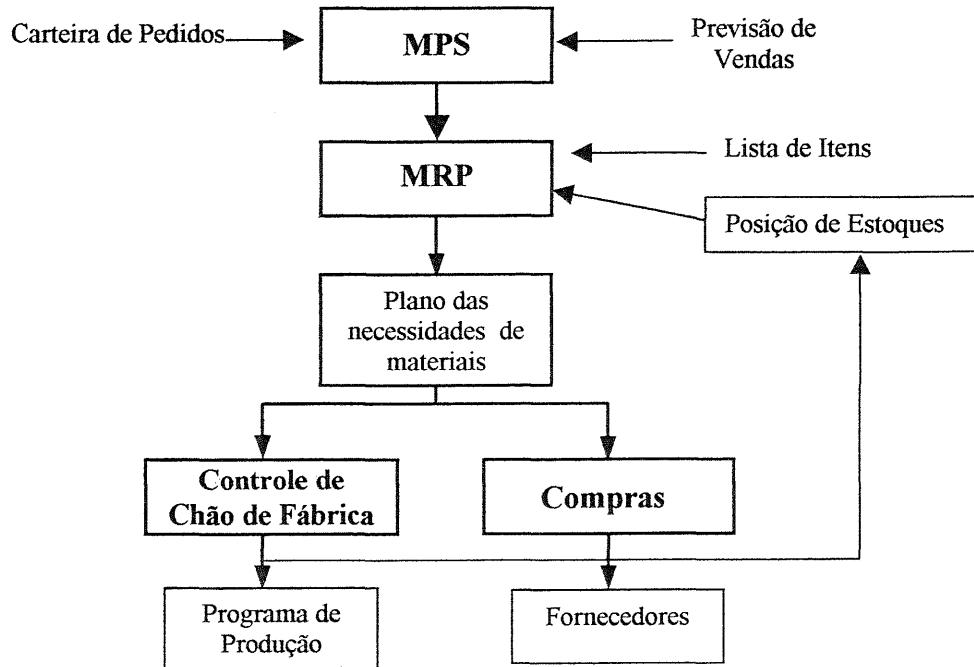
DUCOTE e MALSTROM (1999) desenvolveram um software, para um ambiente de manufatura, capaz de realizar a programação de pessoal. Considera em seu cálculo a carga de trabalho, a programação e função de custo para gerar exigências de pessoal visando um planejamento específico, convencional, em um ambiente de manufatura gerenciado por MRP. O programa foi desenvolvido em quatro módulos: módulo de dados, módulo de conversão da carga de trabalho, módulo da análise de custos e módulo de programação.

DONSELAAR e GUBBELS (2001) buscaram, em seu estudo, definir o impacto da decisão de quando é que as ordens de compra ou produção devem ser colocadas, em sistemas MRP e EPR, visando diminuir os estoque e a sensibilidade dos sistemas. Concluíram que, para minimizar os estoques, os pedidos devem ser colocados quando não possuir mais quantidades suficientes para atender o próximo fornecimento de produtos finais, ou seja, no último instante. Para minimizar a sensibilidade do sistema, deve-se utilizar lotes fixos em substituição aos lotes dinâmicos.

FERTSCH (1998) propõem uma nova forma de cálculo para definição do tamanho de lotes dinâmicos, a serem utilizadas em sistemas MRP. Define um algoritmo de programação e cita como resultados encontrados: estabilidade dos níveis dos estoques; diversas solicitações para um mesmo item são acumuladas em um único pedido; a média do nível dos estoques depende da complexidade do produto.

Maiores detalhes sobre o sistema MRP vide item 3.3.3.2. A estrutura do sistema MRP pode ser vista no fluxograma da Figura 4.

FIGURA 4 – ESTRUTURA DO SISTEMA MRP



#### 2.2.3.2.3 Planejamento de Recursos de Manufatura (MRP II)

O sistema de Planejamento de Recursos de Manufatura (*Manufacturing Resources Planning* – MRP II) pode ser visto como um método para efetivar planejamentos de todos os recursos da organização de manufatura. MRP II é um planejamento baseado em computador, programação e sistema de controle. Ele dá à administração uma ferramenta de planejamento e controle das atividades de produção e operações de suporte, obtendo um alto nível de serviço de atendimento ao cliente, possibilitando redução de custos (SIPPER; BULFIN, 1997).

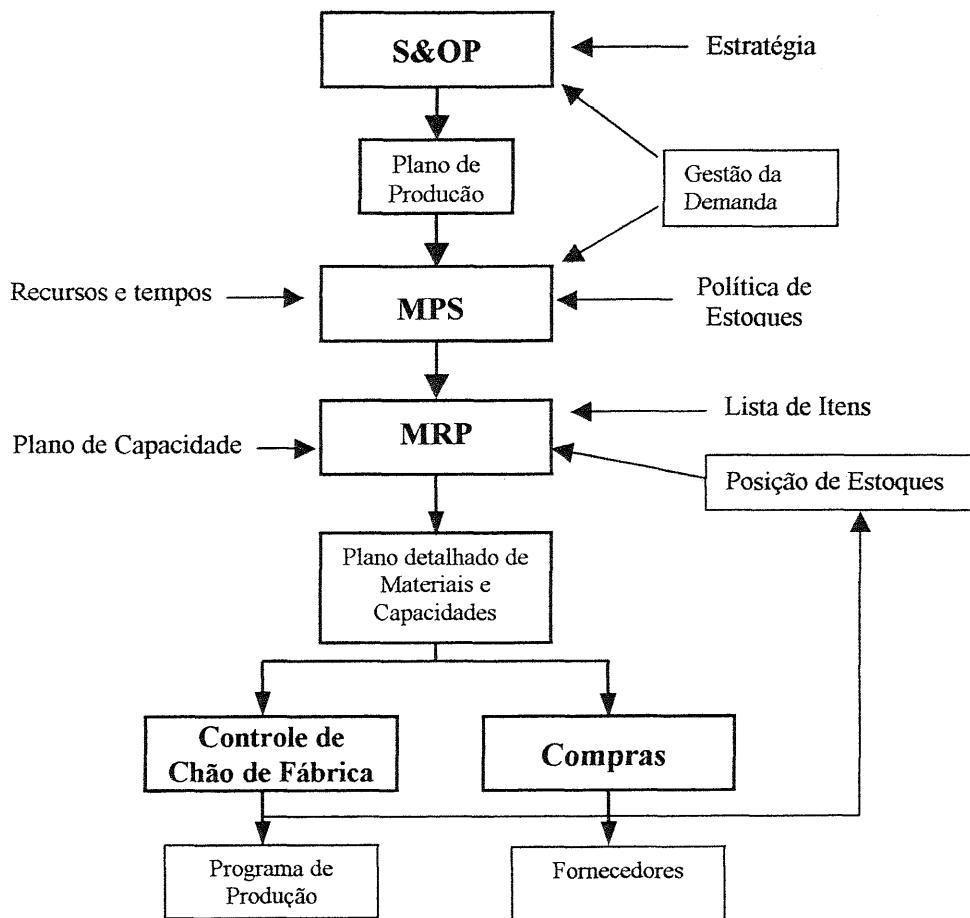
MRP II é uma expansão do sistema MRP (visto no item 2.2.3.2.2). Inicialmente, MRP era uma ferramenta computadorizada de programação e pedidos de materiais. Posteriormente, foi utilizado para replanejamento, controle e atualização em função de datas para os pedidos de compra. Possibilita o aumento do planejamento da

produção, do plano mestre da produção (MPS – ver item 2.2.3.2.1) e previsão da demanda. Com um melhor MPS incorporado ao MRP, transformou-se no chamado sistema MRP de *loop fechado*. A próxima fase foi aumentar o plano de capacidade em vários níveis, adicionando simulações da capacidade. Isto possibilitou a geração de planos financeiros baseados no processo de planejamento MRP. Então, MRP tornou-se um amplo sistema da empresa, negociando com o planejamento e controle de operações em lugar de somente ser uma ferramenta para planejamento de fluxo de materiais. Este sistema mais completo passou a ser chamado de Planejamento de Recursos de Manufatura onde sua sigla, para diferenciar do MRP tradicional, adotou-se MRP II (SIPPER; BULFIN, 1997).

O sistema MRP II caracteriza-se como uma ferramenta de planejamento estratégico em áreas como logística, manufatura, marketing e finanças. É útil nas análises de cenário e auxilia no sistema logístico da empresa, possibilitando o gerenciamento de todos os recursos (DIAS, 1995).

A inclusão do cálculo de necessidades de capacidade nos sistemas MRP fez com que um novo tipo de sistema fosse criado; um sistema que já não calculava apenas as necessidades de materiais, mas também as necessidades de outros recursos do processo de manufatura. O MRP II diferencia-se do MRP pelo tipo de decisão de planejamento que orienta; enquanto o MRP orienta decisões do que, quanto e quando produzir e comprar, o MRP II engloba também as decisões referentes a como produzir, ou seja, com que recursos. Há uma lógica hierárquica de cálculos, verificações e decisões, visando à criação de um plano de produção, tanto em relação às necessidades de materiais quanto de capacidade produtiva (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). A estrutura do sistema MRP II está caracterizada na figura 5.

FIGURA 5 - ESTRUTURA DO SISTEMA MRP II



#### 2.2.3.2.4 Planejamento de Recursos do Empreendimento (ERP)

Em função das constantes mudanças do sistema MRP II, surgiu uma nova geração onde se adicionaram novas aplicações, tais como, manutenção, qualidade, serviços de campo, suporte ao marketing e um número de requisitos de tecnologia como configurações de produtos e controles de mudanças de engenharia. Esta nova geração passou a ser chamada de Planejamento de Recursos do Empreendimento (ERP – *Enterprise Resources Planning*) (SIPPER; BULFIN, 1997).

Um sistema EPR tem a pretensão de suportar todas as necessidades de

informações para a tomada de decisão gerencial de um empreendimento como um todo.

Após a evolução do sistema MRP para MRP II, novos módulos continuaram a ser agregados pelos fornecedores de sistemas, como por exemplo: apoio ao recebimento fiscal juntamente com o recebimento físico de materiais; suporte a transações contábeis geradas juntamente com fatos físicos, etc.. Com isso gradualmente os sistemas MRP II estão sendo ampliados onde módulos suportam mais funções de forma integrada aos módulos de manufatura sendo que sua abrangência ultrapassou o escopo da manufatura. Neste aumento e controle de informações, o sistema deixou de ser denominado MRP II para ser conhecido como ERP (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) citam que os sistemas ERP existentes no mercado ainda não podem ser considerados um sucesso completo com um usuário utilizando todos os seus módulos. Isto porque não houve tempo suficiente para a sua implantação total e mesmo o fato dos sistemas serem criados no exterior e dependerem de adaptações para o mercado brasileiro, principalmente com relação às legislações fiscais e trabalhistas. Muitos usuários optam por instalar apenas alguns módulos e mantém em uso outros módulos já implantados por outros sistemas que estão funcionando bem. Recomendam uma análise criteriosa por parte das empresas que desejem migrar para este modelo, principalmente se tiverem que abandonar algum sistema que já está implantado e funcionando bem. Neste caso indicam uma verificação para diagnosticar possibilidades de se criar interfaces entre os módulos a serem implantados e outros já adaptados e em funcionamento.

Os módulos que compõem os sistemas ERP atuais estão relacionados a seguir (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

Módulo referente à administração da cadeia de suprimentos:

- previsões e análise de vendas;

- lista de materiais (BOM – Bills of Material);
- MPS e cálculo de capacidade aproximada;
- MPR;
- planejamento detalhado de capacidade;
- compras;
- controle de fabricação (chão de fábrica);
- controle de estoques;
- engenharia;
- distribuição física;
- gerenciamento de transporte;
- gerenciamento de projetos;
- apoio à produção repetitiva;
- apoio à gestão de produção em processos;
- apoio à programação com capacidade finita de produção dicreta;
- configuração de produtos.

Módulo referente à gestão financeira, contábil e fiscal:

- contabilidade geral;
- custos;
- contas a pagar;
- contas a receber;
- faturamento;
- recebimento fiscal;
- contabilidade fiscal;
- gestão de caixa;
- gestão de ativos;
- gestão de pedidos;
- definição e gestão do processo de negócio.

Módulo referente à gestão de recursos humanos:

- pessoal;
- folha de pagamento.

#### *2.2.3.2.5 Just In Time (JIT)*

É um sistema para produzir o tipo de unidades necessárias, no tempo necessário e em quantidades necessárias. Este conceito não abrange somente o sistema de produção, mas também fornecedores e clientes através do controle de qualidade e fluxo de trabalho. Nas empresas onde está implantado, o JIT é parte das estratégias de negócios corporativos tanto quanto uma ferramenta integrada ao Planejamento e Controle da Produção (SIPPER; BULFIN, 1997).

O JIT é uma filosofia relacionada ao modo como uma empresa fabricante organiza e opera seu negócio. A aplicação habilidosa de princípios de engenharia industrial e de produção existentes torna uma empresa mais produtiva. Este tipo de aplicação foi iniciada pelos japoneses, que forçaram o mundo todo a rever algumas premissas básicas sob filosofia diferente (ARNOLD, 1999). JIT pode ser definido como “eliminação de todo desperdício e a melhoria contínua da produtividade”. Como desperdício entende-se qualquer coisa além do mínimo equipamento, peças, espaço, material e tempo de trabalho absolutamente necessários para acrescentar valor ao produto. Não deve haver excesso, não devem existir estoques de segurança e os *lead times* devem ser mínimos: “se não se pode utilizar agora, não se deve produzir.” A filosofia e as técnicas JIT foram desenvolvidas para a produção repetitiva e talvez sejam mais aplicáveis nesse ambiente. Porém, muitos conceitos são adequados para qualquer forma de organização de produção.

As técnicas do JIT visam eliminar todo tipo de desperdício de recursos na fábrica, descentralizando as decisões de curtíssimo prazo e aproveitando as

contribuições daquelas pessoas que efetivamente estão em contato direto com os produtos e os processos que os conduzem, tanto no controle do que fazem como na melhoria desses processos. Alguns problemas sobre as técnicas do JIT são levantados: planejamentos de prazos mais longos, gestão de materiais adquiridos (integração com fornecedores), assume que existe a disponibilidade de matérias-primas e componentes adquiridos, o que pode causar grandes transtornos uma vez que trabalha com estoques reduzidos e decrescentes (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

Independente das características da fábrica, os seguintes princípios do JIT podem ser utilizados (ARNOLD, 1999):

- envolvimento dos funcionários;
- arranjo físico do local de trabalho;
- controle de qualidade total;
- manutenção produtiva total (manutenção preventiva);
- redução do tempo de preparação de maquinários e equipamentos;
- relacionamento com fornecedores (parcerias);
- redução de estoques.

O sistema MRP pode ser complementar à fabricação JIT, onde pode assumir a função de planejamento e controle (cálculo das necessidades) para itens de *lead time* longo. O MRP considera a fábrica estática, o JIT transforma o processo em um sistema flexível. O MRP utiliza softwares sofisticados ao contrário do JIT que baseia-se em controles visuais. JIT necessita de um programa mestre estabilizado em base da demanda diária e o MRP permite um plano mestre da demanda variável. O JIT é de melhor desempenho em produção repetitiva e o MRP, na produção sob encomenda ou em pequenos lotes, não repetitiva (MARTINS; LAUGENI, 1999). Como neste sistema produtivo a qualidade é essencial, um colaborador tem a autoridade de parar um processo produtivo se identificar algo que não esteja dentro do previsto. Este

colaborador ou outro colega deverá estar apto a corrigir a falha. Procura-se utilizar a capacidade plena dos colaboradores, uma vez que a eles é delegada a autoridade para produzir itens de qualidade para atender, em tempo, o próximo passo do processo produtivo (MARTINS; LAUGENI, 1999).

SLACK et al. (1997) citam como práticas básicas de trabalho do JIT: disciplina, flexibilidade, igualdade, autonomia, desenvolvimento pessoal, qualidade de vida e no trabalho e criatividade.

Um dos métodos utilizados para operacionalizar o sistema de planejamento e controle do JIT é o *kanban*, que significa cartão. Podem existir diferentes tipos como: *kanban* de transporte, de produção, do fornecedor. Qualquer que seja o tipo, o princípio é o mesmo. O recebimento de um *kanban* dispara o transporte, a produção ou o fornecimento de uma unidade ou de um *container* padrão de unidades. Os *kanbans* são apenas formas de autorizações das atividades a serem executadas (SLACK et al., 1997). O cálculo do número *kanbans* é o planejamento da produção a nível de chão de fábrica. Os *kanbans* geram a prioridade, substituindo as ordens de produção no MRP.

WANKE e FLEURY (2001) relatam uma situação real, onde uma empresa passou a utilizar em seu centro de distribuição e em suas filiais comerciais, metas de redução dos níveis de estoque, vislumbrando o *Just in Time*. A implementação do novo sistema, sem uma prévia análise criteriosa, gerou um aumento nos custos de transporte e na freqüência de falta de produtos em suas filiais. Recomendam, em seu trabalho, uma série de pontos a serem observados antes de uma alteração radical do processo em andamento.

BENTON e SHIN (1998), em função da grande utilização dos dois sistemas com aplicações no planejamento e controle de fluxo de materiais, revisaram os conceitos e ambientes de controle e planejamento de manufatura associados ao MRP e JIT. Descobriram o potencial de integração dos dois sistemas que podem trabalhar em um sistema híbrido MRP/JIT. Trabalhando em conjunto, podem associar seus princípios e reduzir a inflexibilidade do JIT e o “nervosismo” (sensibilidade) do MRP.

Citam também, a alteração de um sistema produtivo convencional para um JIT puro normalmente não é bem aceita, podendo não obter sucesso. Neste caso, recomendam uma implantação parcial deste sistema. Relatam que, na prática, raramente existe um sistema MRP ou JIT puro controlando o sistema de manufatura de uma indústria.

HO e CHANG (2001) também estudaram a integração dos sistemas MRP e JIT operando em um mesmo ambiente. Citam a integração como forma de eliminar os maiores problemas existentes nos sistemas MRP e JIT, quando utilizados separadamente.

KELLE e MILLER (2001) analisam o risco da falta de estoques quando da utilização do sistema JIT. Lembram que este sistema visa um único e confiável fornecedor (parceiro). Porém, muitas vezes, não se tem disponível este tipo de fornecedor. Neste caso, uma alternativa é a utilização de fornecedores duplos. O estudo, desenvolvido pelos autores, visa auxiliar a seleção de fornecedores indicando a divisão de pedidos a serem colocados em cada um, buscando a diminuição do risco da falta de estoques. A classificação dos fornecedores basicamente é feita pelas características individuais de *lead time* e custos.

#### 2.2.3.3 Gestão de Estoques

CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) definem estoques em uma linha de fabricação como “Acúmulo de recursos materiais entre fases específicas de processos de fabricação.” Os estoques propiciam independência às fases dos processos de transformação entre as quais se encontram. Têm a função de regular taxas diferentes de suprimento e consumo de determinado item.

Os estoques podem ser classificados como:

- estoques de matérias-primas – regula a taxa de suprimento, em se

tratando de fornecedores externos, e demanda, no caso do processo de transformação;

- estoques de material semi-acabado – estoque entre duas máquinas da linha de produção, como por exemplo, entre duas máquinas com velocidades de trabalho diferentes;
- estoques de produtos acabados – possui a finalidade de regular diferenças entre taxa de produção e demanda do mercado. Pode ser decisão estratégica gerencial ou por necessidade de mercado flutuante, estoque regulador.

A Administração da Produção, segundo CORRÊA, GIANESI e CAON (2000), é responsável pelo estabelecimento e manutenção dos níveis dos estoques nos pontos certos. Gestão adequada pode reduzir o nível ao mínimo necessário com a redução de custos de estocagem e faltas. Com esta gestão, os prazos de entrega podem ser cumpridos ou minimizados. Este item é visto pelo cliente como um dos que influenciam em seus custos, ou seja, é um ponto de desempenho e competitividade no mercado cada vez mais exigente.

O planejamento dos materiais comprados serve para que estes materiais não cheguem nem antes nem depois, nem em quantidades maiores ou menores do que aquelas necessárias ao atendimento da demanda. Isto para não causar interrupções prejudiciais que impeçam atingir o nível pretendido de utilização dos recursos produtivos e, por outro lado, para que a organização não arque com os custos decorrentes da eventual sobra por compras excessivas. Estes custos podem incluir os custos de manutenção de estoques, o custo de obsolescência, entre outros.

O planejamento dos níveis adequados de estoques de matérias-primas e semi-acabados, conforme informado por CORRÊA, GIANESI e CAON (2000), nos anos 80, conduziu algumas empresas a sofrer reveses competitivos importantes. Pois, buscaram de forma míope o chamado sistema de “estoque zero”. Elas muitas vezes

baixaram os estoques a níveis inferiores às suas necessidades estratégicas (por exemplo, de lidar com incertezas presentes no ciclo logístico), fragilizando-se e tornando-se mais vulneráveis aos ataques competitivos de concorrentes mais precavidos e sensatos. Hoje, entende-se que os estoques devem ser reduzidos sim, aos níveis mínimos necessários a atender às necessidades estratégicas da organização, mas é geralmente aceito também que em muitas situações esses níveis sejam o “zero estoque”. A gestão desses níveis de estoques é parte das atribuições dos sistemas de administração da produção e está longe de ser atividade trivial na maioria dos sistemas produtivos.

A confiabilidade das entregas aos fornecedores, prazos e quantidades certas, influencia diretamente nos níveis dos estoques. Baixa confiabilidade aumenta o estoque de segurança. A confiabilidade é um item cada vez mais visado pelas empresas (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

Na busca cada vez mais necessária pela qualidade, a diminuição dos níveis de estoque diminuem os riscos de acobertamento de lotes defeituosos.

De acordo com CORRÊA, GIANESI e CAON (2000), os motivos de aparecimento e manutenção de estoques são:

- *falta de coordenação* – em algumas situações do processo de fabricação é inviável coordenar / sincronizar as suas fases; isto pode ocorrer, também, por problemas de lotes mínimos de entrega por parte de fornecedores, por problemas de logística ou custos de transportes;
- *incertezas* – quando a taxa da demanda é imprevisível ou cercada de grandes alterações, são necessários estoques para cobrir os picos de fornecimentos não previstos; existem as incertezas do próprio processo de fabricação como por exemplo a quebra inesperada de uma determinada máquina, fornecedor que não consegue entregar o lote de matéria-prima solicitado, ou mesmo, entrega parcial do lote;

- *especulação* – por vezes as empresas adquirem quantidades maiores de matérias-primas, além das suas necessidades, na iminência de uma alta de preços ou escassez do produto, ou se tratando do produto acabado, estoca para aguardar melhor oportunidade;
- *disponibilidade no canal de distribuição* – quando a fábrica fica distante do mercado consumidor e a demanda se dá de uma forma contínua, a logística de distribuição necessita que os canais de vendas (depósitos, entrepostos, etc.) estejam sempre abastecidos.

A implantação de um sistema de Administração da Produção eficiente, por si só, não eliminará a necessidade de manutenção de estoques. Uma das principais causas de sua criação, a falta de coordenação informacional dentro do processo produtivo, será minimizada, praticamente eliminada. Porém, outros fatores não dependem de um gerenciamento eficiente da produção, como por exemplo, fornecedores pouco confiáveis, problemas de quebras de máquinas, tempos de preparo de máquinas, custos dos processos de compras. Esses fatores independem exclusivamente da coordenação da Administração da Produção. Com o passar do tempo, devem ser estudados para serem minimizados ou mesmo eliminados. Enquanto estes não são eliminados, existe a necessidade de manter estoques chamados de “estoque de segurança”.

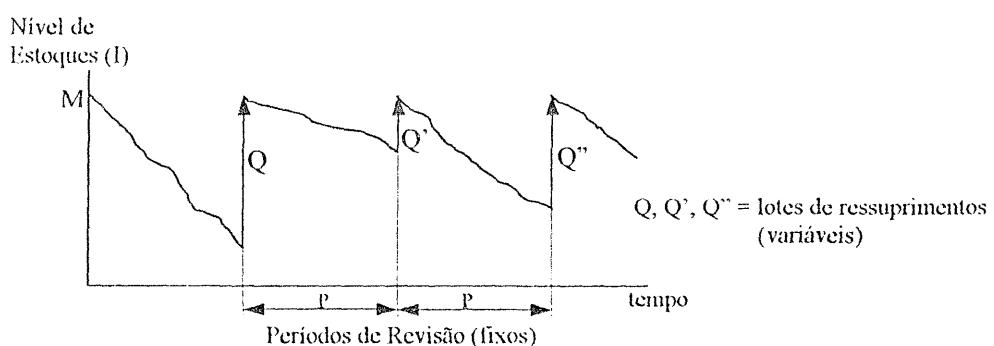
SIPPER e BULFIN (1997) classificam os modelos de gerenciamento dos níveis de estoque em função do tipo da demanda analisada (dependente ou independente). Algumas das análises são comuns às duas formas de controle. ARNOLD (1999) cita que os grandes investimentos em estoques exigem sistemas eficientes de reposição, onde três sistemas básicos utilizados: sistema de revisão periódica, sistema de revisão contínua (ponto de pedido) e MRP (os dois primeiros para demanda independente e o último para a demanda dependente).

### 2.2.3.3.1 Controle de Estoques Baseado na Demanda Independente

Nos sistemas de controle de estoques, o maior elemento de impacto é a demanda dos itens que para este efeito é considerada incontrolável. Para gerenciamento, são consideradas três variáveis de decisão: o que comprar, quando comprar e quanto comprar. Para o controle de estoques baseado na demanda independente, os itens são analisados e acompanhados individualmente. Assim, o que comprar depende apenas do controle individual dos itens estocados. Para as outras duas variáveis, os sistemas mais utilizados são *Revisão Periódica* e *Revisão Contínua*.

No sistema de *Revisão Periódica* (Figura 6), em intervalos de tempo fixos (semanalmente, mensalmente, ou um tempo qualquer  $P$ ), chamado de período de revisão, é verificado o nível do estoque do item ( $I$ ), e é emitido um pedido com uma quantidade ( $Q$ ) necessária para elevar o nível até um valor predeterminado ( $M$ ). A quantidade  $Q$  varia de período a período (SIPPER; BULFIN, 1997).

FIGURA 6 – SISTEMA DE REVISÃO PERIÓDICA DE ESTOQUES



Os parâmetros a serem definidos para este sistema são a quantidade de ressuprimento ( $Q$ ), o nível predeterminado ( $M$ ). Para o cálculo de  $Q$ , necessita-se informações do nível  $M$ , do estoque atual ( $E$ ) e da quantidade já pedida ( $QP$ ), caso tenha algum pedido em andamento. Para determinação do ponto  $M$ , são necessárias as

informações da demanda por período (D), período de previsão na mesma unidade de D, tempo de ressuprimento (LT) e estoque de segurança  $E_{Seg}$ , podendo ser obtido por:

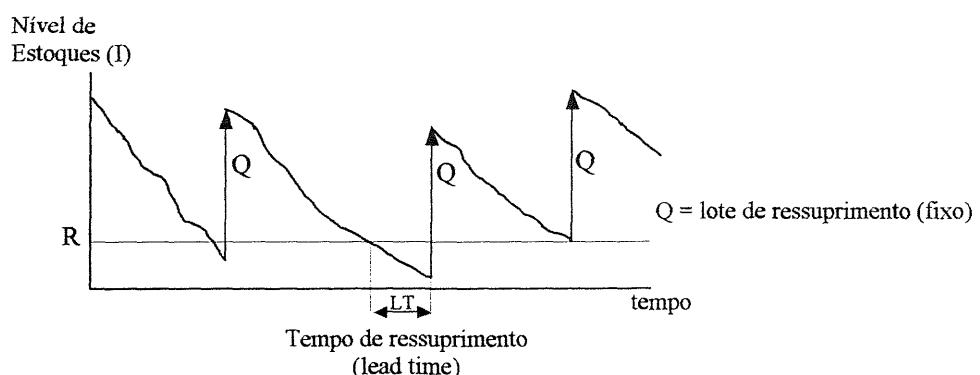
$$Q = M - (E + QP)$$

$$M = D.(P + LT) + E_{Seg}$$

No sistema de *Revisão Contínua* (Figura 7), o nível de estoque é continuamente monitorado. Quando o nível atinge um ponto de reposição (R), uma quantidade fixa (Q) é solicitada. Este método também é chamado de Reposição de Quantidade Fixa (SIPPER; BULFIN, 1997). Para que este modelo possa ser utilizado, é necessário definir os seus parâmetros, ponto de reposição (R) e tamanho do lote de ressuprimento (Q). Para a determinação de Q, utiliza-se o cálculo de lote econômico ( $L_e$ ) que considera o custo de ressuprimento ( $C_f$ ), o custo de estocagem ( $C_e$ ) e a demanda anual do item ( $D_a$ ). Para determinação do ponto de reposição (R), considerase a demanda por período analisado (D), o tempo de ressuprimento na mesma unidade de D (LT: *lead time*) e leva-se em consideração o estoque de segurança ( $E_{Seg}$ ).

$$L_e = \sqrt{\frac{2.D_a.C_f}{C_e}} \quad R = D.LT + E_{seg} .$$

FIGURA 7 – SISTEMA DE REVISÃO CONTÍNUA DE ESTOQUES



O estoque de segurança tem a função de minimizar problemas de falta de

materiais em função das incertezas da demanda e, inclusive, evitar transtornos devido a atrasos de fornecedores, quebra de máquinas ou problemas de logística.

As formas de se calcular o  $E_{seg}$  proposta por CORRÊA, GIANESI e CAON (2000), dentre outras, são:

a) sistema revisão periódica,

$$E_{seg} = FS \cdot \sigma \sqrt{\frac{(P + LT)}{PP}} ,$$

b) sistema de revisão contínua,

$$E_{seg} = FS \cdot \sigma \sqrt{\frac{LT}{PP}} ,$$

onde,

FS - é o fator de segurança em função do nível de serviço pretendido;

$\sigma$  - é o desvio-padrão estimado para a demanda futura;

LT - *lead time* de ressuprimento;

P - período de revisão;

PP - periodicidade, à qual está relacionado o desvio-padrão.

Antes da era da computação veloz e econômica, o método de revisão periódica era o mais popular, porque era mais fácil de implementar manualmente. Com os computadores, ficou mais fácil para se utilizar o modelo de revisão contínua. Ainda hoje os dois métodos são bastante utilizados (SIPPER; BULFIN, 1997).

#### 2.2.3.3.2 Controle de Estoques Baseado na Demanda Dependente

A melhoria dos sistemas informatizados fizeram com que os itens sujeitos a

demandas dependentes deixassem de ser controlados pelos sistemas tradicionais (item 2.2.3.3.1) e passaram a ser calculadas as quantidades reais dos materiais necessários à produção. A lógica de controle parte da necessidade de atendimento de determinada demanda de um conjunto de produtos e calcula exatamente as quantidades necessárias e os momentos em que devem estar disponíveis todos os itens, suprindo as quantidades planejadas. Esta forma de coordenação entre consumo e suprimento de materiais é realizada pelo sistema MRP (item 2.2.3.2.2). Caso se utilizem técnicas de controle de estoque, como se todos os itens fossem da demanda independente, os itens da demanda dependente serão tratados como se estivessem sujeitos a incertezas da demanda que na verdade não existe (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

Os modelos desenvolvidos para controle de estoques sujeitos a demanda independente devem ser modificados para serem utilizados em controles sob demanda dependente (SIPPER; BULFIN, 1997).

SIPPER e BULFIN (1997) citam a importância do registro de estoques de todos os itens. Os registros devem ser mantidos atualizados por todos os responsáveis pelas transações: recebimentos, retiradas ou transferências. Nos registros de estoques, normalmente são incluídos outros fatores de planejamento como: *lead time*, estoque de segurança e tamanho de lotes. Estes registros agrupados são muito úteis nos momentos de se determinar os tamanhos e o planejamento dos tempos de ordens de compras de reposição. Com o conhecimento da lista de materiais, base de dados da estrutura dos produtos, que é fornecida ao sistema MRP e com a demanda, conhecida ou prevista, é possível determinar as necessidades de materiais. Antes de emitir alguma ordem de compra ou fabricação, é necessário verificar se já não existe a quantidade ou parte dela em estoque. Estoques este em forma de produtos finais, estoque em processo ou matérias-primas. Como a filosofia do sistema MRP é de programar a compra e a chegada de materiais o mais próximo possível do momento de sua utilização, os estoques que porventura são gerados podem ser oriundos de: fornecedores com restrições de lotes mínimos, o que acarreta sobra de material, caso a necessidade seja

menor que a encomenda mínima; problemas de logísticas ou custo de transporte que obriguem a compra em quantidades maiores que as necessárias, manutenção de estoque de segurança devido à existência de incertezas tanto no fornecimento quanto no consumo esperado de determinado item (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

### 3 MATERIAL, MÉTODOS E APLICAÇÃO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Na elaboração do Sistema de Planejamento Estratégico de Materiais (SPEM), foram necessárias algumas decisões estratégicas para nortear e definir a abrangência do trabalho, sendo estas decisões relatadas a seguir.

