

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Desenvolvimento de um Ambiente para
Planejamento de Compras para Empresas
Cooperadas**

**Autor: Carlos Augusto Fernandes Dagnone
Orientador: Prof. Dr. Antonio Batocchio**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

Desenvolvimento de um Ambiente para Planejamento de Compras para Empresas Cooperadas

Autor: **Carlos Augusto Fernandes Dagnone**
Orientador: **Prof. Dr. Antonio Batocchio**

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2006
S.P. – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

D133d Dagnone, Carlos Augusto Fernandes
Desenvolvimento de um ambiente para planejamento de
compras para empresas cooperadas / Carlos Augusto Fernandes
Dagnone.--Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Antonio Batocchio.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Controle de estoque. 2. Sistemas de informação gerencial.
3. Tecnologia da informação. 4. Simulação (Computador). I.
Batocchio, Antonio.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. III. Título.

Titulo em Inglês: Development for an environment for acquisitions planning in
cooperated enterprises.

Palavras-chave em Inglês: Inventory control, Information management systems,
Information technology, Systems simulation

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Olívio Novaski, Eugênio José Zoqui, Clovis Perin Filho e
Arthur José Vieira Porto.

Data da defesa: 09/05/2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

TESE DE DOUTORADO

**Desenvolvimento de um Ambiente para
Planejamento de Compras para Empresas
Cooperadas**

Autor: **Carlos Augusto Fernandes Dagnone**
Orientador: **Prof. Dr. Antonio Batocchio**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:

Prof. Dr. Antonio Batocchio, Presidente
DEF – FEM – UNICAMP

Prof. Dr. Olívio Novaski
DEF – FEM – UNICAMP

Prof. Dr. Eugênio José Zoqui
DEF – FEM – UNICAMP

Prof. Dr. Clovis Perin Filho
DMA – IMECC – UNICAMP

Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto
EESC – USP São Carlos

Campinas, 09 de maio de 2006

Dedicatória

Dedico este trabalho às pessoas mais especiais de minha vida:

A Milton (*in memorian*) e Ivete por serem, *simplesmente*, meus pais.

À Maura, minha esposa, luz do meu caminho, cujo apoio e incentivo foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Agradecimentos

Deixo meus agradecimentos a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada:

Em primeiro lugar, a Deus, pela força, determinação e capacidade em mim inculcidos nos momentos em que precisei e pedi.

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa de doutorado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Batocchio pela competência de profissional com que guiou meu trabalho, pela paciência de pai nas explicações e eliminações de dúvidas e pelo apoio de irmão nas horas atribuladas.

Aos doutores que fizeram parte de minha banca pela solicitude e pelas sugestões e críticas que agregaram muito valor ao trabalho final.

À Faculdade de Engenharia Mecânica (em especial ao Departamento de Engenharia de Fabricação) e suas parcerias, pelos recursos computacionais empregados neste trabalho e por seus funcionários sempre muito atenciosos e dedicados.

Aos colegas da pós-graduação pelas boas horas passadas em divertidas palestras, nos momentos de descontração.

*“But if you fall and take a tumble –
It won’t be far
If you fail you mustn’t grumble –
Thank you lucky stars
Just savour every mouthful
And treasure every moment
When the storms are raging round you
Stay right where you are.”*
Queen (do álbum *Innuendo*, 1991)

Resumo

DAGNONE, Carlos Augusto Fernandes, Desenvolvimento de um Ambiente para Planejamento de Compras para Empresas Cooperadas, Campinas; Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 248 p. Tese (Doutorado)

No presente trabalho é apresentada uma proposta de ambiente computacional cuja finalidade é auxiliar na coordenação de processos de aquisição de bens do setor metal-mecânico entre empresas integradas por redes de fornecedores. Para atingir este objetivo, foi executada uma pesquisa bibliográfica sobre os conceitos envolvendo o gerenciamento da cadeia de suprimentos, controle de estoques intermediários e de segurança e tecnologias associadas à comunicação em redes de computadores e simulação de sistemas. Como resultado, foi desenvolvido o SIPES (Sistema de Informação para o Planejamento de Estoques baseado em Simulação), uma plataforma que implanta os resultados teóricos discutidos e é responsável por gerar estimativas de níveis de estoques a partir de demandas conhecidas e de informações fornecidas por modelos de simulação da produção das empresas envolvidas. Pretende-se, deste modo, aproximar os elos da cadeia de suprimentos em termos de seus requerimentos de compras em lugar de priorizar estratégias individuais para esta função, além de tornar disponível um ambiente passível de incrementos futuros.

Palavras-chave: Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, Controle de estoques, Estoques intermediários, Estoques de segurança, Sistemas de Informação, Tecnologia da informação, Simulação de sistemas.

Abstract

DAGNONE, Carlos Augusto Fernandes, Desenvolvimento de um Ambiente para Planejamento de Compras para Empresas Cooperadas, Campinas; Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 248 p. Tese (Doutorado)

This work is intended to presents a proposal of a computer environment framework whose objective is to help in coordinating the acquisition process of goods of the metal-mechanic sector among organizations integrated by supplier chains. To achieve this, a bibliographic research was made about concepts involving supply chain management, cycle and safety inventory control and technologies linked to computer networks communications and systems simulation. As an outcome, SIPES (Computer Simulation-based Information System for Inventory Planning) was developed, a platform that implements the theoretical aspects discussed and whose aim is to generate inventory level estimates under known demands and results from production simulation of the related enterprises. The idea is to group them around common buying requirements instead of prioritize a single enterprise's individual strategies for this function, as well as to provide an environment that can receive further improvements.

Keywords: Supply Chain Management, Inventory control, Cycle inventory, Safety inventory, Information Systems, Information Technology, System simulation.

Índice

1	Introdução	1
1.1	O gerenciamento da cadeia de suprimentos no contexto industrial atual	1
1.2	Objetivos	4
1.3	Justificativa	4
1.4	Conteúdo do trabalho	8
2	Revisão da literatura	11
2.1	A gênese do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos	11
2.2	Os pilares técnicos da filosofia SCM	14
2.3	Reatividade e eficiência: fatores de equilíbrio	15
2.4	SCM e o papel do consumidor	18
2.5	Visões de processos no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos	18
2.5.1	A visão de ciclo	19
2.5.2	A visão puxa-empurra	22
2.6	O paralelo entre competitividade e SCM	22
2.7	Princípios de Sistemas de Informação e Tecnologia da Informação	23
2.8	Classificação dos Sistemas de Informação	27
2.9	Os Sistemas de Informação como propulsores da vantagem estratégica	29
2.10	Sistemas Distribuídos para uniformização da informação	31
2.11	A Arquitetura Cliente/Servidor (C/S) e suas implicações tecnológicas	33
2.12	Simulação de Sistemas Computacionais	36
2.13	Funcionamento básico da Simulação de Sistemas Computacionais	40
2.14	Terminologias da Simulação de Sistemas	40
2.15	Resumo e comentários	44

3	Formalização teórica	45
3.1	Importância estratégica do controle de estoques	45
3.2	Fundamentos do controle de estoques	46
3.3	Estoques intermediários: considerações preliminares	47
3.3.1	A determinação da quantidade ideal: primeira aproximação	48
3.3.2	Extensões sobre o modelo inicial (Chopra, 2001)	54
3.3.3	Fatores de desconto por quantidade adquirida	58
3.3.4	Políticas de estoque baseadas em descontos	64
3.3.5	Tratamento de reposições não imediatas e faltas – uma visão do cálculo	66
3.3.5.1	EOQ com reposições não imediatas (modelo EOQ_{RNI})	68
3.3.5.2	EOQ com faltas permitidas (modelo EOQ_{FP})	70
3.3.5.3	Funções $e_i(P_i)$ não lineares	72
3.3.5.4	Outros usos da expressão geral de P_i^0	75
3.4	Estoques de segurança	79
3.4.1	Políticas de reabastecimento	79
3.4.2	Indicadores de disponibilidade do produto	80
3.4.3	Avaliação de indicadores no controle de estoques de segurança	81
3.4.3.1	Modelos de Revisão Contínua	82
3.4.3.2	Modelos de Revisão Periódica	86
3.4.4	Outras influências nos estoques de segurança	87
3.4.5	Níveis de disponibilidade do produto	88
3.5	Resumo e comentários	89
4	Análise experimental	90
4.1	O sistema de informação SIPES	90
4.2	Mecanismo principal de operação do SIPES – mensagens	91
4.3	O cenário de atuação do SIPES	92
4.4	Funcionalidades do SIPES	95
4.4.1	A aplicação <i>cliente</i>	95
4.4.1.1	Primeiras ações	97
4.4.1.2	Estudo de estoques intermediários e de segurança	99

4.4.1.3	Alteração dos parâmetros de simulação	105
4.4.1.4	Análise e criação de relatórios	107
4.4.2	A aplicação <i>cliente web</i>	108
4.4.3	A aplicação <i>servidora</i> : os modelos de simulação	115
4.5	A estrutura da base de dados do SIPES	120
4.6	Estrutura interna do SIPES sob a ótica da Engenharia de <i>Software</i>	125
4.6.1	Diagramas de fluxo de dados (D.F.D.)	126
4.6.2	Diagramas de entidades-relacionamentos (D.E.R.)	131
4.6.3	Aspectos de segurança e sistemas existentes	132
4.7	Resumo e comentários	134
5	Resultados e discussões	135
5.1	Montagem do cenário	135
5.2	Obtenção dos resultados	146
5.3	Discussão dos resultados	149
5.3.1	Perfis de consumo distintos do linear	149
5.3.2	A influência da agregação de produtos nos custos	152
5.3.2.1	Resultados da agregação simples por empresa	153
5.3.2.2	Resultados da agregação seletiva por empresa	156
5.3.2.3	Resultados da agregação simples por produto	160
5.3.2.4	Resultados da agregação seletiva por produto	164
5.3.3	A influência dos fatores de desconto nos estoques intermediários	169
5.3.3.1	Resultados da aplicação de descontos por preço médio	169
5.3.3.2	Resultados da aplicação de descontos por preço marginal	173
5.3.4	O uso de estoques de segurança	177
6	Conclusões e sugestões para próximos trabalhos	182
6.1	Conclusões finais	182
6.2	Trabalhos futuros	184
	Referências bibliográficas	186
	Anexo I: Demonstrações, deduções e resultados analíticos advindos do modelo EOQ	195

A1.1 Demonstrações e deduções	196
A1.2 Resultados analíticos	205
Anexo II: Preparação do ambiente distribuído para funcionamento do SIPES	214
A2.1 Introdução	215
A2.2 Início da configuração: <i>Internet Information Services</i> TM (IIS)	215
A2.3 Configuração da base de dados	221
A2.4 Construção do formulário HTML e código ASP iniciais	228
A2.5 Mecanismo de funcionamento dos programas	232
A2.5.1 A aplicação cliente	233
A2.5.2 A aplicação servidora	236
A2.5.3 Extensão do programa básico: consulta a dados	241
A2.5.4 Exibição de dados	246
A2.5.5 Exemplos de códigos HTML para formulários	246

Lista de figuras

1.1 Elementos da Cadeia de Suprimentos	2
1.2 Relação de integração entre os diversos planos de uma cadeia de suprimentos	5
2.1 Cadeia de suprimentos clássica	13
2.2 Exemplo de rede de suprimentos	13
2.3 Interações entre os componentes de uma cadeia e seus direcionadores	14
2.4 Relação de dependência entre reatividade e eficiência	16
2.5 Matriz de situações <i>tipo de produto x tipo de cadeia de suprimentos</i>	17
2.6 A visão de ciclo da cadeia de suprimentos	19
2.7 Sumário das ações ocorridas no interior de cada ciclo	21
2.8 Modelo das Forças Competitivas	30
2.9 A estrutura básica de requisição/atendimento a processos na arquitetura C/S	33
2.10 Forças que impulsionaram a arquitetura C/S	34
3.1 Perfil de consumo sob demanda constante e reposição imediata (suposição inicial)	48
3.2 Esquema de descontos no preço unitário de um produto i por quantidade adquirida	59
3.3 Exemplo de obtenção do valor de $Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j)$	61
3.4 Perfil de consumo com reposição não imediata	69
3.5 Perfil de consumo com reposição não imediata e possibilidade de falta de itens no estoque	71
3.6 Perfil de consumo não linear (função quadrática) com reposição não imediata	73

3.7 Perfil de consumo não linear (função quadrática) com reposição não imediata e falta permitida	74
3.8 Ponto de reposição, limiar máximo e estoque de segurança no perfil do estoque intermediário	81
4.1 Exemplo de interação entre cliente e servidor numa consulta a banco de dados	92
4.2 Esquema geral de uso do SIPES	93
4.3 Uso do SIPES na hierarquização da produção puxada/empurrada	94
4.4 O menu principal do SIPES (aplicação cliente)	96
4.5 Cadastro e manutenção de clientes no SIPES	97
4.6 Cadastro e manutenção de produtos no SIPES	98
4.7 Importação dos dados de simulação	99
4.8 O modelo EOQ	100
4.9 Modelo EOQ estendido: pedidos agregados simples ou seletivamente	101
4.10 Segunda extensão do modelo EOQ: fatores de desconto	102
4.11 Alteração do perfil de consumo para produtos individuais	103
4.12 Dados de estoque de segurança de revisão contínua	104
4.13 Dados de estoque de segurança de revisão periódica	105
4.14 Alteração dos parâmetros de simulação	106
4.15 Geração de relatórios	108
4.16 Planejamento da produção sobre os dados de estoque e de simulação	109
4.17 Início do processo (escolha da empresa com a qual se vai interagir)	110
4.18 Operações possíveis sobre a empresa com que interagir	111
4.19 Escolha dos modelos disponíveis	112
4.20 Simples exibição dos resultados relativos a estoques de um modelo	113
4.21 Alteração de parâmetros para nova execução do modelo	114
4.22 Construção de locais (<i>locations</i>) em ProModel™ 2001	116
4.23 Construção de entidades (<i>entities</i>) em ProModel™ 2001	117
4.24 Construção de chegadas (<i>arrivals</i>) em ProModel™ 2001	118

4.25 Construção de processos (<i>processing</i>) em ProModel™ 2001	119
4.26 Interações entre bancos de dados e aplicações via ODBC™	121
4.27 Diagrama de Contexto do SIPES	127
4.28 D.F.D. de nível 1 para o Cadastro de Empresas	128
4.29 D.F.D. de nível 1 para o Cadastro de Produtos	128
4.30 D.F.D. de nível 1 para a alteração de dados da simulação	128
4.31 D.F.D. de nível 1 para a importação de dados da simulação	129
4.32 D.F.D. de nível 1 para o EOQ tradicional	129
4.33 D.F.D. de nível 1 para o EOQ de produtos agregados	129
4.34 D.F.D. de nível 1 para o EOQ de produtos sob esquemas de descontos	129
4.35 D.F.D. de nível 1 para o estoque de segurança sob revisão contínua	129
4.36 D.F.D. de nível 1 para o estoque de segurança sob revisão periódica	130
4.37 D.F.D. de nível 1 para o planejamento de experimentos	130
4.38 D.F.D. de nível 1 para a análise de dados	130
4.39 D.F.D. de nível 1 para a geração de relatórios	130
4.40 O diagrama E–R para o banco de dados do SIPES	131
5.1 <i>Layout</i> da planta modelado em ProModel™ 2001	136
5.2 Disposição das redes de caminhos para o modelo de simulação analisado	142
5.3 Interação entre o SIPES e o ProModel™ 2001	144
5.4 Gráfico <i>Tamanho do lote x Produtos x Níveis de serviço</i>	180
5.5 Perfil <i>Níveis de serviço x Incremento nos custos</i>	181
A1.1 Perfil de consumo no modelo do lote econômico em um tempo de ciclo t com $E(x)$ linear	196
A1.2 Perfil de consumo no modelo do lote econômico em um tempo de ciclo t com $E(x)$ quadrática	197
A1.3 Perfil de consumo no modelo do lote econômico em um tempo de ciclo t com $E(x)$ exponencial	198
A1.4 Relação entre os custos envolvidos na decisão sobre o tamanho de lote P	212

A1.5 Gráfico comparativo entre os tamanhos de lote P e P' e os custos T e T'	213
A2.1 Janela principal do IIS TM	216
A2.2 Ativação do assistente de criação de diretório virtual	217
A2.3 Tela inicial do <i>Assistente de Criação de Diretório Virtual</i>	218
A2.4 Atribuição de um <i>alias</i> à pasta real	219
A2.5 Seleção da pasta real	220
A2.6 Determinação das permissões dos diversos serviços	220
A2.7 Conclusão do <i>Assistente de Criação de Diretório Virtual</i>	221
A2.8 O diretório virtual SisInfo (que, na verdade, aponta para o diretório real presente em C:\SIPES)	222
A2.9 Base de dados BDSIPES com a tabela E3M6 no modo estrutura	223
A2.10 Janela inicial do aplicativo de configuração de bancos de dados ODBC	224
A2.11 Criação de um DSN de sistema (início do processo)	225
A2.12 Escolha do <i>driver</i> de banco de dados adequado	226
A2.13 Base de dados selecionada e <i>alias</i> (Base) atribuído	227
A2.14 Processo concluído: referência global e remota à base BDSIPES.MDB criada	227
A2.15 Mecanismo de criação de páginas por meio do SIPES	228
A2.16 Formulário do SIPES criado pelo Código 1	229
A2.17 Resultado da passagem de parâmetros ao modelo de simulação	233

Lista de tabelas

2.1 Mudanças no ambiente empresarial como base para a adoção de S.I.	26
2.2 Empregos da simulação de sistemas	38
3.1 Políticas de controle de estoque aliadas a fatores de desconto	65
3.2 Tamanhos de lotes para as diversas variações do modelo EOQ	76
3.3 Custos de armazenagem (R_i) para as diversas variações do modelo EOQ	77
4.1 Estrutura da tabela <i>Empresas</i>	122
4.2 Estrutura da tabela <i>Produtos</i>	122
4.3 Estrutura da tabela <i>EOQ_Basico</i>	123
4.4 Estrutura da tabela <i>EOQ_Agrega</i>	123
4.5 Estrutura da tabela <i>EOQ_Descontos</i>	124
4.6 Estrutura da tabela <i>Rev_Continua</i>	124
4.7 Estrutura da tabela <i>Rev_Periodica</i>	125
5.1 Especificações parciais dos modelos de parafusos produzidos	135
5.2 Detalhes dos locais I (nomes, tipos, capacidades e finalidades)	137
5.3 Detalhes dos locais II (<i>downtimes</i>)	138
5.4 Detalhes dos locais III (<i>setup</i> dependente da sequência)	139
5.5 Roteiro de fabricação e tempos de processamento da peça P1 (unidade)	140
5.6 Roteiro de fabricação e tempos de processamento da peça P2 (unidade)	140
5.7 Roteiro de fabricação e tempos de processamento da peça P3 (unidade)	140
5.8 Agrupamento de peças para montagem de lotes	141
5.9 Dados das redes de caminhos (<i>path networks</i>) empregadas pelos recursos	141

5.10 Dados das chegadas das entidades (<i>arrivals</i>) ao sistema	143
5.11 Dados dos recursos de movimentação de entidades	143
5.12 Dados de estoque intermediário dos clientes	144
5.13 Esquema de descontos por quantidade adquirida	145
5.14 Custos para o fabricante	145
5.15 Dados de estoque de segurança dos clientes	146
5.16 Regime de trabalho da empresa (turnos)	146
5.17 Dados de fabricação das peças no mês em análise (fornecidos pelo ProModel TM 2001)	146
5.18 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (caso <i>linear</i>)	147
5.19 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (caso <i>linear</i>)	147
5.20 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (caso <i>linear</i>)	148
5.21 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (caso <i>linear</i>)	148
5.22 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (caso <i>quadrático</i>)	149
5.23 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (caso <i>quadrático</i>)	150
5.24 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (caso <i>quadrático</i>)	150
5.25 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (caso <i>quadrático</i>)	150
5.26 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (caso <i>exponencial</i>)	151
5.27 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (caso <i>exponencial</i>)	151
5.28 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (caso <i>exponencial</i>)	151
5.29 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (caso <i>exponencial</i>)	151
5.30 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por empresa, caso <i>linear</i>)	153
5.31 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por empresa, caso <i>linear</i>)	153

5.32 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por empresa, caso <i>linear</i>)	153
5.33 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por empresa, caso <i>linear</i>)	154
5.34 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por empresa, caso <i>quadrático</i>)	154
5.35 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por empresa, caso <i>quadrático</i>)	154
5.36 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por empresa, caso <i>quadrático</i>)	155
5.37 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por empresa, caso <i>quadrático</i>)	155
5.38 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por empresa, caso <i>exponencial</i>)	155
5.39 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por empresa, caso <i>exponencial</i>)	156
5.40 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por empresa, caso <i>exponencial</i>)	156
5.41 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por empresa, caso <i>exponencial</i>)	156
5.42 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por empresa, caso <i>linear</i>)	157
5.43 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por empresa, caso <i>linear</i>)	157
5.44 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por empresa, caso <i>linear</i>)	157
5.45 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por empresa, caso <i>linear</i>)	157

5.46 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por empresa, caso <i>quadrático</i>)	158
5.47 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por empresa, caso <i>quadrático</i>)	158
5.48 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por empresa, caso <i>quadrático</i>)	158
5.49 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por empresa, caso <i>quadrático</i>)	158
5.50 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por empresa, caso <i>exponencial</i>)	159
5.51 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por empresa, caso <i>exponencial</i>)	159
5.52 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por empresa, caso <i>exponencial</i>)	159
5.53 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por empresa, caso <i>exponencial</i>)	160
5.54 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por produto, caso <i>linear</i>)	160
5.55 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por produto, caso <i>linear</i>)	160
5.56 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por produto, caso <i>linear</i>)	161
5.57 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por produto, caso <i>linear</i>)	161
5.58 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por produto, caso <i>quadrático</i>)	161
5.59 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por produto, caso <i>quadrático</i>)	162

5.60 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por produto, caso <i>quadrático</i>)	162
5.61 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por produto, caso <i>quadrático</i>)	162
5.62 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por produto, caso <i>exponencial</i>)	163
5.63 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por produto, caso <i>exponencial</i>)	163
5.64 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por produto, caso <i>exponencial</i>)	163
5.65 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por produto, caso <i>exponencial</i>)	163
5.66 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por produto, caso <i>linear</i>)	164
5.67 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por produto, caso <i>linear</i>)	164
5.68 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por produto, caso <i>linear</i>)	164
5.69 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por produto, caso <i>linear</i>)	164
5.70 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por produto, caso <i>quadrático</i>)	165
5.71 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por produto, caso <i>quadrático</i>)	165
5.72 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por produto, caso <i>quadrático</i>)	165
5.73 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por produto, caso <i>quadrático</i>)	166

5.74 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por produto, caso <i>exponencial</i>)	166
5.75 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por produto, caso <i>exponencial</i>)	166
5.76 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por produto, caso <i>exponencial</i>)	167
5.77 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por produto, caso <i>exponencial</i>)	167
5.78 Resumo das variações ocorridas nos custos devido à agregação	168
5.79 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço médio, caso <i>linear</i>)	170
5.80 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço médio, caso <i>linear</i>)	170
5.81 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço médio, caso <i>linear</i>)	170
5.82 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço médio, caso <i>linear</i>)	170
5.83 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço médio, caso <i>quadrático</i>)	171
5.84 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço médio, caso <i>quadrático</i>)	171
5.85 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço médio, caso <i>quadrático</i>)	171
5.86 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço médio, caso <i>quadrático</i>)	171
5.87 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço médio, caso <i>exponencial</i>)	172
5.88 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço médio, caso <i>exponencial</i>)	172

5.89 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço médio, caso <i>exponencial</i>)	172
5.90 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço médio, caso <i>exponencial</i>)	173
5.91 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso <i>linear</i>)	173
5.92 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso <i>linear</i>)	173
5.93 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço marginal, caso <i>linear</i>)	174
5.94 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço marginal, caso <i>linear</i>)	174
5.95 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso <i>quadrático</i>)	174
5.96 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso <i>quadrático</i>)	175
5.97 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço marginal, caso <i>quadrático</i>)	175
5.98 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço marginal, caso <i>quadrático</i>)	175
5.99 Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso <i>exponencial</i>)	176
5.100 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso <i>exponencial</i>)	176
5.101 Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço marginal, caso <i>exponencial</i>)	176
5.102 Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço marginal, caso <i>exponencial</i>)	176

5.103 Estoques de segurança para o caso de esquema de descontos por preço médio e perfil quadrático	178
5.104 Níveis de serviço ao cliente	178
5.105 Indicadores de disponibilidade dos produtos	179
5.106 Novos níveis de estoque de segurança para $N_s = 70\%$	179
5.107 Diferentes níveis de serviço e tamanhos de estoques de segurança	179
A1.1 Exemplo de comparação entre alterações no tamanho do lote	211

Nomenclatura

Letras latinas

m – quantidade total intervalos de desconto ($j = 1, \dots, m$)

n – quantidade total de itens ($i = 1, \dots, n$)

F_i – Tempo de fluxo (*flowtime*) do item i

T_i – Taxa de saída de produção (*throughput*) do item i

P_i – quantidade do item i em estoque

P_i^O – quantidade do item i em um pedido (lote), obtida pelo EOQ

D_i – demanda do item i em por unidade de tempo

q_i – custo unitário do item i

M_i – custo de aquisição de materiais (relativo ao item i) por unidade de tempo

O_i – custo fixo de abertura de um pedido (relativo ao item i)

A_i – custo de abertura de um pedido (relativo ao item i) por unidade de tempo

r – custo de armazenagem de 1 unidade monetária de um item i por unidade de tempo