As dificuldades encontradas na obtenção de informações reais junto a empresas locais fizeram com que, os dados utilizados para este estudo (tais como composição dos produtos finais, *lead times*, quantidades) fossem de casos registrados em publicações. E, as séries históricas da demanda foram geradas por meio de um simulador programado em linguagem *Visual Basic*.

Na escolha dos métodos de previsão de séries temporais, optou-se por trabalhar com os métodos automáticos. Dentre estes escolheu-se os de alisamento exponencial, uma vez que são muito utilizados nas indústrias e possuem modelamento matemático que facilita a sua implementação computacional. Esta implementação depende somente do armazenamento de dados e de não exigir muito esforço computacional (GARDENER, 1985). Estudos empíricos demonstraram que a precisão obtida por estes modelos é compatível com os modelos mais complexos, como os modelos ARIMA (MAKRIDAKIS; HIBON, 2000). Dentre os modelos de alisamento exponencial, o critério de escolha foi o de utilizar os modelos necessários para que se pudesse ajustar um número de séries com comportamentos diferenciados, uma vez que não se sabe o comportamento das demandas de vendas que poderão ser analisadas. Desta forma foram escolhidos os modelos de Alisamento Exponencial Simples (AES), adequado a séries estacionárias, Alisamento Exponencial Linear de Brown (AELB), que tem melhor ajuste a séries que apresentam tendências e o Alisamento Exponencial

Sazonal de Holt-Winters, que é adequado à séries que apresentam sazonalidades.

Para a finalidade de gerenciamento dos estoques, foi visto que existem formas diferentes de controle em função do tipo da demanda do produto a ser analisado (ver item 2.2.3.3). Optou-se por trabalhar em função da demanda dependente, julgando esta ser a mais adequada (mais próxima à realidade) ao ambiente de manufatura industrial, onde se faz mais necessário o controle de grandes quantidades de itens que integram um produto final. Para controle de estoques baseado em demanda independente ver OLIVEIRA (2002).

Como o SPEM visa a uma aplicação na indústria de manufatura, existiu a necessidade de programação em um ambiente amigável que permita a facilidade de disponibilizar e acessar informações. Com este intuito, escolheu-se uma linguagem visual para implementar o sistema.

### 3.2 DADOS UTILIZADOS

Os dados dos produtos, sobre os quais foi elaborado o Sistema de Planejamento Estratégico de Materiais (SPEM), foram obtidos de exemplo real utilizado como demonstração na literatura em CORRÊA, GIANESI e CAON (2000). O exemplo detalha a composição do respectivo produto final a partir das matérias primas a serem manipuladas pelo fabricante, bem como a necessidade de adquirir, de terceiros, os componentes que são fornecidos prontos, direto para a linha de montagem. Como as informações das demandas de vendas não foram disponibilizadas, utilizou-se um simulador para gerar as séries temporais como históricos de vendas. Os dados necessários para elaboração do SPEM foram :

- histórico da demanda de vendas dos produtos (simulação);
- periodicidade dos dados históricos considerados (mensal);

- itens que compõem cada produto a ser analisado (lista de material);
- prazo de entrega dos materiais acabados ou das matérias-primas, pelos seus respectivos fornecedores, que compõem o produto na linha de montagem e/ou fabricação;
- importância envolvida (peso na decisão de se estocar ou não);
- níveis de estoques iniciais;
- tempos de produção dos itens de fabricação própria.

Os cuidados tomados na obtenção e análise dos dados foram:

- quanto mais dados históricos coletados e analisados, mais confiável a técnica de previsão;
- na interpretação dos dados procurou-se a caracterização da demanda pelos produtos da empresa, que não é necessariamente igual às vendas passadas, pois podem ter ocorrido faltas de produtos, postergando as entregas ou deixando de atendê-las;
- tamanho do período de consolidação dos dados (semanal, mensal, trimestral, anual, etc.) pois influenciam diretamente na técnica de previsão, assim como na análise das variações extraordinárias.

O exemplo refere-se a dados de fabricação do produto *lapiseira*. As informações/dados sobre o produto estão relacionadas no item 3.5.

Os prazos de aquisição, entrega e produção não serão questionados, uma vez que cabe à empresa gerenciar a burocracia interna e negociar com seus fornecedores.

### 3.3 METODOLOGIA

A criação do SPEM, dependeu da integração das informações, partindo-se da análise da série temporal gerada. Assim, escolhendo-se o modelo e estimando seus parâmetros, realizando previsões, gerou-se informações de disponibilidade de materiais para atender no horizonte pretendido os pedidos previstos. A partir daí obteve-se as informações de detalhes dos produtos finais como itens de composição, prazos e níveis de estoques. Gerenciando todas as informações, foi necessária a implementação de um programa computacional que possibilitasse todos os cálculos e controles necessários.

#### 3.3.1 Simulação

Para obtenção de valores para teste da implementação computacional dos modelos de previsão baseados em séries temporais, foram utilizadas simulações. A geração de séries com diversos tipos de comportamentos foram úteis para testar a identificação do melhor modelo e seus respectivos parâmetros do módulo de previsão do SPEM.

O simulador programado, possibilitou também a geração de diversas séries temporais, simulando a demanda de vendas dos produtos, testando a funcionalidade do SPEM.

O modelo utilizado para gerar séries temporais foi baseado na metodologia ARIMA, (item 2.1.7.2.4) e para maiores detalhes ver (BOX; JENKINS, 1976):

$$Z_t = \delta + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3.1)$$

que na forma diferenciada torna-se:

$$\omega_t = \phi_1 \omega_{t-1} + \phi_2 \omega_{t-2} + \dots + \phi_p \omega_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3.1a)$$

onde,

$$\omega_t = Z_t - Z_{t-1}, \text{ para o caso de } d = 1 \quad \text{e} \quad E(\omega_t) = 0$$

sendo:

$Z_t$  o valor da série no instante  $t$ ;

$\phi_i$  são os parâmetros auto-regressivos,  $i = 1, 2, \dots, p$ ;

$\theta_j$  são os parâmetros de médias móveis,  $j = 1, 2, \dots, q$ ;

$\delta$  é o termo constante;

$a_t$  representa o ruído branco, (ruído com média zero e variância  $\sigma_a^2$ ,  $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$ );

$\omega_t$  é a série diferenciada de ordem  $d$ ,  $\omega_t = \nabla^d Z_t$ .

Os  $p$  parâmetros auto-regressivos e os  $q$  parâmetros de médias móveis utilizados são escolhidos pelo operador do programa, bem como, o nível da série  $\mu$ , a variância dos resíduos  $\sigma_a^2$  e o número de diferenças a ser integrado  $d$ , para se gerar uma série não estacionária. E, como nos modelos ARIMA existe a possibilidade de se diferenciar a série visando a estacionariedade na modelagem utilizada para geração empregou-se o inverso. Ou seja, gerou-se séries estacionárias com as raízes do polinômio  $\phi(B)$  fora do círculo unitário. Com  $d = 1$  ou  $d = 2$  foram utilizados valores iniciais (aleatórios) para se obter séries não estacionárias, utilizando as equações de diferenças como equações de recorrência.

A componente aleatória, ruído branco ( $a_t$ ), que, por definição, deve possuir um comportamento normal com média zero e variância  $\sigma_a^2$  (constante), é gerada automaticamente pelo simulador por meio do algoritmo descrito a seguir.

Sejam X e Y variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas

com distribuição normal padrão, ou seja  $N(0,1)$ . Então obtém-se dois números (independentes), que seguem a distribuição normal padrão a partir de dois números aleatórios  $R, S$  com distribuição uniforme  $(0,1)$  ou seja,  $R$  e  $S$  têm distribuição  $U(0,1)$  usando-se os resultados seguintes:

$$X = \sqrt{-2 \ln R} \cos(2\pi S), \quad Y = \sqrt{-2 \ln R} \sin(2\pi S),$$

este é o método de Box & Müller descrito em PERIN FILHO (1995).

Na geração dos valores para a série simulada, os valores das componentes aleatórias  $a_t$  são geradas aos pares e seguindo a definição:

$$R, S \sim U(0,1) \quad \text{e} \quad X, Y \sim N(0,1)$$

$$a = \sigma X$$

$$E(a) = \sigma E(X) = 0$$

$$V(a) = \sigma^2 (X) = \sigma^2 \cdot 1 = \sigma^2$$

E, para eliminar a influência dos valores iniciais, a geração foi estendida muito além do solicitado (o dobro), porém foi disponibilizado apenas a quantidade requerida. Através das raízes dos polinômios característicos  $\phi(B)$  e  $\theta(B)$  são verificadas as condições de estacionariedade e invertibilidade, antes de gerar a série. Caso uma das condições seja violada, pode-se optar por outra combinação de parâmetros. Após a geração da série temporal, é realizado o teste de correlação dos resíduos, utilizando a estatística de Ljung-Box (LJUNG; BOX, 1978):

$$Q = n(n+2) \sum_{i=1}^k (n-k)^{-1} \hat{\rho}_i^2(\hat{a}),$$

sendo,

$$n = N - d, \quad \text{e}$$

$Q$  deverá ser comparada com um distribuição  $\chi^2_M$ , com  $M = k - p - q$ , onde:

- $N$  é o número de observações geradas;
- $d$  é o número de diferenças escolhidas para a geração;
- $M$  são os graus de liberdade para a distribuição  $\chi^2_M$ ;
- $p$  é o número de parâmetros auto-regressivos;
- $q$  é o número de parâmetros de médias móveis;
- $\hat{\rho}_i^2(\hat{a})$  são as auto-correlações dos resíduos gerados;
- $k$  refere-se às primeiras  $k$  auto-correlações dos resíduos consideradas, e segundo CHAVES NETO (2000), não há necessidade de um  $k$  maior que 25.

Caso uma simulação apresente resíduos correlacionados, poderá ser gerada outra série do modelo de interesse, se o pesquisador julgar necessário. A forma de apresentação do simulador será vista no Anexo 1.

### 3.3.2 Séries temporais

#### 3.3.2.1 Introdução

Normalmente, os responsáveis pelo Planejamento e Controle da Produção têm dificuldades em realizar previsões, uma vez que em sua grande maioria desconhecem as técnicas adequadas ou não dominam totalmente este conhecimento da análise de séries temporais. Quando isto ocorre, o procedimento de planejamento torna-se baseado em informações qualitativas (sentimentos, experiências anteriores ou de funcionário mais antigo). Surge então a necessidade de se elaborar um trabalho que

vise adequar a necessidade da indústria à complexidade do cálculo matemático e estatístico, ou seja, criar uma ferramenta que seja baseada em método científico definindo o tipo do método quantitativo de previsão.

Nas técnicas de previsão cabe salientar que, em certas situações, os métodos quantitativos de previsão não podem ser empregados isoladamente. Dependem também, para um bom resultado, menor erro, da participação dos métodos qualitativos, ou seja, da experiência da(s) pessoa(s) envolvida(s). As principais situações em que isso ocorre são: introdução de um produto novo, diferente dos oferecidos atualmente (não existindo dados passados), quando o panorama político-econômico for muito instável (mudanças bruscas de procedimentos, não possuindo acompanhamento dos dados históricos), em questões estratégicas para empresa (não é conveniente decidir os rumos da empresa apenas com base em dados provenientes de um modelo matemático).

Apesar da evolução dos recursos computacionais e da sofisticação matemática das técnicas de projeção, a previsão da demanda dos produtos não é um cálculo simples; envolve uma boa dose de experiência e julgamento pessoal do planejador. A única coisa que pode-se garantir é que o valor previsto será sempre uma boa aproximação do valor real. Porém, quanto mais apurada for a técnica empregada, melhor a base sobre a qual o planejador decidirá.

Grande parte dos assuntos apresentados neste item poderiam estar contidos na revisão bibliográfica, porém, optou-se em classificá-los como métodos uma vez que as descrições se confundem com o que foi desenvolvido.

### 3.3.2.2 Alisamento Exponencial Simples (AES)

O Alisamento Exponencial Simples pertence à classe dos métodos que empregam pesos decrescentes exponencialmente. Neste método o alisamento é

deduzido a partir da equação de médias móveis, onde  $k$  observações mais recentes são utilizadas para calcular a estimativa (previsão) para o nível da série ( $M_t$ ):

$$M_t = \frac{Z_t + Z_{t-1} + Z_{t-2} + \dots + Z_{t-k+1}}{k} \quad \text{ou} \quad (3.2)$$

$$M_t = M_{t-1} + \frac{Z_t - Z_{t-k}}{k}. \quad (3.3)$$

Desenvolvendo 3.3, obtém-se:

$$M_t = M_{t-1} + \left( \frac{Z_t}{k} - \frac{Z_{t-k}}{k} \right). \quad (3.4)$$

Supondo que uma observação anterior  $Z_{t-k}$  não esteja disponível, então, em seu lugar deve ser utilizado um valor aproximado. Uma possível substituição poderá ser a estimativa (previsão) para o período anterior  $M_{t-1}$ . Com esta substituição em 3.4, tem-se:

$$M_t = M_{t-1} + \left( \frac{Z_t}{k} - \frac{M_{t-1}}{k} \right) \text{ e desenvolvendo} \quad (3.5)$$

$$M_t = \left( \frac{1}{k} \right) Z_t + \left( 1 - \frac{1}{k} \right) M_{t-1}. \quad (3.6)$$

Se os dados são estacionários, a substituição é uma boa aproximação, mas quando existe tendência, o método é inadequado.

Da equação 3.6, pode ser visto que a previsão ( $M_t$ ) está baseada em se atribuir peso maior a observação mais recente e peso menor a previsão anterior ( $M_{t-1}$ ). Sendo  $k$  um número inteiro e positivo,  $1/k$  deverá ser uma constante entre zero, se  $k$  for para infinito e um, se  $k = 1$ . Fazendo-se a substituição de  $1/k$  por  $\alpha$ , e alterando a representação de  $M_t$  para  $\tilde{Z}_t$ , 3.6 se transforma em :

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + (1-\alpha) \tilde{Z}_{t-1} \quad t = 1, \dots, N \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.7)$$

onde N é o tamanho da série.

A equação 3.7 é a forma geral utilizada para calcular as previsões, onde  $\tilde{Z}_t$  é chamado de valor alisado ou amortecido e  $\alpha$  é a constante de alisamento ou amortecimento, informando a previsão para os períodos seguintes. A previsão de todos os valores futuros é obtida pelo último valor exponencialmente alisado (MORETTIN; TOLOI, 1981):

$$\begin{aligned} \hat{Z}_t(h) &= \tilde{Z}_t, & \forall h > 0, \text{ ou ao final da série,} \\ \hat{Z}_t(h) &= \alpha Z_t + (1-\alpha) \hat{Z}_{t-1}(h). \end{aligned} \quad (3.8)$$

A equação 3.8 pode ser considerada a equação de atualização de previsão, onde, com a observação mais recente, a previsão imediatamente anterior e o valor de  $\alpha$ , pode-se calcular a nova previsão. Com este método são reduzidos substancialmente os problemas de armazenamento de dados. E, como 3.7 considera o último valor alisado em seu cálculo, uma expansão da mesma pode ser dada por:

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + (1-\alpha) [\alpha Z_{t-1} + (1-\alpha) \tilde{Z}_{t-2}]$$

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + \alpha(1-\alpha) Z_{t-1} + (1-\alpha)^2 \tilde{Z}_{t-2}.$$

Repetindo o desenvolvimento até o limite das N observações da série tem-se:

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + \alpha(1-\alpha) Z_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 Z_{t-2} + \dots + \alpha(1-\alpha)^{N-1} Z_{t-(N-1)} + (1-\alpha)^N \tilde{Z}_{t-(N-1)}$$

na forma contraída:

$$\tilde{Z}_t = \alpha \sum_{k=0}^{t-1} (1-\alpha)^k Z_{t-k} + (1-\alpha)^t \tilde{Z}_0, \quad t = 1, \dots, N \quad (3.9)$$

com  $\hat{Z}_0 = Z_1$ .

A soma dos pesos atribuídos às observações converge para 1 quando  $t \rightarrow \infty$ , pois os pesos formam uma PG com termo inicial  $\alpha$  e razão  $1-\alpha$ .

Uma forma alternativa de se escrever 3.7 é:

$$\tilde{Z}_t = \alpha(Z_t - \tilde{Z}_{t-1}) + \tilde{Z}_{t-1},$$

de onde pode-se obter a forma de representação do modelo AES em função do erro de previsão:

$$e_t = Z_t - \tilde{Z}_{t-1}, \quad \text{temos}$$

$$\tilde{Z}_t = \alpha(e_t) + \tilde{Z}_{t-1},$$

onde  $e_t$  é o erro de previsão (valor da observação atual menos o previsto no período anterior um passo a frente) para o período ( $t$ ). Desta forma, a previsão ( $\tilde{Z}_t$ ) pode ser vista como sendo uma combinação da última previsão gerada com um ajuste do erro da última previsão. Para iniciar o processo de cálculo 3.7, é necessária a primeira previsão ( $\tilde{Z}_{t-1}$ ). Como este valor ainda não é conhecido, uma das alternativas é de se escolher o primeiro valor da observação como a primeira previsão,  $\tilde{Z}_0 = Z_1$ , conforme citado anteriormente.

Na escolha da constante de alisamento  $\alpha$  (MORETTN; TOLOI, 1981), deve-se procurar o valor que forneça a melhor previsão das observações obtidas, necessitando de uma fase de verificação do ajustamento do modelo ao conjunto de observações disponíveis, podendo ser baseado no cálculo de menor MSE e de forma adotado. A escolha de um  $\alpha$  pequeno implica em pesos maiores às observações passadas, proporcionando observações mais estáveis, onde flutuações aleatórias no presente interferirão pouco no valor previsto. Em séries com maiores aleatoriedades, o valor da constante de alisamento deverá ser menor. Para construção do intervalo de confiança, partindo-se de 3.8, tem-se:

$$\begin{aligned}\hat{Z}_t(h) &= \alpha Z_t + (1-\alpha)\hat{Z}_{t-1}(h), \\ \hat{Z}_t(h) &= \alpha Z_t + \hat{Z}_{t-1}(h) - \alpha\hat{Z}_{t-1}(h), \\ \hat{Z}_t(h) &= \alpha(Z_t - \hat{Z}_{t-1}(h)) + \hat{Z}_{t-1}(h),\end{aligned}\tag{3.8a}$$

como no AES as previsões geradas em um determinado instante são iguais para todo o horizonte  $h$ ,  $\hat{Z}_{t-1}(h)$  terá o mesmo valor para todos os períodos  $h$ , e as previsões sendo geradas a partir da última observação  $Z_t$ , o valor do erro de previsão ( $Z_t - \hat{Z}_{t-1}(h)$ ) será sempre múltiplo do erro a um passo,  $e_t = Z_t - \hat{Z}_{t-1}(1)$  (MORETTIN; TOLOI, 1981). Alterando a notação dos índices do erro de previsão para verificação do intervalo compreendido:

$\hat{Z}_t(h) = \alpha(Z_t - \hat{Z}_{t-1+h}) + \hat{Z}_{t-1}(h)$  , tem-se então o intervalo para o erro como sendo,  $(t-1+h)-t = h-1$ . Rescrevendo 3.8a em função dos erros de previsão:

$$\hat{Z}_t(h) = \alpha(e_1 + e_e + \dots + e_{h-1}) + \hat{Z}_{t-1}(h),$$

$$\hat{Z}_t(h) = (\alpha e_1 + \alpha e_e + \dots + \alpha e_{h-1}) + \hat{Z}_{t-1}(h),$$

e considerando que  $\hat{Z}_{t-1}(h)$  possui o mesmo valor para todo o horizonte  $h$ , a variabilidade deste valor pode ser representada pela variância do erro, um passo a frente, obtido na fase de ajuste do modelo. Aplicando as propriedades de variância:

$$V(\hat{Z}_t(h)) = (\alpha^2 \sigma_a^2 + \alpha^2 \sigma_a^2 + \dots + \alpha^2 \sigma_a^2) + \sigma_a^2, \text{ e desenvolvendo}$$

$$V(\hat{Z}_t(h)) = \alpha^2 \sigma_a^2 (h-1) + \sigma_a^2,$$

$$V(\hat{Z}_t(h)) = [\alpha^2 (h-1) + 1] \sigma_a^2.$$

HYNDMAN et al. (2001) demonstraram a fórmula analítica exata para a

variância da previsão, para o método de alisamento exponencial simples. A demonstração está baseada nos modelos de espaço de estado, onde os modelos de alisamento exponencial são casos especiais. O intervalo de confiança poderá ser obtido, então, por:

$$P\left(\hat{Z}_t(h) - k\sqrt{V(\hat{Z}_t(h))} \leq Z_{t+h} \leq \hat{Z}_t(h) + k\sqrt{V(\hat{Z}_t(h))}\right) = 1 - \alpha,$$

onde,  $k$  é o escore da distribuição de probabilidade do erro de previsão ( $k = 1,96$  quando o erro tem distribuição normal com 95% de nível de confiança).

### 3.3.2.3 Alisamento Exponencial Linear de Brown (AELB)

O Alisamento Exponencial Linear de Brown, também conhecido como Alisamento Exponencial Duplo, ou, Método Linear de um Parâmetro de Brown, é um modelo de alisamento exponencial, semelhante ao AES, sendo que calcula um segundo alisamento sobre os valores obtidos do AES, utilizando uma única constante de alisamento. Desta forma, a diferença entre os valores do alisamento simples (AES) e um segundo alisamento, pode ser somada ao valor alisado e ajustado para tendência.

O AELB é aplicável a séries temporais que apresentem comportamento com tendência da mesma forma que o AES, o Alisamento Exponencial Linear de Brown deriva dos modelos de médias móveis. Inicialmente, necessita-se do cálculo dos valores alisados (AES), através da equação 3.7:

$$\tilde{Z}_t = \alpha Z_t + (1 - \alpha) \tilde{Z}_{t-1} .$$

E, assumindo que todos os alisamentos simples  $\tilde{Z}_t$  tenham sido calculados, utilizando-se 3.2 de forma análoga ao AES para os mesmos  $k$  períodos, as médias móveis para os

valores alisados,  $\tilde{Z}_t$ , são:

$$M_t = \frac{\tilde{Z}_t + \tilde{Z}_{t-1} + \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \tilde{Z}_{t-k+1}}{k} , \text{ ou}$$

$$M_t = M_{t-1} + \frac{\tilde{Z}_t - \tilde{Z}_{t-k}}{k}.$$

Desenvolvendo, obtemos:

$$M_t = M_{t-1} + \left( \frac{\tilde{Z}_t}{k} - \frac{\tilde{Z}_{t-k}}{k} \right). \quad (3.10)$$

Substituindo-se um alisamento anterior  $\tilde{Z}_{t-k}$  por um valor aproximado, neste caso utilizando a estimativa (previsão) para o período anterior  $M_{t-1}$ . Com esta substituição em 3.10, tem-se:

$$M_t = M_{t-1} + \left( \frac{\tilde{Z}_t}{k} - \frac{M_{t-1}}{k} \right) \text{ e desenvolvendo}$$

$$M_t = \left( \frac{1}{k} \right) \tilde{Z}_t + \left( 1 - \frac{1}{k} \right) M_{t-1}. \quad (3.11)$$

Apesar da possibilidade da série não ser estacionária, a substituição é uma boa aproximação, uma vez que os valores utilizados são alisados. De forma similar a 3.6, na equação 3.11 a previsão ( $M_t$ ) está baseada em se atribuir peso maior à observação mais recente e peso menor à previsão anterior ( $M_{t-1}$ ). Sendo  $k$  um número inteiro e positivo,  $1/k$  deverá ser uma constante entre zero, se  $k$  for para infinito e um, se  $k = 1$ . Fazendo-se a substituição de  $1/k$  por  $\alpha$ , e alterando a representação de  $M_t$  para  $\tilde{Z}_t$ , 3.11 se transforma em :

$$\tilde{\tilde{Z}}_t = \alpha \tilde{Z}_t + (1-\alpha) \tilde{\tilde{Z}}_{t-1}, \quad t = 1, \dots, N \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.12)$$

onde:

$N$  é o tamanho da série e  $\tilde{Z}_t$  é obtido de 3.7.

Ainda, supondo que a tendência seja linear, o modelo poderá ser determinado por:

$$Z_t = m_1 + b_2 t + a_t, \quad t = 1, \dots, N \quad (3.13)$$

onde:

$m_1$  representa o nível (intercepto);

$b_2$  representa a tendência (declividade);

$a_t$  refere-se ao ruído branco, parte estocástica do modelo, com média zero e variância constante.

Então a equação de previsão será :

$$\hat{Z}_t(h) = \hat{m}_{1,t} + \hat{b}_{2,t}(h), \quad (3.14)$$

onde:

$h$  é a quantidade de períodos à frente a ser previsto (horizonte de previsão);

$\hat{m}_{1,t} = 2\tilde{Z}_t - \tilde{\tilde{Z}}_t$ , é a estimativa do intercepto no instante  $t$  e

$\hat{b}_{2,t} = \frac{\alpha}{1-\alpha} (\tilde{Z}_t - \tilde{\tilde{Z}}_t)$  é a estimativa da tendência no instante  $t$ .

Verificando e comprovando as estimativas da equação de previsão 3.14, a partir de 3.9 e 3.13, obtém-se:

$$\text{i)} \quad E(\bar{Z}_t) = \alpha \sum_{k=0}^{t-1} (1-\alpha)^k E(Z_{t-k}) + (1-\alpha)^t \bar{Z}_0$$

$$E(\tilde{Z}_t) = \alpha \sum_{k=0}^{t-1} (1-\alpha)^k (m_1 + b_2(t-k)) + (1-\alpha)^t \tilde{Z}_0$$

quando  $t \rightarrow \infty$ ,  $(1-\alpha)^t \rightarrow 0$  e

$$E(\tilde{Z}_t) = (m_1 + b_2 t) \alpha \sum_{k=0}^{\infty} (1-\alpha)^k - b_2 \alpha \sum_{k=0}^{\infty} k (1-\alpha)^k$$

$$E(\tilde{Z}_t) = m_1 + b_2 t - \frac{(1-\alpha)}{\alpha} b_2$$

como  $E(Z_t) = m_1 + b_2 t$ , temos

$$E(\tilde{Z}_t) = E(Z_t) - \frac{(1-\alpha)}{\alpha} b_2 . \quad (3.15)$$

ii) De forma análoga, utilizando a equação 3.12, teremos:

$$E(\tilde{\tilde{Z}}_t) = E(\tilde{Z}_t) - \frac{(1-\alpha)}{\alpha} b_2 , \text{ ou seja,}$$

$$b_2 = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \left[ E(\tilde{Z}_t) - E(\tilde{\tilde{Z}}_t) \right]. \quad (3.16)$$

Desta forma, pela lógica define-se a estimativa para a tendência como:

$$\hat{b}_2 = \hat{b}_{2,t} = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \left( \tilde{Z}_t - \tilde{\tilde{Z}}_t \right). \quad (3.17)$$

Substituindo-se o valor de  $b_2$ , de 3.16 em 3.15:

$$\begin{aligned} E(Z_t) &= E(\tilde{Z}_t) + \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \left[ E(\tilde{Z}_t) - E(\tilde{\tilde{Z}}_t) \right] \\ E(Z_t) &= 2E(\tilde{Z}_t) - E(\tilde{\tilde{Z}}_t). \end{aligned} \quad (3.18)$$

Assim uma boa estimativa para o intercepto é:

$$\hat{m}_{1,t} = 2\tilde{Z}_t - \tilde{\tilde{Z}}_t. \quad (3.19)$$

Para aplicar 3.7 e 3.12, são necessários os valores iniciais dos alisamentos  $\tilde{Z}_{t-1}$  e  $\tilde{\tilde{Z}}_{t-1}$ . Como estes valores ainda não são conhecidos, utiliza-se o primeiro valor da observação ( $Z_1$ ) como estimativa:

$$\tilde{\tilde{Z}}_0 = Z_1 \quad \text{e} \quad \tilde{Z}_0 = Z_1$$

MAKRIDAKIS, WHEELWRIGHT e McGEE (1983) alertam que este problema de inicialização, existente em todos os modelos de alisamento exponencial. Dependendo do valor utilizado para a constante de alisamento, pode influenciar o processo de forma significante durante um longo período ( $\alpha$  próximo de zero).

O critério para a escolha do melhor valor para a constante de alisamento  $\alpha$  é testar os valores a fim de minimizar a soma quadrática dos erros de ajustamento. A constante de alisamento possui a mesma finalidade do AES. Atribui pesos maiores às observações mais recentes e pesos menores às observações mais antigas.

MORETTIN e TOLOI (1981) alertam para as dificuldades de utilização de tratamentos estatísticos com os métodos automáticos, o que implica em problemas na determinação da variância do erro de previsão, a ser utilizada no cálculo do intervalo de confiança de previsão.

Segundo KOEHLER, SNYDER e ORD (2001), os modelos ARIMA podem ser utilizados para se determinar o intervalo de confiança de previsão para os modelos de alisamentos exponenciais lineares.

GARDNER (1985) cita que o modelo de Brown é equivalente a um modelo ARIMA (0,2,2) de raízes iguais no polinômio característico  $\theta(B)$ , e que tal equivalência foi demonstrada por COGGER (1974).

Utilizando-se da equivalência com o ARIMA (0,2,2), calculou-se a variância das previsões baseadas no modelo já determinado. Como se trata de um caso

específico, não se necessita das etapas de *especificação* e *identificação* do modelo. Na etapa de *estimação*, não foi necessário empregar algoritmo não linear, uma vez que serão utilizados somente dois parâmetros de médias móveis ( $\theta_1$  e  $\theta_2$ ) e o número de diferenças para estacionarizar a série é fixa em duas ( $d = 2$ ). A representação do modelo ARIMA(0,2,2) é:

$$\nabla^2 Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$$

$$(1-B)^2 Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) a_t,$$

onde  $B$  é o operador de translação para o passado e  $\nabla^2$  é o operador de diferenças, com  $d = 2$ , sendo então,  $\nabla^2 Z_t$  uma série  $\omega_t$  estacionária.

O caso particular do ARIMA (0,d,2), é tratado em MORETTIN e TOLOI (1981), onde a região de invertibilidade no espaço paramétrico é:

$$-1 < \theta_2 < 1$$

$$\theta_2 - \theta_1 < 1$$

$$\theta_2 + \theta_1 < 1$$

E, conforme citado em GARDNER (1985), o modelo deverá possuir raízes iguais no polinômio  $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2$ . Para que as duas raízes sejam iguais, o discriminante  $\Delta = 0$ , ou seja,  $b^2 - 4ac = 0$ , então:

$$(-\theta_1)^2 - (4 \cdot (-\theta_2) \cdot 1) = 0,$$

$$(-\theta_1)^2 = -(4 \cdot (\theta_2) \cdot 1),$$

$$\theta_1^2 = -4 \cdot (\theta_2),$$

$$\theta_1 = \pm\sqrt{-4.(\theta_2)}.$$

Esta condição deverá ser observada durante a escolha dos parâmetros de médias móveis, fazendo também que o intervalo de escolha de  $\theta_2$  seja alterado para  $-1 < \theta_2 < 0$ .

Assim, com as delimitações da região de invertibilidade para os parâmetros, a escolha do melhor conjunto pode ser através de processo iterativo, não necessitando utilizar o Algoritmo de Marquardt (não linear), onde a escolha também é pela menor soma de  $(a_t)^2$ , (ruído banco), onde os valores iniciais foram obtidos através do procedimento condicional, onde os valores iniciais desconhecidos são substituídos por valores que supõem-se serem razoáveis, onde se admite a normalidade dos ruídos (para maiores detalhes ver MORETTIN e TOLOI (1981)):

$$(a_t)^2 = (\omega_t + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2})^2.$$

Com a determinação dos parâmetros de médias móveis e como o modelo não possui parâmetros auto-regressivos, pode-se calcular os valores das seqüências de pesos ( $\psi_j$ ) através da equação:

$$\xi(B)\psi(B) = \theta(B),$$

onde,

$$\xi(B) = \phi(B)\Delta^d = \phi(B)(1-B)^d,$$

Com  $\phi(B) = 1$ , por não possuir, o modelo, parâmetros auto-regressivos ( $p = 0$ ) e ainda como o modelo especificado possui duas diferenças ( $d = 2$ ) tem-se:

$$(1-B)^2(1+\psi_1B+\psi_2B^2+\dots) = 1-\theta_1B-\theta_2B^2.$$

E, com os pesos determinados, pode-se calcular a variância da previsão para o horizonte  $h$  através de :

$$V(h) = (1 + \psi_1^2 + \psi_2^2 + \dots + \psi_{h-1}^2) \sigma_a^2.$$

O intervalo de confiança é obtido a partir da previsão realizada pelo Modelo de Alisamento Exponencial Linear de Brown para o horizonte  $h$  e a variância calculada pelo Método ARIMA para o respectivo horizonte:

$$P(\hat{Z}_t(h) - k\sqrt{V(h)} \leq Z_{t+h} \leq \hat{Z}_t(h) + k\sqrt{V(h)}) = 1 - \alpha,$$

onde,  $k$  é o escore da distribuição de probabilidade do erro de previsão ( $k = 1,96$  quando o erro tem distribuição normal com 95% de nível de confiança).

### 3.3.2.4 Alisamento Sazonal Linear de Holt-Winters (HW)

Como visto no item 2.1.6.4.1, este modelo decompõe a parte determinística da série em três componentes: nível, tendência e sazonalidade. Existem duas variações do modelo em função da componente sazonal: forma aditiva e multiplicativa. Neste estudo considerou-se apenas a forma multiplicativa. MORETTIN e TOLOI (1981) citam a forma multiplicativa como a mais utilizada e GARDENER (1985) indica que esta forma é mais adequada quando o nível da série é alterado e a flutuação da sazonalidade se modifica proporcionalmente. O modelo multiplicativo tem sido implementado mais freqüentemente em softwares de previsões, e a magnitude das variações sazonais aumentam com o aumento do nível médio da série temporal (KOEHLER; SNYDER; ORD, 2001).

A decomposição sazonal multiplicativa pode ser verificada onde um fator sazonal  $F_t$ , em um período sazonal  $s$ , multiplica o nível da série:

$$Z_t = \mu_t F_t + T_t + a_t, \quad t = 1, \dots, N, \quad (3.20)$$

onde  $\mu_t$  é o nível da série.

O modelo HW é baseado em três equações de alisamento: estacionariedade (nível), tendência e sazonalidade. Estas equações são obtidas de forma análoga às do AES e AELB, sendo que são determinadas em razão de três constantes de alisamento A, C e D:

$$\tilde{Z}_t = A \left( \frac{Z_t}{\hat{F}_{t-s}} \right) + (1-A)(\tilde{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}) \quad 0 < A < 1 \quad t = s+1, \dots, N \quad (3.21)$$

$$\hat{T}_t = C(\tilde{Z}_t - \tilde{Z}_{t-1}) + (1-C)\hat{T}_{t-1} \quad 0 < C < 1 \quad t = s+1, \dots, N \quad (3.22)$$

$$\hat{F}_t = D \left( \frac{Z_t}{\tilde{Z}_t} \right) + (1-D)\hat{F}_{t-s} \quad 0 < D < 1 \quad t = s+1, \dots, N. \quad (3.23)$$

O valor do fator de sazonalidade é calculado em um período defasado ( $t-s$ ), onde  $s$  é o período de sazonalidade. Os instantes ( $t$ ) considerados, iniciam-se defasados em função de se necessitar do primeiro período de sazonalidade ( $s$ ) para se estimar a sazonalidade inicial.

A equação 3.21, que é uma estimativa para o nível  $\mu$ , podendo ser deduzida de 3.2 e chegando-se a 3.7:

$$\tilde{Z}_t = AZ_t + (1-A)\tilde{Z}_{t-1} \quad t = 1, \dots, N \quad 0 < A < 1.$$

Como o modelo HW se ajusta a séries com sazonalidade e tendência e estas componentes são decompostas separadamente, são necessárias algumas modificações.

A observação  $Z_t$  considera a sazonalidade, e é necessário retirar esta componente através de um fator de sazonalidade ( $\hat{F}_{t-s}$ ), estimado e atualizado por 3.23, pois  $\tilde{Z}_t$  estimando o nível da série, não deve incorporar este comportamento.

Como o modelo em estudo é o multiplicativo, para retirar a sazonalidade utiliza-se a razão entre  $Z_t$  e  $\hat{F}_{t-s}$  (fator defasado do período de sazonalidade  $s$ ).

Considerando também a componente de tendência, para que o valor alisado da estimativa anterior ( $\tilde{Z}_{t-1}$ ) fique mais próximo ao valor real, deve-se adicionar o fator de tendência ( $\hat{T}_{t-1}$ ) estimado e atualizado por 3.22.

Assim tem-se como estimativa para o nível:

$$\tilde{Z}_t = A \left( \frac{Z_t}{\hat{F}_{t-s}} \right) + (1 - A) (\tilde{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}) \quad 0 < C < 1 \quad t = s+1, \dots, N$$

onde,  $N$  é o tamanho da série e  $s$  é o período de sazonalidade.

A equação 3.22, estimando a tendência, pode ser obtida de forma análoga a 3.7 partindo de 3.2:

$$\hat{T}_t = \frac{T_t + T_{t-1} + T_{t-2} + \dots + T_{t-k+1}}{k} \quad \text{ou}$$

$$\hat{T}_t = \hat{T}_{t-1} + \frac{T_t - T_{t-k}}{k}, \text{ onde } T_t \text{ é a tendência do período } t. \quad (3.24)$$

Desenvolvendo 3.24, obtém-se:

$$\hat{T}_t = \hat{T}_{t-1} + \left( \frac{T_t}{k} - \frac{T_{t-k}}{k} \right). \quad (3.25)$$

Supondo que uma tendência anterior  $T_{t-k}$  seja substituída por uma estimativa aproximada, uma boa substituição poderá ser a estimativa (previsão) para o período anterior  $\hat{T}_{t-1}$ . Com esta substituição em 3.25, passa-se a:

$$\hat{T}_t = \hat{T}_{t-1} + \left( \frac{T_t}{k} - \frac{\hat{T}_{t-1}}{k} \right) \text{ e desenvolvendo-se}$$

$$\hat{T}_t = \left( \frac{1}{k} \right) T_t + \left( 1 - \frac{1}{k} \right) \hat{T}_{t-1} . \quad (3.26)$$

Sendo  $k$  um número inteiro e positivo,  $1/k$  deverá ser uma constante entre zero, se  $k$  for para infinito e um, se  $k = 1$ . Fazendo-se a substituição de  $1/k$  por  $C$ , e estimando a tendência de um período para outro como sendo a diferença entre os valores alisados, 3.26 transforma-se em :

$$\hat{T}_t = C(\tilde{Z}_t - \tilde{Z}_{t-1}) + (1-C)\hat{T}_{t-1} \quad 0 < C < 1 \quad t = s+1, \dots, N$$

onde,  $N$  é o tamanho da série e  $s$  é o período de sazonalidade.

A equação 3.23, estimando a sazonalidade, pode ser obtida de forma análoga a 3.22 partindo de 3.2, onde o valor anterior estimado ( $\hat{F}_{t-s}$ ) é defasado do período de sazonalidade  $s$ , chegando-se a:

$$\hat{F}_t = \left( \frac{1}{k} \right) F_t + \left( 1 - \frac{1}{k} \right) \hat{F}_{t-s} . \quad (3.27)$$

Sendo  $k$  um número inteiro e positivo,  $1/k$  deverá ser uma constante entre zero, se  $k$  for para infinito e um, se  $k = 1$ . Fazendo-se a substituição de  $1/k$  por  $D$ , e estimando a sazonalidade do período  $t$  como a razão entre um valor da série com tendência ( $Z_t$ ) pelo valor alisado do mesmo período, já desazonalizado , 3.27 transforma-se em :

$$\hat{F}_t = D \left( \frac{Z_t}{\tilde{Z}_t} \right) + (1-D)\hat{F}_{t-s} \quad 0 < D < 1 \quad t = s+1, \dots, N$$

onde,  $N$  é o tamanho da série e  $s$  é o período de sazonalidade.

Para se iniciar o cálculo das equações de recorrência 3.21 a 3.23, necessita-se de estimativas dos valores iniciais dos fatores que são obtidos por:

$$\tilde{Z}_s = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s Z_k$$

$$\hat{T}_s = 0$$

$$\hat{F}_j = \frac{Z_j}{\left(\frac{1}{s}\right) \sum_{k=1}^s Z_k}, \quad j = 1, 2, \dots, s.$$

A previsão para o procedimento multiplicativo utiliza as equações a seguir, que levam em consideração o horizonte de previsão, sendo que este influenciará no fator sazonal estimado  $\hat{F}_t$ , pois considera os múltiplos do período sazonal  $s$ . Previsões dentro do período sazonal  $s$ :

$$\hat{Z}_t(h) = (\tilde{Z}_t + h\hat{T}_t)\hat{F}_{t+h-s}, \quad h = 1, 2, \dots, s.$$

Previsões entre o primeiro e o segundo período sazonal  $s$ :

$$\hat{Z}_t(h) = (\tilde{Z}_t + h\hat{T}_t)\hat{F}_{t+h-2s}, \quad h = s+1, s+2, \dots, 2s.$$

Este procedimento de cálculo de previsão, por semelhança, pode ser estendido aos demais horizontes.

Ao se obter mais uma observação, a previsão é atualizada por:

$$\tilde{Z}_{t+1} = A \left( \frac{Z_{t+1}}{\hat{F}_{t+1-s}} \right) + (1-A)\tilde{Z}_t + \hat{T}_t$$

$$\hat{T}_{t+1} = C(\tilde{Z}_{t+1} - \tilde{Z}_t) + (1-C)\hat{T}_t$$

$$\hat{F}_{t+1} = D \left( \frac{Z_{t+1}}{\tilde{Z}_{t+1}} \right) + (1-D)\hat{F}_{t+1-s}.$$

A previsão propriamente dita, é obtida por:

$$\hat{Z}_{t+1}(h-1) = (\tilde{Z}_{t+1} + (h-1)\hat{T}_{t+1})\hat{F}_{t+1+h-s}, \quad h = 1, 2, \dots, s+1$$

$$\hat{Z}_{t+1}(h-1) = (\tilde{Z}_{t+1} + (h-1)\hat{T}_{t+1})\hat{F}_{t+1+h-2s}, \quad h = s+2, \dots, 2s+1.$$

O procedimento é repetido para os demais horizontes de previsão nos intervalos subseqüentes dos períodos de sazonalidade.

A escolha adequada dos valores das constantes de alisamento A, C e D, que possibilitem o melhor ajustamento do modelo aos dados, é obtido através do cálculo de minimização da soma dos erros quadráticos de ajustamento.

Segundo KOEHLER, SNYDER e ORD (2001), a construção do intervalo de confiança para o método HW só é possível através de heurísticas e métodos de aproximação devido a dificuldades em se determinar a variância dos erros de previsão. Baseados em um modelo de espaço de estado estudado por ORD, KOEHLER e SNYDER (1997), denominado OKS, desenvolveram variações em busca de novas formas de se obter as variâncias dos erros de previsão que melhor possam ser aplicadas, para calcular o intervalo de confiança.

Na construção do intervalo de confiança para o modelo HW deste trabalho, seguindo recomendação dos autores KOEHLER, SNYDER e ORD (2001), utilizou-se o modelo indicado para implementações onde não se deseja, ou não se tem condições, de realizar procedimentos de identificação na escolha das variações do método proposto.

O método proposto por KOEHLER, SNYDER e ORD (2001) pode ser determinado pelo modelo:

- equação da observação,

$$Z_t = (\tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1})F_{t-s} + (\tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1})F_{t-s}\varepsilon_t,$$

- equações de transição,

$$\tilde{Z}_t = \tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1} + A(\tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1})\varepsilon_t,$$

$$T_t = T_{t-1} + C(\tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1})\varepsilon_t,$$

$$F_t = F_{t-s} + DF_{t-s}\varepsilon_t,$$

- equação de previsão:

$$\hat{Z}_t(h) = (\tilde{Z}_t + h\hat{T}_t)\hat{F}_{t-s},$$

- equações de erro:

a) erro relativo,  $\varepsilon_t = \frac{e_t}{(\tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1})F_{t-s}},$

b) erro de previsão,  $e_t = Z_t - (\tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1})F_{t-s}.$

O intervalo de confiança é dado por:

$$\text{Previsão} \pm k\sqrt{\text{variância do erro de previsão}},$$

$$\hat{Z}_t(h) \pm k\sqrt{V(Z_{t+h} - \hat{Z}_t(h))},$$

$$P(\hat{Z}_t(h) - k\sqrt{V(h)} \leq Z_{t+h} \leq \hat{Z}_t(h) + k\sqrt{V(h)}) = 1 - \alpha,$$

onde,  $k$  é o escore da distribuição de probabilidade do erro de previsão ( $k = 1,96$  quando o erro tem distribuição normal com 95% de nível de confiança).

Para o modelo em questão, a variância do erro de previsão é calculada por:

- para  $h = 1$

$$V(Z_{t+1} - (\tilde{Z}_t + T_t)F_{t+1-s} | I_t) = (\tilde{Z}_t + T_t)^2 F_{t+1-s}^2 \sigma^2,$$

- para  $2 \leq h \leq s$

$$\begin{aligned} V(Z_{t+h} - (\tilde{Z}_t + hT_t)F_{t+h-s} | I_t) &\approx [(A + (h-1)C)^2 (\tilde{Z}_t + T_t)^2 + \dots \\ &\dots (A + C)^2 (\tilde{Z}_t + (h-1)T_t)^2 + (\tilde{Z}_t + hT_t)^2] F_{t+h-s}^2 \sigma^2, \end{aligned}$$

onde,

$$I_t = \{Z_1, \dots, Z_t, T_0, \tilde{Z}_0, F_{j-s} (j=1, \dots, s), A, C, D\}, \text{ e}$$

$$\sigma^2 = V(e_t / [(\tilde{Z}_{t-1} + T_{t-1})F_{t-s}]).$$

### 3.3.3 Planejamento e Controle da Produção

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) consiste essencialmente em um conjunto de funções inter-relacionadas que objetivam comandar o processo produtivo e coordená-lo com os demais setores administrativos da empresa. O PCP é um sistema de transformação de informações. Ele é alimentado com informações sobre: saldo de estoque, vendas previstas, componentes dos produtos finais, processo produtivo de cada componente, capacidade produtiva disponível, tempos de fabricação, entre outras. O PCP tem a incumbência de transformá-las em ordens de fabricação e/ou compras.

### 3.3.3.1 Plano Mestre da Produção (MPS)

O Plano Mestre da Produção baseado na expectativa da demanda de vendas dos produtos finais e nos recursos disponíveis ao longo do tempo, indica as quantidades planejadas que dirigirão os sistemas de gestão detalhada de materiais e capacidades (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

No MPS, os registros em cada fase do tempo (períodos) são utilizados para o planejamento e manutenção da programação. As quantidades de produtos são alocadas ao longo do tempo em períodos iguais, podendo ser mensais ou semanais. Os registros finais do MPS são utilizados como dados de entrada (alimentação) para o MRP.

Por tratar-se de uma etapa estrategicamente importante dentro da organização da empresa, o MPS deve ser elaborado por pessoas devidamente habilitadas e que estejam bem informadas das necessidades e aspirações da empresa, inclusive sendo baseadas em informações atualizadas dos setores comerciais e de marketing.

Após a elaboração do MPS, os dados gerados por este servem para alimentar o sistema MRP que será responsável pela programação de estoques, pedidos de fornecedores e ordens de produção.

Na determinação do MPS são necessárias as seguintes informações:

- *previsão* – demanda prevista para o produto final, por fase de tempo do MPS;
- *pedidos de clientes* – quantidades para as quais existem pedidos firmes de clientes e período de entrega acordado;
- *MPS* – quantidade de produto final a qual a produção tem que completar em certo período de tempo, sendo que deverá ser verificado o tempo de produção e/ou tempo de ressuprimento;
- *estoque corrente* – nível do estoque do produto acabado no início do

primeiro período.

No SPEM as previsões para o MPS são obtidas por meio dos métodos automáticos de previsão para séries temporais, sendo que podem ser alteradas por um especialista (qualitativo). Para se elaborar o planejamento do MPS, adotou-se o quadro apresentado a seguir, onde as colunas são os períodos de tempo (p.ex. semanas) e as linhas são as informações necessárias ao cálculo (SIPPER; BULFIN, 1997).

QUADRO 1 – TABELA DE PLANEJAMENTO DO MPS

| Produto     | Período |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|
|             | Inicial | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $F_t$       |         |   |   |   |   |   |   |   |
| $O_t$       |         |   |   |   |   |   |   |   |
| $I_t$       |         |   |   |   |   |   |   |   |
| MPS / $Q_t$ |         |   |   |   |   |   |   |   |
| ATP         |         |   |   |   |   |   |   |   |

No Quadro 1, as variáveis envolvidas na tabela são:

- $F_t$  – é a previsão da demanda de vendas para o período  $t$ ;
- $O_t$  – são os pedidos de clientes a serem atendidos no período  $t$  (pedidos firmes);
- $I_t$  - estoque do produto final ao final do período  $t$ ;
- MPS ou  $Q_t$  - que representa a quantidade de produto a ser fabricado para completar a demanda de vendas no período  $t$ ;
- ATP – quantidade disponível para promessa (*available to promise*), informação importante ao setor comercial para informar aos clientes, de forma mais precisa, as disponibilidades de entregas quando do recebimento de novos pedidos.

Na definição do MPS, a lógica de cálculo utilizada para verificação da

necessidade de produção do item final é (SIPPER; BULFIN, 1997):

$$I_t = \max\{0, I_{t-1}\} - \max\{F_t, O_t\} - E_{seg} \quad , \text{ onde} \quad (3.28)$$

$$Q_t = \begin{cases} 0, & \text{se } I_t > 0 \\ x \text{ produtos}, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

A definição do valor  $x$ , depende da opção estratégica da empresa, podendo ser definido um lote fixo de produção ou produção de somente o necessário (lote a lote).  $E_{seg}$  representa o estoque de segurança, ou estoque mínimo a ser mantido, de produtos finais. Assumirá o valor zero quando não for desejado. No estudo considerou-se a determinação e evolução do estoque de segurança através de uma abordagem evolutiva, ou seja, uma quantidade baseada, inicialmente, em um valor conservador e no decorrer do tempo é revista em função do comportamento e experiência adquirida. Para maiores detalhes sobre a determinação do estoque de segurança, ver SIPPER e BULFIN (1997, cap. 6), CORRÊA, GIANESI e CAON (2000, cap. 2) e ARNOLD (1999, cap. 11).

Quando 3.28 sinalizar a necessidade de fabricação da quantidade  $Q$  de produtos, e que devem estar disponíveis no período  $t$ , o valor a ser considerado como estoque ao final do período  $t$ , deverá obedecer à equação de balanço de material:

$$I_t = I_{t-1} + Q_t - \max\{F_t, O_t\}. \quad (3.29)$$

O cálculo do valor ATP é obtido pela diferença entre a quantidade a ser produzida em um determinado período e a quantidade cumulativa dos pedidos firmes entre os períodos em que  $Q_t > 0$ .

$$ATP = Q_t - \sum_t^{n-1} O_t, \quad (3.30)$$

onde  $n$  será o próximo período onde será necessária a produção de outras  $Q$  unidades de produtos. A quantidade a ser produzida  $Q_t$ , pode seguir duas formas de controle no SPEM:

- lote fixo de produção, onde se considera que para produzir um determinado produto final, somente será vantajoso ou viável caso seja em tamanho de lote específico;
- lote a lote – nesta forma de produção, somente são produzidas em cada período as quantidades exatamente iguais à demanda esperada para o atendimento dos pedidos.

O presente estudo considera a periodicidade do sistema como sendo semanal, bem como admitiu-se como viáveis os níveis de produção previstos e propostos pelo MPS, uma vez que a análise de capacidade de fabricação não fez parte da proposta deste trabalho.

O estudo de caso ficou restrito ao levantamento do comportamento de um único produto, sendo que nos dados do MPS deverão estar implícitas as possíveis influências de uma linha de produção em outra, caso exista mais de um produto que utilize os mesmos recursos.

O horizonte de planejamento do MPS deve cobrir um período, pelo menos, igual ao tempo exigido para realizar o plano completo de produção do produto, isto é, deve abranger o valor cumulativo dos tempos de produção e/ou ressuprimento (*lead times*) do caminho (ramificação do produto) mais longo. É o ciclo completo da fabricação do produto, desde a obtenção do primeiro insumo necessário até a disponibilidade para a entrega. No caso em estudo, considerou-se como horizonte de planejamento 12 semanas (períodos).

Os valores das previsões dos períodos semanais foram obtidos através das previsões dos métodos automáticos para séries temporais, baseados em dados

históricos de produção mensal. Estas previsões mensais são convertidas em semanais pela média ponderada dos dias trabalhados na semana. Para os pedidos firmes (pedidos confirmados), utilizou-se de dados gerados pelo simulador, além do período utilizado para histórico da demanda. O nível do estoque inicial foi arbitrado.

### 3.3.3.2 Planejamento dos Requisitos de Materiais (MRP)

O principal objetivo do sistema MRP é o de gerar as necessidades de componentes e matérias-primas nos diferentes períodos de tempo, durante um processo de fabricação e montagem (SIPPER; BULFIN, 1997). Para a programação do MRP foram necessárias as informações:

- *Programa Mestre da Produção (MPS)* – de grande importância, pois informa ao MRP a quantidade de produtos finais que deverão estar prontos ao final de cada período; com esta base, serão verificadas e calculadas as necessidades de componentes individuais dentro da estrutura do produto;
- *registro dos níveis de estoques* – informação das quantidades de todos os itens em estoque, sendo que deverão ser mantidos atualizados todos os registros durante todas as transações (recebimento, transferências e retiradas);
- *lista de material e estrutura do produto - Bill of Materials (BOM)* ou lista de material indentada; a estrutura do produto é um diagrama que mostra a seqüência em que a matéria-prima, componentes a serem comprados e submontagens são manufaturadas, interligadas e montadas na forma do produto final; a lista de material informa todos os materiais necessários de forma escalonada por nível da estrutura do produto; cada elemento da estrutura do produto é numerado e é apresentada a quantidade requerida na

composição de cada produto final; na estrutura do produto é possível a representação dos tempos de obtenção de cada material (*lead times*) em cada nível.

Na elaboração da hierarquia da estrutura do produto, é costume referir-se às relações entre cada elemento como uma relação entre “pais” e “filhos”. O item acima da estrutura é chamado de item “pai” e o produto a ele relacionado abaixo na cadeia, como “filho”. Os extremos, como o produto final, que está no topo, possui somente itens “filhos”, e as matérias-primas, por estarem no início do processo, parte mais inferior da estrutura, só possuem itens “pais”. As principais saídas do MRP são as ordens planejadas de lançamentos:

- *ordens de compras* – informa as quantidades de matérias-primas e itens a serem adquiridos, bem como, o tempo que deverão estar disponíveis; a emissão destas ordens deverão considerar os *lead times* de suprimento;
- *ordens de produção* – são quantidades de partes manufaturadas e itens de submontagens e o tempo de que deverão estar disponíveis, bem como, deverão ser considerados os *lead times* de produção.

SIPPER e BULFIN (1997) citam que a essência do MRP é transformar entradas em saídas. A saída do processo consiste em calcular as necessidades líquidas, sendo estas a base para as ordens de compra e produção. A transformação de entradas em saídas é realizada de forma sistemática utilizando as etapas:

- *processo de explosão* – o produto final é explodido em seus componentes; com os dados do MPS e da lista de material (BOM), pode ser calculado para cada item “pai” a quantidade de itens “filho” que serão necessários, obtendo-se informações das “necessidades brutas” para cada elemento da

estrutura do produto;

- *processo de construção de rede* – neste processo, as necessidades brutas são relacionadas com o estoque disponível e as quantidades que já foram emitidas para ordens de compra ou de produção gerando as necessidades líquidas a serem complementadas em cada período; a cada nível da estrutura do produto, a necessidade bruta é ramificada antes de se explodir em requisitos de um nível mais abaixo; caso não se tenha estoque disponível e nem quantidades encomendadas, a necessidade líquida é igual à necessidade bruta; o processo de construção de rede inicia na primeira semana, a qual deve obedecer à equação:

$$NL_t = NB_t - (EP_{t-1} + RP_t) + Eseg \quad , \quad (3.31)$$

onde,

$NL_t$  – necessidade líquida que será solicitada no período  $t$ ;

$NB_t$  – necessidade bruta que será retirada durante o período  $t$ ;

$EP_{t-1}$  – estoque projetado para o final do período  $t-1$ ;

$RP_t$  – recebimentos programados para o início do período  $t$ ;

$Eseg$  – estoque de segurança previsto para ser mantido ao final do período  $t$ , podendo ser adotado ou não, dependendo da política da empresa.;

Obs.:  $NL_t$  negativo significa que não existe necessidade líquida no início do período  $t$ , e este valor equivalerá ao estoque ao final do período  $t$ .

- *compensação* - é a determinação de quando deve ocorrer a emissão do pedido, de forma a se obter a necessidade líquida calculada, no período correto; a emissão do pedido deve ser ajustada pelos tempos de entrega do fornecedor (compras) ou de produção (item de produção interna);

Obs.: Considerou-se, para a emissão das ordens de fabricação e compras, os tempos como sendo informados pelos responsáveis pela produção, não

cabendo a este trabalho a verificação ou proposta de alteração dos mesmos.

- *tamanho de lote* – é a determinação de qual será o tamanho do lote a ser produzido ou comprado; esta determinação depende da política de produção interna da empresa, de restrições impostas por fornecedores, problemas de fabricação e preparação de máquinas e também minimização de custos, podendo ser do tipo “lote a lote”, em que somente será produzida a quantidade estritamente necessária, “lote mínimo”, onde indica uma quantidade mínima a ser produzida, “lotes múltiplos”, cuja quantidade está vinculada a um múltiplo de um valor pré-determinado.

Obs.: Neste trabalho, não faz parte do estudo a determinação dos tamanhos mais apropriados de lotes. Admitiu-se que o responsável pela implementação do sistema MRP já possui tais informações em função de controles já em andamento. Para maiores informações sobre os tamanhos de lotes, inclusive a determinação do “lote econômico” ver SIPPER e BULFIN (1997, cap. 6), CORRÊA, GIANESI e CAON (2000, cap. 2) e ARNOLD (1999, cap. 10 e 11).

### 3.3.3.2.1 Registro do MRP

Para controle e visualização do sistema MRP, foi necessário o chamado Registro do MRP, onde no qual, através de uma tabela (Quadro 2), são relacionadas as informações e dados de controle.

QUADRO 2 – REGISTRO DO MRP

| Produto                              | Período |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|
|                                      | Inicial | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Necessidade Bruta                    |         |   |   |   |   |   |   |   |
| Recebimentos Programados             |         |   |   |   |   |   |   |   |
| Estoque Planejado                    |         |   |   |   |   |   |   |   |
| Necessidade Líquida                  |         |   |   |   |   |   |   |   |
| Recebimentos Planejados              |         |   |   |   |   |   |   |   |
| Planejamento de colocação de pedidos |         |   |   |   |   |   |   |   |

As informações sobre as necessidades brutas são inicialmente provenientes do MPS, cujas quantidades são adequadas às quantidades dos itens através da lista de material onde é verificada a necessidade da quantidade de cada item “filho” para compor cada item “pai”. Nos níveis posteriores, de cima para baixo, a transmissão das informações são relacionadas entre itens “pais” e “filhos”.

As ordens de compras, depois de efetivamente confirmadas (formalizadas), têm as quantidades devidamente agendadas em função das programações de seus recebimentos.

O estoque planejado segue inicialmente a equação 3.31, onde os valores negativos de  $NI_t$  sinalizam a quantidade remanescente prevista em estoque para o item em questão. Posteriormente, em função das quantidades planejadas de recebimento, os níveis projetados de estoques devem ser revistos por:

$$EP_t = EP_{t-1} + RPL_t + RP_t - NB_t, \quad (3.32)$$

onde,  $EP_t$  é o estoque projetado para o final do período  $t$ ,  $RPL_t$  corresponde aos recebimentos planejados para o início do período  $t$ ,  $RP_t$  aos recebimentos programados para o início do período  $t$  e  $NB_t$  a necessidade bruta que será retirada durante o período  $t$ .

Com a informação de recebimentos planejados (ordens a serem emitidas/formalizadas), os níveis de estoques planejados são revistos pela equação 3.32, mas as necessidades líquidas não, pois estas, são baseadas em dados confirmados

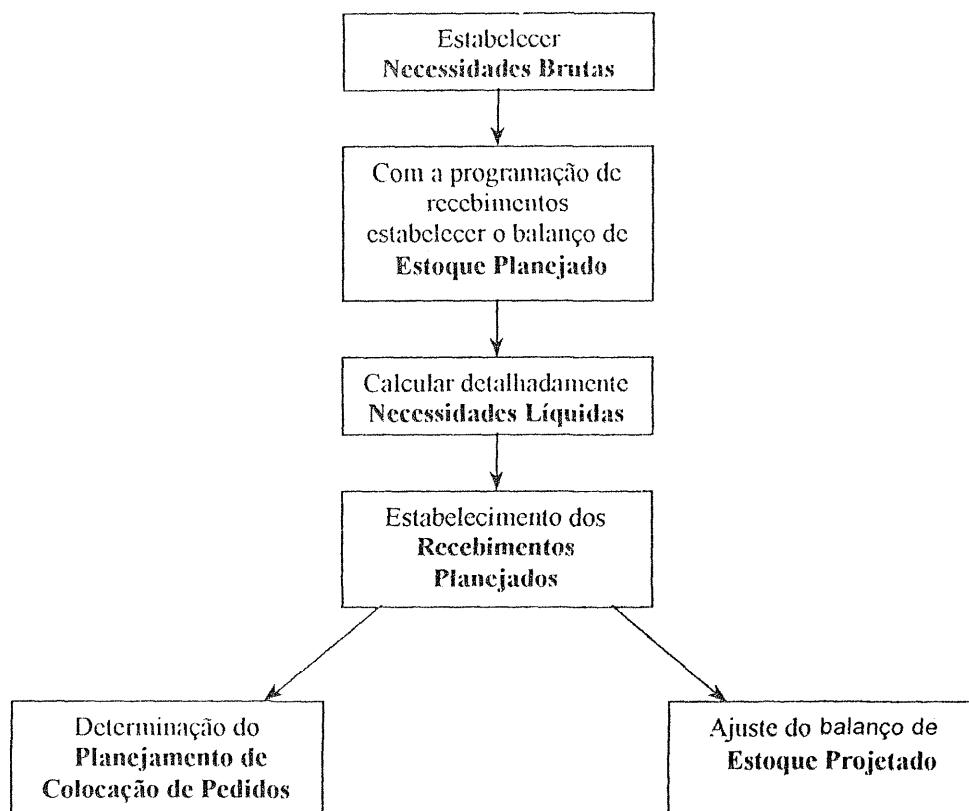
e não em planejados (SIPPER; BULFIN, 1997). A seqüência dos cálculos pode ser verificada através da Figura 8.

As quantidades referentes aos recebimentos planejados são transferidas para a posição de recebimentos programados somente após a efetivação das ordens de compra ou produção.

As necessidades líquidas são obtidas da equação 3.31 e não são alteradas em função das alterações dos níveis de estoque.

Em um determinado período, sendo apontada a necessidade líquida a ser complementada, é indicada pelo recebimento planejado a reposição do item, sendo que, a quantidade de reposição está vinculada ao tamanho do lote definido item a item (lote líquido, mínimo, múltiplo ou fixo).

FIGURA 8 – SEQUÊNCIA DE CÁLCULO DO MRP



O controle de planejamento de colocação de pedidos indica quando um pedido, em função dos tempos de aquisição ou produção, deverá ser emitido para que esteja disponível no período sinalizado como recebimento planejado. As quantidades dos campos de recebimentos planejados e planejamento de colocação de pedidos normalmente é a mesma.

Os estoques são controlados de forma a atender às necessidades planejadas e calculadas pelo sistema MRP. Pode-se utilizar no cálculo, a consideração do estoque de segurança para não causar transtornos à linha de produção, devido à falta de materiais. Isto pode ocorrer principalmente por aumentos inesperados da demanda dos produtos finais.

Neste estudo a mesma consideração feita no cálculo do MPS foi também seguida para o MRP, ou seja, na determinação dos estoques de segurança considerou-se a abordagem evolutiva, onde um valor inicial conservador é alterado posteriormente em função do comportamento e experiência adquirida. Para outros detalhes, ver SIPPER e BULFIN (1997, cap. 6), CORRÊA, GIANESI e CAON (2000, cap. 2) e ARNOLD (1999, cap. 11).

### 3.3.3.2.2 *Lead Time* de Fabricação e Compras (ressuprimento)

É o tempo que decorre entre a liberação de uma ordem (de compra ou produção) e o momento em que está disponível para utilização.

Na determinação do *lead time* de produção, deve ser considerado (CORRÊA; GIANESI; CAON , 2000) :

- tempo de emissão do pedido;
- tempo de tramitação do pedido (entre setores);
- tempo de transporte interno dos materiais;

- tempo de fila, aguardando processamento;
- tempo de preparação de máquinas para atendimento à solicitação;
- tempo de processamento;
- tempo necessário para inspeções de qualidade.

O *lead time* deve ser o mais preciso possível, pois, se sub-dimensionado, ocorrerão faltas de materiais, se super-dimensionado, acarretarão aumentos nos níveis dos estoques.