R_i – custo de armazenagem (relativo ao item i) por unidade de tempo

T_i – função de custo total de pedido de um único item i

o_i – custo específico de pedido de um item i (somado ao custo O_i)

p – quantidade de pedidos de um item feitos por unidade de tempo ($p=D/P$)

p_m' – frequência de pedido do produto mais solicitado (agregação seletiva)

p'_i – frequência de pedido dos demais produtos (agregação seletiva)
 f_i – frequência de inclusão de cada produto i junto com o produto mais solicitado
 p_m – frequência de pedido do produto mais solicitado corrigida por f_i (agregação seletiva)
 p_i – frequência de pedido dos demais produtos corrigida por f_i (agregação seletiva)
 d_j – valores extremos das faixas de desconto
 P_r – ponto de reposição
 L_m – limiar máximo
 G – tempo de reposição a partir de P_r
 M – média da distribuição normal de demanda
 D_e – demanda média esperada durante o tempo G
 E_s – nível de estoque de segurança
 T_{pd} – taxa de provimento de produto
 T_{pe} – taxa de provimento de pedido
 N_s – nível de serviço cíclico
 F_r – demanda média não satisfeita no período G
 $f(x)$ – função de densidade de probabilidade em um ponto x
 $F(x)$ – função de distribuição acumulada em um ponto x
 $F^{-1}(x)$ – função inversa de distribuição acumulada em um ponto x
 I – intervalo entre revisões de níveis de estoque de segurança no modelo periódico

Letras gregas

μ – média da demanda em um determinado período
 σ – desvio padrão da demanda em um determinado período
 δ – variação percentual no tamanho do lote P
 γ – variação percentual observada no custo total após variação em P

Subscritos

i – índice dos itens (produtos)

j – índice das faixas de descontos

m, max – máximo

Siglas

ASP – *Active Server Pages* (linguagem de programação de páginas *web*)

C/S – Cliente/Servidor (arquitetura de redes de computadores)

CRM – *Customer Relationship Management* (filosofia de administração)

DBMS – *Data Base Management Systems* (vide SGBD)

DEF – Departamento de Engenharia de Fabricação (FEM – UNICAMP)

EDI – *Electronic Data Interchange* (dispositivo para troca eletrônica instantânea de informações de compra e venda, principalmente)

ERP – *Enterprise Resource Planning* (sistema computacional corporativo empresarial)

ESP – *Enterprise Server Platform* (plataforma computacional formada por servidores dedicados às tarefas cruciais)

GPSS – *General Purpose System Simulator* (linguagem de simulação – G. Gordon, 1960)

HTML – *Hypertext Markup Language* (linguagem de formatação de hipertexto)

IIS – *Internet Information Services* (ferramenta de configuração de ambientes distribuídos)

JIT – *Just-in-Time* (filosofia de administração)

MRP – *Material Requirements Planning* (ferramenta de produção)

ODBC – *Open Data Base Connectivity* (ferramenta de configuração de bancos de dados)

PO – Pesquisa Operacional

POP – Procedimentos Operacionais Padronizados (regras consensuais que definem a rotina de trabalho nos setores de uma empresa)

SAE – Sistemas de Automação de Escritório

SCM – *Supply Chain Management* (filosofia de administração)

SGBD – Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (em inglês: DBMS)

SI – Sistemas de Informação

SIG – Sistemas de Informações Gerenciais

SIMAN – *Simulation Analysis* (linguagem de simulação – C. D. Pegden, 1983)
SIMSCRIPT – *Simulation Script* (linguagem de simulação – H. Markowitz, 1963)
SIPES – Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em Simulação
SLAM – *Simulation Language for Alternative Modeling* (linguagem de simulação – N. A. Wallington, 1976)
SPT – Sistemas de Processamento de Transações
SQL – *Strucutred Query Language* (linguagem de consulta a bancos de dados)
SSD – Sistemas de Suporte à Decisão
SSE – Sistemas de Suporte Executivo
STC – Sistemas de Trabalho de Conhecimento
TI – Tecnologia da Informação
TQM – *Total Quality Management* (filosofia de administração)

Capítulo 1

Introdução

1.1 O gerenciamento da cadeia de suprimentos no contexto industrial atual

Na corrente história da manufatura é notória a importância do papel que a globalização de mercados e as tecnologias de informação e comunicação desempenham, como resultado direto das mudanças pelas quais passaram tanto setores produtivos como estruturas organizacionais: surgimento de novos métodos de gerenciamento, de técnicas de reengenharia de processos de negócio e uso intensivo de sistemas computacionais corporativos. São estas as mudanças que conduziram empresas a um alto grau de *flexibilidade*, capaz de fornecer alta qualidade e confiabilidade em seus serviços.

O emprego das filosofias *JIT* e *TQM* (entre outras) proporcionou uma visão de negócios centrada na competitividade. Até então uma empresa buscava o destaque em seu mercado de atuação por meio de constantes avaliações internas e por uma integralização vertical, procedimentos que evidenciavam as suas competências centrais¹, trabalhadas para a obtenção da vantagem competitiva esperada.

No entanto, nos tempos atuais, a relação entre a empresa, seus fornecedores e consumidores adquiriu grande importância em razão da percepção de que *alianças* formadas convenientemente entre estes dois elementos (fornecedores e consumidores) poderiam indicar novas direções na busca de fontes de redução de custos, diminuição de tempos de ciclo de mercadoria, melhorias

¹ Conjunto de habilidades que habilitam uma companhia a proporcionar um benefício particular aos clientes (Prahalad, 1990 e Prahalad, 1994 *apud* Oliveira Jr., 2001).

nos processos produtivos e – principalmente – agregação de novas competências centrais àquelas já existentes na organização (Christopher, 1998).

De acordo com um ponto de vista assim estabelecido, o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (ou *Supply Chain Management*) surge como uma filosofia capaz de interligar pontos de uma rede formada pela empresa, seus parceiros e clientes, gerando uma estrutura apropriada às necessidades dos paradigmas industriais atuais, que convergem a níveis crescentes de internacionalização de seus mercados e que são regidos principalmente pelas exigências do consumidor moderno (Figura 1.1).

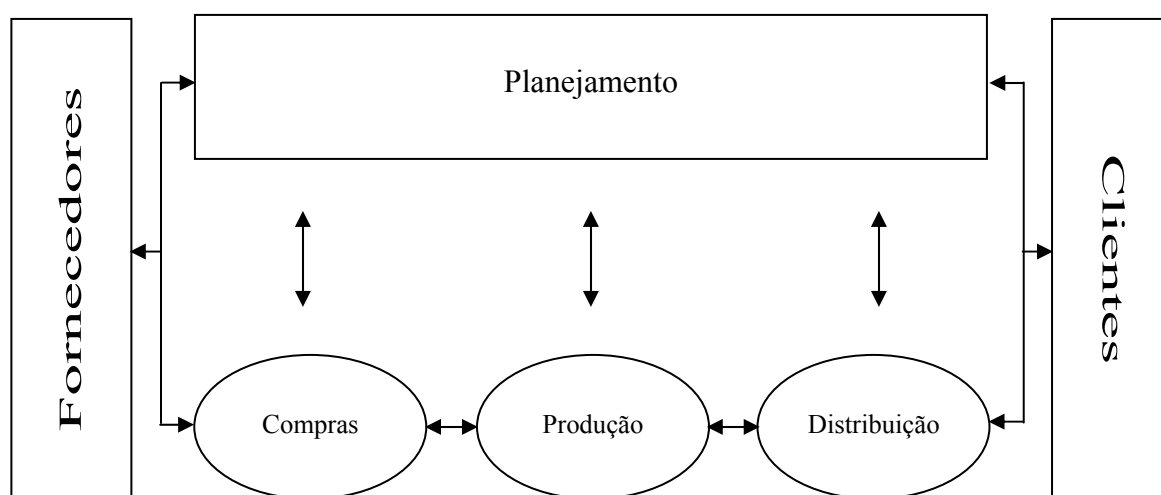


Figura 1.1: Elementos da Cadeia de Suprimentos (Bertaglia, 2003).

Sob este aspecto, identificam-se mudanças nas tradicionais práticas de negócio que enfatizam o emprego do conceito de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos acima citado, entre as quais pode-se citar (Ross, 1998):

- O crescimento dos canais de comunicação entre cliente e empresa;
- A substituição da produção em massa de produtos padronizados por operações flexíveis que geram produtos personalizados e
- A importância adquirida pela agilidade tanto operacional quanto organizacional.

A constituição de uma rede cooperativa, cuja característica principal é dispor da rapidez necessária para acompanhar as constantes alterações nas tendências de consumo observadas na atualidade (e, assim, delas se beneficiar), explicita a natureza ágil² dos elementos envolvidos em sua formação.

O termo “rede cooperativa” não deve ser tomado no sentido estrito de *cooperativismo* (Rios, 1998), mas sim no sentido de uma agregação de competências centrais entre diversas empresas que agem conjuntamente visando um objetivo comum (maiores detalhes no capítulo 2, seção 2.1).

Goranson (1999) diferencia os tipos de agregação segundo sua capacidade de formação, dissolução e reconfiguração:

- *Direcionada por oportunidade*: composta por uma *entidade* (e.g., empresa ou mesmo uma única pessoa ou pequeno grupo) que, após identificar a ocasião apropriada em que possa aplicar suas especialidades (talvez em um novo negócio), age como organizadora e integradora de outras experiências externas que lhes dêem suporte na conquista de suas metas;
- *Direcionada por capacidades*: consiste em um conjunto de competências centrais pré-existentes empenhadas na busca por novos consumidores. Exemplos são grandes empresas que, já possuindo um extenso elenco de profissionais qualificados, efetua prospecção constante de diferentes campos de atuação;
- *Cadeias de suprimentos*: neste tipo de agregação estão alinhadas empresas que, interagindo por meio de relações comerciais convencionais, buscam incrementar sua agilidade³.

Na classificação acima as agregações estão organizadas a partir das mais “voláteis” (*i.e.*, com maior probabilidade de “dissolução” ou “reconfiguração”). Deste modo, a cadeia de

² Capacidade de prover a “personalização de massa”, ou a rapidez de adaptação da força produtiva, gerencial e estratégica às exigências de mercado derivadas das constantes mutações nas necessidades dos clientes (*Agility Forum*, 1994).

³ Por meio, principalmente, do uso da tecnologia (seções 2.7, 2.8, 2.10 e seguintes do capítulo 2).

suprimentos representa uma união relativamente estável de empresas que possuem especialidades distintas e complementares cuja cooperação, baseada principalmente nos recursos tecnológicos modernos, forma a base atual do sucesso de um empreendimento, quaisquer que sejam suas dimensões e abrangências.

1.2 Objetivos

Pelo exposto, o presente trabalho tem como objetivos:

- Analisar os principais direcionadores do gerenciamento da cadeia de suprimentos, com especial atenção atribuída ao tratamento de estoques, cujas premissas clássicas, postas em discussão, darão margem tanto a revisões e aperfeiçoamentos sobre métodos clássicos e atuais de controle como a novas aproximações derivadas de sua modelagem a partir do cálculo diferencial e integral;
- Apresentar uma proposta de desenvolvimento de um sistema de informação que auxilie a coordenação de custos de fabricação/consumo incorridos entre empresas cooperadas segundo os pressupostos da página anterior e que apóie o processo decisório de derivação de políticas conjuntas de controle de estoque em lugar da priorização individual de estratégias para tal controle.

1.3 Justificativa

A influência da tecnologia na indústria atual traçou os caminhos definitivos seguidos pelos recentes avanços na administração de um negócio. A chamada *tecnologia da informação* tornou disponíveis recursos intensamente utilizados na integração de todos os setores internos de uma corporação, por meio do controle e da análise de dados que influenciam diretamente nas tomadas de decisão em nível gerencial (Figura 1.2 à próxima página).

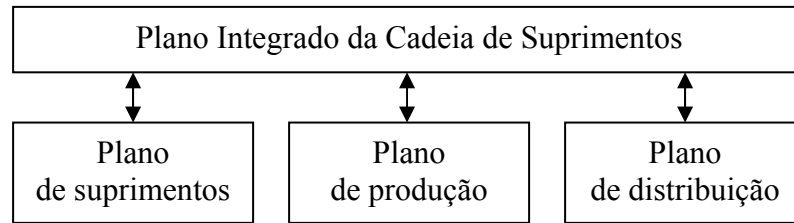


Figura 1.2: Relação de integração entre os diversos planos de uma cadeia de suprimentos (Bertaglia, 2003).

Podem ser citadas ferramentas clássicas como os dispositivos EDI (*Electronic Data Interchange*) e os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) (Haberkorn, 1999) que devidamente bem implementados aumentam a competitividade provendo suficiente rapidez na recuperação e interpretação de informações cruciais para o planejamento estratégico.

Além disto, abordagens matemático-computacionais como a Pesquisa Operacional (que inclui o seqüenciamento de atividades, fluxo em redes, programação heurística e simulação de sistemas) (Dagnone, 2000) possibilitaram criar cenários virtuais em que a análise da melhor utilização de recursos escassos e dos impactos causados por alterações significativas da disposição de máquinas no chão-de-fábrica propiciou substancial racionalização dos investimentos reservados para este fim.