Para compra de materiais/produtos, o *lead time* deve englobar:

- tempo de emissão do pedido;
- tempo de contato e envio do pedido ao fornecedor;
- tempo de entrega do fornecedor (processamento);
- tempo de transporte do fornecedor até a fábrica;
- tempo de recebimento, liberação e inspeção;
- tempo de armazenagem e entrega na linha de produção.

CORRÊA, GIANESI e CAON (2000) recomendam o acompanhamento dos reais prazos de entrega, confirmando e/ou corrigindo possíveis distorções no tempos informados ao MRP.

Neste estudo, considerou-se os *lead times* informados pela mesma fonte onde foram obtidos a lista de material (BOM) do produto analisado (CORRÊA; GIANESI; CAON , 2000).

### 3.3.3.2.3 Atualização e Progressão dos Registros

O cálculo do sistema MRP é realizado em um ambiente estático. Para um

dado MPS, é realizado o processo de explosão e é requerido o cálculo do MRP. Entretanto, o sistema MRP opera em um ambiente dinâmico, no qual as previsões são alteradas, as estruturas dos produtos são alteradas, ocorrem atrasos em entregas, *lead times* não são cumpridos, estoques são modificados e outras variações. A solução estática se torna inválida e o processo necessita ser atualizado, inclusive nas progressões do tempo (calendário). SIPPER e BULFIN (1997) sugerem duas formas de atualização:

- método de regeneração – o MRP é inteiramente recalculado, baseado na atualização do MPS, atualizando-se entregas, estoques, chegadas de pedidos, etc., cada item sendo inteiramente recalculado, exigindo um tempo computacional maior;
- método de mudança líquida – recalcular somente os itens afetados pelas mudanças, exigindo um tempo de processamento menor.

Os registros do sistema MRP devem ser atualizados com freqüência pois tornam-se obsoletos rapidamente. Para os dados utilizados, considerou-se a atualização do MRP através do método de regeneração, uma vez que o tempo computacional não se apresentou problemático. Adotou-se, também, a periodicidade semanal, para progressão dos dados, ou seja, no início da semana o sistema deve sofrer uma progressão do calendário e os registros devem ser atualizados. Caso necessário, durante a semana o sistema pode ser recalculado para incorporar alterações ocorridas.

### 3.3.4 Programação em Ambiente Visual

Baseado nos métodos apresentados anteriormente, foi elaborado um programa computacional onde rotinas foram programadas de forma a permitir a

aplicação da teoria abordada. Este programa foi denominado Sistema de Planejamento Estratégico de Materiais (SPEM).

A opção pela linguagem visual foi devido à melhor interface com os usuários, permitindo um melhor entendimento e acesso aos cálculos e resultados. O programa foi elaborado em linguagem *Visual Basic* e não apresentou limitações de tempos computacionais significativos, nem mesmo de capacidade de armazenamento de dados. As principais telas, relacionadas no Anexo 1, são responsáveis por:

- tela *Início*, inicialização do programa;
- tela *Opções de Históricos*, possibilita a escolha do produto a ser estudado;
- tela *Principal*, gerenciamento e acesso às informações e demais telas, permitindo acesso à consulta e edição do dados históricos da demanda de vendas na tela *Histórico de Vendas*, permite acesso a tela *M.Automáticos* e demais telas do SPEM;
- tela *Previsão da Demanda*, realiza o cálculo da previsão da demanda para os períodos solicitados, escolhendo o melhor modelo de previsão, informa o intervalo de confiança estimado, calcula a demanda media diária;
- tela *Planejamento Mestre da Produção (MPS)*, possibilita o cálculo e controle do MPS, permite a progressão semanal;
- tela *Lista de Itens (BOM)*, cadastro e edição da lista de itens com respectivos dados, como: descrição, lotes, quantidades, relações entre itens “pais” e “filhos”;
- tela *Planejamento dos Requisitos de Materiais (MRP)*, explosão do sistema, cálculo do sistema MRP e geração de eventos a serem providenciados na semana 1, atual;
- tela *Registro de Estoques*, controle, edição e atualização dos níveis de estoques;
- tela *Eventos Gerados*, acesso aos eventos gerados pelo cálculo do MRP, e

- que devem ser providenciados, produzidos ou comprados, permitindo também, acesso aos dados históricos dos eventos passados para acompanhamentos;
- tela *Relatórios*, permite a impressão de relatórios, tais como, eventos da semana, histórico da demanda de vendas e situação dos estoques;
  - tela *Configurações*, registra as configurações do programa como: periodicidade dos dados históricos, data do primeiro dia da semana 1 e acessa o calendário;
  - tela *Simulador*, permite a simulação de séries temporais, conforme visto no item 3.3.1;
  - tela *Calendário*, registro dos dias trabalhados;
  - tela *M. Automáticos*, possibilita acesso e verificação dos parâmetros de cálculo dos métodos de previsão de séries temporais utilizados.

Os fluxogramas das fases do processamento do SPEM estão nas Figuras de 9 a 11.

FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE PREVISÃO - PROGRAMA SPEM

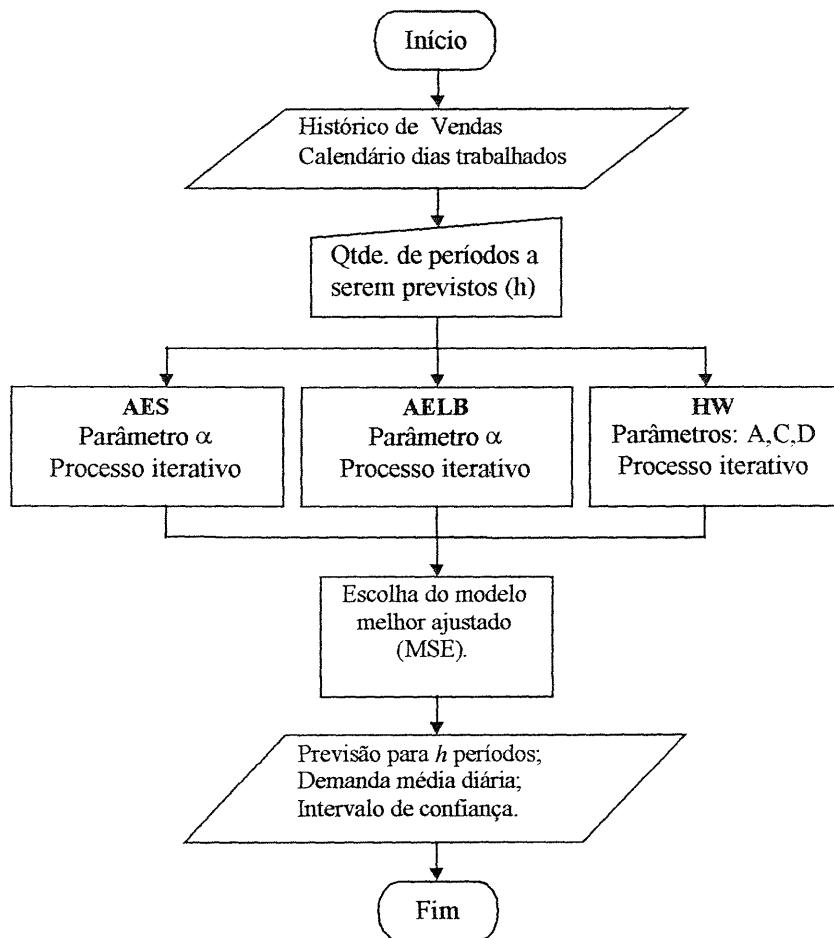


FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DO SISTEMA MPS - PROGRAMA SPEM

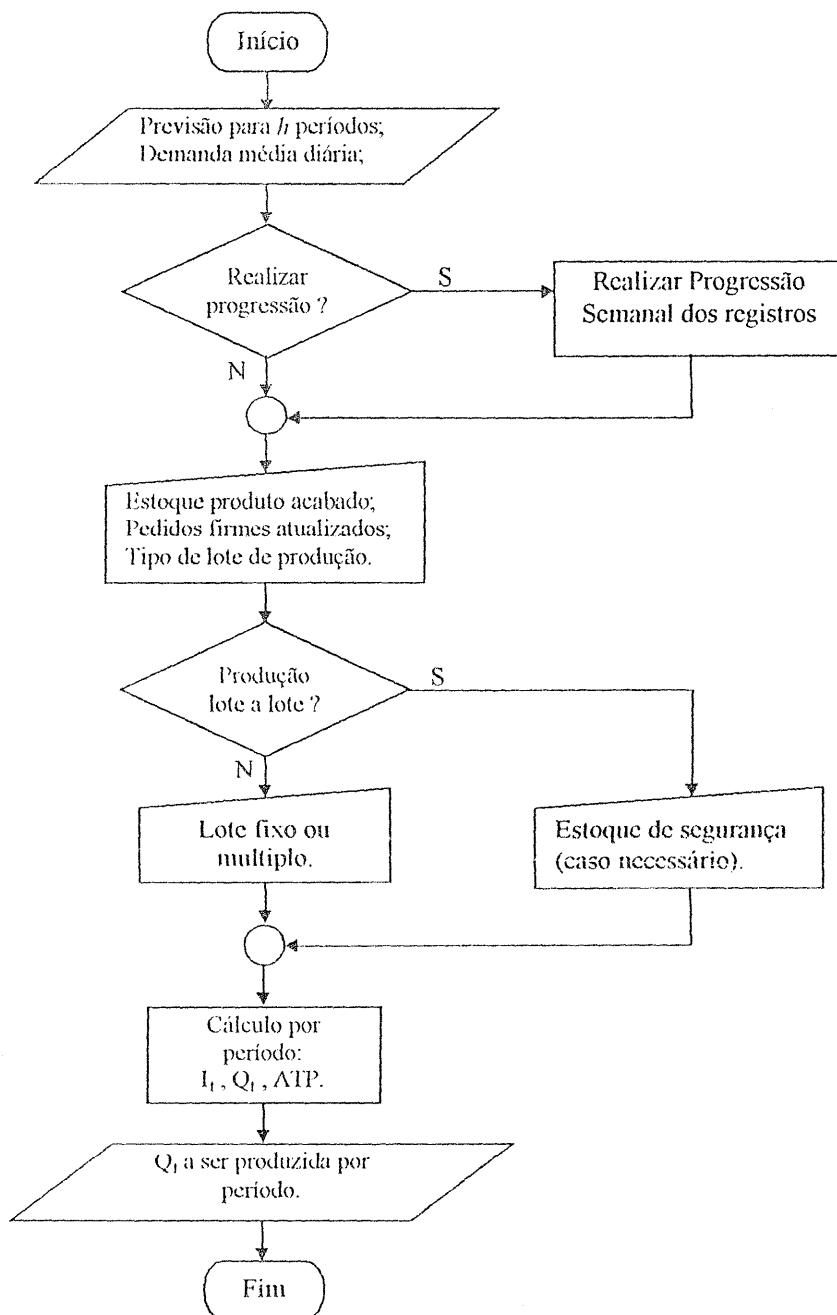
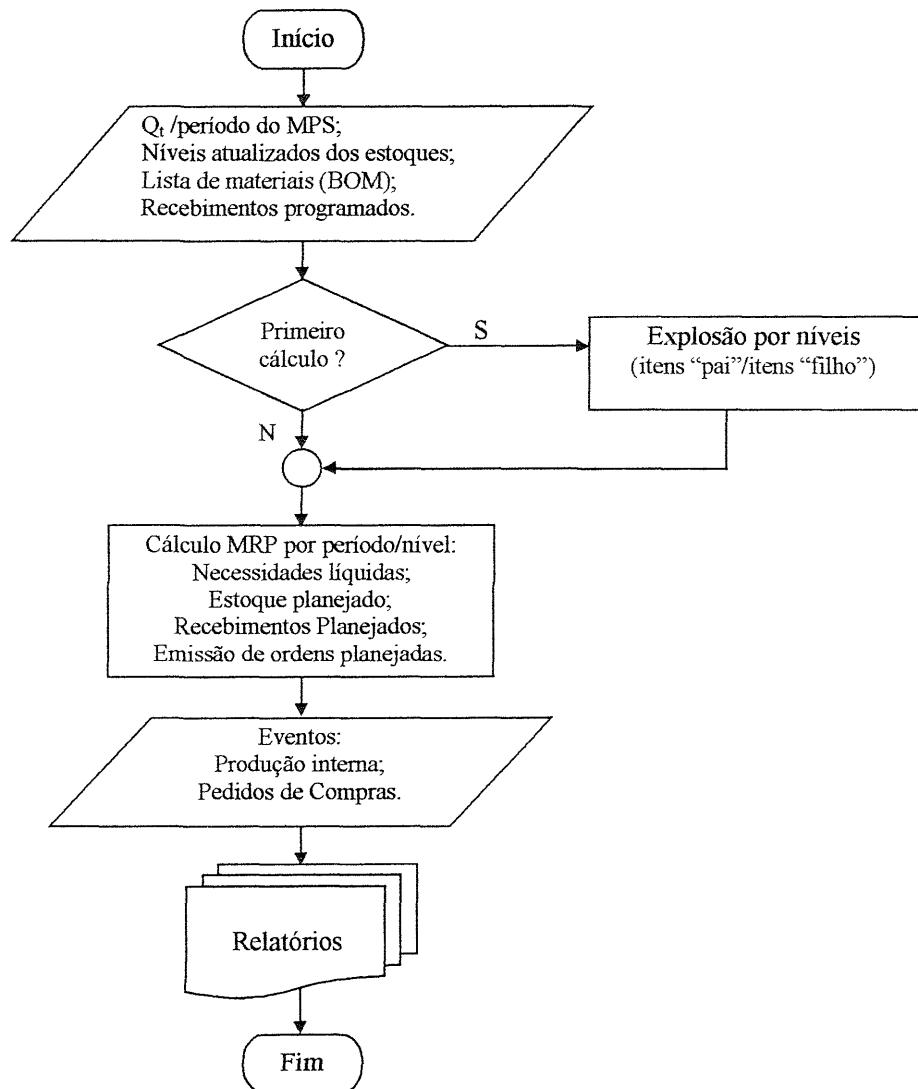


FIGURA 11 – FLUXOGRAMA DO SISTEMA MRP - PROGRAMA SPEM



### 3.4 VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE PREVISÃO

Com o intuito de testar o desempenho do módulo de previsão do SPEM, utilizou-se as séries temporais apresentadas como exemplos por MORETTIN e TOLOI (1981). Nos procedimentos desenvolvidos, comparou-se o desempenho entre o módulo programado, o programa comercial STATGRAPHICS e os valores encontrados por MORETTIN e TOLOI (1981). Cada um dos modelos AES, AELB e HW, foram

comparados através do cálculo do RMSE (raíz quadrada do erro quadrático médio), MAE (erro médio absoluto), MAPE (erro percentual absoluto médio) e podem ser vistos nos Quadros de 3 a 12. Foram eliminadas as últimas doze observações, de cada série original (facilidade já programada), e realizadas quatro previsões (previsões a curto prazo).

Nas tabelas, as colunas iniciadas por SGS, indicam dados obtidos do programa STATGRAPHICS, as iniciadas por M&T, MORETTIN e TOLOI (1981). As colunas AES, AELB e HW, foram os dados obtidos pelo módulo de previsão do SPEM.

Nos Quadros 8 a 10, não foram apresentados os dados referentes ao modelo M&T HW, uma vez que MORETTIN e TOLOI (1981) utilizaram, para estas séries, o modelo de Alisamento Exponencial Biparamétrico de Holt..

QUADRO 3 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE "A" MORETTIN E TOLOI (1981)

| Observado | SGS AES | M&T AES | AES    | SGS AELB | AELB   | SGS HW | M&T HW | HW     |
|-----------|---------|---------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 149,28    | 151,22  | 151,12  | 151,12 | 154,37   | 159,38 | 159,73 | 161,83 | 161,55 |
| 149,76    | 151,22  | 151,12  | 151,12 | 160,69   | 167,67 | 161,13 | 164,86 | 164,44 |
| 145,27    | 151,22  | 151,12  | 151,12 | 167,01   | 175,97 | 153,50 | 151,35 | 152,12 |
| 142,8     | 151,22  | 151,12  | 151,12 | 173,33   | 184,26 | 148,76 | 147,45 | 146,77 |
| RMSE      | 5,30    | 5,21    | 5,21   | 19,69    | 27,77  | 9,24   | 10,53  | 10,35  |
| MAE       | 4,44    | 4,35    | 4,35   | 17,08    | 25,04  | 9,00   | 9,59   | 9,44   |
| MAPE      | 3,07    | 3,00    | 3,00   | 11,76    | 17,22  | 6,11   | 6,48   | 6,38   |

QUADRO 4 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE "B" MORETTIN E TOLOI (1981)

| Observado | SGS AES  | M&T AES  | AES      | SGS AELB | AELB     | SGS HW   | M&T HW   | HW       |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 435883    | 462651   | 462237   | 462237   | 441976   | 465025   | 429090   | 425561   | 425559   |
| 465846    | 462651   | 462237   | 462237   | 454129   | 481223   | 437011   | 434992   | 434989   |
| 463968    | 462651   | 462237   | 462237   | 466282   | 497421   | 448401   | 447675   | 447671   |
| 476009    | 462651   | 462237   | 462237   | 478435   | 513619   | 464084   | 467750   | 467744   |
| RMSE      | 15057,43 | 15001,85 | 15001,81 | 6812,72  | 30080,38 | 17763,30 | 18656,00 | 18659,21 |
| MAE       | 11159,50 | 11366,50 | 11366,70 | 5637,50  | 28895,48 | 15780,00 | 16432,00 | 16435,85 |
| MAPE      | 2,48     | 2,52     | 2,52     | 1,23     | 6,27     | 3,40     | 3,56     | 3,56     |

QUADRO 5 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “C” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 21614            | 20218          | 20212              | 20219      | 19890           | 20577       | 21306         | 21418             | 21373     |
| 19717            | 20218          | 20212              | 20219      | 19989           | 20837       | 20612         | 20725             | 20729     |
| 22133            | 20218          | 20212              | 20219      | 20088           | 21096       | 21649         | 21839             | 21729     |
| 20503            | 20218          | 20212              | 20219      | 20186           | 21355       | 20392         | 20603             | 20419     |
| <b>RMSE</b>      | 1219,58        | 1223,08            | 1219,12    | 1353,66         | 1016,13     | 534,35        | 536,22            | 559,47    |
| <b>MAE</b>       | 1024,35        | 1027,10            | 1023,99    | 1089,43         | 1011,40     | 449,40        | 399,38            | 435,18    |
| <b>MAPE</b>      | 4,76           | 4,77               | 4,76       | 5,03            | 4,83        | 2,17          | 1,96              | 2,12      |

QUADRO 6 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “D” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 347,3            | 345,0          | 343,5              | 345,0      | 353,4           | 348,5       | 351,6         | 346,1             | 348,3     |
| 408,7            | 345,0          | 343,5              | 345,0      | 356,0           | 350,5       | 367,8         | 365,3             | 368,0     |
| 321,7            | 345,0          | 343,5              | 345,0      | 358,7           | 352,5       | 321,0         | 345,4             | 348,3     |
| 276,2            | 345,0          | 343,5              | 345,0      | 361,4           | 354,4       | 304,1         | 328,5             | 329,1     |
| <b>RMSE</b>      | 48,32          | 48,14              | 48,31      | 53,46           | 51,13       | 24,85         | 35,98             | 35,93     |
| <b>MAE</b>       | 39,53          | 39,53              | 39,53      | 45,22           | 42,10       | 18,44         | 30,14             | 30,30     |
| <b>MAPE</b>      | 12,10          | 12,05              | 12,10      | 14,24           | 13,12       | 5,39          | 9,31              | 9,42      |

QUADRO 7 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “E” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 432,9            | 416,1          | 416,1              | 416,1      | 434,9           | 420,9       | 411,0         | 441,2             | 432,9     |
| 455,1            | 416,1          | 416,1              | 416,1      | 445,1           | 425,5       | 437,5         | 503,3             | 486,6     |
| 432,3            | 416,1          | 416,1              | 416,1      | 455,3           | 430,0       | 448,8         | 544,4             | 520,5     |
| 465,3            | 416,1          | 416,1              | 416,1      | 465,4           | 434,5       | 483,7         | 602,0             | 571,6     |
| <b>RMSE</b>      | 33,49          | 33,52              | 33,52      | 12,56           | 22,20       | 18,70         | 91,72             | 70,84     |
| <b>MAE</b>       | 30,30          | 30,33              | 30,33      | 8,78            | 18,66       | 18,59         | 76,34             | 56,51     |
| <b>MAPE</b>      | 6,69           | 6,70               | 6,70       | 2,00            | 4,10        | 4,17          | 16,96             | 12,54     |

QUADRO 8 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “F” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 1859,9           | 1956,2         | 1954,8             | 1954,8     | 1718,5          | 2024,7      | 1851,1        | 0,0               | 1926,1    |
| 1878,2           | 1956,2         | 1954,8             | 1954,8     | 1669,8          | 2100,0      | 1922,7        | 0,0               | 1997,2    |
| 2013,5           | 1956,2         | 1954,8             | 1954,8     | 1621,2          | 2175,4      | 1889,7        | 0,0               | 1995,9    |
| 1947,0           | 1956,2         | 1954,8             | 1954,8     | 1572,5          | 2250,7      | 1866,4        | 0,0               | 1981,1    |
| <b>RMSE</b>      | 68,42          | 67,79              | 67,79      | 299,01          | 220,68      | 77,28         | 0,00              | 70,76     |
| <b>MAE</b>       | 60,20          | 59,50              | 59,50      | 279,16          | 213,04      | 64,44         | 0,00              | 59,24     |
| <b>MAPE</b>      | 3,16           | 3,12               | 3,12       | 14,35           | 11,08       | 3,28          | 0,00              | 3,13      |

QUADRO 9 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “G” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 175231           | 167204         | 167198             | 167198     | 166605          | 171419      | 154129        | 0                 | 166644    |
| 174530           | 167204         | 167198             | 167198     | 172341          | 177939      | 158268        | 0                 | 173770    |
| 173720           | 167204         | 167198             | 167198     | 178077          | 184459      | 162398        | 0                 | 168137    |
| 179821           | 167204         | 167198             | 167198     | 183812          | 190979      | 166535        | 0                 | 176496    |
| <b>RMSE</b>      | 8940,78        | 8946,27            | 8946,27    | 5341,14         | 8154,19     | 15925,24      | 0,00              | 5397,58   |
| <b>MAE</b>       | 8621,50        | 8627,20            | 8627,20    | 4790,75         | 7279,33     | 15493,00      | 0,00              | 4563,65   |
| <b>MAPE</b>      | 4,89           | 4,89               | 4,89       | 2,73            | 4,13        | 8,82          | 0,00              | 2,60      |

QUADRO 10 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “H” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 812              | 778            | 778                | 778        | 792             | 802         | 784           | 0                 | 798       |
| 840              | 778            | 778                | 778        | 814             | 827         | 806           | 0                 | 812       |
| 894              | 778            | 778                | 778        | 836             | 852         | 829           | 0                 | 826       |
| 936              | 778            | 778                | 778        | 858             | 877         | 851           | 0                 | 841       |
| <b>RMSE</b>      | 104,19         | 104,48             | 104,47     | 51,22           | 36,84       | 58,00         | 0,00              | 60,63     |
| <b>MAE</b>       | 92,50          | 92,83              | 92,82      | 45,48           | 30,79       | 53,09         | 0,00              | 51,33     |
| <b>MAPE</b>      | 10,36          | 10,39              | 10,39      | 5,09            | 3,42        | 5,97          | 0,00              | 5,71      |

QUADRO 11 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “I” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 1653,1           | 1314,6         | 1314,5             | 1314,9     | 1391,2          | 1344,4      | 1355,2        | 1381,4            | 1386,0    |
| 1828,9           | 1314,6         | 1314,5             | 1314,9     | 1415,5          | 1362,4      | 1419,6        | 1460,7            | 1444,8    |
| 1579,1           | 1314,6         | 1314,5             | 1314,9     | 1439,8          | 1380,5      | 1310,3        | 1381,3            | 1353,8    |
| 1857,8           | 1314,6         | 1314,5             | 1314,9     | 1464,1          | 1398,5      | 1349,9        | 1416,6            | 1367,1    |
| <b>RMSE</b>      | 431,31         | 431,44             | 431,07     | 321,67          | 375,28      | 382,90        | 332,87            | 357,20    |
| <b>MAE</b>       | 415,13         | 415,26             | 414,88     | 302,07          | 358,29      | 370,96        | 319,74            | 341,78    |
| <b>MAPE</b>      | 23,65          | 23,65              | 23,63      | 17,11           | 20,37       | 21,19         | 18,21             | 19,46     |

QUADRO 12 – COMPARATIVO DE PREVISÕES – SÉRIE “J” MORETTIN E TOLOI (1981)

| <b>Observado</b> | <b>SGS AES</b> | <b>M&amp;T AES</b> | <b>AES</b> | <b>SGS AELB</b> | <b>AELB</b> | <b>SGS HW</b> | <b>M&amp;T HW</b> | <b>HW</b> |
|------------------|----------------|--------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|-----------|
| 1228,9           | 945,8          | 944,7              | 944,7      | 851,2           | 932,1       | 653,4         | 983,6             | 975,3     |
| 1316,9           | 945,8          | 944,7              | 944,7      | 826,6           | 931,1       | 665,4         | 1003,1            | 1081,5    |
| 1735,2           | 945,8          | 944,7              | 944,7      | 802,5           | 930,0       | 754,9         | 1038,9            | 1205,1    |
| 1978,2           | 945,8          | 944,7              | 944,7      | 778,1           | 929,0       | 833,8         | 998,7             | 1213,1    |
| <b>RMSE</b>      | 690,46         | 691,44             | 691,44     | 820,54          | 704,64      | 869,83        | 633,04            | 496,54    |
| <b>MAE</b>       | 619,01         | 620,11             | 620,11     | 750,19          | 634,24      | 837,93        | 558,74            | 446,07    |
| <b>MAPE</b>      | 37,23          | 37,30              | 37,30      | 45,60           | 38,22       | 52,66         | 33,36             | 26,94     |

Examinando-se os Quadros de 3 a 12, notou-se o desempenho satisfatório dos modelos de previsão programados para o SPEM, uma vez que os valores dos erros RMSE, MAE e MAPE, entre ajustes de mesmos modelos, ficaram próximos. Como as séries possuem comportamentos distintos, em alguns casos uns modelos se sobressaíram aos demais. Conforme a característica do comportamento das observações, um modelo se ajustou melhor aos dados. No Quadro 13, é visto um resumo, por série, indicando qual modelo foi melhor ajustado utilizando o critério MAPE.

QUADRO 13 – MELHOR MODELO AJUSTADO, POR SÉRIE

| Série     | Modelo com menor MAPE |
|-----------|-----------------------|
| série "A" | M&T-AES e AES         |
| série "B" | SGS-AELB              |
| série "C" | M&T-HW                |
| série "D" | SGS-HW                |
| série "E" | SGS-AELB              |
| série "F" | M&T-AES e AES         |
| série "G" | HW                    |
| série "H" | AELB                  |
| série "I" | SGS-AELB              |
| série "J" | HW                    |

### 3.5 APLICAÇÃO DO SISTEMA DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE MATERIAIS

O Sistema de Planejamento Estratégico de Materiais foi aplicado à produção de um produto denominado Lapiseira. Os dados obtidos sobre este produto compõem a base de informações necessárias ao planejamento da produção. A aplicação do SPEM, necessitou da geração de um histórico da demanda (série temporal) de um produto. Para tal, utilizou-se como padrão de comportamento da demanda, os dados disponibilizados por MAKRIDAKIS e HIBON (2000), uma série temporal utilizada na M3-*Competition*. Os dados, obtidos do endereço <[www.insead.fr/facultyresearch/forecasting](http://www.insead.fr/facultyresearch/forecasting)>, são referentes à Produção Industrial, Borracha e de Plástico, designada com o número N2297-MA088, com periodicidade mensal.

Utilizando o software STATGRAPHICS, ajustou-se o modelo ARIMA que melhor se adequou aos dados, levando em consideração o comparativo dos valores de RMSE, MAE e MAPE. Foram aplicados, também, os testes dos resíduos disponíveis no programa, e o modelo escolhido atendeu a todos (teste para excessivas ocorrências acima e abaixo de zero, teste para excessivas ocorrências acima e abaixo da mediana, teste de Box-Pierce para correlação dos resíduos, hipótese  $H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$ ). O melhor modelo ajustado foi um ARIMA (2,1,0), com parâmetros:  $\phi_1 = -0,0307$  e  $\phi_2$

= 0,0848, ambos significativos. Com os parâmetros obtidos e usando-se o simulador programado, gerou-se uma série com as mesmas características da original. Foi necessário gerar 229 valores, para atualizar os dados até uma data atual (jan/02), série original jan/83 a fev/94, e gerou-se quatro meses adicionais para serem utilizados na progressão estudada com o SPEM (fev/02 a mai/02), totalizando 233 valores gerados no simulador.

Na geração da série foram observadas as condições de estacionariedade e invertibilidade.

Os valores gerados e transportados para o SPEM, como histórico da demanda de vendas do produto Lapiseira, podem ser consultados no Anexo 2.

A lista de itens (BOM – *Bill of Materials*) do produto Lapiseira está na Tabela 1 e demais informações, sobre a fabricação ou aquisição, podem ser encontradas na Tabela 2. Na Figura 12, encontra-se representada a estrutura de itens do produto estudado.

FIGURA 12 - ESTRUTURA DO PRODUTO LAPISEIRA

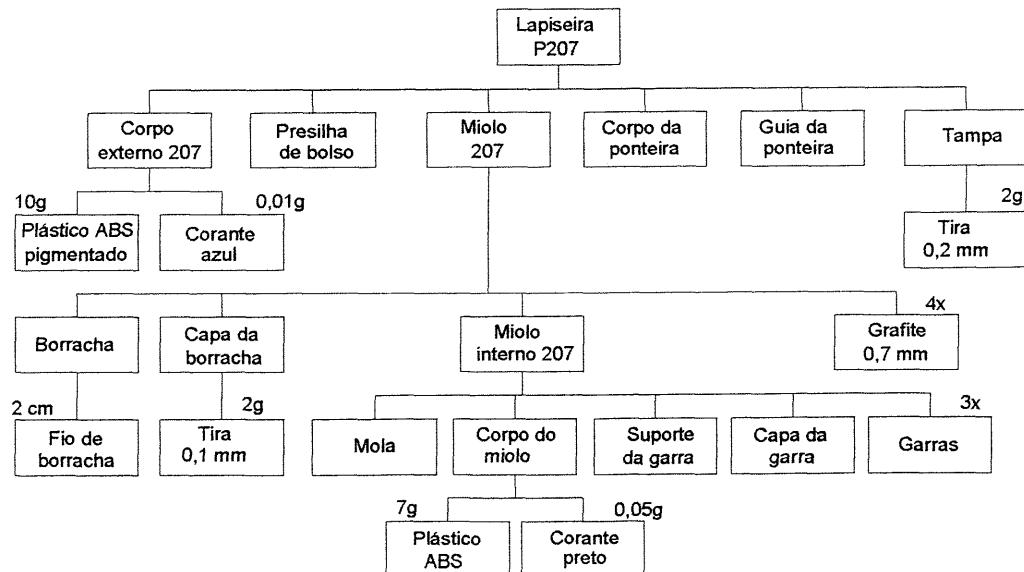


TABELA 1 – LISTA DE ITENS DO PRODUTO LAPISEIRA (BOM)

| Item | Item Pai | Nível | Descrição               | Unidade | Qtd/Produto | Procedência |
|------|----------|-------|-------------------------|---------|-------------|-------------|
| 1    | -1       | 0     | lapiseira p207          | pç      | 1           | produzido   |
| 2    | 1        | 1     | corpo externo 207       | pç      | 1           | produzido   |
| 3    | 2        | 2     | plástico ABS pigmentado | kg      | 0,01        | comprado    |
| 4    | 2        | 2     | corante azul            | g       | 0,01        | comprado    |
| 5    | 1        | 1     | presilha de bolso       | pç      | 1           | comprado    |
| 6    | 1        | 1     | miolo 207               | pç      | 1           | produzido   |
| 7    | 6        | 2     | borracha                | pç      | 1           | produzido   |
| 8    | 7        | 3     | fio de borracha         | m       | 0,02        | comprado    |
| 9    | 6        | 2     | capa da borracha        | pç      | 1           | produzido   |
| 10   | 9        | 3     | tira 0,1 mm             | kg      | 0,002       | comprado    |
| 11   | 6        | 2     | miolo interno 207       | pç      | 1           | produzido   |
| 12   | 11       | 3     | mola                    | pç      | 1           | comprado    |
| 13   | 11       | 3     | corpo do miolo          | pç      | 1           | produzido   |
| 14   | 13       | 4     | plástico ABS            | kg      | 0,007       | comprado    |
| 15   | 13       | 4     | corante preto           | g       | 0,05        | comprado    |
| 16   | 11       | 3     | suporte da garra        | pç      | 1           | comprado    |
| 17   | 11       | 3     | capa da garra           | pç      | 1           | comprado    |
| 18   | 11       | 3     | garras                  | pç      | 3           | comprado    |
| 19   | 6        | 2     | grafite 0,7 mm          | un      | 4           | comprado    |
| 20   | 1        | 1     | corpo da ponteira       | pç      | 1           | comprado    |
| 21   | 1        | 1     | guia da ponteira        | pç      | 1           | comprado    |
| 22   | 1        | 1     | tampa                   | pç      | 1           | produzido   |
| 23   | 22       | 2     | tira 0,2 mm             | kg      | 0,002       | comprado    |

FONTE: CORRÉA, GIANESI E CAON (2000)

TABELA 2 – DADOS DE PEDIDOS E ESTOQUE INICIAL - PRODUTO LAPISEIRA

| Item | Lead Time<br>(semana) | Qtd Requisitada <sup>(1)</sup> | Estoque Segurança | Forma de Compra <sup>(2)</sup> | Estoque Inicial |
|------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------|
| 1    | 1                     | LL                             | 0                 | LIQ                            | 0               |
| 2    | 2                     | 100                            | 180               | MULT                           | 180             |
| 3    | 1                     | 2                              | 1,8               | MULT                           | 1,8             |
| 4    | 2                     | 3                              | 1,8               | MIN                            | 1,8             |
| 5    | 1                     | 100                            | 180               | MULT                           | 180             |
| 6    | 1                     | LL                             | 170               | LIQ                            | 170             |
| 7    | 1                     | LL                             | 170               | LIQ                            | 170             |
| 8    | 1                     | 5                              | 3,4               | MIN                            | 3,4             |
| 9    | 1                     | LL                             | 170               | LIQ                            | 170             |
| 10   | 1                     | 3                              | 0,4               | MIN                            | 0,4             |
| 11   | 3                     | 100                            | 18                | MULT                           | 18              |
| 12   | 1                     | 100                            | 160               | MULT                           | 160             |
| 13   | 2                     | LL                             | 160               | LIQ                            | 160             |
| 14   | 1                     | 2                              | 1,2               | MULT                           | 1,2             |
| 15   | 2                     | 3                              | 8                 | MIN                            | 8               |
| 16   | 2                     | 50                             | 160               | MIN                            | 160             |
| 17   | 3                     | 50                             | 160               | MIN                            | 160             |
| 18   | 1                     | 50                             | 500               | MIN                            | 500             |
| 19   | 2                     | 500                            | 700               | MULT                           | 700             |
| 20   | 2                     | LL                             | 170               | LIQ                            | 170             |
| 21   | 1                     | 50                             | 170               | MIN                            | 170             |
| 22   | 1                     | LL                             | 170               | LIQ                            | 170             |
| 23   | 1                     | 3                              | 160               | MIN                            | 160             |

FONTE: CORREA, GIANESI E CAON (2000)

NOTAS: (1) Quantidade exata(LL) ou tamanho de lote

(2) LIQ - Lote líquido (quantidade exata)

MIN - Lote mínimo

MULT - Lote múltiplo

Comparando o último ano dos dados (doze últimas observações), utilizou-se as previsões dos modelos programados de previsões de séries temporais. O resultado, que pode ser visto no Quadro 14, foi considerado satisfatório. Considerando, como parâmetro comparativo o RMSE (o SPEM utiliza o MSE) o modelo melhor ajustado foi o AELB. Analisando os demais erros, o AES obteve também um bom desempenho na análise dos últimos doze meses. Um MAPE de 1,31% foi também considerado um bom indicador de desempenho para o AELB.

QUADRO 14 – COMPARATIVO DE PREVISÕES DOS ÚLTIMOS 12 MESES – PRODUTO LAPISEIRA

| <b>Período</b> | <b>Observado</b> | <b>AES</b> | <b>AELB</b> | <b>HW</b> |
|----------------|------------------|------------|-------------|-----------|
| 218            | 6469,276         | 6525,151   | 6537,267    | 6517,242  |
| 219            | 6488,849         | 6525,151   | 6558,743    | 6560,382  |
| 220            | 6452,633         | 6525,151   | 6580,220    | 6597,019  |
| 221            | 6495,46          | 6525,151   | 6601,697    | 6642,370  |
| 222            | 6528,197         | 6525,151   | 6623,174    | 6712,240  |
| 223            | 6529,583         | 6525,151   | 6644,651    | 6764,022  |
| 224            | 6593,132         | 6525,151   | 6666,127    | 6820,148  |
| 225            | 6628,394         | 6525,151   | 6687,604    | 6805,368  |
| 226            | 6635,848         | 6525,151   | 6709,081    | 6828,756  |
| 227            | 6671,697         | 6525,151   | 6730,558    | 6821,032  |
| 228            | 6656,114         | 6525,151   | 6752,035    | 6806,689  |
| 229            | 6682,926         | 6525,151   | 6773,512    | 6816,660  |
|                |                  |            |             |           |
|                | <b>RMSE</b>      | 92,04      | 88,70       | 163,71    |
|                | <b>MAE</b>       | 76,59      | 86,05       | 154,98    |
|                | <b>MAPE</b>      | 1,16       | 1,31        | 2,36      |

Considerando todos os valores históricos do produto Lapiseira (duzentos e vinte e nove), o melhor modelo ajustado pelo SPEM foi o AELB, segundo o critério MSE de ajuste a um passo. Os dados obtidos referentes aos ajustes estão disponíveis no Quadro 15.

QUADRO 15 – COMPARATIVO DO AJUSTE DOS MODELOS – PRODUTO LAPISEIRA

| <b>Dados</b> | <b>AES</b>       | <b>AELB</b>      | <b>HW</b>                   |
|--------------|------------------|------------------|-----------------------------|
| MSE          | 3425,44          | 3382,38          | 7792,11                     |
| RMSE         | 58,52            | 58,16            | 88,27                       |
| Parâmetros   | $\alpha = 0,989$ | $\alpha = 0,449$ | $A = 0,5; C = 0,1; D = 0,9$ |

Verificando as previsões realizadas pelo SPEM, comparou-se as previsões geradas pelos três modelos programados, e um modelo ARIMA, ajustado no software STATGRAPHICS, em quatro valores gerados adicionais e reservados (observações 230, 231, 232 e 233). As previsões, a curto prazo, foram realizadas com base nos dados históricos e calculados os erros que estão apresentados no Quadro 16.

QUADRO 16 – COMPARATIVO DE PREVISÕES COM OS DADOS SINTÉTICOS ADICIONAIS – PRODUTO LAPISEIRA

| Período | Observado | AES      | AELB     | HW       | ARIMA(2,1,0) |
|---------|-----------|----------|----------|----------|--------------|
| 230     | 6867,993  | 6662,301 | 6702,167 | 6630,683 | 6694,970     |
| 231     | 6946,825  | 6662,301 | 6720,106 | 6671,261 | 6712,440     |
| 232     | 6918,702  | 6662,301 | 6738,046 | 6682,555 | 6727,990     |
| 233     | 6993,522  | 6662,301 | 6755,985 | 6748,375 | 6744,240     |
| RMSE    | 273,27    | 204,91   | 249,06   | 214,12   |              |
| MAE     | 269,46    | 202,68   | 248,54   | 211,85   |              |
| MAPE    | 3,88      | 2,92     | 3,59     | 3,05     |              |

Na previsão dos futuros valores a serem aplicados ao SPEM, o AELB manteve o melhor desempenho.

Com a lista de itens (BOM), Tabelas 1 e 2, e os dados históricos, Anexo 2, simulou-se a progressão dos dados, no estudo iniciando em 4/02/2002 (segunda-feira), durante doze semanas consecutivas, período superior ao maior somatório de *lead times* do produto Lapiseira.

Os dados considerados foram: estoque inicial, conforme Tabela 2, igual ao estoque de segurança; eventos iniciais em andamento para as primeiras semanas, uma vez que se supôs o processo em andamento, conforme Quadro 17.

A seqüência adotada foi: calcular previsões para a semana (Quadro 18), transportar para o MPS, atualizar pedidos confirmados ( $O_t$ ), calcular quantidades/lotes de fabricação ( $Q_t$ ) e balanço de estoques ( $I_t$ ), calcular disponibilidade para promessa (ATP). Para efeito de acompanhamento, adotou-se o horizonte de certeza (pedidos

confirmados) como sendo de 4 semanas. Com os dados do MPS, no primeiro instante realizou-se a explosão dos itens, e cálculo do MRP, gerando os eventos a serem cumpridos no início da semana corrente. Tomando-se as providências informadas pelo programa, os registros foram atualizados passando de Emissão de Ordens Planejadas para Recebimentos Programados. Tomadas todas as providências e passando-se para a semana seguinte, realizou-se a progressão semanal, junto ao MPS, onde os registros eram transportados uma semana a frente, e a previsão novamente calculada, repetindo-se o processo. Nos Quadros 19 a 42 podem ser acompanhadas as progressões do MPS e relações de eventos a serem providenciados a cada semana.

QUADRO 17 – EVENTOS INICIAIS PARA O PRIMEIRO CÁLCULO DO MRP

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1001               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1717        | produção   | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1002               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1800        | produção   | 04-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1003               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 18          | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1004               | 4    | corante azul            | g       | 18          | compras    | 04-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1005               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1800        | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1006               | 6    | miolo 207               | pç      | 1717        | produção   | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1007               | 7    | borracha                | pç      | 1717        | produção   | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1008               | 8    | fio de borracha         | m       | 34,08       | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1009               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1717        | produção   | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1010               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,409       | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1011               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1800        | produção   | 04-Fev-02    | 14-Jan-02    |
| 1012               | 12   | mola                    | pç      | 1600        | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1013               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1600        | produção   | 04-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1014               | 14   | plástico ABS            | kg      | 12          | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1015               | 15   | corante preto           | g       | 80          | compras    | 04-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1016               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1600        | compras    | 04-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1017               | 17   | capa da garra           | pç      | 1600        | compras    | 04-Fev-02    | 14-Jan-02    |
| 1018               | 18   | garras                  | pç      | 4800        | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1019               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 7000        | compras    | 04-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1020               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1717        | compras    | 04-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1021               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1717        | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1022               | 22   | tampa                   | pç      | 1717        | produção   | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1023               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 10          | compras    | 04-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1024               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1700        | produção   | 11-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1025               | 4    | corante azul            | g       | 16          | compras    | 11-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1026               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1700        | produção   | 11-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1027               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1600        | produção   | 11-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1028               | 15   | corante preto           | g       | 75          | compras    | 11-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1029               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1600        | compras    | 11-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1030               | 17   | capa da garra           | pç      | 1600        | compras    | 11-Fev-02    | 21-Jan-02    |
| 1031               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 7000        | compras    | 11-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1032               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1717        | compras    | 11-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1033               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1600        | produção   | 18-Fev-02    | 28-Jan-02    |
| 1034               | 17   | capa da garra           | pç      | 1600        | compras    | 18-Fev-02    | 28-Jan-02    |

QUADRO 18 – PREVISÕES REALIZADAS DURANTE A EVOLUÇÃO DAS SEMANAS - MRP

| Data     | Int. -95% | <b>h = 1</b> | Int. +95% | Int. -95% | <b>h = 2</b> | Int. +95% | Int. -95% | <b>h = 3</b> | Int. +95% |
|----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|
| 04/02/02 | 6589      | 6702,166     | 6818      | 6539      | 6720,106     | 6901      | 6507      | 6738,045     | 6969      |
| 11/02/02 | 6589      | 6702,166     | 6818      | 6539      | 6720,106     | 6901      | 6507      | 6738,045     | 6969      |
| 18/02/02 | 6589      | 6702,166     | 6818      | 6539      | 6720,106     | 6901      | 6507      | 6738,045     | 6969      |
| 25/02/02 | 6589      | 6702,166     | 6818      | 6539      | 6720,106     | 6901      | 6507      | 6738,045     | 6969      |
| 04/03/02 | 6752      | 6869,35      | 6987      | 6737      | 6920,869     | 7104      | 6738      | 6972,389     | 7207      |
| 11/03/02 | 6752      | 6869,35      | 6987      | 6737      | 6920,869     | 7104      | 6738      | 6972,389     | 7207      |
| 18/03/02 | 6752      | 6869,35      | 6987      | 6737      | 6920,869     | 7104      | 6738      | 6972,389     | 7207      |
| 25/03/02 | 6752      | 6869,35      | 6987      | 6737      | 6920,869     | 7104      | 6738      | 6972,389     | 7207      |
| 01/04/02 | 6877      | 6993,802     | 7111      | 6879      | 7062,468     | 7246      | 6897      | 7131,135     | 7365      |
| 08/04/02 | 6877      | 6993,802     | 7111      | 6879      | 7062,468     | 7246      | 6897      | 7131,135     | 7365      |
| 15/04/02 | 6877      | 6993,802     | 7111      | 6879      | 7062,468     | 7246      | 6897      | 7131,135     | 7365      |
| 22/04/02 | 6877      | 6993,802     | 7111      | 6879      | 7062,468     | 7246      | 6897      | 7131,135     | 7365      |

QUADRO 19 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 04/02/2002

| Data Parâmetros | Val-iniciais | 04/Fev sem1 | 11/Fev sem2 | 18/Fev sem3 | 25/Fev sem4 | 04/Mar sem5 | 11/Mar sem6 | 18/Mar sem7 | 25/Mar sem8 | 01/Abr sem9 | 08/Abr sem10 | 15/Abr sem11 | 22/Abr sem12 |
|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| F1              | 0            | 1070        | 1670        | 1670        | 1600        | 1600        | 1000        | 1000        | 1000        | 1531        | 1531         | 1531         | 1531         |
| Ot              | 0            | 1717        | 1717        | 1717        | 1704        | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0            | 0            | 0            |
| It              | 0            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0            | 0            | 0            |
| Qt (MPS)        | 0            | 1717        | 1717        | 1717        | 1704        | 1600        | 1600        | 1600        | 1600        | 1531        | 1531         | 1531         | 1531         |
| ATP             | 0            | 0           | 0           | 0           | 0           | 1600        | 1600        | 1600        | 1600        | 1531        | 1531         | 1531         | 1531         |

QUADRO 20 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 04/02/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1035               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1717        | produção   | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1036               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1700        | produção   | 18-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1037               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1038               | 4    | corante azul            | g       | 15          | compras    | 18-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1039               | 5    | presilha do bolso       | pç      | 1700        | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1040               | 6    | miolo 207               | pç      | 1717        | produção   | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1041               | 7    | borracha                | pç      | 1704        | produção   | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1042               | 8    | fio de borracha         | m       | 32          | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1043               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1704        | produção   | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1044               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,199       | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1045               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1700        | produção   | 25-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1046               | 12   | mola                    | pç      | 1600        | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1047               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1600        | produção   | 18-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1048               | 14   | plástico ABS            | kg      | 12          | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1049               | 15   | corante preto           | g       | 75          | compras    | 18-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1050               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1600        | compras    | 18-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1051               | 17   | capa da garra           | pç      | 1500        | compras    | 25-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1052               | 18   | garras                  | pç      | 4800        | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1053               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | compras    | 18-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1054               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1704        | compras    | 18-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1055               | 21   | quia da ponteira        | pç      | 1717        | compras    | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |
| 1056               | 22   | tampa                   | pç      | 1717        | produção   | 11-Fev-02    | 04-Fev-02    |

QUADRO 21 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 11/02/2002

| Data       |              | 11/Fev | 18/Fev | 25/Fev | 04/Mar | 11/Mar | 18/Mar | 25/Mar | 01/Abr | 08/Abr | 15/Abr | 22/Abr | 29/Abr |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12  |
| Ft         | 1676         | 1676   | 1676   | 1660   | 1600   | 1600   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |
| Ot         | 1717         | 1717   | 1717   | 1704   | 1654   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| It         | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Qt (MPS)   | 1717         | 1717   | 1717   | 1704   | 1654   | 1600   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |
| ATP        | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 1600   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |

QUADRO 22 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 11/02/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1057               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1717        | produção   | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1058               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1600        | produção   | 25-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1059               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1060               | 4    | corante azul            | g       | 16          | compras    | 25-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1061               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1700        | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1062               | 6    | miolo 207               | pç      | 1704        | produção   | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1063               | 7    | borracha                | pç      | 1654        | produção   | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1064               | 8    | fio da borracha         | m       | 33,08       | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1065               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1654        | produção   | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1066               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,308       | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1067               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1600        | produção   | 04-Mar-02    | 11-Fev-02    |
| 1068               | 12   | mola                    | pç      | 1600        | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1069               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1600        | produção   | 25-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1070               | 14   | plástico ABS            | kg      | 10          | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1071               | 15   | corante preto           | g       | 80          | compras    | 25-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1072               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1600        | compras    | 25-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1073               | 17   | capa da garra           | pç      | 1600        | compras    | 04-Mar-02    | 11-Fev-02    |
| 1074               | 18   | garras                  | pç      | 4800        | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1075               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | compras    | 25-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1076               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1654        | compras    | 25-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1077               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1704        | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1078               | 22   | tampa                   | pç      | 1704        | produção   | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |
| 1079               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | compras    | 18-Fev-02    | 11-Fev-02    |

QUADRO 23 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 18/02/2002

| Data       |              | 18/Fev | 25/Fev | 04/Mar | 11/Mar | 18/Mar | 25/Mar | 01/Abr | 08/Abr | 15/Abr | 22/Abr | 29/Abr | 06/Mai |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12  |
| Ft         | 1676         | 1676   | 1660   | 1600   | 1600   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |
| Ot         | 1717         | 1717   | 1704   | 1654   | 1654   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| It         | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Qt (MPS)   | 1717         | 1717   | 1704   | 1654   | 1654   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |
| ATP        | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |

QUADRO 24 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 18/02/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1080               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1704        | produção   | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1081               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1700        | produção   | 04-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1082               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1083               | 4    | corante azul            | g       | 17          | compras    | 04-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1084               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1600        | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1085               | 6    | miolo 207               | pç      | 1654        | produção   | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1086               | 7    | borracha                | pç      | 1654        | produção   | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1087               | 8    | fio da borracha         | m       | 33,08       | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1088               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1654        | produção   | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1089               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,308       | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1090               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1700        | produção   | 11-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1091               | 12   | mola                    | pç      | 1500        | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1092               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1400        | produção   | 04-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1093               | 14   | plástico ABS            | kg      | 10          | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1094               | 15   | corante preto           | g       | 85          | compras    | 04-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1095               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1400        | compras    | 04-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1096               | 17   | capa da garra           | pç      | 1500        | compras    | 11-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1097               | 18   | garras                  | pç      | 4500        | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1098               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | compras    | 04-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1099               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1654        | compras    | 04-Mar-02    | 18-Fev-02    |
| 1100               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1654        | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1101               | 22   | tampa                   | pç      | 1654        | produção   | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |
| 1102               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | compras    | 25-Fev-02    | 18-Fev-02    |

QUADRO 25 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 25/02/2002

| Data       |              | 25/Fev | 04/Mar | 11/Mar | 18/Mar | 25/Mar | 01/Abr | 08/Abr | 15/Abr | 22/Abr | 29/Abr | 06/Mai | 13/Mai |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12  |
| Flt        | 1678         | 1660   | 1600   | 1600   | 1600   | 1800   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |
| Ot         | 1717         | 1704   | 1654   | 1654   | 1654   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| It         | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Qt (MPS)   | 1717         | 1704   | 1654   | 1654   | 1654   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |
| ATP        | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   |

QUADRO 26 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 25/02/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1103               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1554        | produção   | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1104               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1600        | produção   | 11-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1105               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1106               | 4    | corante azul            | g       | 16          | compras    | 11-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1107               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1700        | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1108               | 6    | miolo 207               | pç      | 1654        | produção   | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1109               | 7    | borracha                | pç      | 1654        | produção   | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1110               | 8    | fio de borracha         | m       | 33,08       | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1111               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1654        | produção   | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1112               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,308       | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1113               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1600        | produção   | 18-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1114               | 12   | mola                    | pç      | 1600        | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1115               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1600        | produção   | 11-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1116               | 14   | plástico ABS            | kg      | 12          | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1117               | 15   | corante preto           | g       | 80          | compras    | 11-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1118               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1600        | compras    | 11-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1119               | 17   | capa da garra           | pç      | 1600        | compras    | 18-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1120               | 18   | garras                  | pç      | 4800        | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1121               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | compras    | 11-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1122               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1654        | compras    | 11-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1123               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1654        | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1124               | 22   | tampa                   | pç      | 1654        | produção   | 04-mar-02    | 25-fev-02    |
| 1125               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | compras    | 04-mar-02    | 25-fev-02    |

QUADRO 27 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 04/03/2002

| Data       |              | 04/Mar | 11/Mar | 18/Mar | 25/Mar | 01/Abr | 08/Abr | 15/Abr | 22/Abr | 29/Abr | 06/Mai | 13/Mai | 20/Mai |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12  |
| Flt        | 1660         | 1636   | 1636   | 1636   | 1636   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   | 1516   |
| Ot         | 1704         | 1654   | 1654   | 1654   | 1654   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| It         | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Qt (MPS)   | 1704         | 1654   | 1654   | 1654   | 1654   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   |
| ATP        | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   |

QUADRO 28 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 04/03/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1126               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1654        | produção   | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1127               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1700        | produção   | 18-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1128               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 18          | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1129               | 4    | corante azul            | g       | 16          | compras    | 18-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1130               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1600        | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1131               | 6    | miolo 207               | pç      | 1654        | produção   | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1132               | 7    | borracha                | pç      | 1654        | produção   | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1133               | 8    | fio de borracha         | m       | 32,54       | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1134               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1654        | produção   | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1135               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,254       | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1136               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1500        | produção   | 25-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1137               | 12   | mola                    | pç      | 1600        | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1138               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1700        | produção   | 18-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1139               | 14   | plástico ABS            | kg      | 12          | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1140               | 15   | corante preto           | g       | 70          | compras    | 18-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1141               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1700        | compras    | 18-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1142               | 17   | capa da garra           | pç      | 1600        | compras    | 25-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1143               | 18   | garras                  | pç      | 4800        | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1144               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | compras    | 18-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1145               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1654        | compras    | 18-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1146               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1654        | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1147               | 22   | tampa                   | pç      | 1654        | produção   | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |
| 1148               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | compras    | 11-Mar-02    | 04-Mar-02    |

QUADRO 29 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 11/03/2002

| Data       | 11/mar       | 18/mar | 25/mar | 01/abr | 08/abr | 15/abr | 22/abr | 29/abr | 06/mai | 13/mai | 20/mai | 27/mai |       |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12 |
| Ft         | 1636         | 1636   | 1636   | 1636   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516  |
| Ot         | 1654         | 1654   | 1654   | 1654   | 1573   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     |
| It         | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     |
| Qt (MPS)   | 1654         | 1654   | 1654   | 1654   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516  |
| ATP        | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516  |

QUADRO 30 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 11/03/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1149               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1654        | produção   | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1150               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1600        | produção   | 25-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1151               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 14          | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1152               | 4    | corante azul            | g       | 16          | compras    | 25-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1153               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1700        | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1154               | 6    | miolo 207               | pç      | 1654        | produção   | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1155               | 7    | borracha                | pç      | 1573        | produção   | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1156               | 8    | fio de borracha         | m       | 31,46       | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1157               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1573        | produção   | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1158               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,146       | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1159               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1600        | produção   | 01-Abr-02    | 11-Mar-02    |
| 1160               | 12   | mola                    | pç      | 1600        | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1161               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1500        | produção   | 25-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1162               | 14   | plástico ABS            | kg      | 10          | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1163               | 15   | corante preto           | g       | 75          | compras    | 25-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1164               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1500        | compras    | 25-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1165               | 17   | capa da garra           | pç      | 1500        | compras    | 01-Abr-02    | 11-Mar-02    |
| 1166               | 18   | garras                  | pç      | 4800        | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1167               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | compras    | 25-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1168               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1573        | compras    | 25-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1169               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1654        | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1170               | 22   | tampa                   | pç      | 1654        | produção   | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |
| 1171               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | compras    | 18-Mar-02    | 11-Mar-02    |

QUADRO 31 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 18/03/2002

| Data       | 18/Mar       | 25/Mar | 01/Abr | 08/Abr | 15/Abr | 22/Abr | 29/Abr | 06/Mai | 13/Mai | 20/Mai | 27/Mai | 03/Jun |       |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12 |
| Ft         | 1636         | 1636   | 1636   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516  |
| Ot         | 1654         | 1654   | 1654   | 1573   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     |
| It         | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     |
| Qt (MPS)   | 1654         | 1654   | 1654   | 1573   | 1573   | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516  |
| ATP        | 0            | 0      | 0      | 0      | 0      | 1573   | 1573   | 1539   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516   | 1516  |

QUADRO 32 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 18/03/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1172               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1654        | produção   | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1173               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1500        | produção   | 01-Abr-02    | 18-Mar-02    |
| 1174               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1175               | 4    | corante azul            | g       | 16          | compras    | 01-Abr-02    | 18-Mar-02    |
| 1176               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1600        | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1177               | 6    | miolo 207               | pç      | 1573        | produção   | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1178               | 7    | borracha                | pç      | 1573        | produção   | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1179               | 8    | fio de borracha         | m       | 31,46       | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1180               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1573        | produção   | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1181               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,146       | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1182               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1600        | produção   | 08-Apr-02    | 18-Mar-02    |
| 1183               | 12   | mola                    | pç      | 1500        | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1184               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1500        | produção   | 01-Abr-02    | 18-Mar-02    |
| 1185               | 14   | plástico ABS            | kg      | 10          | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1186               | 15   | corante preto           | g       | 80          | compras    | 01-Abr-02    | 18-Mar-02    |
| 1187               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1500        | compras    | 01-Abr-02    | 18-Mar-02    |
| 1188               | 17   | capa da garra           | pç      | 1500        | compras    | 08-Apr-02    | 18-Mar-02    |
| 1189               | 18   | garras                  | pç      | 4500        | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1190               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | compras    | 01-Abr-02    | 18-Mar-02    |
| 1191               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1573        | compras    | 01-Abr-02    | 18-Mar-02    |
| 1192               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1573        | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1193               | 22   | tampa                   | pç      | 1573        | produção   | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |
| 1194               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | compras    | 25-Mar-02    | 18-Mar-02    |

QUADRO 33 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 25/03/2002

| Data<br>Parâmetros | Val-iniciais | 25/Mar<br>sem1 | 01/Abr<br>sem2 | 08/Abr<br>sem3 | 15/Abr<br>sem4 | 22/Abr<br>sem5 | 29/Abr<br>sem6 | 06/Mai<br>sem7 | 13/Mai<br>sem8 | 20/Mai<br>sem9 | 27/Mai<br>sem10 | 03/Jun<br>sem11 | 10/Jun<br>sem12 |
|--------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| It                 | 1636         | 1636           | 1573           | 1573           | 1573           | 1573           | 1539           | 1516           | 1516           | 1516           | 1516            | 1516            | 1516            |
| Ot                 | 1654         | 1654           | 1573           | 1573           | 1573           | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               |
| Qt (MPS)           | 1654         | 1654           | 1573           | 1573           | 1573           | 1573           | 1539           | 1516           | 1516           | 1516           | 1516            | 1516            | 1516            |
| ATP                | 0            | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1573           | 1539           | 1516           | 1516           | 1516            | 1516            | 1516            |

QUADRO 34 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 25/03/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtd/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|------------|------------|--------------|--------------|
| 1195               | 1    | lapiseira p207          | pc      | 1590       | produção   | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1196               | 2    | corpo externo 207       | pc      | 1600       | produção   | 08-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1197               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16         | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1198               | 4    | corante azul            | g       | 15         | compras    | 08-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1199               | 5    | presilha de bolso       | pc      | 1500       | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1200               | 6    | miolo 207               | pc      | 1573       | produção   | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1201               | 7    | borracha                | pc      | 1573       | produção   | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1202               | 8    | fio de borracha         | m       | 31,46      | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1203               | 9    | capa da borracha        | pc      | 1573       | produção   | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1204               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,146      | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1205               | 11   | miolo interno 207       | pc      | 1600       | produção   | 15-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1206               | 12   | mola                    | pc      | 1500       | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1207               | 13   | corpo do miolo          | pc      | 1500       | produção   | 08-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1208               | 14   | plástico ABS            | kg      | 12         | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1209               | 15   | corante preto           | g       | 75         | compras    | 08-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1210               | 16   | suporte da garra        | pc      | 1500       | compras    | 08-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1211               | 17   | capa da garra           | pc      | 1600       | compras    | 15-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1212               | 18   | garras                  | pc      | 4500       | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1213               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6000       | compras    | 08-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1214               | 20   | corpo da ponteira       | pc      | 1573       | compras    | 08-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1215               | 21   | guia da ponteira        | pc      | 1573       | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1216               | 22   | tampa                   | pc      | 1573       | produção   | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |
| 1217               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3          | compras    | 01-Abr-02    | 25-Mar-02    |

QUADRO 35 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 01/04/2002

| Data<br>Parâmetros | Val-iniciais | 07/abr<br>sem1 | 08/abr<br>sem2 | 15/abr<br>sem3 | 22/abr<br>sem4 | 29/abr<br>sem5 | 06/mai<br>sem6 | 13/mai<br>sem7 | 20/mai<br>sem8 | 27/mai<br>sem9 | 03/jun<br>sem10 | 10/jun<br>sem11 | 17/jun<br>sem12 |
|--------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| It                 | 1636         | 1590           | 1590           | 1590           | 1590           | 1567           | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783            | 1783            | 1783            |
| Ot                 | 1654         | 1573           | 1573           | 1573           | 1573           | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               |
| Qt (MPS)           | 1654         | 1590           | 1590           | 1590           | 1590           | 1557           | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783            | 1783            | 1783            |
| ATP                | 0            | 17             | 17             | 17             | 17             | 1557           | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783            | 1783            | 1783            |

QUADRO 36 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 01/04/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtd/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|------------|------------|--------------|--------------|
| 1218               | 1    | lapiseira p207          | pc      | 1590       | produção   | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1219               | 2    | corpo externo 207       | pc      | 1600       | produção   | 15-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1220               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16         | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1221               | 4    | corante azul            | g       | 16         | compras    | 15-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1222               | 5    | presilha de bolso       | pc      | 1700       | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1223               | 6    | miolo 207               | pc      | 1607       | produção   | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1224               | 7    | borracha                | pc      | 1624       | produção   | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1225               | 8    | fio de borracha         | m       | 32,16      | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1226               | 9    | capa da borracha        | pc      | 1624       | produção   | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1227               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,216      | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1228               | 11   | miolo interno 207       | pc      | 1500       | produção   | 22-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1229               | 12   | mola                    | pc      | 1600       | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1230               | 13   | corpo do miolo          | pc      | 1600       | produção   | 15-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1231               | 14   | plástico ABS            | kg      | 10         | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1232               | 15   | corante preto           | g       | 90         | compras    | 15-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1233               | 16   | suporte da garra        | pc      | 1600       | compras    | 15-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1234               | 17   | capa da garra           | pc      | 1500       | compras    | 22-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1235               | 18   | garras                  | pc      | 4800       | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1236               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500       | compras    | 15-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1237               | 20   | corpo da ponteira       | pc      | 1624       | compras    | 15-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1238               | 21   | guia da ponteira        | pc      | 1607       | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1239               | 22   | tampa                   | pc      | 1607       | produção   | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |
| 1240               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3          | compras    | 08-Abr-02    | 01-Abr-02    |

QUADRO 37 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 08/04/2002

| Data<br>Parâmetros | 08/Abr<br>Val-iniciais | 08/Abr<br>sem1 | 15/Abr<br>sem2 | 22/Abr<br>sem3 | 29/Abr<br>sem4 | 06/Mai<br>sem5 | 13/Mai<br>sem6 | 20/Mai<br>sem7 | 27/Mai<br>sem8 | 03/Jun<br>sem9 | 10/Jun<br>sem10 | 17/Jun<br>sem11 | 24/Jun<br>sem12 |
|--------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| It                 | 1590                   | 1500           | 1590           | 1590           | 1557           | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783           | 1783            | 1783            | 1783            |
| Ot                 | 1573                   | 1573           | 1573           | 1573           | 1542           | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               |
| It                 | 17                     | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               |
| Ot (MPS)           | 1590                   | 1573           | 1590           | 1590           | 1557           | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783           | 1783            | 1783            | 1783            |
| ATP                | 17                     | 17             | 17             | 17             | 15             | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783           | 1783            | 1783            | 1783            |