A extensão do uso destas tecnologias para o ambiente descentralizado em que o SCM atua é natural e fornece benefícios amplamente utilizados como parte fundamental do seu conceito. De fato, a integração dos elementos da rede que congrega empresa e todas as suas atividades de suporte intermediárias até o consumidor final é muito facilitada pelos mecanismos que permitem a comunicação entre os pontos que a formam e esta interdependência é a chave para que a aliança formada atinja seu objetivo: levar a vantagem competitiva a todos os seus ramos (Fleury, 2000).

Companhias que aspiram a uma posição de liderança em seus segmentos devem tomar a tecnologia não apenas como um apoio gerencial para otimizar operações, mas também como o ponto de partida para a implantação de uma cultura organizacional com foco na interatividade de suas próprias competências com as funções complementares encontradas apenas nos outros membros da aliança da qual faz parte, gerando um sistema de cadeia de suprimentos eficiente que age como um único grande empreendimento (Duguid, 2001).

O processo de adequação à tecnologia deve permear todos os níveis da organização e, se possível, interferir positivamente sobre todas as atividades, principalmente aquelas ligadas à produção, que padecem dos maiores problemas devido à sua natureza extremamente dinâmica e de alterações rápidas e diárias.

Em particular, o tratamento de estoques em sistemas não balanceados tem recebido destacada atenção pela percepção de que eles não agregam valor e sim custos; portanto, questionamentos sobre *o que* estocar, *onde* e *como* formam os parâmetros que definirão o custo a ser agregado que, obviamente, deve ser minimizado.

Assim, estoques bem dimensionados concorrem para o equacionamento dos processos de produção e distribuição além de serem fundamentais na manutenção de informações de inventário como definição de metas, estratégias de relacionamento com o mercado e indicadores como giro⁴, cobertura⁵ e precisão⁶ (Bertaglia, 2003).

Controles sobre estoques costumam ser de natureza numérica e várias são as abordagens matemáticas e teorias derivadas de conceitos administrativos usadas em seu gerenciamento⁷. Por meio principalmente de planilhas eletrônicas são efetuados os cálculos de pontos de reposição e diversas estatísticas associadas que posteriormente compõem relatórios e repositórios de dados históricos para futura consulta ou elaboração de novas estratégias em presença de novos produtos. Entretanto, muitas vezes o uso de tais recursos se torna moroso e passível de erros pela grande quantidade de dados tabulados, o que dificulta também sua consulta e localização de informações relevantes.

Além desses problemas, estratégias híbridas de controle de estoque derivadas a partir dos modelos tradicionais podem ter suas características melhor avaliadas por meio de simulações de produção e de demanda, sobre as quais se efetuam a chamada análise de sensibilidade (variação

⁴ Quantidade de vezes em que o estoque é totalmente consumido.

⁵ Relação entre um certo item e sua demanda.

⁶ Relação entre a quantidade física existente e a constante nos registros de controle.

⁷ Em Haksever (2005), por exemplo, encontram-se considerações sobre otimização de sistemas de inventário multi-produto sujeitos a múltiplas restrições orçamentárias e espaciais por meio de programação linear inteira mista. Kleber (2002), por sua vez, leva em conta aspectos como devoluções de produtos na modelagem de uma metodologia que emprega multiplicadores de Lagrange, visando determinar se os excessos de retornos devem ser armazenados para futuras recuperações ou ser descartados, na presença de demandas determinísticas e dinâmicas.

controlada de parâmetros), tendo seus resultados compartilhados para os demais parceiros de negócio da cadeia.

A simulação de sistemas é um importante técnica da Pesquisa Operacional e foi a escolhida para que os objetivos deste trabalho sejam atingidos. Consiste em um conjunto de teorias e técnicas matemáticas que permitem modelar e, posteriormente, avaliar o funcionamento de um sistema, seja quais forem suas características e origens (Perin Filho, 1995; Harrel, 2002).

Embora não seja um fornecedor de soluções ótimas⁸, é um auxiliar importante no processo decisório pois permite enxergar *no futuro* o comportamento de um conjunto estruturado de elementos funcionais (*e.g.*, uma linha de produção) e sobre ele executar projeções, análises estatísticas e previsões sobre diversos cenários derivados de situações reais que, na prática, demandariam gastos significativos sem garantias de retorno sobre o investimento.

Na atualidade, recursos computacionais demonstram aumentar a eficiência da simulação automatizando muitos de seus processos, freqüentemente repetitivos e que demandam a atualização constante de um grande conjunto de dados e variáveis (seção 2.12). Sob esta perspectiva, diversos ambientes profissionais de modelagem têm sido propostos, fazendo uso principalmente das características gráficas dos sistemas operacionais modernos. O programa empregado neste trabalho é o ProModelTM, um simulador de eventos discretos⁹.

Se for considerado que os resultados da simulação servem como entrada a processos de planejamento que darão suporte a uma tomada de decisão, então configura-se um *Sistema de Suporte à Decisão orientado por Modelos* (SSDM) (Laudon, 2002). Entretanto, diferentemente de sua concepção original¹⁰, o que se pretende é derivar um protótipo de SSDM que apresente

⁸ Soluções ótimas (conclusivas) costumam ser fornecidas por métodos matemáticos exatos. Por exemplo, na produção, a *teoria de grafos* (Gross, 1998) é aplicada na determinação de gargalos utilizando algoritmos de fluxos em redes; na determinação de políticas para a reposição e/ou troca de máquinas são empregados modelos especiais de digrafos, os quais também podem ser utilizados em seqüenciamento de operações em uma máquina.

⁹ O ArenaTM (Rockwell[®]) e o AutoModTM (AutoSimulations[®]) são outros exemplos de programas de simulação conhecidos. O último permite sofisticadas modelagens visuais em três dimensões, sendo usado principalmente para o estudo de fenômenos de movimentação e avaliação de capacidade física. O ProModelTM (cuja origem está ligada aos sistemas produtivos) oferece também uma interface gráfica para a modelagem de qualquer tipo de *layout* (montagem visual das disposições dos elementos do sistema), que fornecerá posteriormente o suporte para a programação das lógicas que nele se verificam (*i.e.*, os processos dos quais efetivamente se deseja analisar o comportamento).

¹⁰ Laudon (2002) define tais sistemas como desvinculados de um sistema de informação gerencial central, agindo, portanto, como fornecedores de dados locais.

idéias de unificação de ações entre empresas de uma cadeia de suprimentos. Esta é uma tendência importante nos atuais sistemas de informação que devem tornar disponíveis indicadores de desempenho específicos para cada área da organização e mesmo fora dela (Certo, 1993).

Portanto, pode-se inferir que a união de estratégias eficientes de gerenciamento de estoques às facilidades e benefícios providos pelos sistemas de informação atuais oferece um ganho de competitividade para a manutenção das empresas no mercado.

1.4 Conteúdo do trabalho

No capítulo 1 foi apresentado um panorama geral sobre o gerenciamento da cadeia de suprimentos e como esta pode se beneficiar das atuais tecnologias de sistemas de informação e suas ferramentas associadas (principalmente aquelas que envolvem o uso do computador).

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre princípios e metodologias do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Pretende-se demonstrar que este paradigma de administração é compatível com processos de seus elos por meio de sistemas de informação, fato potencializado pelo uso de mecanismos como a simulação de sistemas.

Como sistemas de informação usam intensivamente redes de computadores, também será feita uma revisão breve sobre sistemas distribuídos, que são configuração de máquinas que se comunicam remotamente e geram um ambiente unificado para a execução de aplicações de qualquer espécie, alicerçado nos preceitos da arquitetura cliente/servidor, também devidamente referenciada.

No capítulo 3 será desenvolvida a formalização teórica de tratamento dos seguintes tipos de estoques:

- Estoque intermediário (usado nas operações diárias);
- Estoques de segurança (para conter demandas imprevistas).

Constituindo um dos requisitos logísticos mais importantes para o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, a coordenação e integração de estoques baseados em pedidos ao longo da

cadeia de fornecedores tem como finalidade ligar e tornar dependentes os requisitos de materiais em cada ponto da rede.

O planejamento de estoques segundo políticas específicas de acordo com sua natureza é o escopo desta parte do texto, em que serão analisados diversos métodos matemáticos para o cálculo de várias variáveis de decisão ligadas prioritariamente aos tamanhos de lotes que devem ser pedidos para repor quantidades de itens que deram saída por meio de vendas ou consumo interno.

Serão apresentadas também propostas de novas visões sobre alguns dos métodos expostos, sendo que as várias metodologias contemplarão aspectos como promoções, descontos e economias de escala sob o aspecto estatístico, quando necessário.

No capítulo 4 será apresentado um modelo de sistema de informação que usa páginas da Internet para comunicação entre elos da cadeia a respeito de seus níveis de estoque, obtidos por meio de simulação computacional.

Este modelo emprega o armazenamento de informações em bancos de dados, o tratamento destas por meio da *SQL* (*Structured Query Language* – Linguagem de Consulta Estruturada) e a montagem de arquivos de texto que são a principal via de comunicação entre as empresas. Esta abordagem é classicamente empregada em sistemas de grande porte pois (Tanenbaum, 1992):

- Minimiza o tráfego de dados pela movimentação de dados simples (arquivos de texto de tamanho reduzido);
- Acelera a comunicação entre processos (um processo, neste escopo, é uma aplicação computacional em execução);
- Reduz a possibilidade de ocorrência de erros, mantendo alta a disponibilidade do sistema);
- Permite a escalabilidade vertical do sistema (troca de equipamentos por equivalentes mais poderosos) sem alteração da estrutura de mensagens.

No capítulo 5 serão apresentados os resultados, seguidos de uma discussão detalhada. A sugestão de novos modelos de sistemas de informação para gerenciamento de estoques auxiliado por simulação de sistemas é a principal contribuição que este trabalho tem como meta, dada sua importância no cenário logístico e, em particular, no âmbito do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.

No capítulo 6 serão apresentadas as conclusões finais e os desdobramentos futuros passíveis de desenvolvimento a partir das considerações ao longo do texto, principalmente sobre a simulação computacional, um campo ainda incipiente no Brasil, alvo mais de estudos acadêmicos do que de aplicações práticas. Com este trabalho, procura-se conciliar ambos e fornecer subsídios para novas idéias sobre este tema.

Capítulo 2

Revisão da literatura

2.1 A gênese do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

Os conceitos relacionados ao Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (a partir de agora aqui referenciado pela sigla SCM – *Supply Chain Management*) têm passado por constantes alterações para refletir as mudanças nos diversos paradigmas empresariais propostos ao longo de décadas de estudos sobre as melhores práticas técnico-administrativas a serem postas em execução nas organizações, sempre com vistas ao aumento da vantagem competitiva.

Em seu princípio, o SCM era considerado uma extensão ao nível administrativo do *gerenciamento logístico*, definido como o conjunto de técnicas de otimização das operações diárias (curto prazo) associadas à produção, distribuição, armazenamento e transportes de bens entre os canais de serviços, bem como dos processos de controle de estoques e de fluxos de dados (Ross, 1998).

Entretanto, com a mudança da visão empresarial voltada ao *produto* (herdada dos primórdios das linhas de produção em massa e centrada no fornecimento do maior número possível de artigos manufaturados) para a visão voltada ao *cliente*, percebeu-se que uma reformulação do SCM se fazia necessária, pois, simultaneamente à inovação e às mudanças tecnológicas, o fator humano figurado no cliente e suas necessidades passou a ter peso definitivo nas decisões sobre como conduzir um negócio e – principalmente – como mantê-lo no mercado.

Esta reformulação procurou incluir idéias de que organizações eficientes agem finamente sincronizadas com seus parceiros de negócio, dos quais dependem direta ou indiretamente; assim,

um certo produto pode atingir seus alvos (*i.e.* consumidores) de modo mais eficiente caso as operações entre células de uma *macro-organização* (que inclui o negócio principal e todos seus associados) e dentro delas sejam o mais coordenadas possível.

Como o foco é o cliente, tal integração não pode ser considerada apenas em termos operacionais; deve existir igualmente nos processos de criação de um novo item a ser disponibilizado, na determinação de seu valor ao consumidor, na constante avaliação das uniões com outras empresas para a manutenção de seu sucesso, nas atividades de aquisição, fusão e troca de parceiros de negócio e em muitos outros aspectos gerenciais.

Vê-se que, sob este ponto de vista, o SCM vai muito além da simples generalização do conceito de “movimentar bens e armazená-los minimizando custos”. É uma concepção fundamentalmente estratégica voltada a operações de médio e longo prazo, como geração e manutenção de alianças comerciais apropriadas à obtenção das respostas rápidas exigidas pelo mercado, gerenciamento eficiente de informações, previsões, promoções, prospecção de novos nichos de consumo e o desenvolvimento colaborativo de novos produtos. Tudo isto tem um impacto direto nas funções de curto prazo (produção), que devem ter seus objetivos alinhados com as diretrizes administrativas advindas das decisões sobre os temas acima citados.

Não existe uma definição que possa ser considerada conclusiva para SCM pois, como todas as abordagens de negócio são padrões em constante alteração, torna-se arriscada a proposição de um conceito definitivo. Entretanto, em termos de seus objetivos, pode-se dizer que “*SCM é uma filosofia de administração que busca unificar as competências centrais, os recursos e as funções de negócio presentes tanto na organização como fora dela (em seus parceiros) de modo a agregar valor nos serviços oferecidos a seus consumidores.*” (Ross, 1998).

A evolução fica por conta dos meios pelos quais esta unificação pode ser obtida, mormente no que se refere aos sistemas de informação (Seção 2.7).

É fácil perceber que, deste modo, não apenas fabricantes e fornecedores estarão envolvidos nos processos do SCM, mas também as empresas de suporte e os próprios consumidores, o elo final desta chamada *cadeia de suprimentos*. Por definição, empresas de suporte são as pontes entre quem produz o bem e quem o consome. Deste modo, fornecedores (de matérias-primas),

distribuidores e revendedores são parte integrante da configuração clássica de uma tal cadeia (Figura 2.1).

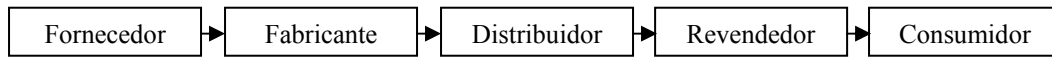


Figura 2.1: Cadeia de suprimentos clássica.

Embora na Figura 2.1 estejam presentes as empresas de suporte típicas, uma ou mais podem não fazer parte desta configuração se forem consideradas possíveis fusões destas funções em uma única organização. Além disto, pode-se falar em *rede* de suprimentos, uma vez que pode existir mais de um fornecedor, mais de um fabricante, e assim sucessivamente (Figura 2.2):

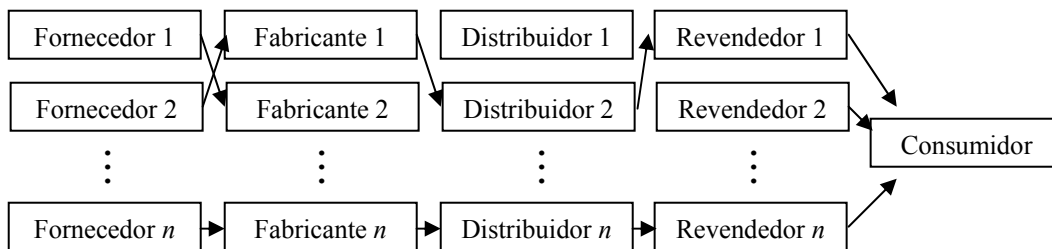


Figura 2.2: Exemplo de rede de suprimentos.

A filosofia SCM modernizou o modo de agir das empresas pois introduziu um grau de integração muito forte entre o negócio-chave e todas as demais atividades essenciais ao seu desenvolvimento consoante exigências de mercado. A Tecnologia de Informação (Seção 2.7), hoje em dia muito discutida, auxiliou na fusão de processos inter-empresariais desde a escolha de matéria-prima até os níveis de serviço ao cliente no pós-venda.

A função do SCM é maximizar o valor da cadeia de suprimentos. Por *valor* entende-se a diferença entre o quanto um produto vale para o consumidor (e este não é um valor monetário) e o esforço despendido internamente à cadeia para fornecê-lo. Em termos práticos, cita-se seu equivalente financeiro denominado *lucro*, definido como a diferença entre o preço final de um item ao consumidor e o total gasto pela associação de empresas para produzi-lo (Chopra, 2001).

O bom funcionamento de uma cadeia regida pelo SCM é medido em termos da lucratividade obtida de modo global. Esta é uma observação importante, pois o foco em lucros

individuais não é uma boa norma na avaliação de desempenho daquela. A este respeito, considerações mais precisas serão feitas ao Capítulo 3.

2.2 Os pilares técnicos da filosofia SCM

Ballou (2003) denomina *direcionadores* os elementos de ligação entre os componentes da cadeia (Figura 2.1) que efetivamente promovem suas as inter-relações (Figura 2.3). São eles: *estoques, transportes, instalações e sistemas de informação*.

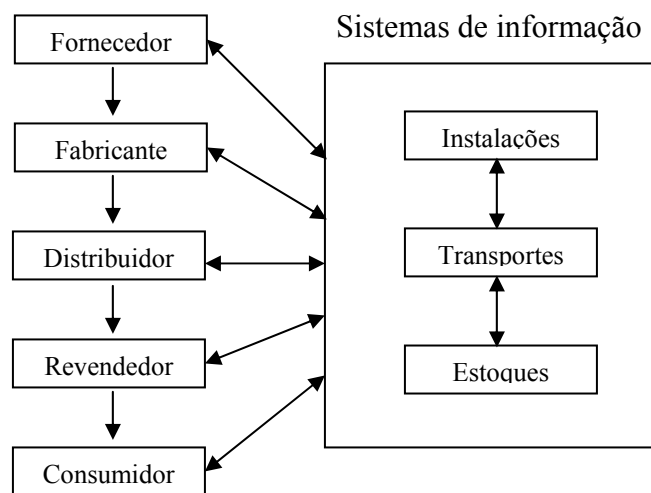


Figura 2.3: Interações entre os componentes de uma cadeia e seus direcionadores.

Estoques (sobre os quais detalhes se encontram no capítulo seguinte) estão relacionados à disponibilidade de quaisquer materiais para a fluência de atividades principalmente ligadas à produção (Hong, 1999).

Transportes, por sua vez, envolvem todos os fenômenos de movimentação de itens pela cadeia. Embora seja comum considerar a importância do transporte apenas ao consumidor final, todas as movimentações intermediárias também apresentam um impacto que pode ser negativo na eficiência global do sistema por ser de um caráter naturalmente cumulativo em termos de prováveis atrasos e de inserções de eventuais ociosidades em termos de prováveis adiantamentos (Bramel, 1997).

O estabelecimento das *instalações* em que os processos ocorrerão, a seu turno, é influenciado pelo direcionador anterior, uma vez que rotas de trânsito entre instalações (e mesmo rotas internas à uma mesma instalação) introduzem discussões financeiras a respeito do melhor método para as cumprir (Daskin, 1995).

Possui ainda componentes ambientais (cuja importância tem apresentado significativos aumentos) e sociais de indispensável necessidade de estudo.

Ligando e integrando os três direcionadores supra-citados, os *sistemas de informação* (Seção 2.7) têm por finalidade prover suficiente grau de acesso a todos os dados provenientes das várias e distintas operações que se desempenham em todos eles, não apenas em termos visuais e de relatório, mas também em termos da geração de análises precisas que apoiem a decisão sobre aspectos operacionais de curto e médio prazo da cadeia.

2.3 Reatividade e eficiência: fatores de equilíbrio

Os direcionadores do SCM possuem a função estratégica de impulsionar a vantagem competitiva da cadeia por meio da equalização de dois conceitos aparentemente antagônicos: a *reatividade* e a *eficiência* (Chopra, 2001).

Reatividade está associada à capacidade da organização de responder a situações-limites em seus ambientes de atuação (*i.e.* cumprir entregas com datas-limites curtas, gerenciar grandes variedades de produtos, criar produtos inovadores à frente da – ou ao menos concomitantemente à – concorrência, dentre outras atribuições delegadas aos setores competentes com execução a curto prazo). Muitas destas atividades estão associadas a altos graus de incerteza sobre seu sucesso, motivo pelo qual não basta à empresa dispor das técnicas que lhe garantam alta reatividade, mas também dos conhecimentos integrados em todos os seus setores internos (Haberkorn, 1999), principalmente aqueles envolvidos no cálculo de predições sob circunstâncias adversas.

A contraposição à reatividade evidencia-se pela definição de eficiência, apresentada, neste contexto, como a capacidade de produzir em grandes quantidades a baixo custo. Tal custo é calculado desde a produção até o envio para o cliente, sendo a cadeia de suprimentos tanto mais

eficiente quanto menores níveis de encargos forem incorridos nos processos de cumprimento das demandas.

Da análise destes dois conceitos fica clara a problemática do equilíbrio entre um e outro: alta reatividade implica em altos custos (investimento em tecnologia, ampliação de capacidades produtivas e demais gastos internos), o que diminui a eficiência. A prioridade a esta, entretanto, faz diminuir a primeira (Figura 2.4). Uma vez que os geradores de custos estão em constante alteração devida principalmente ao incremento da tecnologia (que faz com quem empresas baseiem cada vez mais suas operações por meio de equipamentos computacionais) é interessante fixar no grau de reatividade uma maneira de quantificar as capacidades da empresa quanto ao gerenciamento de suas demandas (Chopra, 2001).

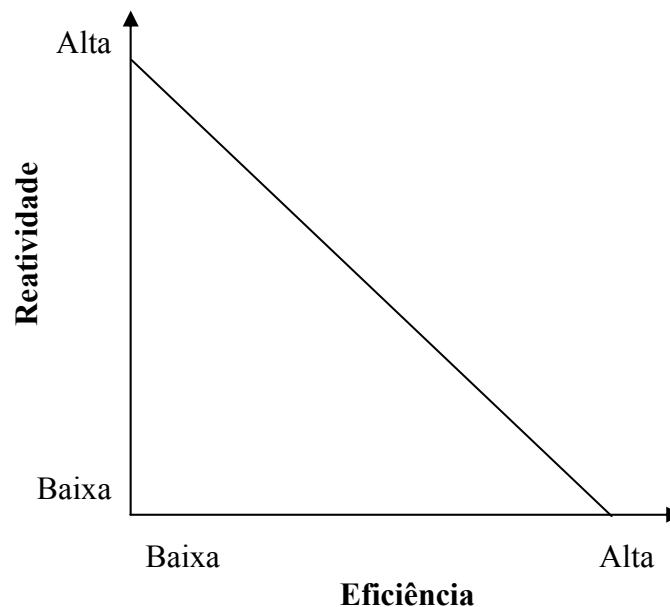


Figura 2.4: Relação de dependência entre reatividade e eficiência.

Assim sendo, é essencial que se estabeleça claramente qual será o foco da cadeia: a produção de itens ditos *inovadores* ou *funcionais* (Fisher, 1997), classificação que relaciona as variáveis em questão a como os direcionadores atuarão na geração de bens de consumo.

Produtos inovadores são aqueles que, sem par no mercado, possuem demandas imprevisíveis, apesar de poderem apresentar margens de lucro altas devido justamente à

novidade. Como consequência, seus ciclos de vida são curtos pois estes produtos estão em fase de ajuste em suas especificações, incrementando ainda mais sua imprevisibilidade.

Os produtos funcionais costumam satisfazer necessidades básicas e geralmente são encontrados em lugares sem especificidade. Têm ciclos de vida mais altos e demanda bem conhecida.

De um modo geral, produtos funcionais requerem processos eficientes e produtos inovativos requerem processos reativos (Figura 2.5).

	Produtos funcionais	Produtos inovadores
Cadeia de suprimentos EFICIENTE	OK	Problemas
Cadeia de suprimentos REATIVA	Problemas	OK

Figura 2.5: Matriz de situações *tipo de produto x tipo de cadeia de suprimentos* (Fisher, 1997).

Determinar com precisão em qual tipo de produto investir (e, deste modo, coordenar o uso de seus direcionadores) é a garantia de que a empresa obterá sucesso na definição do conjunto de necessidades de seus clientes, consequentemente satisfazendo-os. Por outras palavras, é o estabelecimento de suas competências centrais, aquilo que a empresa sabe fazer com excelência.

2.4 SCM e o papel do consumidor

Uma variável de desempenho atualmente apontada como medida-chave de competitividade de uma companhia é o nível de serviço oferecido aos clientes (Greenberg, 2001; Swift, 2001). A cadeia da qual faz parte, devidamente estruturada, oferece suporte na adoção das melhores práticas para atender suas demandas não apenas pelos produtos gerados a partir de seu processo de negócio particular, mas a partir de todas as demais originadas na interface com os outros associados. Na prática, um cliente pode ter suas dúvidas sanadas em qualquer ponto da rede pois os dispositivos de atendimento também estão (ou ao menos deveriam estar) integrados entre si. Este é apenas um dos muitos serviços originados da compreensão de suas necessidades e identificação do segmento ao qual pertence.

A segmentação introduz um nível de incerteza relacionado à demanda que é intrínseco ao tipo de cliente considerado (Chopra, 2001). Esta incerteza está ligada diretamente ao produto que lhe é oferecido e sua natureza (funcional ou inovador). Assim, a relação cliente – natureza do produto – natureza da cadeia deve ser muito bem estabelecida principalmente para que os métodos de previsão forneçam dados úteis à disponibilização dos serviços mais adequados (*e.g.* promoções e preços especiais, taxa desejada de inovação de produtos, melhorias em produtos funcionais, aumento da diversidade de itens e gerenciamento de tolerâncias a atrasos e falhas na aquisição dos mesmos).

Uma vez que são compreendidos os motivos do parque consumidor e, em seguida, estruturada a cadeia para atendê-lo, a parte operacional da cadeia tem condições de iniciar e conduzir suas operações a curto prazo propriamente ditas. Na elaboração destas, é importante conhecer com profundidade os processos envolvidos. É o que se verá a seguir.