QUADRO 38 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 08/04/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtde/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1241               | 1    | lapiseira p207          | pc      | 1573        | produção   | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1242               | 2    | corpo externo 207       | pc      | 1600        | produção   | 22-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1243               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1244               | 4    | corante azul            | g       | 16          | compras    | 22-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1245               | 5    | presilha de bolso       | pc      | 1500        | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1246               | 6    | miolo 207               | pc      | 1573        | produção   | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1247               | 7    | borracha                | pc      | 1540        | produção   | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1248               | 8    | fio de borracha         | m       | 30,36       | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1249               | 9    | capa da borracha        | pc      | 1540        | produção   | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1250               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,036       | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1251               | 11   | miolo interno 207       | pc      | 1500        | produção   | 29-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1252               | 12   | mola                    | pc      | 1500        | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1253               | 13   | corpo do miolo          | pc      | 1500        | produção   | 22-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1254               | 14   | plástico ABS            | kg      | 12          | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1255               | 15   | corante preto           | g       | 90          | compras    | 22-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1256               | 16   | suporte da garra        | pc      | 1500        | compras    | 22-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1257               | 17   | capa da garra           | pc      | 1800        | compras    | 29-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1258               | 18   | garra                   | pc      | 4500        | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1259               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6000        | compras    | 22-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1260               | 20   | corpo da ponteira       | pc      | 1540        | compras    | 22-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1261               | 21   | guia da ponteira        | pc      | 1573        | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1262               | 22   | tampa                   | pc      | 1573        | produção   | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |
| 1263               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | compras    | 15-Abr-02    | 08-Abr-02    |

QUADRO 39 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 15/04/2002

| Data<br>Parâmetros | 15/Abr<br>Val-iniciais | 15/Abr<br>sem1 | 22/Abr<br>sem2 | 29/Abr<br>sem3 | 06/Mai<br>sem4 | 13/Mai<br>sem5 | 20/Mai<br>sem6 | 27/Mai<br>sem7 | 03/Jun<br>sem8 | 10/Jun<br>sem9 | 17/Jun<br>sem10 | 24/Jun<br>sem11 | 01/Jul<br>sem12 |
|--------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| It                 | 1590                   | 1500           | 1590           | 1557           | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783           | 1783           | 1783            | 1783            | 1783            |
| Ot                 | 1573                   | 1573           | 1573           | 1542           | 1521           | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               |
| It                 | 17                     | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               |
| Ot (MPS)           | 1573                   | 1573           | 1590           | 1557           | 1535           | 1535           | 1535           | 1535           | 1783           | 1783           | 1783            | 1783            | 1783            |
| ATP                | 17                     | 17             | 17             | 15             | 14             | 1535           | 1535           | 1535           | 1783           | 1783           | 1783            | 1783            | 1783            |

QUADRO 40 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 15/04/2002

|      |    |                         |    |       |          |           |           |
|------|----|-------------------------|----|-------|----------|-----------|-----------|
| 1264 | 1  | lapiseira p207          | pc | 1573  | produção | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1265 | 2  | corpo externo 207       | pc | 1500  | produção | 29-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1266 | 3  | plástico ABS pigmentado | kg | 14    | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1267 | 4  | corante azul            | g  | 15    | compras  | 29-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1268 | 5  | presilha de bolso       | pc | 1600  | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1269 | 6  | miolo 207               | pc | 1540  | produção | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1270 | 7  | borracha                | pc | 1518  | produção | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1271 | 8  | fio de borracha         | m  | 30,36 | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1272 | 9  | capa da borracha        | pc | 1518  | produção | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1273 | 10 | tira 0,1 mm             | kg | 3,036 | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1274 | 11 | miolo interno 207       | pc | 1600  | produção | 06-Mai-02 | 15-Abr-02 |
| 1275 | 12 | mola                    | pc | 1500  | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1276 | 13 | corpo do miolo          | pc | 1800  | produção | 29-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1277 | 14 | plástico ABS            | kg | 14    | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1278 | 15 | corante preto           | g  | 85    | compras  | 29-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1279 | 16 | suporte da garra        | pc | 1800  | compras  | 29-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1280 | 17 | capa da garra           | pc | 1800  | compras  | 06-Mai-02 | 15-Abr-02 |
| 1281 | 18 | garra                   | pc | 4500  | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1282 | 19 | grafite 0,7 mm          | un | 6000  | compras  | 29-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1283 | 20 | corpo da ponteira       | pc | 1518  | compras  | 29-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1284 | 21 | guia da ponteira        | pc | 1540  | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1285 | 22 | tampa                   | pc | 1540  | produção | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |
| 1286 | 23 | tira 0,2 mm             | kg | 3     | compras  | 22-Abr-02 | 15-Abr-02 |

QUADRO 41 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 22/04/2002

| Data       | 22/Abr       | 29/Abr | 06/Mai | 13/Mai | 20/Mai | 27/Mai | 03/Jun | 10/Jun | 17/Jun | 24/Jun | 01/Jul | 08/Jul |       |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12 |
| Ft         | 1590         | 1590   | 1557   | 1535   | 1535   | 1535   | 1535   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783  |
| Ot         | 1573         | 1573   | 1542   | 1521   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     |
| It         | 17           | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     |
| Qt (MPS)   | 1573         | 1573   | 1557   | 1535   | 1535   | 1535   | 1535   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783  |
| ATP        | 17           | 17     | 15     | 14     | 14     | 1535   | 1535   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783   | 1783  |

QUADRO 42 – EVENTOS GERADOS PARA A SEMANA 22/04/2002

| Número Solicitação | Item | Descrição               | Unidade | qtd/pedido | Fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|--------------------|------|-------------------------|---------|------------|------------|--------------|--------------|
| 1287               | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1540       | produção   | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1288               | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1500       | produção   | 06-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1289               | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16         | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1290               | 4    | corante azul            | g       | 15         | compras    | 06-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1291               | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1500       | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1292               | 6    | miolo 207               | pç      | 1518       | produção   | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1293               | 7    | borracha                | pç      | 1518       | produção   | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1294               | 8    | fio de borracha         | m       | 30,36      | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1295               | 9    | capa da borracha        | pç      | 1518       | produção   | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1296               | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,036      | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1297               | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1500       | produção   | 13-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1298               | 12   | mola                    | pç      | 1800       | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1299               | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1700       | produção   | 06-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1300               | 14   | plástico ABS            | kg      | 12         | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1301               | 15   | corante preto           | g       | 90         | compras    | 06-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1302               | 16   | suporte da garra        | pç      | 1700       | compras    | 06-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1303               | 17   | capa da garra           | pç      | 1700       | compras    | 13-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1304               | 18   | garras                  | pç      | 5400       | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1305               | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6000       | compras    | 06-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1306               | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1518       | compras    | 06-Mai-02    | 22-Abr-02    |
| 1307               | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1518       | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1308               | 22   | tampa                   | pç      | 1518       | produção   | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |
| 1309               | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3          | compras    | 29-Abr-02    | 22-Abr-02    |

Durante a progressão dos dados nas semanas, foram verificadas, através de alertas do programa, as necessidades de se tomar procedimentos emergenciais para se evitar a falta de materiais. Estes alertas estão listados no Quadro 43. Basicamente os eventos inesperados ocorreram devido a mudanças na demanda, entre valores previstos e os considerados reais.

QUADRO 43 – PROCEDIMENTOS EMERGENCIAIS INFORMADOS PELO SPEM

| Semana do Alerta | Item | Qtde. a Ser Providenciada | Semana a ser Disponibilizado | Fornecedor |
|------------------|------|---------------------------|------------------------------|------------|
| 18/fev           | 11   | 100                       | 25/fev                       | produção   |
| 04/mar           | 11   | 100                       | 11/mar                       | produção   |
|                  | 15   | 10                        | 04/mar                       | compras    |
| 01/abr           | 1    | 17                        | 01/abr                       | produção   |
|                  | 11   | 100                       | 15/abr                       | produção   |

Para continuidade do estudo, supôs-se que todos os procedimentos emergenciais foram atendidos, nos prazos e quantidades necessárias, através de agilizações com fornecedores ou outros alternativos, quer através de procedimentos especiais de fabricação.

Os níveis do estoque, no início de cada período analisado, podem ser visualizados no Quadro 44.

QUADRO 44 – NÍVEIS DOS ESTOQUES CALCULADOS PELO SPEM

| Item | Descrição               | Eseg    | 04/Fev  | 11/Fev   | 18/Fev   | 25/Fev   | 04/Mar   | 11/Mar   | 18/Mar   | 25/Mar   | 01/Abr   | 08/Abr   | 15/Abr   | 22/Abr   |
|------|-------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | lapiseira p207          | 0       | 0       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 17       | 17       |
| 2    | corpo externo 207       | 180     | 180     | 263      | 246      | 242      | 188      | 234      | 180      | 226      | 253      | 163      | 190      | 217      |
| 3    | plástico ABS pigmentado | 1.800   | 1.800   | 2.800    | 2.800    | 1.800    | 1.800    | 0.800    | 2.800    | 1.800    | 1.800    | 1.800    | 2.800    |          |
| 4    | corante azul            | 1.800   | 1.800   | 2.800    | 2.800    | 0.800    | 0.800    | 0.800    | 0.800    | 1.800    | 1.800    | 1.800    | 0.800    | 1.800    |
| 5    | presilha de bolso       | 180     | 180     | 263      | 246      | 242      | 188      | 234      | 180      | 226      | 253      | 163      | 290      | 217      |
| 6    | miolo 207               | 170     | 170     | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 153      | 187      | 187      |
| 7    | borracha                | 170     | 170     | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 136      | 187      | 187      |
| 8    | fio de borracha         | 3.400   | 3.400   | 3.400    | 2.320    | 2.320    | 2.320    | 2.320    | 3.400    | 3.400    | 3.400    | 2.380    | 3.740    | 3.740    |
| 9    | capa da borracha        | 170     | 170     | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 136      | 187      | 187      |
| 10   | tira 0,1 mm             | 0.4000  | 0.4000  | 0.4010   | 0.2920   | 0.2920   | 0.2920   | 0.2920   | 0.4000   | 0.4000   | 0.4000   | 0.2980   | 0.4340   | 0.4340   |
| 11   | miolo interno 207       | 18      | 18      | 101      | 97       | 43       | 89       | 35       | 81       | 108      | 35       | 28       | 55       | 115      |
| 12   | mola                    | 160     | 160     | 160      | 160      | 160      | 60       | 160      | 160      | 160      | 160      | 160      | 260      | 160      |
| 13   | corpo do miolo          | 160     | 160     | 160      | 160      | 160      | 160      | 80       | 60       | 160      | 160      | 160      | 160      | 160      |
| 14   | plástico ABS            | 1.2000  | 1.2000  | 2.0000   | 2.8000   | 3.0000   | 1.8000   | 1.9000   | 3.4000   | 2.9000   | 2.4000   | 3.2000   | 2.7000   | 2.1000   |
| 15   | corante preto           | 8.000   | 8.000   | 8.000    | 3.000    | 8.000    | 8.000    | 8.000    | 13.000   | 8.000    | 8.000    | 8.000    | 8.000    | 8.000    |
| 16   | suporte da garra        | 160     | 160     | 160      | 160      | 160      | 160      | 60       | 60       | 160      | 160      | 160      | 160      | 160      |
| 17   | capa da garra           | 160     | 160     | 160      | 160      | 160      | 60       | 160      | 60       | 60       | 160      | 160      | 160      | 160      |
| 18   | garras                  | 500     | 500     | 500      | 500      | 500      | 200      | 500      | 500      | 500      | 500      | 500      | 800      | 500      |
| 19   | grafite 0,7 mm          | 700     | 700     | 832      | 1016     | 900      | 784      | 668      | 552      | 760      | 968      | 1040     | 748      | 1088     |
| 20   | corpo da ponteira       | 170     | 170     | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 153      | 153      | 204      |
| 21   | guia da ponteira        | 170     | 170     | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 153      | 187      | 187      |
| 22   | tampa                   | 170     | 170     | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 170      | 153      | 187      | 187      |
| 23   | tira 0,2 mm             | 160.000 | 160.000 | 166.5660 | 163.1580 | 162.8500 | 162.5420 | 162.2340 | 161.9260 | 161.7800 | 161.6340 | 161.4200 | 161.2740 | 161.1940 |

O Gráficos 1 a 8, demostram o comportamento dos itens de estoque ao longo dos períodos analisados, bem como a relação com o estoque de segurança.

Os níveis do estoque, no início de cada período, consideram que todos os eventos de produção e/ou compras foram atendidos nos prazos acordados, e os casos emergenciais foram atendidos nas semanas e quantidades conforme relação do Quadro 43.

GRÁFICO 1 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITENS 1, 8 E 15

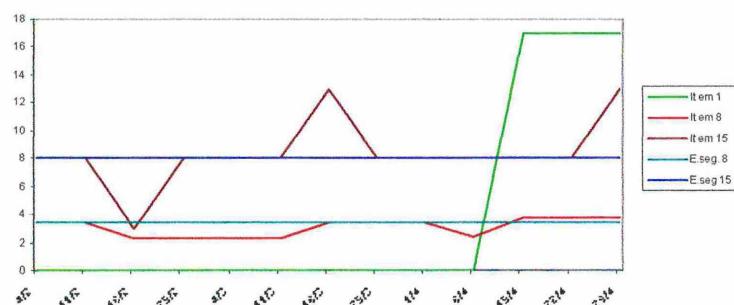


GRÁFICO 2 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITENS 2 E 5

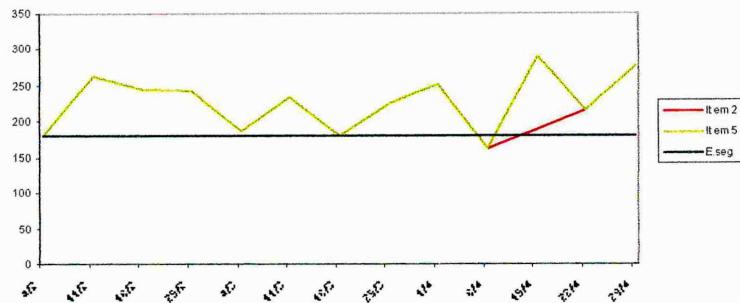


GRÁFICO 3 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITENS 3, 4 E 14

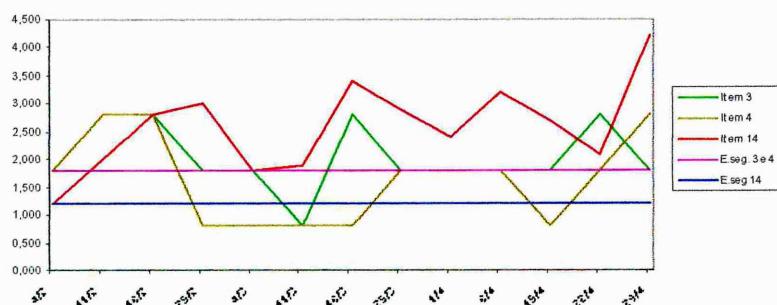


GRÁFICO 4 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITENS 6, 7, 9, 20, 21 E 22

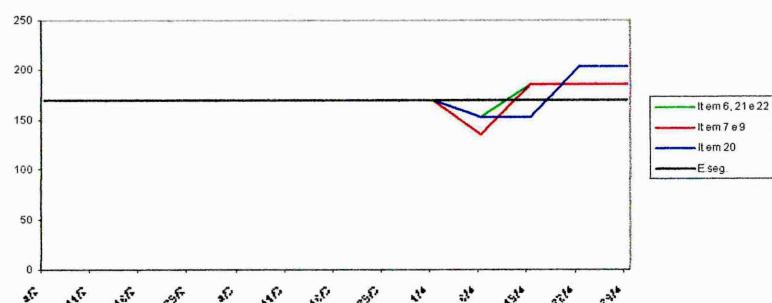


GRÁFICO 5 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITEM 10

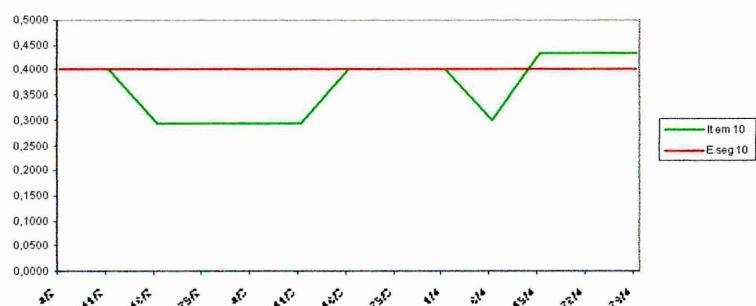


GRÁFICO 6 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITEM 11

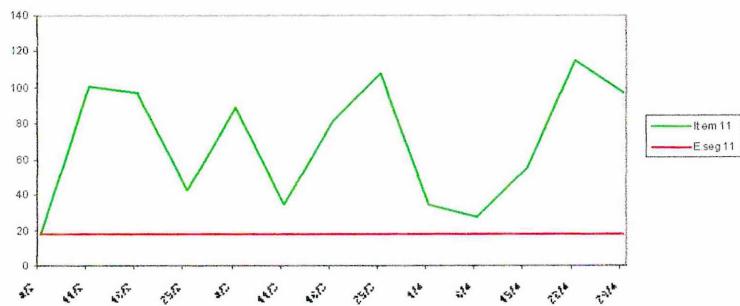


GRÁFICO 7 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITENS 12, 13, 16, 17 E 23

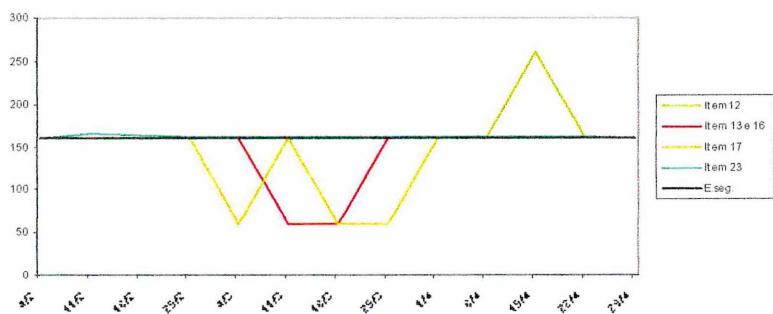
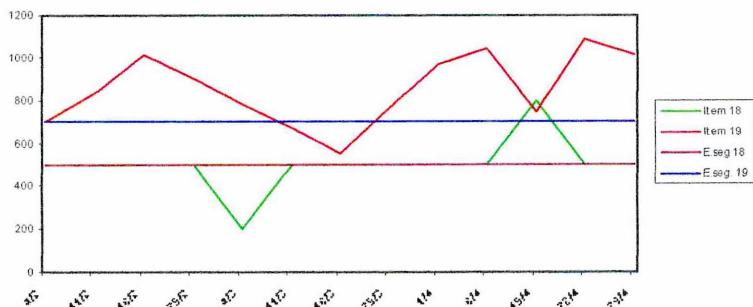


GRÁFICO 8 – NÍVEIS DO ESTOQUE NO INÍCIO DOS PERÍODOS, ITENS 18 E 19



No Anexo 3 podem ser visualizados os dados provenientes do SPEM, após o cálculo do MRP, do primeiro período (04/02/2002) e do último período (22/04/2002). O cálculo é apresentado por item da estrutura do produto Lapiseira.

Uma nova versão do problema foi simulada, acrescentando-se, no cálculo do MPS, a opção de se manter estoque de segurança de 200 unidades do produto Lapiseira. Este estoque, do produto acabado, visa atender as variações inesperadas da demanda não permitindo o atraso ou falta de produtos para clientes. Alterou-se

também o estoque de segurança dos itens 10 e 11, passando respectivamente para 50 e 100 unidades. As demais condições e dados do estudo permaneceram inalteradas.

Com a nova situação, os eventos gerados e os cálculos do MRP foram alterados. No Quadro 45 podem ser verificados os níveis do estoque em cada início de período. O MPS inicial pode ser verificado no Quadro 46. O SPEM evidenciou a necessidade de se tomar “procedimentos emergenciais”, em função de possíveis faltas de materiais causadas pela variação da demanda. Estes procedimentos estão listados no Quadro 47.

QUADRO 45 – NÍVEIS DOS ESTOQUES CALCULADOS PELO SPEM – SEGUNDA SIMULAÇÃO

| Item | Descrição               | Eseg | 04/Fev | 11/Fev   | 18/Fev   | 25/Fev   | 04/Mar   | 11/Mar    | 18/Mar    | 25/Mar   | 01/Abr   | 08/Abr   | 15/Abr    | 22/Abr   |
|------|-------------------------|------|--------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 1    | lápisreira p207         | 0    | 0      | 41       | 0        | 0        | 0        | 105       | 0         | 0        | 0        | 0        | 0         | 17       |
| 2    | corpo extremo 207       | 180  | 180    | 345      | 369      | 209      | 188      | 134       | 98        | 262      | 253      | 163      | 173       | 200      |
| 3    | plástico ABS pigmentado | 1,8  | 1,8    | 4,8      | 2,8      | 2,8      | 2,8      | 0,8000002 | 2,8       | 1,8      | 1,8      | 1,8      | 1,8       | 2,8      |
| 4    | corante azul            | 1,8  | 1,8    | 4,8      | 2,8      | 1,8      | 1,8      | 0,8000002 | 0,8000002 | 1,8      | 1,8      | 1,8      | 0,8000002 | 1,8      |
| 5    | presilha de bolso       | 180  | 180    | 345      | 269      | 209      | 188      | 134       | 198       | 262      | 253      | 163      | 273       | 200      |
| 6    | miolo 207               | 170  | 170    | 252      | 170      | 170      | 170      | 116       | 170       | 170      | 170      | 153      | 170       | 187      |
| 7    | borracha                | 170  | 170    | 293      | 170      | 170      | 170      | 80        | 170       | 170      | 170      | 136      | 170       | 187      |
| 8    | fio de borracha         | 3,4  | 3,4    | 6,740002 | 2,320002 | 3,4      | 4,476998 | 3,036999  | 3,4       | 3,4      | 3,4      | 2,38     | 3,4       | 3,74     |
| 9    | capa da borracha        | 170  | 170    | 293      | 170      | 170      | 170      | 80        | 170       | 170      | 170      | 136      | 170       | 187      |
| 10   | tira 0,1 mm             | 50   | 50     | 50,335   | 49,892   | 50       | 50,108   | 49,904    | 50        | 50       | 50       | 49,898   | 50        | 50,034   |
| 11   | miolo interno 207       | 100  | 100    | 306      | 340      | 125      | 125      | 35        | 99        | 90       | 117      | 110      | 120       | 80       |
| 12   | mola                    | 180  | 180    | 180      | 180      | 00       | 00       | 00        | 100       | 180      | 180      | 00       | 100       | 180      |
| 13   | corpo do miolo          | 180  | 180    | 180      | 180      | 80       | 00       | 100       | 100       | 180      | 180      | 00       | 100       | 180      |
| 14   | plástico ABS            | 1,2  | 1,2    | 1,009988 | 2,769999 | 2,200000 | 3,000000 | 1,800007  | 3,300007  | 2,800007 | 2,300007 | 3,800007 | 3,300007  | 2,700007 |
| 15   | corante preto           | 8    | 8      | 8        | 3        | 3        | 3        | 3         | 8         | 8        | 8        | 13       | 13        | 8        |
| 16   | suporte da garras       | 180  | 180    | 180      | 180      | 60       | 00       | 160       | 180       | 180      | 180      | 60       | 180       | 180      |
| 17   | capa da garras          | 180  | 180    | 180      | 180      | 180      | 180      | 180       | 180       | 180      | 180      | 60       | 180       | 200      |
| 18   | garras                  | 500  | 500    | 500      | 500      | 200      | 200      | 200       | 500       | 500      | 500      | 200      | 500       | 500      |
| 19   | grafite 0,7 mm          | 700  | 700    | 1324     | 1884     | 600      | 1000     | 740       | 606       | 760      | 968      | 1040     | 880       | 1020     |
| 20   | corpo da ponteira       | 170  | 170    | 252      | 293      | 170      | 170      | 116       | 80        | 170      | 170      | 163      | 138       | 187      |
| 21   | ponta da ponteira       | 170  | 170    | 252      | 170      | 170      | 170      | 118       | 170       | 170      | 170      | 153      | 170       | 187      |
| 22   | lâmpa                   | 170  | 170    | 252      | 170      | 170      | 170      | 118       | 170       | 170      | 170      | 153      | 170       | 187      |
| 23   | tira 0,2 mm             | 100  | 100    | 106,812  | 103,402  | 102,85   | 102,05   | 102,27    | 101,008   | 101,78   | 101,034  | 101,42   | 101,24    | 101,16   |

QUADRO 46 – CÁLCULO MPS PARA A SEMANA 04/02/2002 – SEGUNDA SIMULAÇÃO

| Data       | 04/Fev       | 11/Fev | 18/Fev | 25/Fev | 04/Mar | 11/Mar | 18/Mar | 25/Mar | 01/Abr | 08/Abr | 15/Abr | 22/Abr |       |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Parâmetros | Val-iniciais | sem1   | sem2   | sem3   | sem4   | sem5   | sem6   | sem7   | sem8   | sem9   | sem10  | sem11  | sem12 |
| Ft         | 0            | 1676   | 1676   | 1676   | 1660   | 1600   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531  |
| Ot         | 0            | 1717   | 1717   | 1717   | 1704   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     |
| It         | 200          | 159    | 118    | 77     | 33     | 200    | 200    | 200    | 200    | 200    | 200    | 200    | 200   |
| Qt (MPS)   | 0            | 1676   | 1676   | 1676   | 1660   | 1767   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531  |
| ATP        | 0            | 159    | 0      | 0      | 0      | 1767   | 1600   | 1600   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531   | 1531  |

QUADRO 47 – PROCEDIMENTOS EMERGENCIAIS INFORMADOS PELO SPEM – SEGUNDA SIMULAÇÃO

| <b>Semana do Alerta</b> | <b>Item</b> | <b>Qtde. a Ser Providenciada</b> | <b>Semana a ser Disponibilizado</b> | <b>Fornecedor</b> |
|-------------------------|-------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 25/Fev                  | 17          | 200                              | 25/Fev                              | compras           |
| 04/Mar                  | 13          | 200                              | 04/Mar                              | produção          |
|                         | 16          | 200                              | 04/Mar                              | compras           |
|                         | 17          | 200                              | 04/Mar                              | compras           |
| 08/Abr                  | 13          | 200                              | 08/Abr                              | produção          |
|                         | 16          | 200                              | 08/Abr                              | compras           |
|                         | 17          | 200                              | 08/Abr                              | compras           |

## 4 RESULTADOS E CONCLUSÃO

### 4.1 RESULTADOS

A aplicação do sistema de previsão do SPEM, gerou os valores listados nos Quadros de 3 a 12, 14 e 16, e foi possível verificar a eficiência das técnicas adotadas com base na análise dos erros RMSE, MAE e MAPE em comparação com as fontes de previsões apresentadas. A magnitude dos erros de previsão calculados, possibilitam afirmar que o módulo de previsão pode ser utilizado para gerar previsões das demandas e consequentemente facilitar a programação e o planejamento do processo produtivo. Assim, essas informações podem ser bem utilizadas na tomada de decisões estratégicas por parte da empresa.

A aplicação do SPEM diretamente aos dados do produto Lapiseira, apresentados no capítulo anterior (3.5), mostra o comportamento do programa, elaborando um planejamento de atividades a serem providenciadas (compra ou produção) ao longo de uma evolução de 12 semanas, período superior ao maior *lead time* acumulado na estrutura do produto em questão.

Nos Quadros 19 a 42 e 46 foram vistos os dados do MPS e eventos a serem realizados a cada semana. No Anexo 3, encontram-se os quadros com os cálculos do MRP, por item, da primeira e última semana.

Os problemas de faltas de materiais ou de produção, são relatados nos Quadros 43 e 47, os quais são alertados por mensagens, e que visam a realização de um procedimento emergencial e que não afetaria o atendimento de pedidos de clientes. Tais procedimentos emergenciais visam atendimentos que irão afetar o fornecimento em algumas semanas a frente, e que devido ao prazo ainda existente, podem ser corrigidos.

A utilização do simulador, reproduzindo o comportamento da série utilizada

gerando dados históricos até os dias atuais para o produto Lapiseira, apresentados no Anexo 2, foi de grande importância para a evolução do processo durante as doze semanas de acompanhamento.

O sistema SPEM foi programado com base na melhor visão futura possível (técnicas de previsão de séries temporais), sendo que outros dados dependem do cadastramento por parte da empresa, como variações e tamanho de lotes, formas de aquisição, ajuste dos tempos de entrega ou estabelecimento de estoques de segurança em função da confiabilidade de cada item em relação às situações em que se encontram (ex. confiabilidade dos fornecedores).

Diversas situações foram testadas com o SPEM, como: demandas com variações inesperadas, falta de material por atraso do fornecedor, problema de produção gerando falta de determinado item, pedidos cancelados gerando sobras de produtos acabados e outras situações características. Em todas as situações, o programa ajustou-se, e quando necessário informava a falta de materiais e solicitava procedimentos emergenciais. Quando da sobra de produtos, os mesmos permaneciam em estoque e as programações futuras eram revistas. Somente quando a falta do produto acabado, além do estoque de segurança mantido, ocorria na semana em curso ou na subsequente é que se apresentava um evento de difícil solução, gerando um impasse por não se ter tempo hábil para procedimentos especiais. Nesta situação não se dispunha de produto acabado em quantidade suficiente para atender a demanda solicitada. Porém, isto só se verificou quando se aceitou algum pedido extra ocasionando uma demanda maior que a prevista ou maior que os pedidos cadastrados com antecedência, o que caracteriza uma falha de planejamento e não do programa em si.

Nas simulações de situações possíveis de ocorrerem, verificou-se que as implicações de rever quantidades e eventos emergenciais, no caso de alterações da demanda da semana corrente e subsequentes, está relacionada ao *lead time* acumulado da estrutura do produto. Antes de aceitar novos pedidos, em um horizonte curto, deve-

se verificar a disponibilidade de materiais e a capacidade produtiva.

Percebeu-se que em ambientes onde a demanda variava muito, houve a necessidade de criar e até mesmo aumentar o estoque de segurança do produto final e dos itens componentes para evitar a falta de materiais (procedimentos emergenciais).

#### 4.2 CONCLUSÃO

O desempenho dos métodos automáticos de previsão de séries temporais atendeu a expectativa gerando resultados bons e confiáveis, obtendo colocação semelhante e até superior aos métodos mais complexos.

O SPEM demonstrou ser uma boa ferramenta para planejamento, simulação e programação da produção, baseados em técnicas científicas e não simplesmente em sentimentos ou experiências. Apesar do estudo ser baseado em uma situação simulada, demonstrou ser capaz de gerenciar um processo real.

A flexibilidade do SPEM permite uma aplicação dinâmica onde, em um processo real, continuamente necessita-se de ajustes. Eventos inesperados, problemas com fornecedores, quebras de máquinas, pedidos de última hora, mudança de estratégia de vendas e marketing e etc., devem ser informados e atualizados no sistema via MPS ou reprogramação de datas de eventos.

A responsabilidade por algumas decisões citadas neste trabalho, como estratégias de vendas, realização de previsões da demanda de produtos, planejamentos a longo prazo e outras, varia de empresa para empresa. Cada uma adota um modelo de gerenciamento comercial e da produção, bem como possui sua própria organização de setores. Normalmente são adequados ao modelo de administração ou ramo de atuação da empresa, sendo que atualmente a estruturas são revistas periodicamente visando maior agilidade perante o mercado.

Pôde-se notar a rígida relação entre necessidades (eventos) com prazos e

datas a serem cumpridas, sugerindo que os setores de produção sejam atuantes no sentido de atender prazos e quantidades solicitadas, e que fornecedores sejam realmente confiáveis, parceiros de negócios. Estes dois agentes são os principais influenciadores da confiabilidade do sistema MRP.

Variações da demanda de' produtos acabados, acima da quantidade já considerada no cálculo do MRP, podem causar a falta de produtos para atender solicitações de clientes. Cabe à empresa, em sua estratégia de vendas e marketing decidir se deve atender a novos pedidos, ou qual dos pedidos não serão atendidos nos prazos acordados. Sendo do interesse da empresa, pode-se adotar a manutenção de estoque de segurança do produto acabado, ou mesmo ampliá-lo, suprindo a demanda do mercado que pode possuir variações acentuadas. Isto visa aumentar o grau de atendimento aos clientes que em muitos mercados é fator determinante para a sobrevivência.

Apesar da simplicidade de operações disponibilizadas pelo sistema implementado, muitas empresas, principalmente de pequeno e médio porte, carecem de uma técnica mais confiável para auxiliar no gerenciamento da produção. Sistemas disponíveis no mercado, normalmente possuem recursos superiores aos programados no SPEM, porém o custo envolvido é muito grande para que pequenos e médios empresários possam adquirir.

Não se teve a pretensão de criar um programa para uso comercial, porém, no estágio que se encontra pode ser utilizado para auxiliar nas decisões e simulação de comportamentos de processos de fabricação. O SPEM necessita de algumas modificações para tornar a sua utilização mais prática. Entre elas, pode-se citar a limitação de preenchimento de campos, disponibilizar uma tela mais amigável para digitação de dados e criação e cadastro de novos produtos.

Uma vez que o cálculo do SPEM está baseado em informações, as mesmas devem ser mantidas atualizadas. Os registros da demanda de vendas, de estoques e de dados de produção devem estar corretos antes de ser recalculado o sistema. Um

problema que se deve levar em consideração, quando se migra de um controle tradicional para um sistema MRP, é a mudança da cultura dos funcionários que não percebendo a importância dos registros, podem gerar transtornos de falta ou até mesmo de excesso de produtos. O bom desempenho do sistema depende do compromisso de todos os funcionários envolvidos, em sua atualização constante e no cumprimento dos eventos gerados.