2.5 Visões de processos no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

O SCM é um conjunto de procedimentos logicamente encadeados. É claro que este encadeamento não pode ser visto como presente em apenas um elo da cadeia, mas como aglomerado homogêneo de operações interdependentes da macro-organização. Torna-se de fácil compreensão a gama de processos se for possível desmembrá-la de modo a identificar seus principais componentes.

2.5.1 A visão de ciclo

Chopra (2001) sugere uma *visão de ciclo* que explicita os papéis de cada membro da cadeia em termos operacionais. De um modo geral, a visão de ciclo divide-a em quatro grandes grupos (ou ciclos) na interface dos quais ocorrem os processos dos elementos da configuração clássica (Figura 2.6):

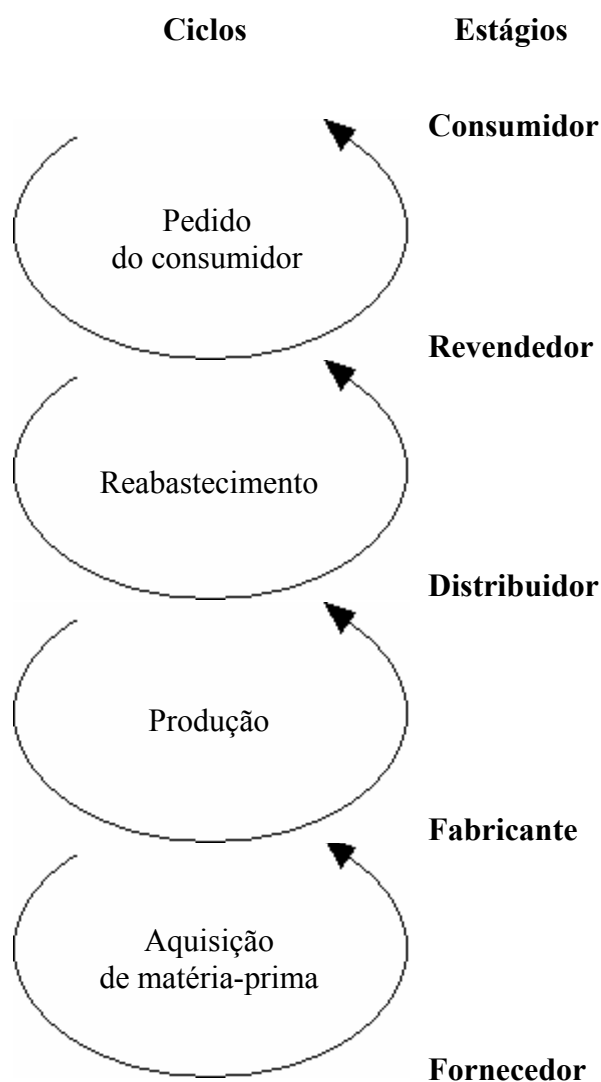


Figura 2.6: A visão de ciclo da cadeia de suprimentos (Chopra, 2001).

O ciclo de *Pedido do consumidor* é responsável pelas ações de recebimento de um pedido que pode ou ser imediatamente atendido ou ser arquivado para posterior produção. Em ambos os

casos, ocorre a inserção do pedido em algum meio eletrônico apropriado de modo que todas as suas informações estejam sempre disponíveis. Muitos elementos de CRM (*Customer Relationship Management* – Gerenciamento de Relacionamento com o Cliente) são aqui empregados no caso de pedidos feitos de modo remoto (telefone ou Internet) neste contato inicial: o sistema de *Call Center* (telefones) ou formulários em HTML¹ interativos com bancos de dados (Internet).

O armazenamento eletrônico também é importante porque por meio da recuperação de dados sobre estoques pode-se dar o início do ciclo seguinte, de *Reabastecimento*.

No Reabastecimento ocorre o suprimento do estoque do revendedor caso seja constatado que seus níveis chegaram ao ponto de não cumprimento de novas demandas. Deve-se manter o estoque provido sempre a menor custo, obedecendo-se ainda às políticas de gerenciamento definidas nos estágios iniciais da construção da cadeia de suprimentos (Seção 3.3.4).

O ciclo de *Produção* é ativado toda vez que há a necessidade de desempenhar processos de fabricação de produtos pela solicitação de um pedido ou para a reposição de estoques. Pode ser preciso ocorrer a interface com o ciclo seguinte, de *Aquisição de matéria-prima*, caso esta esteja em falta para o cumprimento das ordens de produção.

Em todos estes ciclos, como no de *Pedido do consumidor*, informações relevantes são arquivadas em meios eletrônicos coordenados pelos sistemas de informação adotados.

Cada ciclo, por sua vez, pode ser ainda subdividido de acordo com as ações que nele ocorrem (Figura 2.7 à próxima página):

¹ *Hypertext Markup Language* (Linguagem de Formatação de Hipertexto): linguagem computacional de formatação de páginas da Internet baseada em marcadores (*tags*).

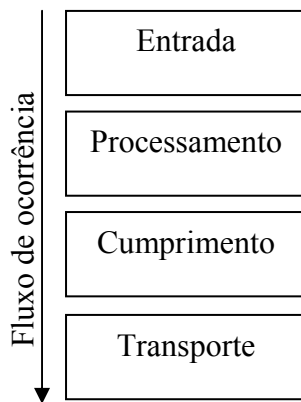


Figura 2.7: Sumário das ações ocorridas no interior de cada ciclo (adaptado de Chopra, 2001).

Na *entrada* é, de modo genérico (ocorre do mesmo modo para todos os ciclos), posta uma ordem que deverá ser executada em resposta a uma solicitação do início do ciclo anterior. A diferença é a natureza desta ordem, que pode ser tanto criada pelo consumidor no final da cadeia quanto pelo fabricante que requer um conjunto de matérias-primas (Bowersox, 1996).

No *processamento* ocorre a criação de registros nos sistemas de informação de armazenamento sobre a ordem gerada. Estes registros podem ser simplesmente dados de uma ordem feita por um consumidor ou um revendedor pedindo reabastecimento (primeiro e segundo ciclos, respectivamente) ou podem ser dados mais complexos sobre planejamento da produção (seqüenciamento) ou requerimento de materiais (MRP) (terceiro e quarto ciclos, respectivamente).

O *cumprimento* da ordem é sua execução propriamente dita. Nos casos mais simples, pode equivaler tão somente à compra imediata do bem desejado ou dos itens para reposição de estoque (primeiro e segundo ciclos); pode ainda equivaler ao início de um ciclo de fabricação de produtos ou matérias-primas (terceiro e quarto ciclos) (Bowersox, 1996).

Por fim, pelo *transporte* os ciclos se encerram. Como na entrada, também aqui ocorre esta ação de modo genérico, sendo entregue o resultado de uma ordem tanto para o consumidor final quanto para o fabricante que recebe seus materiais do fornecedor.

Pela clareza com que as funções em cada processo da cadeia são definidas, torna-se mais simples tomar decisões operacionais, principalmente aquelas voltadas à sincronização e ajuste fino entre operações internas. Na maioria das vezes, estes ajustes consistem em padronização de formatos de dados para uso nos sistemas de informação ou de procedimentos operacionais internos que visam a execução de tarefas de modo homogêneo (Laudon, 2002).

2.5.2 A visão *puxa-empurra*

Uma segunda visão que pode ser empregada na compreensão de uma cadeia é a *visão puxa-empurra* (Bertaglia, 2003), na qual suas ações são iniciadas em resposta aos pedidos dos clientes (*puxa*) ou em antecipação aos mesmos (*empurra*).

Por meio desta metodologia, é possível determinar as leis que regerão a produção, assunto estratégico que deve ser tratado na fase de planejamento da cadeia, posterior à sua fase de concepção.

A produção empurrada é particularmente interessante pois mecanismos de previsão devem ser utilizados para evitar falhas no atendimento aos pedidos (excesso ou falta de produtos). Maiores detalhes serão vistos no Capítulo 3.

2.6 O paralelo entre competitividade e SCM

O sucesso de uma cadeia de suprimentos está condicionado à integração eficiente entre suas estratégias competitivas e os recursos que a cadeia apresenta para suportá-las (Chopra, 2001). Por outras palavras, os objetivos tanto da cadeia quanto de seus lemas de competitividade devem ser os mesmos.

Simultaneamente à busca de tal integração deve haver constante prospecção de novos mercados para o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Naturalmente, olhar à frente traz à tona, dentre outras, questões sobre futuras configurações da competição entre empresas e seus comportamentos face aos novos mercados. A manutenção de eficientes estratégias competitivas que formam o substrato para estratégias de SCM são baseadas em quatro princípios (Ross, 1998):

- *Observação*: atenção dada a todas as informações concernentes a mercado, produção, tecnologia e operações;
- *Orientação*: reposicionamento constante da empresa de acordo com as observações feitas de modo a acompanhar as mudanças dos paradigmas de competitividade;
- *Decisão*: manutenção do foco sobre os objetivos da cadeia, seus recursos, seus processos e sua estruturação organizacional são essenciais na construção de diretrizes de sua atuação;
- *Execução*: efetiva implementação das decisões, devendo ser lembrando que as mesmas não guiam as operações diárias, mas apenas determinam suas leis.

Nas atividades relacionadas ao alinhamento da competitividade com os princípios da cadeia SCM, o gerenciamento da informação é de grande auxílio para que esta integração seja efetivamente conseguida. As próximas seções detalham as principais características dos sistemas responsáveis pelo fluxo dos dados de uma cadeia de suprimentos.

2.7 Princípios de Sistemas de Informação e Tecnologia da Informação

Um *Sistema de Informação* é um conjunto heterogêneo de elementos (principalmente computacionais) cuja finalidade é permitir a entrada de dados que poderão ser armazenados, processados (transformados), recuperados, exibidos e distribuídos. Com isto, dá-se suporte à tomada de decisão e auxilia-se no controle e manutenção de uma organização (adaptado de Laudon, 2002).

Costuma-se diferenciar entre o que significa *dado* e o que significa *informação*, embora ambos os conceitos estejam relacionados. Enquanto o primeiro consiste numa coleção de fatos sem tratamento observados, por exemplo, em um determinado departamento de uma empresa, a informação é a forma organizada destes dados, dispostos de uma maneira compreensível e utilizável não apenas pelos funcionários daquele setor, mas por quem mais desejar consultá-la.

A grande vantagem dos sistemas de informação é, justamente, fornecer mecanismos que ajudam na “tradução” de informações colocadas sob certo formato para outro, permitindo o intercâmbio e estabelecendo uma espécie de linguagem comum sobre assuntos distintos.

O uso de sistemas de informação passou a ser considerado a partir do momento em que os processos administrativos deixaram de ser pontuais (executados setorialmente) e se tornaram estendidos a toda a organização. Administrar passou a ser uma atividade global, exigindo que os executivos se inteirassem da maioria das atividades empresariais.

A globalização, conceito difuso cujos efeitos passaram a ser sentidos mais acentuadamente a partir da década de 70, permitiu, nos tempos atuais, sob a presença dos meios de comunicação eletrônica, o surgimento de amplos mercados sem a barreira física da localização geográfica. Obviamente, o estabelecimento de potenciais de aquisição de produtos a preços eventualmente menores estimulou a concorrência de empresas semelhantes que passaram a usar dos sistemas de informação para introduzir melhorias em suas metodologias de negócio.

O próprio conceito de conhecimento (*i.e.*, o acúmulo ordenado de informações sobre diversos assuntos) passou a ser empregado como sinônimo de construção de riqueza pelas economias ricas. Deter conhecimento e dele se beneficiar por meio da prestação de serviços como vendas, educação, saúde e finanças criou uma nova classe dos assim chamados “trabalhadores do conhecimento” (Laudon, 2002), comprometidos com o uso de sistemas de informação cada vez mais sofisticados.

A maioria dos sistemas de informação presentes nas empresas são classificados como *formais*. Nestes, o processo de aquisição, armazenamento, processamento e recuperação seguem normas previamente definidas (geralmente advindas de um consenso entre administração, usuários e especialistas em computação), podendo ser consideradas uma extensão eletrônica dos *POP's* (Procedimentos Operacionais Padronizados) empregados na estruturação de tarefas tradicionalmente desempenhadas nos escritórios.

Este conceito se opõe aos sistemas de informação *informais*, muito mais ligados à convivência social e a regras de comportamento humano implícitas do que ao emprego de informações organizacionais efetivas, ainda que os sistemas formais também possuam,

igualmente, seus componentes sociais e comportamentais que, aliás, exercem papel fundamental no sucesso ou fracasso de sua adoção pela empresa (Laudon, 2002).

A Tabela 2.1 (próxima página) resume as principais mudanças que levaram ao desenvolvimento dos sistemas de informação.

Ao mesmo tempo em que se passou a dar maior importância ao gerenciamento da informação, a tecnologia computacional passou também por radicais mudanças, principalmente com o advento e desenvolvimento das redes de computadores nas décadas de 60 e 70 e com as melhorias introduzidas nos sistemas de armazenamento e tratamento de dados.

Surge, então, a *Tecnologia da Informação* (TI), definida como o conjunto de técnicas computacionais utilizadas para dar suporte às operações dos Sistemas de Informação. É preocupação da TI a avaliação das tecnologias mais adequadas para que o gerenciamento da informação se dê, o mais possível, de maneira fluente, transparente e isenta de problemas.

A TI verifica os seguintes aspectos organizacionais:

- *Volume de dados*: todos os sistemas de armazenamento são dimensionados de acordo com a quantidade de dados (brutos) e informações (refinadas) que deverão estar à disposição dos usuários. Esta disponibilidade não pode conter restrições de horário ou formato. Nesta fase, especialistas em TI determinarão as características de *hardware* (parte física do equipamento computacional) e de *software* (parte lógica, de controle) com relação a redundância, tipo de banco de dados a ser empregado, criação de repositórios de dados e recuperação parcial de acordo com a solicitação (*data warehouse* e *data mining*, respectivamente), dentre outros (Watson, 2003);
- *Meios de comunicação*: sistemas de informação atuais empregam, eminentemente, recursos de redes de computadores para garantir que todos os setores da empresa tenha acesso a qualquer tipo de informação. Configurações topológicas de rede (*e.g.* anel, estrela), intensidade do tráfego de dados, mecanismos de correção de erros, roteamento e envio de pacotes, capacidades de navegação na Internet e manutenção

de mensagens eletrônicas, agendamento de compromissos remotos e vídeo conferência são alguns dos assuntos analisados;

Tabela 2.1: Mudanças no ambiente empresarial como base para a adoção de S.I. (adaptado de Laudon, 2002).

Globalização	Economia	Empresa
Administração global em lugar de local	Aumento da importância do conhecimento e da informação	Simplificação de estruturas
Concorrência com mercados mundiais	Incremento de produtividade	Descentralização
Grupos de trabalho mundiais	Necessidade de desenvolvimento de novos produtos e serviços em menor tempo	Flexibilidade
Sistemas de entrega globais (logística de distribuição)	Concorrência baseada em alterações mercadológicas rápidas	Independência (parcial) de localização
	Menor ciclo de vida dos produtos	Necessidade de minimizar custos transacionais e de coordenação
	Necessidade de maior integração do funcionário com os processos da empresa	Delegação racional de trabalho
		Incentivo ao trabalho colaborativo

- *Usuário:* é o aspecto diretamente ligado à interação humana com os sistemas de informação e que talvez seja o mais complexo de ser gerenciado. Isto porque pessoas reagem de modos extremamente diversos ao contato com computadores ou mesmo com sistemas eletrônicos que desempenham as mesmas funções que aquelas antes executavam, o que não dá margem à elaboração de qualquer teoria fixa sobre a melhor maneira de prover esta integração. De qualquer modo, na interação com o usuário determinam-se os modos de como estes deverão utilizar os programas

computacionais que formam, basicamente, os sistemas de entrada, visualização e alteração de todas as informações de interesse (Eberts, 1994; Sutcliffe, 1995).

2.8 Classificação dos Sistemas de Informação

Sistemas de Informação existem sob diversos formatos e com diferentes finalidades, uma vez que nenhum sistema monolítico (único) pode prover todas as centenas de funcionalidades necessárias ao bom andamento de uma empresa.

Os S.I.'s são tradicionalmente agrupados em categorias semelhantes à hierarquia organizacional existente (O'Brien, 2003):

- *Sistemas de nível operacional:* são todos aqueles utilizados no acompanhamento diário das operações executadas pela firma. Seqüenciamento da produção (Dagnone, 2000), transações de compra e venda, elaboração de folhas de pagamento, controle de estoque e vários outros procedimentos rotineiros são coordenados por sistemas de informação operacionais cuja principal característica deve ser a facilidade de uso e de representação da informação, bem como de manter dados que são rapidamente alterados atualizados de maneira precisa;
- *Sistemas de nível de conhecimento:* operados principalmente pelos trabalhadores do conhecimento, estes sistemas têm como objetivo principal facilitar a tarefa de desenvolvimento criativo destes profissionais. Na criação de novos produtos ou serviços, sistemas de conhecimento abreviam etapas monótonas, aceleram etapas complexas e organizam o fluxo de trabalho delegado a cada funcionário suas atribuições específicas. Ferramentas de design bi e tridimensional, simuladores, planilhas eletrônicas e gerenciadores de contatos e compromissos são alguns exemplos de tais sistemas;
- *Sistemas de nível gerencial:* fornecem informações reunidas de diversos setores e as exibem de modo agrupado, organizado e adicionado de observações pertinentes que auxiliam a tomada de decisão por parte dos gerentes médios. Esta exibição se dá

classicamente por meio de *relatórios*, que atualmente dispensam o papel² pois são gerados eletronicamente e formatados segundo padrões que os permitem ser abertos em navegadores de Internet (colaborando, deste modo, também para a disseminação das informações);

- *Sistemas de nível estratégico*: são semelhantes ao tipo anterior; porém, as questões consideradas são de interesse estratégico para a empresa, geralmente incluindo decisões a longo prazo, como potencial de expansão (física e de mercado), metas a serem atingidas e condições do ambiente externo que influenciam em sua vantagem competitiva. Por requererem muitas vezes dados de fora da empresa (como os sistemas de nível gerencial), os sistemas de nível estratégico costumam ser a porta de entrada para todas as informações que os demais sistemas processarão e das quais serão extraídas as linhas gerais de atuação no futuro.

As quatro categorias descritas englobam, por sua vez, seis tipos de sistemas (Laudon, 2002):

- *Sistemas de Suporte Executivo* – SSE (categoria de sistemas de nível estratégico);
- *Sistemas de Informações Gerenciais* – SIG (categoria de sistemas de nível gerencial);
- *Sistemas de Suporte à Decisão* – SSD (categoria de sistemas de nível gerencial);
- *Sistemas de Trabalho de Conhecimento* – STC (categoria de sistemas de nível de conhecimento);
- *Sistemas de Automação de Escritório* – SAE (categoria de sistemas de nível de conhecimento);
- *Sistemas de Processamento de Transações* – SPT (categoria de sistemas de nível operacional).

² Tendência cada vez mais observada nas empresas, em vista das crescentes pressões por parte de entidades ecológicas a respeito do impacto de suas ações na natureza e de sua influência no desenvolvimento sustentável.

São de interesse para este trabalho os três primeiros tipos de sistemas. Os SIG's são o elemento básico para a coleta de informações gerenciais, devido à sua própria natureza pouco analítica. Suas funções se resumem à geração de relatórios sobre atividades estruturadas³ de curto a médio prazo para auxiliar nas tomadas de decisão sobre as operações básicas da empresa.

Os SSD's se servem dos relatórios de um SIG para auxiliar nas análises de atividades semi-estruturadas⁴, possuindo poder analítico maior a ponto de permitir avaliações de situações, condensar grandes massas de dados em relatórios sucintos e ativar processos externos (como a simulação de sistemas) de coleta de dados adicionais (Capítulo 4).

Os SSE's, por fim, são responsáveis pelas análises de situações exclusivamente não-estruturadas, dispondo de recursos sofisticados de análise de sensibilidade sobre dados externos, embora sejam menos analíticos que os SSD's, devido ao próprio caráter dispersivo que tais situações costumam apresentar.

2.9 Os Sistemas de Informação como propulsores da vantagem estratégica

Os sistemas de informação de nível mais alto (SIG, SSD e SSE) possuem importância estratégica para a organização pois por meio de suas análises e relatórios é montado um histórico valioso que exhibe sua trajetória, sendo indispensável, portanto, para definir seu futuro (não pode haver evolução sem passado).

Isto é especialmente verdadeiro se o desenvolvimento da empresa for estudado sob o *Modelo das Forças Competitivas* de Porter (1998), pela qual cinco fatores exercem influência sobre como conduzir seus negócios: relação com os concorrentes tradicionais (fator interno), relação com fornecedores, relação com consumidores, surgimento de produtos substitutos e surgimento de novos concorrentes (fatores externos) (Figura 2.8 à próxima página):

³ Uma atividade estruturada é aquela cujos resultados são bem conhecidos e fornecem respostas a questionamentos claros e precisos, em contraposição às atividades não-estruturadas, dependentes de soluções às vezes pouco usuais ou mesmo novas.

⁴ Mescla de uma situação estruturada que contém componentes não estruturados (*i.e.*, não rotineiros).

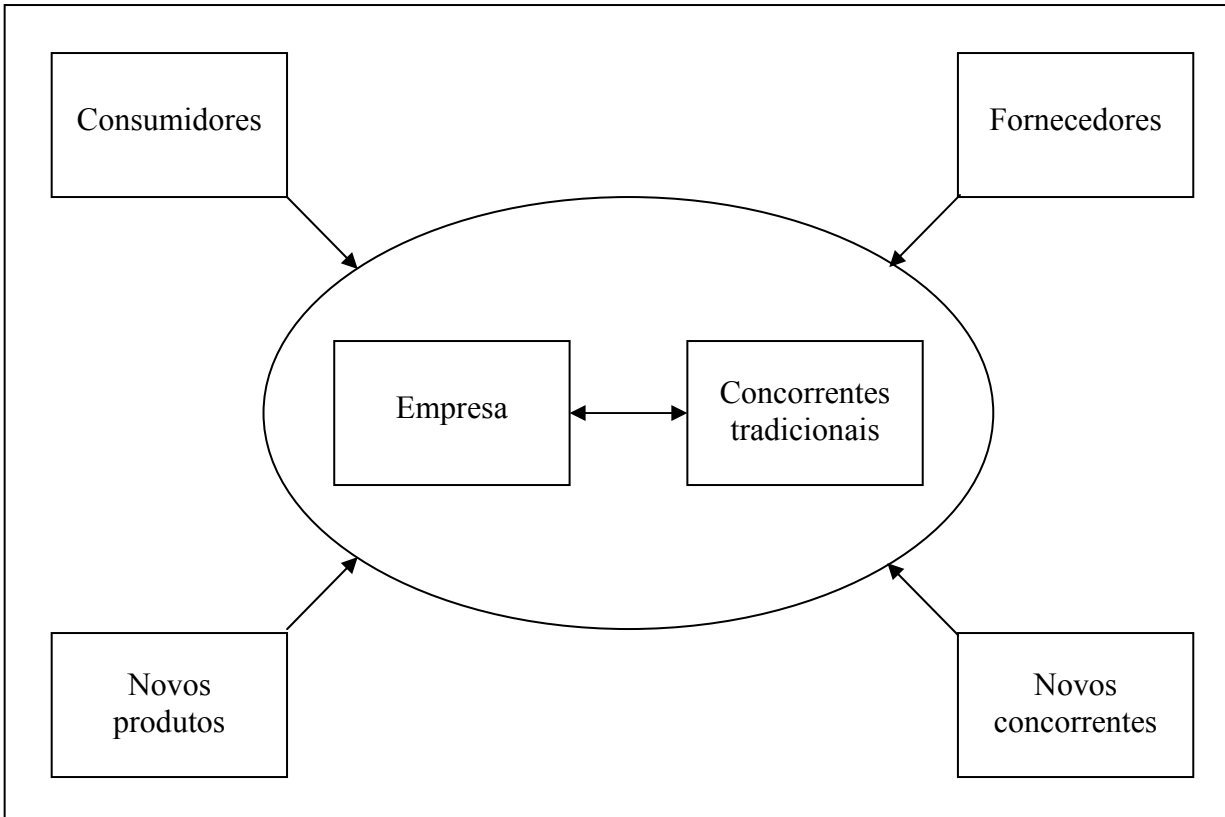


Figura 2.8: Modelo das Forças Competitivas (Porter, 1998).

A capacidade da empresa de fazer frente a estas forças é proporcional à capacidade que possui de compreender suas próprias limitações e agir para promover sua interação com elas.

Sistemas de informação auxiliam na execução das abordagens tradicionais para o tratamento destas forças (Porter, 1998):

- *Diferenciação:* muitos produtos carregam consigo a fidelidade conquistada após anos de presença no mercado devido ou à constante inovação ou a eficientes campanhas de propaganda. Por meio de sistemas de nível de conhecimento (e com o auxílio de dados provenientes dos sistemas de nível gerencial) é possível criar esquemas computacionais de vendas de produtos com altos níveis de personalização e acesso praticamente irrestrito devido às tecnologias de rede atuais, potencializando a capacidade de inovação e angariando novos clientes;

- *Especialização*: o oferecimento de produtos e serviços específicos para segmentos de mercado é uma das atividades que mais tem se desenvolvido graças aos processos de prospecção de dados. Sistemas de informação de nível gerencial que implementam recursos de *data mining* (Watson, 2003) fazem uma busca em profundidade em bancos de dados cadastrais e extraem padrões de consumo (e, por conseguinte, indicam padrões de comportamento) que serão utilizados para compor estratégias de *marketing*, vendas e promoções específicos (Riggs, 1997; Poirier, 1999);
- *Desenvolvimento de parcerias*: os sistemas de informação em nível gerencial também são utilizados para o controlar intimamente o relacionamento que uma empresa tem com seus parceiros de negócio, tornando disponíveis suas necessidades para estes de modo que sejam eliminados problemas na recepção de pedidos de compra de produtos, de entrega, de atualização de catálogos de produtos e outros benefícios. Estimula-se o relacionamento direto entre empresas associadas por meios eletrônicos de comunicação direta, processo atualmente conhecido como B2B (*Business to Business*) (Telles, 2003);
- *Maximização do valor da cadeia de suprimentos*: é um resultado direto do desenvolvimento de parcerias via sistemas de informação e que agrega mais valor aos produtos pelas melhorias verificadas em todas as discussões realizadas nas Seções 2.3 a 2.6.