A implantação e inicialização do sistema MRP em uma empresa depende do cadastramento dos produtos com todos os seus itens componentes e toda a sua estrutura. Todos os registros de estoque bem como todos os eventos já emitidos e a emitir para as primeiras semanas (compras e ordens de produção), que devem ser cadastrados para que se possa calcular o MRP pela primeira vez. Além das dificuldades operacionais, a nova forma de trabalho requer esclarecimentos e treinamento para os funcionários que estarão diretamente ligados ao sistema. Sendo implantados os novos procedimentos, podem ocasionar desinformação e transtornos ao processo durante a transição.

Uma grande dificuldade na elaboração do estudo foi a falta de dados para implementação do SPEM a um caso real. Empresas contatadas não dispunham de dados, quer por não terem seus registros organizados com informações necessárias quer por considerá-los estratégicos e hesitaram em fornecê-los.

Sugere-se que o sistema de controle de materiais possa ser complementado com:

- implementação no sistema de previsão com o recente modelo *Theta Model*, ASSIMAKOPOULOS e NIKOLOPOULOS (2000);
- incorporação de restrições de capacidade às rotinas de cálculo do sistema MRP, visando o sistema MRP II;
- implementação de *lead times* variáveis em função do tamanho do lote e tratamento estatístico levando em consideração o histórico dos

atendimentos (compras de fornecedores ou em função da programação da produção para itens de produção), verificando a confiabilidade do fornecedor e dos prazos informados ao sistema;

- disponibilização de mais opções quanto a periodicidade dos registros, e possibilidade de cálculo dos *lead times* com unidades diárias;
- inclusão de controles de estoques, através de técnicas específicas, principalmente para itens de grande movimentação e utilização em diversos produtos;
- utilização de um algoritmo não linear para estimação de parâmetros dos modelos automáticos, em especial o HW que se apresentou como o mais lento computacionalmente;
- utilização do Método Bayesiano, como uma alternativa no sistema de previsão, por permitir a inserção de informações instantâneas e possibilitar a interferência de um especialista de forma ponderada.

## REFERÊNCIAS

- ADYA, M.; COLLOPY, F.; ARMSTRONG, J. S.; KENNEDY, M. Automatic identification of time series features for rule-based forecasting. **International Journal of Forecasting**, v. 17, p. 143-157, 2001.
- ALON, I.; QI, M.; SADOWSKI, R. J. Forecasting aggregate retail sales: a comparison of artificial neural network and traditional methods. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 8, p. 147-156, 2001.
- ARNOLD, J. R. T. **Administração de Materiais: Uma Introdução**, São Paulo: Atlas, 1999.
- ASSIMAKOPOULOS, V.; NIKOLOPOULOS, K. The theta model: decomposition approach to forecasting. **International Journal of Forecasting**, v. 16, p. 521-530, 2000.
- AWAD, A. M. Properties of the Akaike information criterion. **Microelectron. Reliab.**, v. 36, nr. 4, p. 457-464, 1996.
- BARAKAT, E. H. Modeling of nonstationary time-series data. Part II. Dynamic periodic trends. **Electrical Power & Energy Systems**, v. 23, p. 63-68, 2001.
- BENTON, W.C.; SHIN H. Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration. **European Journal of Operational Research**, v.110, p. 411-440, 1998.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis: forecasting and control**, Ed. Holden Day, 1976.
- CAVANAUGH, J. E. Unifying the derivations for the Akaike and corrected Akaike information criteria. **Statistics & Probability Letters**, v. 33, p. 201-208, 1997.
- CHAVES NETO, A. **Análise de Séries Temporais, Notas de Aula da Disciplina CE713**, Universidade Federal do Paraná, 2000
- CHAN, C. K.; KINGSMAN B. G.; WONG, H. The value of combining forecasting in inventory management – a case study in banking. **European Journal of Operational Research**, v. 117, p. 199-210, 1999.
- COGGER, K. O. The optimality of general-order exponential smoothing. **Operations Research**, v. 22, p. 858-867, 1974.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **Just in Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1993.

- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/EPR: conceitos, uso e implantação.** 3<sup>a</sup> ed. São Paulo : GIANESI CORRÊA & ASSOCIADOS: Atlas, 2000.
- DIAS, M. A. P. **Administração de Materiais:** edição compacta. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1995.
- DONSELAAR, K. H.; GUBBELS, B. J. How to release orders in order to minimise system inventory and system nervousness ? **Int. J. Production Economics**, v. 3b2v7, proeco: 2473, p. 1-9, 2001.
- DUCOTE, G.; MALSTROM E. M. A design of personnel scheduling software for manufacturing. **Computers & Industrial Engineering**, v. 37, p. 473-476, 1999.
- FERTSCH, M. A dynamic procedure for defining na order quantity. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 76, p. 276-278, 1998.
- GARDENER, E. S., JR. Exponential Smoothing: The State of theArt. **Journal of Forecasting**, v. 4, p. 1-28, 1985.
- GODOFREY, G. A.; POWELL, W. B. Adaptive estimation of daily demands with complex calendar effects for freight transportation. **Trasportation Research Part B**, v. 34, p. 451-469, 2000.
- GRUBB, H.; MASON, A. Long lead-time forecasting of UK air passengers by Holt-Winters methods with damped trend. **International Journal of Forecasting**, v. 17, p. 71-82, 2001.
- HO, J. C.; CHANG, Y. L. An integrated MRP and JIT framework. **Computers & Industrial Engineering**, v. 41, p. 173-185, 2001.
- HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B.; ORD, J. K.; SNYDER, R. D. Prediction intervals for exponential smoothing state space models. **Department of Econometrics and Business Statistics**, Monash University, Austrália, Working paper 11/01, 2001.
- HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B.; SNYDER, R. D.; GROSE, S. A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods. **Department of Econometrics and Business Statistics**, Monash University, Austrália, Working paper 09/00, agosto 2000.
- 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, p. 269-286, 2001.
- KELLE, P.; MILLER, P. A. Stockout risk and order splitting. **Int. J. Production Economics**, v. 71, p. 407-415, 2001.

- LAWTON, R. How should additive Holt-Winters estimates be corrected ?. **International Journal of Forecasting**, v. 14, p. 393-403, 1998.
- LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. **Biométrica**, v. 65- 2, p. 297-303, 1978.
- MAKRIDAKIS, S. ; HIBON, M. The M3-Competition: results, conclusions and implications. **International Journal of Forecasting**, v. 16, p. 451-476, 2000.
- MAKRIDAKIS, S. ; WHEELWRIGHT, S. C. ; McGEE, V. E. **Forecasting: Methods and Applications**. 2<sup>a</sup> ed.. Nova York: John Wile & Sons, 1983.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 1<sup>a</sup> ed.. São Paulo: Saraiva, 1999.
- MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M. de C. **Modelos Para Previsão de Séries Temporais**. In: Colóquio Brasileiro de Matemática, 13º, 1981, Poços de Caldas-MG, IMPA, Rio de Janeiro ,1981.
- NEMBHARD, H. B.; NEMBHARD, D. A. The use of Bayesian forecasting to make process adjustments during transitions. **European Journal of Operational Research**, v. 130, p. 437-448, 2001.
- OLIVEIRA, G. A. **Sistema de Controle e Otimização de Estoques Utilizando a Metodologia Box & Jenkins Para Séries Temporais**, Curitiba, 2002. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná.
- ORD, J. K., KOEHLER, A. B.; SNYDER, R. D. Estimation e prediction for a class of dynamic nonlinear statistical models. **Journal of the American Statistical Association**, v. 92, p. 1621-1629, 1997.
- PLENERT, G. Focusing material requirements planning (MRP) towards performance. **European Journal of Operational Research**, v. 119, p. 91-99, 1999.
- PERIN FILHO, C. **Introdução à Simulação de Sistemas**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1995.
- PROIETTI, T. Comparing seasonal components for structural time series models. **International Journal of Forecasting**, v. 16, p. 247-260, 2000.
- RAJOPADHYE, M.; GHALIA, M. B.; WANG, P. P.; BAKER, T.; EISTER, C. V. Forecasting uncertain hotel room demand. **Information Sciences**, v. 132, p. 1-11, 2001.

RODRIGUES, E.; GUEDES, E. Modelação AR de Sinais de EEG Usando Técnicas de Boostraping. Disponível em: <<http://red.lx.it.pt/~afred/EB99/bootstraping/index.html>> Acesso em: 15/02/02.

SEGURA, J. V.; VERCHER, E. A spreadsheet modeling approach to the Holt-Winters optimal forecasting. **European Journal of Operational Research**, v.131, p.375-388, 2001.

SIPPER, D.; BULFIN Jr., R. L. **Production, planning, control, and integration**. USA: McGraw-Hill, 1997.

SLACK N.; CHAMBERS, S.; HARLAND,C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1997.

SNYDER, R. D.; GROSE, S. Business forecasting with exponential smoothing: computation of prediction intervals. **Department of Econometrics and Business Statistics, Monash University**, Austrália, Working paper 11/96, set. 2001.

STATSOFT, INC. **Electronic Statistic Textbook**. Tulsa, OK: Statsoft, 1999. Web: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome/html>.

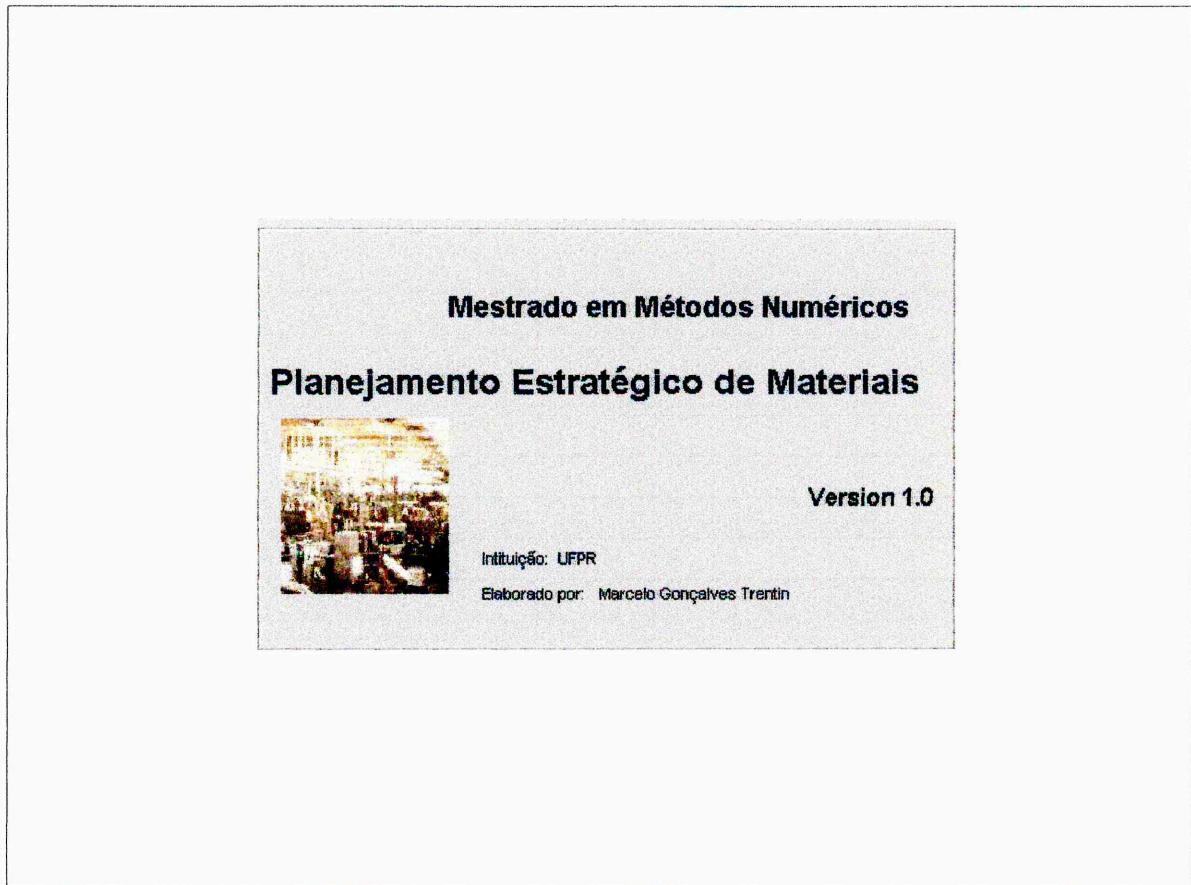
THURY, G.; STEPHEN, F. W. Forecasting Industrial Production Using Structural Time Series Models. **Omega, Int. J. Mgmt Sci.**, Grã-Bretanha, v. 26, n. 6, p. 751-767, 1998.

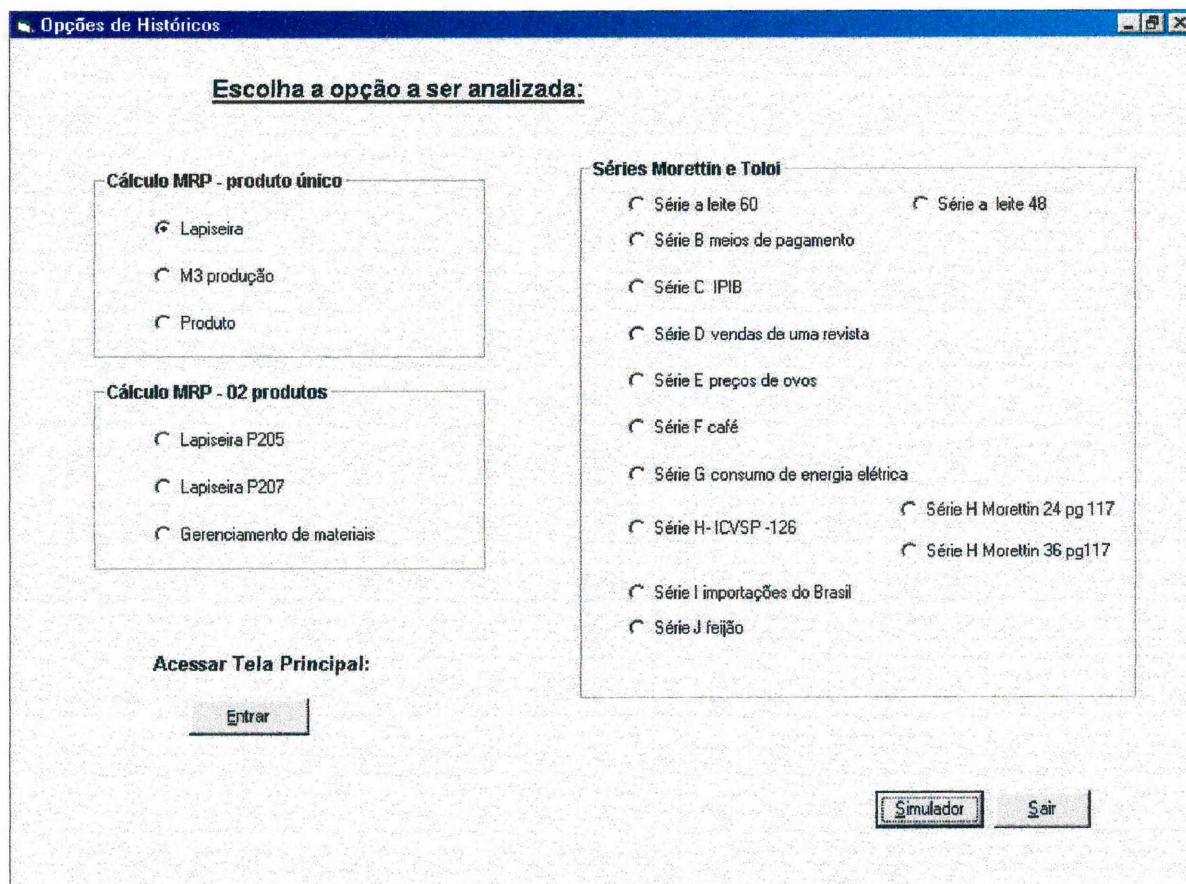
WANKE, P.; FLEURY, P. F. O paradigma do ressuprimento enxuto: armadilha na gestão do fluxo de materiais entre elos da cadeia de suprimentos. Disponível em: <<http://www.informal.com.br/artigos/artigos.htm>> Acesso em: 24/04/01.

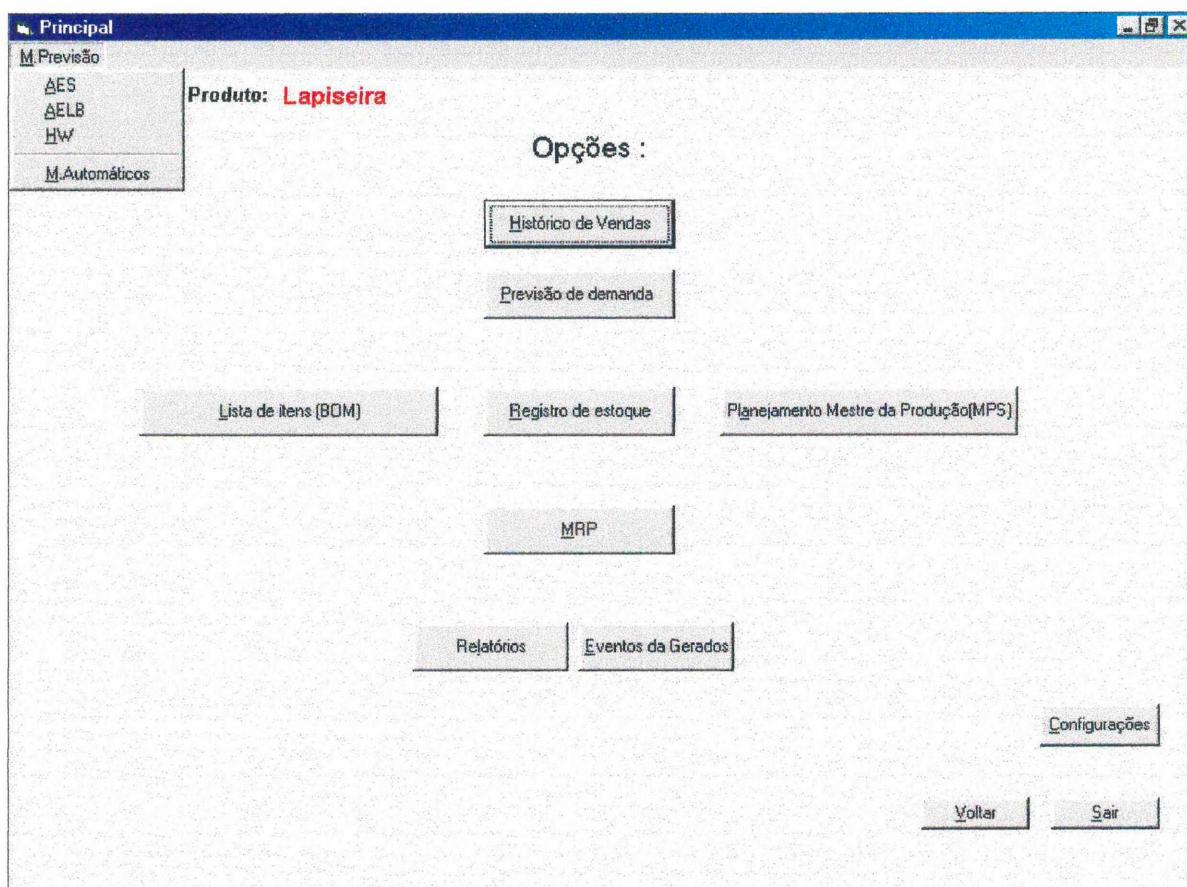
WHEELWRIGHT, S. C.; MARKIDRAKIS, S. **Forecasting Methods for Management**. 4<sup>a</sup> ed. , Nova York: John Wiley & Sons Inc., 1985

WILLIAMS, D. W.; MILLER, D. Level-adjusted exponential smoothing for modeling planned discontinuities. **International Journal of Forecasting**, v. 15, p. 273-289, 1999.

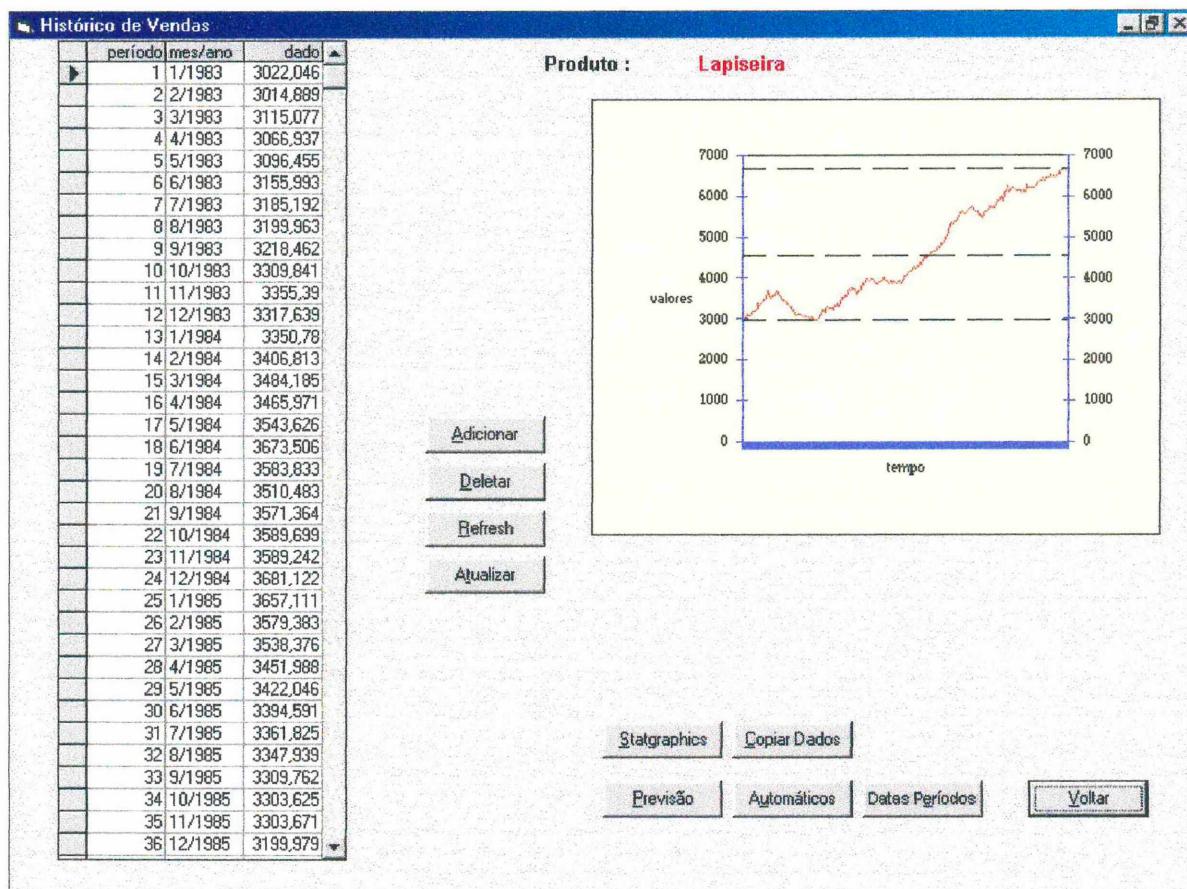
ANEXO 1 – Telas do SPEM

ANEXO 1 - Tela *Incial* - SPEM - continua

ANEXO 1 - Tela *Opções de Históricos* - SPEM - continuação

ANEXO 1 - Tela *Principal* - SPEM - continuaçāo

## ANEXO 1 - Tela Histórico de Vendas – SPEM - continuação



## ANEXO 1 - Tela Previsão da Demanda - SPEM - continuação

**Previsão de Demanda**

Produto : Lapiseira

Previsões mensais

Previsões de estoque

03 períodos a frente  
 04 períodos a frente  
 Definir o período :

Melhor Ajuste: Brown

| Int. Conf. 95% | Previsão | Int. Conf. +95% |
|----------------|----------|-----------------|
| 6566           | 6702,166 | 6818            |
| 6539           | 6720,106 | 6901            |
| 6507           | 6738,045 | 6989            |

Previsões realizadas:

| data     | prev1    | prev2    | prev3    | prev4 | prev5 | prev6 | prev7 | prev8 |
|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 04/02/02 | 6702,166 | 6720,106 | 6738,045 |       |       |       |       |       |
| 11/02/02 | 6702,166 | 6720,106 | 6738,045 |       |       |       |       |       |
| 18/02/02 | 6702,166 | 6720,106 | 6738,045 |       |       |       |       |       |
| 25/02/02 | 6702,166 | 6720,106 | 6738,045 |       |       |       |       |       |
| 04/03/02 | 6869,35  | 6920,869 | 6972,389 |       |       |       |       |       |
| 11/03/02 | 6869,35  | 6920,869 | 6972,389 |       |       |       |       |       |
| 18/03/02 | 6869,35  | 6920,869 | 6972,389 |       |       |       |       |       |
| 25/03/02 | 6869,35  | 6920,869 | 6972,389 |       |       |       |       |       |
| 01/04/02 | 6993,802 | 7062,468 | 7131,135 |       |       |       |       |       |
| 08/04/02 | 6993,802 | 7062,468 | 7131,135 |       |       |       |       |       |

Dias Úteis e dem. mediária

**ANEXO 1 - Tela Planejamento Mestre da Produção (MPS) – SPEM**  
continuação

**\*. Plano Mestre de Produção (MPS)**

**Produto: Lapiseira**

|                         | 04/02 | 11/02 | 18/02 | 25/02 | 04/03 | 11/03 | 18/03 | 25/03 | 01/04 | 08/04 | 15/04 | 22/04 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Parâmetros Val iniciais | sem1  | sem2  | sem3  | sem4  | sem5  | sem6  | sem7  | sem8  | sem9  | sem10 | sem11 | sem12 |
| Ft                      | 1636  | 1636  | 1636  | 1636  | 1573  | 1573  | 1573  | 1539  | 1516  | 1516  | 1516  | 1516  |
| Ot                      | 1654  | 1654  | 1654  | 1654  | 1573  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| It                      | 106   | 88    | 70    | 52    | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   |
| Qt (MPS)                | 1600  | 1636  | 1636  | 1636  | 1621  | 1573  | 1573  | 1539  | 1516  | 1516  | 1516  | 1516  |
| ATP                     | 106   | 88    | 0     | 0     | 108   | 1573  | 1573  | 1539  | 1516  | 1516  | 1516  | 1516  |
| *                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**Legenda**

- Ft - Previsão para a semana t.
- Ot - Pedidos firmes para sem. t
- It - Estoque planejado p/ sem. t
- Qt - Qtde. a ser produzida
- ATP - Disponível para promessa

**Forma de produção**

lote a lote      Estoque de segurança:

lote específico

**Atualização Demanda Semanal**

**Cálculo It e Qt**

**Recálculo de It's (Qt's editados)**

**Cálculo do ATP**

**Progressão semanal**

**Voltar**

ANEXO 1 - Tela *Lista de Itens (BOM)* - SPEM - continuaçāo

**Lista de Itens (BOM)**

**Produto:** Lapiseira

| item | nível | par | descrição               | unidade | compra | qtde/produto | lead time(sem) | qtde requisitada |
|------|-------|-----|-------------------------|---------|--------|--------------|----------------|------------------|
| 1    | 0     | -1  | lapiseira p207          | pç      | LIQ    | 1            | 1              | LL               |
| 2    | 1     | 1   | corpo externo 207       | pç      | MULT   | 1            | 2              | 100              |
| 3    | 2     | 2   | plástico ABS pigmentado | kg      | MULT   | 0,01         | 1              | 2                |
| 4    | 2     | 2   | corante azul            | g       | MIN    | 0,01         | 2              | 3                |
| 5    | 1     | 1   | presilha de bolso       | pç      | MULT   | 1            | 1              | 100              |
| 6    | 1     | 1   | miolo 207               | pç      | LIQ    | 1            | 1              | LL               |
| 7    | 2     | 6   | borracha                | pç      | LIQ    | 1            | 1              | LL               |
| 8    | 3     | 7   | fio de borracha         | m       | MIN    | 0,02         | 1              | 5                |
| 9    | 2     | 6   | capa da borracha        | pç      | LIQ    | 1            | 1              | LL               |
| 10   | 3     | 9   | tira 0,1 mm             | kg      | MIN    | 0,002        | 1              | 3                |
| 11   | 2     | 6   | miolo interno 207       | pç      | MULT   | 1            | 3              | 100              |
| 12   | 3     | 11  | mola                    | pç      | MULT   | 1            | 1              | 100              |
| 13   | 3     | 11  | corpo do miolo          | pç      | LIQ    | 1            | 2              | LL               |
| 14   | 4     | 13  | plástico ABS            | kg      | MULT   | 0,007        | 1              | 2                |
| 15   | 4     | 13  | corante preto           | g       | MIN    | 0,05         | 2              | 3                |
| 16   | 3     | 11  | suporte da garra        | pç      | MIN    | 1            | 2              | 50               |
| 17   | 3     | 11  | capa da garra           | pç      | MIN    | 1            | 3              | 50               |
| 18   | 3     | 11  | garras                  | pç      | MIN    | 3            | 1              | 50               |
| 19   | 2     | 6   | grafite 0,7 mm          | un      | MULT   | 4            | 2              | 500              |
| 20   | 1     | 1   | corpo da ponteira       | pç      | LIQ    | 1            | 2              | LL               |
| 21   | 1     | 1   | guia da ponteira        | pç      | MIN    | 1            | 1              | 50               |
| 22   | 1     | 1   | tampa                   | pç      | LIQ    | 1            | 1              | LL               |
| 23   | 2     | 22  | tira 0,2 mm             | kg      | MIN    | 0,002        | 1              | 3                |

**Legenda:**

Compras: LIQ - Lote Líquido  
MIN - Lote Mínimo  
MULT - Lote Múltiplo

Qtde. Requisitada: LL - Quantidade exata ou tamanho do lote

**ANEXO 1 - Tela Planejamento do Requisitos de Materiais (MRP) - SPEM**  
continuação

| Planejamento dos Requisitos de Materiais (MRP) |                        |          |      |      |      |      |      |      |
|--|------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|
| Produto: Lapiseira                             |                        |          |      |      |      |      |      |      |
| item   | pai dados              | corrente | sem1 | sem2 | sem3 | sem4 | sem5 | sem6 |
| 1  | -1 Necessidades Bruta: | 0        | 1636 | 1636 | 1636 | 1621 | 1573 | 1573 |
|  | Recebimentos Progr.:   | 0        | 1636 | 1636 | 0    | 0    | 0    | 0    |
|  | Estoque Planejado      | 0        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|  | Necessidades Líquid.   | 0        | 0    | 0    | 1636 | 1621 | 1573 | 1573 |
|  | Recebimentos Plane.    | 0        | 0    | 0    | 1636 | 1621 | 1573 | 1573 |
|  | Emissão de Ordens F:   | 0        | 0    | 1636 | 1621 | 1573 | 1573 | 1573 |
|  | XXXXXXXXXXXXXX         |          |      |      |      |      |      |      |
| 2  | 1 Necessidades Bruta:  | 0        | 1636 | 1636 | 1681 | 1573 | 1573 | 1573 |
|  | Recebimentos Progr.:   | 0        | 1700 | 1600 | 1700 | 0    | 0    | 0    |
|  | Estoque Planejado      | 206      | 270  | 234  | 253  | 180  | 207  | 234  |
|  | Necessidades Líquid.   | 0        | 0    | 0    | 0    | 1500 | 1753 | 1753 |
|  | Recebimentos Plane.    | 0        | 0    | 0    | 0    | 1500 | 1600 | 1600 |
|  | Emissão de Ordens F:   | 0        | 0    | 1500 | 1600 | 1600 | 1500 | 1600 |
|  | XXXXXXXXXXXXXX         |          |      |      |      |      |      |      |
| 3  | 2 Necessidades Bruta:  | 0        | 17   | 15   | 16   | 16   | 15   | 16   |
|  | Recebimentos Progr.:   | 0        | 16   | 16   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|  | Estoque Planejado      | 1,8      | 0,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 2,8  | 2,8  |
|  | Necessidades Líquid.   | 0        | 1    | 0    | 16   | 17,8 | 16,8 | 17,8 |
|  | Recebimentos Plane.    | 0        | 0    | 0    | 16   | 16   | 16   | 16   |
|  | Emissão de Ordens F:   | 0        | 0    | 16   | 16   | 16   | 16   | 14   |
|  | XXXXXXXXXXXXXX         |          |      |      |      |      |      |      |
| 4  | 2 Necessidades Bruta:  | 0        | 17   | 15   | 16   | 16   | 15   | 16   |
|  | Recebimentos Progr.:   | 0        | 16   | 16   | 16   | 0    | 0    | 0    |
|  | Estoque Planejado      | 1,8      | 0,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  |
|  | Necessidades Líquid.   | 0        | 1    | 0    | 0    | 16   | 16,8 | 17,8 |
|  | Recebimentos Plane.    | 0        | 0    | 0    | 0    | 16   | 15   | 16   |
|  | Emissão de Ordens F:   | 0        | 0    | 16   | 15   | 16   | 15   | 15   |
|  | XXXXXXXXXXXXXX         |          |      |      |      |      |      |      |

Gerar/Adicionar
Atualizar Eventos
Proc. Emergenciais

Refresh
Apagar
Voltar

## ANEXO 1 - Tela Registro de Estoques - SPEM - continuação

**Registro de Estoque**

**Produto:** Lapiseira

| item | descrição           | unidade | est/actual | eseg |
|------|---------------------|---------|------------|------|
| 1    | lapiseira p207      | pç      | 0          | 0    |
| 2    | corpo externo 207   | pç      | 206        | 180  |
| 3    | plástico ABS pigmen | kg      | 1,8        | 1,8  |
| 4    | corante azul        | g       | 1,8        | 1,8  |
| 5    | presilha de bolso   | pç      | 206        | 180  |
| 6    | miolo 207           | pç      | 134        | 170  |
| 7    | borracha            | pç      | 260        | 170  |
| 8    | fio de borracha     | m       | 4,48       | 3,4  |
| 9    | capa da borracha    | pç      | 260        | 170  |
| 10   | tira 0,1 mm         | kg      | 0,5089997  | 0,4  |
| 11   | miolo interno 207   | pç      | 107        | 100  |
| 12   | mola                | pç      | 60         | 160  |
| 13   | corpo do miolo      | pç      | 160        | 160  |
| 14   | plástico ABS        | kg      | 2,599998   | 1,2  |
| 15   | corante preto       | g       | 8          | 8    |
| 16   | suporte da garra    | pç      | 160        | 160  |
| 17   | capa da garra       | pç      | 160        | 160  |
| 18   | gaiolas             | pç      | 200        | 500  |
| 19   | grafite 0,7 mm      | un      | 1028       | 700  |
| 20   | corpo da ponteira   | pç      | 134        | 170  |
| 21   | guia da ponteira    | pç      | 134        | 170  |
| 22   | tampa               | pç      | 134        | 170  |
| 23   | tira 0,2 mm         | kg      | 162,414    | 160  |
| *    |                     |         |            |      |

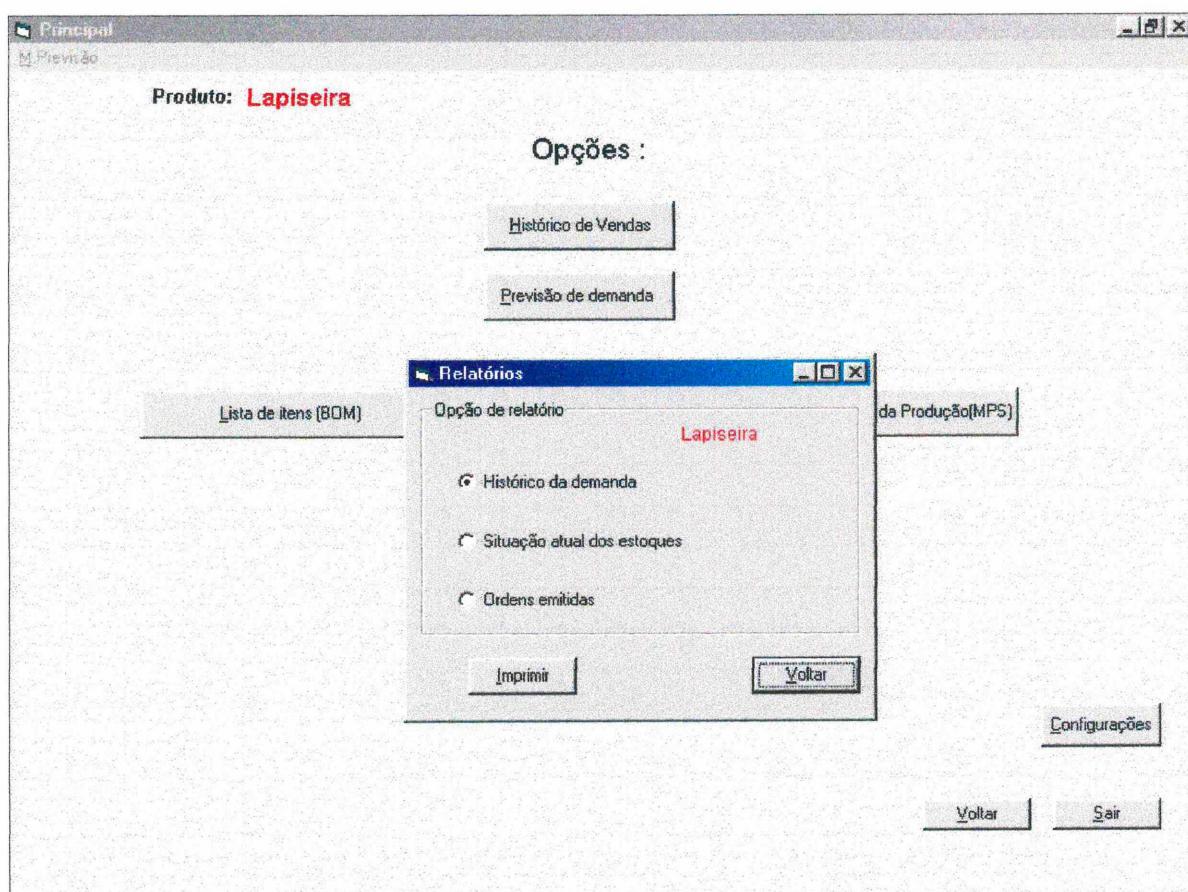
[Refresh](#) | [Update](#) | [Volver](#)

## ANEXO 1 - Tela Eventos Gerados - SPEM - continuação

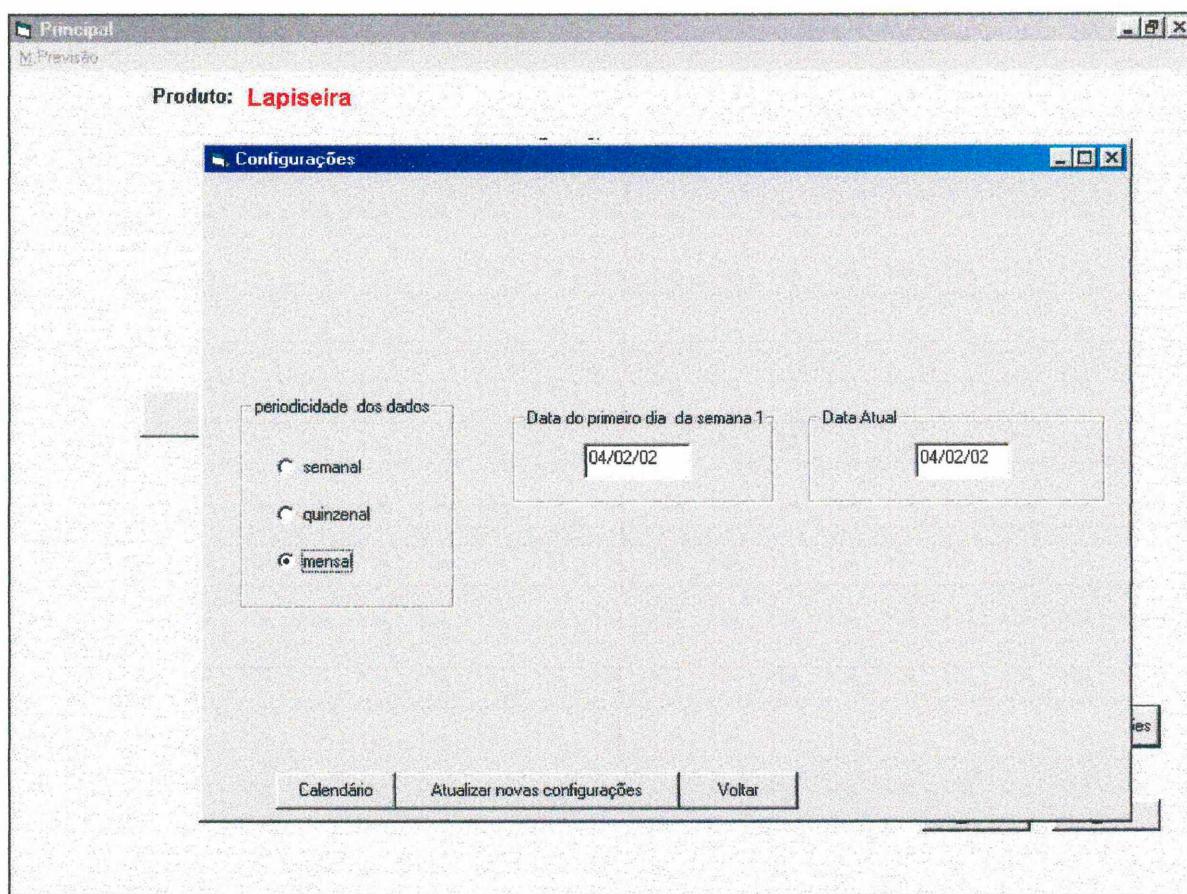
| Eventos Gerados    |      |                         |         |             |            |              |              |
|--------------------|------|-------------------------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|
| Produto: Lapiseira |      |                         |         |             |            |              |              |
| número solicitação | item | descrição               | unidade | qtde/pedido | fornecedor | data/chegada | data/emissão |
|                    | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1827        | produzido  | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1600        | produzido  | 04/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 4    | corante azul            | g       | 17          | comprado   | 04/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1600        | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 6    | miolo 207               | pç      | 1600        | produzido  | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 7    | borracha                | pç      | 1600        | produzido  | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 8    | rio de borracha         | m       | 33,08       | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 9    | capa da borracha        | pç      | 1600        | produzido  | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 10   | tira 0,1 mm             | kg      | 3,309       | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 11   | miolo interno 207       | pç      | 1700        | produzido  | 11/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 12   | mola                    | pç      | 1600        | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 13   | corpo do miolo          | pç      | 1700        | produzido  | 04/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 14   | plástico ABS            | kg      | 12          | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 15   | corante preto           | g       | 80          | comprado   | 04/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 16   | suporte da garra        | pç      | 1700        | comprado   | 04/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 17   | capa da garra           | pç      | 1600        | comprado   | 11/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 18   | garras                  | pç      | 4800        | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 19   | grafite 0,7 mm          | un      | 6500        | comprado   | 04/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 20   | corpo da ponteira       | pç      | 1600        | comprado   | 04/03/02     | 18/02/02     |
|                    | 21   | guia da ponteira        | pç      | 1600        | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 22   | tampa                   | pç      | 1600        | produzido  | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 23   | tira 0,2 mm             | kg      | 3           | comprado   | 25/02/02     | 18/02/02     |
|                    | 1    | lapiseira p207          | pç      | 1600        | produzido  | 04/03/02     | 25/02/02     |
|                    | 2    | corpo externo 207       | pç      | 1700        | produzido  | 11/03/02     | 25/02/02     |
|                    | 3    | plástico ABS pigmentado | kg      | 16          | comprado   | 04/03/02     | 25/02/02     |
|                    | 4    | corante azul            | g       | 16          | comprado   | 11/03/02     | 25/02/02     |
|                    | 5    | presilha de bolso       | pç      | 1600        | comprado   | 04/03/02     | 25/02/02     |
|                    | 6    | miolo 207               | pç      | 1600        | produzido  | 04/03/02     | 25/02/02     |

[Add](#)[Refresh](#)[Update](#)[Delete](#)[Retirar ordens anteriores à semana 1](#)[Histórico](#)[Voltar](#)

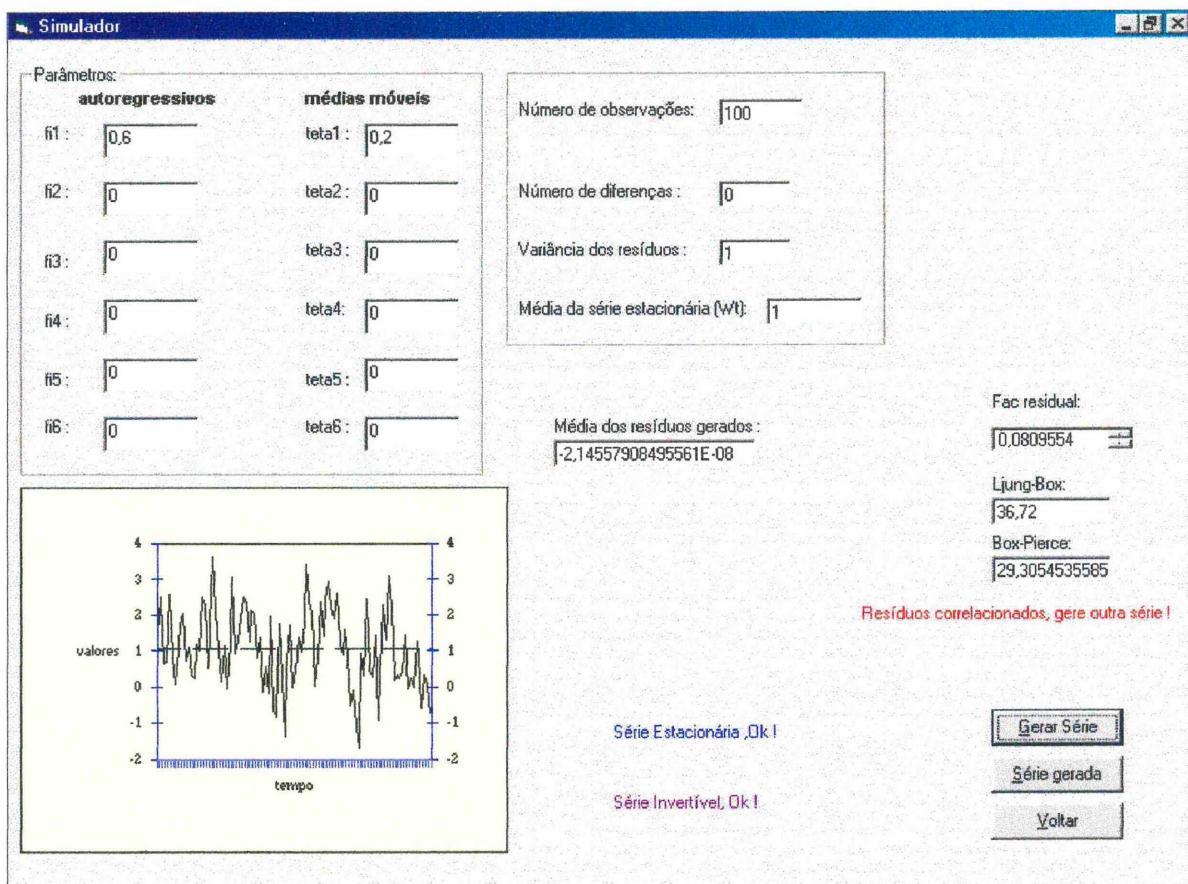
## ANEXO 1 - Tela Relatórios - SPEM - continuaçāo



## ANEXO 1 - Tela Configurações - SPEM - continuaçāo



## ANEXO 1 - Tela Simulador - SPEM - continuaçāo



## ANEXO 1 - Tela Calendário – SPEM

- continuação

|   | data     | dia     | útil |
|---|----------|---------|------|
| ► | 01/01/01 | segunda | sim  |
|   | 02/01/01 | terça   | sim  |
|   | 03/01/01 | quarta  | sim  |
|   | 04/01/01 | quinta  | sim  |
|   | 05/01/01 | sexta   | sim  |
|   | 06/01/01 | sábado  | não  |
|   | 07/01/01 | domingo | não  |
|   | 08/01/01 | segunda | sim  |
|   | 09/01/01 | terça   | sim  |
|   | 10/01/01 | quarta  | sim  |
|   | 11/01/01 | quinta  | sim  |
|   | 12/01/01 | sexta   | sim  |
|   | 13/01/01 | sábado  | não  |
|   | 14/01/01 | domingo | não  |
|   | 15/01/01 | segunda | sim  |
|   | 16/01/01 | terça   | sim  |
|   | 17/01/01 | quarta  | sim  |
|   | 18/01/01 | quinta  | sim  |
|   | 19/01/01 | sexta   | sim  |
|   | 20/01/01 | sábado  | não  |
|   | 21/01/01 | domingo | não  |
|   | 22/01/01 | segunda | sim  |
|   | 23/01/01 | terça   | sim  |
|   | 24/01/01 | quarta  | sim  |
|   | 25/01/01 | quinta  | sim  |
|   | 26/01/01 | sexta   | sim  |
|   | 27/01/01 | sábado  | não  |
|   | 28/01/01 | domingo | não  |
|   | 29/01/01 | segunda | sim  |
|   | 30/01/01 | terça   | sim  |
|   | 31/01/01 | quarta  | sim  |
| ◀ | 01/02/01 | quinta  | sim  |

## ANEXO 1 - Tela M. Automáticos – SPEM - conclusão

**Métodos Automáticos**

**Série a leite 60**

|                          |        | Últimos 12 valores reais |     |        |            | Ajuste com todas as observações |           |            |                |           |                |                |
|--------------------------|--------|--------------------------|-----|--------|------------|---------------------------------|-----------|------------|----------------|-----------|----------------|----------------|
| <b>Seleção Histórico</b> | 12     | 149,28                   | AES |        | 149,28     | alpha ótimo                     | 0,9899994 | Brown      | alpha ótimo    | 0,7899995 | Holt - Winters | A,C e D ótimos |
|                          | 149,76 |                          |     | 145,27 | melhor eqm | 59,0880482391536                |           | melhor eqm | 61,69088680186 |           | melhor eqm     | 0,4            |
|                          | 142,8  |                          |     | 132,88 |            |                                 |           |            |                |           |                | 0,1            |
|                          | 129,91 |                          |     | 129,91 |            |                                 |           |            |                |           |                | 0,1            |
|                          | 127,5  |                          |     | 134,06 |            |                                 |           |            |                |           |                |                |
|                          | 135,97 |                          |     | 135,97 |            |                                 |           |            |                |           |                |                |
|                          | 138,43 |                          |     | 138,43 |            |                                 |           |            |                |           |                |                |
|                          | 144,82 |                          |     | 144,82 |            |                                 |           |            |                |           |                |                |
|                          | 151,56 |                          |     | 151,56 |            |                                 |           |            |                |           |                |                |
|                          |        |                          |     |        | AES        |                                 |           |            | AELB           |           |                | H.W.           |
|                          |        |                          |     |        |            |                                 |           |            |                |           |                |                |
|                          |        |                          |     |        |            |                                 |           |            |                |           |                |                |
|                          |        |                          |     |        |            |                                 |           |            |                |           |                |                |

**Previsões Últimos 12 Valores da Série**

| AES              |          |                  | Brown            |          |                  | H-Winters        |          |                  |
|------------------|----------|------------------|------------------|----------|------------------|------------------|----------|------------------|
| Int. Conf. - 95% | Previsão | Int. Conf. + 95% | Int. Conf. - 95% | Previsão | Int. Conf. + 95% | Int. Conf. - 95% | Previsão | Int. Conf. + 95% |
| 136,0568         | 151,1231 | 166,1893         | 143,896763506    | 159,3761 | 174,855342205    | 147,816665079    | 161,5492 | 175,2818151447   |
| 129,9224         | 151,1231 | 172,3237         | 143,492273032    | 167,6717 | 191,851080239    | 148,818842733    | 164,4436 | 180,0683642979   |
| 125,2012         | 151,1231 | 177,0449         | 145,095564826    | 175,9673 | 206,839005485    | 135,720349067    | 152,1155 | 168,5106689985   |
| 121,2162         | 151,1231 | 181,0299         | 147,580029409    | 184,2629 | 220,945788461    | 128,714816483    | 146,769  | 164,8232694543   |
| 117,7031         | 151,1231 | 184,543          | 150,568971788    | 192,5585 | 234,548063123    | 121,573081165    | 141,4295 | 161,2659886591   |
| 114,5257         | 151,1231 | 187,7204         | 153,882915542    | 200,8541 | 247,825336410    | 113,170142597    | 134,6733 | 156,1763845024   |
| 111,6029         | 151,1231 | 190,6432         | 157,420471280    | 209,1497 | 260,879028231    | 105,709378057    | 129,008  | 152,3066741886   |
| 108,8819         | 151,1231 | 193,3643         | 161,118120101    | 217,4454 | 273,772626968    | 99,9380028689    | 125,394  | 150,8500067746   |
| 106,3258         | 151,1231 | 195,9203         | 164,933211016    | 225,741  | 286,548753094    | 99,8383202766    | 129,1162 | 158,3940710808   |
| 103,9079         | 151,1231 | 198,3382         | 168,835656306    | 234,0366 | 299,237524846    | 100,795235221    | 134,7042 | 168,6131204914   |
| 101,608          | 151,1231 | 200,6382         | 172,803400656    | 242,3322 | 311,861028054    | 103,113627871    | 142,7841 | 182,4546399504   |
| 99,4102          | 151,1231 | 202,8359         | 176,819730315    | 250,6278 | 324,435915435    | 107,154097629    | 154,1787 | 201,2032632104   |

Erro de previsão:  
180,952944946184

Erro de previsão:  
5151,76377448754

Erro de previsão:  
56,147681503522

AES AELB HW Voltar

ANEXO 2 – Valores Gerados Via Simulador

## ANEXO 2 - Valores Gerados Via Simulador - Demanda Lapiseira - continua

| Período | Mes/Año | Demanda  | Período | Mes/Año | Demanda  |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| 1       | 1/1983  | 3022,046 | 61      | 1/1988  | 3274,872 |
| 2       | 2/1983  | 3014,889 | 62      | 2/1988  | 3276,765 |
| 3       | 3/1983  | 3115,077 | 63      | 3/1988  | 3248,107 |
| 4       | 4/1983  | 3066,937 | 64      | 4/1988  | 3240,379 |
| 5       | 5/1983  | 3096,455 | 65      | 5/1988  | 3324,032 |
| 6       | 6/1983  | 3155,993 | 66      | 6/1988  | 3288,522 |
| 7       | 7/1983  | 3185,192 | 67      | 7/1988  | 3349,76  |
| 8       | 8/1983  | 3199,963 | 68      | 8/1988  | 3292,692 |
| 9       | 9/1983  | 3218,462 | 69      | 9/1988  | 3411,038 |
| 10      | 10/1983 | 3309,841 | 70      | 10/1988 | 3496,902 |
| 11      | 11/1983 | 3355,39  | 71      | 11/1988 | 3505,049 |
| 12      | 12/1983 | 3317,639 | 72      | 12/1988 | 3579,973 |
| 13      | 1/1984  | 3350,78  | 73      | 1/1989  | 3549,309 |
| 14      | 2/1984  | 3406,813 | 74      | 2/1989  | 3681,772 |
| 15      | 3/1984  | 3484,185 | 75      | 3/1989  | 3725,811 |
| 16      | 4/1984  | 3465,971 | 76      | 4/1989  | 3682,903 |
| 17      | 5/1984  | 3543,626 | 77      | 5/1989  | 3747,408 |
| 18      | 6/1984  | 3673,506 | 78      | 6/1989  | 3712,449 |
| 19      | 7/1984  | 3583,833 | 79      | 7/1989  | 3721,566 |
| 20      | 8/1984  | 3510,483 | 80      | 8/1989  | 3635,655 |
| 21      | 9/1984  | 3571,364 | 81      | 9/1989  | 3641,081 |
| 22      | 10/1984 | 3589,699 | 82      | 10/1989 | 3678,038 |
| 23      | 11/1984 | 3589,242 | 83      | 11/1989 | 3675,437 |
| 24      | 12/1984 | 3681,122 | 84      | 12/1989 | 3759,606 |
| 25      | 1/1985  | 3657,111 | 85      | 1/1990  | 3872,209 |
| 26      | 2/1985  | 3579,383 | 86      | 2/1990  | 3836,054 |
| 27      | 3/1985  | 3538,376 | 87      | 3/1990  | 3951,678 |
| 28      | 4/1985  | 3451,988 | 88      | 4/1990  | 3973,29  |
| 29      | 5/1985  | 3422,046 | 89      | 5/1990  | 3952,83  |
| 30      | 6/1985  | 3394,591 | 90      | 6/1990  | 3953,455 |
| 31      | 7/1985  | 3361,825 | 91      | 7/1990  | 3965,739 |
| 32      | 8/1985  | 3347,939 | 92      | 8/1990  | 3989,135 |
| 33      | 9/1985  | 3309,762 | 93      | 9/1990  | 3957,697 |
| 34      | 10/1985 | 3303,625 | 94      | 10/1990 | 3876,247 |
| 35      | 11/1985 | 3303,671 | 95      | 11/1990 | 3867,267 |
| 36      | 12/1985 | 3199,979 | 96      | 12/1990 | 3921,088 |
| 37      | 1/1986  | 3160,406 | 97      | 1/1991  | 3909,095 |
| 38      | 2/1986  | 3063,608 | 98      | 2/1991  | 3930,128 |
| 39      | 3/1986  | 3123,369 | 99      | 3/1991  | 4014,296 |
| 40      | 4/1986  | 3102,701 | 100     | 4/1991  | 4028,029 |
| 41      | 5/1986  | 3103,035 | 101     | 5/1991  | 3929,86  |
| 42      | 6/1986  | 3067,676 | 102     | 6/1991  | 3890,627 |
| 43      | 7/1986  | 3026,093 | 103     | 7/1991  | 3879,059 |
| 44      | 8/1986  | 3064,37  | 104     | 8/1991  | 3929,462 |
| 45      | 9/1986  | 3025,549 | 105     | 9/1991  | 3895,536 |
| 46      | 10/1986 | 3045,206 | 106     | 10/1991 | 3884,448 |
| 47      | 11/1986 | 3025,129 | 107     | 11/1991 | 3945,577 |
| 48      | 12/1986 | 3032,147 | 108     | 12/1991 | 3909,265 |
| 49      | 1/1987  | 3058,393 | 109     | 1/1992  | 3879,714 |
| 50      | 2/1987  | 2972,351 | 110     | 2/1992  | 3901,343 |
| 51      | 3/1987  | 2977,21  | 111     | 3/1992  | 3942,242 |
| 52      | 4/1987  | 2970,923 | 112     | 4/1992  | 3884,287 |
| 53      | 5/1987  | 2991,353 | 113     | 5/1992  | 3913,005 |
| 54      | 6/1987  | 3096,538 | 114     | 6/1992  | 4062,906 |
| 55      | 7/1987  | 3155,159 | 115     | 7/1992  | 4044,844 |
| 56      | 8/1987  | 3226,93  | 116     | 8/1992  | 4090,785 |
| 57      | 9/1987  | 3202,943 | 117     | 9/1992  | 4111,458 |
| 58      | 10/1987 | 3156,652 | 118     | 10/1992 | 4146,075 |
| 59      | 11/1987 | 3242,549 | 119     | 11/1992 | 4155,538 |
| 60      | 12/1987 | 3281,432 | 120     | 12/1992 | 4218,167 |

**ANEXO 2 - Valores Gerados Via Simulador - Demanda Lapiseira**  
**continuação**

| Período | Mes/Ano | Demand   | Período | Mes/Ano | Demand   |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| 121     | 1/1993  | 4283,143 | 181     | 1/1998  | 5900,199 |
| 122     | 2/1993  | 4240,899 | 182     | 2/1998  | 5942,802 |
| 123     | 3/1993  | 4298,526 | 183     | 3/1998  | 5995,943 |
| 124     | 4/1993  | 4256,97  | 184     | 4/1998  | 5901,669 |
| 125     | 5/1993  | 4379,494 | 185     | 5/1998  | 6117,708 |
| 126     | 6/1993  | 4355,217 | 186     | 6/1998  | 6107,16  |
| 127     | 7/1993  | 4461,015 | 187     | 7/1998  | 6233,065 |
| 128     | 8/1993  | 4502,73  | 188     | 8/1998  | 6120,561 |
| 129     | 9/1993  | 4507,077 | 189     | 9/1998  | 6168,687 |
| 130     | 10/1993 | 4481,898 | 190     | 10/1998 | 6198,615 |
| 131     | 11/1993 | 4555,504 | 191     | 11/1998 | 6223,547 |
| 132     | 12/1993 | 4565,891 | 192     | 12/1998 | 6156,877 |
| 133     | 1/1994  | 4613,041 | 193     | 1/1999  | 6121,116 |
| 134     | 2/1994  | 4639,929 | 194     | 2/1999  | 6155,925 |
| 135     | 3/1994  | 4648,04  | 195     | 3/1999  | 6144,457 |
| 136     | 4/1994  | 4678,109 | 196     | 4/1999  | 6130,667 |
| 137     | 5/1994  | 4735,622 | 197     | 5/1999  | 6056,891 |
| 138     | 6/1994  | 4777,221 | 198     | 6/1999  | 6143,147 |
| 139     | 7/1994  | 4725,667 | 199     | 7/1999  | 6111,658 |
| 140     | 8/1994  | 4831,316 | 200     | 8/1999  | 6206,545 |
| 141     | 9/1994  | 4842,593 | 201     | 9/1999  | 6281,732 |
| 142     | 10/1994 | 4889,402 | 202     | 10/1999 | 6204,508 |
| 143     | 11/1994 | 4986,039 | 203     | 11/1999 | 6209,702 |
| 144     | 12/1994 | 5039,282 | 204     | 12/1999 | 6199,961 |
| 145     | 1/1995  | 5162,538 | 205     | 1/2000  | 6196,194 |
| 146     | 2/1995  | 5326,383 | 206     | 2/2000  | 6220,194 |
| 147     | 3/1995  | 5333,803 | 207     | 3/2000  | 6251,584 |
| 148     | 4/1995  | 5298,696 | 208     | 4/2000  | 6313,896 |
| 149     | 5/1995  | 5398,196 | 209     | 5/2000  | 6355,449 |
| 150     | 6/1995  | 5379,516 | 210     | 6/2000  | 6374,265 |
| 151     | 7/1995  | 5441,294 | 211     | 7/2000  | 6396,173 |
| 152     | 8/1995  | 5474,642 | 212     | 8/2000  | 6456,091 |
| 153     | 9/1995  | 5521,215 | 213     | 9/2000  | 6400,712 |
| 154     | 10/1995 | 5601,452 | 214     | 10/2000 | 6476,034 |
| 155     | 11/1995 | 5644,744 | 215     | 11/2000 | 6473,437 |
| 156     | 12/1995 | 5594,769 | 216     | 12/2000 | 6468,612 |
| 157     | 1/1996  | 5546,735 | 217     | 1/2001  | 6525,722 |
| 158     | 2/1996  | 5580,991 | 218     | 2/2001  | 6469,276 |
| 159     | 3/1996  | 5630,135 | 219     | 3/2001  | 6488,849 |
| 160     | 4/1996  | 5686,657 | 220     | 4/2001  | 6452,633 |
| 161     | 5/1996  | 5710,041 | 221     | 5/2001  | 6495,46  |
| 162     | 6/1996  | 5744,662 | 222     | 6/2001  | 6528,197 |
| 163     | 7/1996  | 5691,084 | 223     | 7/2001  | 6529,583 |
| 164     | 8/1996  | 5633,121 | 224     | 8/2001  | 6593,132 |
| 165     | 9/1996  | 5632,446 | 225     | 9/2001  | 6628,394 |
| 166     | 10/1996 | 5621,737 | 226     | 10/2001 | 6635,848 |
| 167     | 11/1996 | 5533,577 | 227     | 11/2001 | 6671,697 |
| 168     | 12/1996 | 5519,912 | 228     | 12/2001 | 6656,114 |
| 169     | 1/1997  | 5444,826 | 229     | 1/2002  | 6682,926 |
| 170     | 2/1997  | 5589,536 |         |         |          |
| 171     | 3/1997  | 5623,557 |         |         |          |
| 172     | 4/1997  | 5645,106 |         |         |          |
| 173     | 5/1997  | 5679,416 | 230     | 2/2002  | 6867,993 |
| 174     | 6/1997  | 5728,022 | 231     | 3/2002  | 6946,825 |
| 175     | 7/1997  | 5744,619 | 232     | 4/2002  | 6918,702 |
| 176     | 8/1997  | 5708,124 |         |         |          |
| 177     | 9/1997  | 5697,409 |         |         |          |
| 178     | 10/1997 | 5693,517 |         |         |          |
| 179     | 11/1997 | 5828,053 |         |         |          |
| 180     | 12/1997 | 5901,379 |         |         |          |

Dados Reservados:

ANEXO 3 – Cálculo MRP do primeiro e último períodos

### ANEXO 3 - Cálculo do MRP primeiro e último períodos - continua

Cálculo MRP – Período 04/02/2

ANEXO 3 - Cálculo do MRP primeiro e último períodos - continuação

### ANEXO 3 - Cálculo do MRP primeiro e último períodos – continuação

Cálculo MRP - Período 22/04/2002

### ANEXO 3 - Cálculo do MRP primeiro e último períodos - continuação

### ANEXO 3 - Cálculo do MRP primeiro e último períodos - conclusão