2.10 Sistemas Distribuídos para uniformização da informação

Sistemas de informação são naturalmente *distribuídos*. Um sistema distribuído é um sistema computacional interligado via topologia de rede apropriada e cuja execução de aplicações é transparente em todas as estações (Lampson, 1988; Coulouris, 2001; Tanenbaum, 2002). Na prática, sistemas distribuídos funcionam como uma única aplicação acessível por qualquer elemento da rede e é sob esta definição que se alinham a grande maioria dos sistemas de informações empresariais.

Outra abordagem de sistemas distribuídos direcionada à área científica é a *computação concorrente*, ou *programação paralela* (Burns, 1993) na qual elementos da rede processam trechos isolados de um problema fragmentado, sendo reunidos os resultados posteriormente.

Sistemas podem ser distribuídos por vários motivos:

Em termos administrativos:

- Ausência de estruturas funcionais centralizadas na maioria das empresas atuais;
- Receio da imposição de um estilo gerencial específico;
- Existência de necessidades peculiares em cada departamento que podem ser supridas por recursos próprios.

Em termos econômicos:

- Redução de custos: colocar em funcionamento recursos computacionais de menor capacidade em diversos setores é mais barato do que adquirir uma única estrutura monolítica;
- Propicia processamento mais ágil de informações locais;
- Permite acesso múltiplo a recursos dispendiosos que não podem ser adotados em toda a empresa (*e.g.* certos tipos de scanners, impressoras laser e dispositivos de armazenamento de grande capacidade).

Em termos técnicos:

- Promove maior disponibilidade das aplicações pela sua execução em múltiplas estações;
- Promove a extensibilidade do sistema;

- Incrementa a capacidade de processamento pela organização de *clusters* (elementos de rede associados na execução de aplicações paralelas).

2.11 A Arquitetura Cliente/Servidor (C/S) e suas implicações tecnológicas

Seja qual for a motivação, sistemas distribuídos fazem uso da *arquitetura cliente/servidor* (Orfali, 1994; Renaud, 1996), um modelo de distribuição de sistemas com origem na década de 90 e cuja característica marcante é a total heterogeneidade tanto de *hardware* quanto de *software* (fato denominado *plataforma aberta*), composta por um conjunto de regras que coordena a execução de uma determinada tarefa por meio de entidades lógicas (*clientes* e *servidores*) conectadas à uma rede. Geralmente, servidores possuem serviços computacionais diversos que são consumidos pelos clientes remotamente (Figura 2.9).



Figura 2.9: A estrutura básica de requisição/atendimento a processos na arquitetura C/S (adaptado de Orfali, 1994).

O uso deste modelo, embora de superior desempenho ao modelo *mainframe* tradicional, deve ser feito com cautela pois a falta de padronização entre fabricantes pode acarretar problemas de expansão futura e acesso à informação.

A arquitetura C/S pode ser vista estrategicamente por meio das forças direcionadoras que incentivaram seu crescimento (Figura 2.10 à próxima página), a saber: *downsizing*, *upsizing* e *rightsizing* (Orfali, 1994).

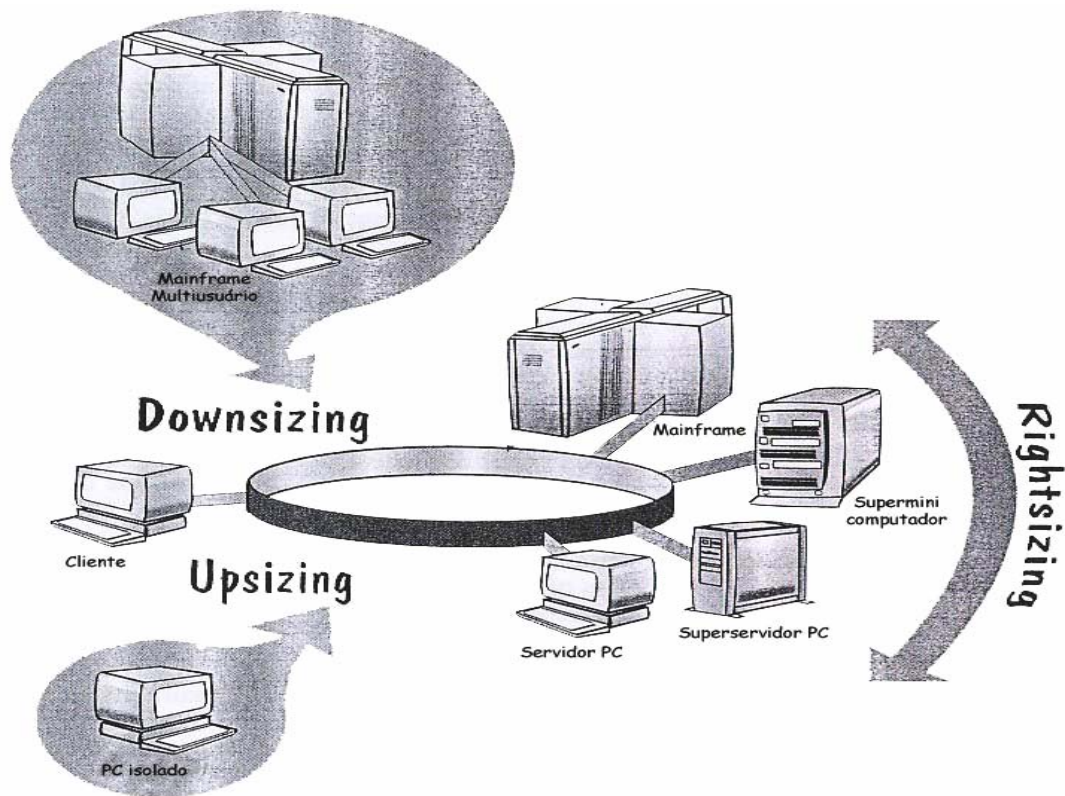


Figura 2.10: Forças que impulsionaram a arquitetura C/S (adaptado de Orfali, 1994).

O *downsizing* está relacionado à migração de aplicações de negócio de *superminis* e *mainframes* para equipamentos pessoais convencionais (PC's). Fracionam-se aplicações típicas de grandes estações em módulos executados em componentes de uma rede, o que torna possível o uso de interfaces mais sofisticadas e amigáveis.

Ocorre ainda a substituição de processadores centralizados e terminais operados pelo conceito de *time-sharing*⁵ por equipamentos sob a arquitetura C/S operadas remotamente.

O *upsizing*, por sua vez, é a tendência a integrar equipamentos pessoais isolados às redes em nível departamental ou de grupo de trabalho. Assim, custos são diminuídos e promove-se a combinação entre praticidade e o acesso multiusuário a recursos físicos, sendo que na atualidade é patente a necessidade de compartilhamento da informação, integração entre os vários usuários

⁵ Compartilhamento de recursos computacionais via *multitasking* (execução aparentemente simultânea de duas ou mais tarefas por um único processador). Maiores detalhes em Tanenbaum (1992).

(por meio de mensagens eletrônicas ou instantâneas) e acesso rápido a bancos de arquivos, textos e até mesmo imagens.

O *rightsizing*, por fim, é processo de mover as aplicações computacionais para a plataforma de servidor mais apropriada (um *supermini* ou mesmo um *mainframe*). Os clientes requisitam serviços cujas execuções serão desempenhadas pelo servidor mais apropriado. Este fato, aliado ao caráter “aberto” da arquitetura C/S torna possível focalizar a força do servidor nas atividades mais cruciais de uma empresa. As principais vantagens trazidas são a otimização da utilização de recursos, a alta disponibilidade dos serviços e as respostas rápidas às solicitações (pois estarão em equipamentos dedicados), incentivando o aumento da vantagem competitiva e formando a chamada *Plataforma de Servidores Organizacionais* (*Enterprise Server Platform – ESP*). Podem ser empregados servidores especialistas, por exemplo, para funções de roteamento de e-mail, compartilhamento de arquivos e impressão, gerenciamento de sistemas, rede e licenças e suporte à decisão.

A arquitetura C/S leva a computação distribuída a um novo nível em que seus profissionais deverão ter experiência em processamento de transações, *design* de banco de dados, comunicações e criação de interfaces, além de transformar em *commodities*⁶ certos tipos de *hardware* (computadores pessoais principalmente, placas de rede, roteadores e demais equipamentos de rede) e de *software* básico (protocolos de comunicação, procedimentos remotos, serviços de segurança e de diretório).

Como o *hardware* tem apresentando uma progressiva homogeneização, há uma inclinação a focalizar o *software* de serviço como diferencial nas atividades de venda de equipamentos. De fato, grande parte dos investimentos em sistemas de informação estão mais voltados ao seu controle lógico do que à aquisição de novas máquinas (Paula Filho, 2003).

Além deste fato, valor maior é dado aos sistemas de informação que permitem interação com aplicativos externos capazes de fornecer respostas adicionais, complementando sua função. Por exemplo, aliado aos processos de SCM, simuladores de eventos discretos têm demonstrado

⁶ Recursos que não são mais diferenciais de um produto para outro, mas sim presentes em todas as marcas mais comuns devido à necessidade imposta pelo uso.

crescente aceitação na elaboração de novas visões de como determinadas operações (principalmente na área de produção) geram impactos negativos ou positivos no desempenho global de uma cadeia de suprimentos (Harrel, 2002; Harrel, 2003).

2.12 Simulação de Sistemas Computacionais

A *Pesquisa Operacional* (P.O.) é um conjunto de técnicas matemáticas empregadas na resolução de problemas cotidianos que envolvem buscar a melhor maneira de usar recursos geralmente escassos. Pode ser considerada, portanto, como um conjunto de ferramentas auxiliares nos processos de tomada de decisão e planejamento.

A P.O. teve suas origens no desenvolvimento de cálculos táticos e estratégicos durante a II Guerra Mundial. Posteriormente, tais técnicas continuaram a ser utilizadas em problemas não-militares, sendo seu marco inicial a publicação, em 1947, do *método simplex*, algoritmo numérico para a resolução de problemas de programação linear proposto por George Dantzig (Bazaraa, 1990).

O processo de aplicação de técnicas de P.O. deve levar em conta os seguintes passos (Perin Filho, 1995):

- *Estudo do problema*: percepção inicial de uma situação que se deseja alterar geralmente aumentando benefícios já existentes ou criando novos; é a compreensão da diferença entre uma circunstância atual e outra à qual se deseja atingir;
- *Identificação do problema*: nesta fase determinam-se os componentes do problema, isolando-os e atribuindo-lhes graus de importância e processos de quantificação;
- *Construção do modelo*: obtenção de uma representação simplificada de um sistema⁷, codificada adequadamente em meio apropriado, que pode ser físico (*e.g.* uma maquete) ou abstrato (*e.g.* uma equação, um conjunto delas, ou mesmo um programa computacional);

⁷ Conjunto estruturado de componentes que interagem de modo regular entre si e com o meio ambiente, visando atingir certos objetivos sob certas condições restritivas. *Exemplos*: uma fila bancária, uma colônia de bactérias ou um conjunto de processos produtivos (fábrica).

- *Obtenção da solução*: o modelo pronto apresenta condições para que soluções numéricas ou analíticas sejam encontradas de acordo com o método empregado para sua resolução.
- *Operacionalização da solução*: aplicação prática da solução encontrada visando obter valores para os componentes do problema (passo de identificação) que condigam com os valores que os mesmos teriam em condições reais quando da análise de seu funcionamento;
- *Feedback (retroalimentação)*: processo de alteração dos parâmetros do modelo caso os valores de seus componentes divirjam além de uma certa tolerância. Sua finalidade é *validar* o modelo (*i.e.* confirmar sua utilização para representar de fato uma situação real).

O conceito de modelagem está nos primórdios do desenvolvimento do método científico. Modelos são utilizados em várias áreas do conhecimento e, particular e atualmente, para representar *processos e negócios*.

Modelos a princípio eram pequenos e sua dificuldade de resolução crescia exponencialmente à medida que novos elementos eram acrescentados. Por este motivo, era necessário escolher entre *precisão* e *rápida* obtenção de resultados (tratamento de modelos extremamente abstratos) (Harrel, 2002).

A *simulação de sistemas* é um método numérico para a resolução de problemas modelados como uma seqüência de eventos observáveis e quantificáveis ao longo do tempo (Perin Filho, 1995). A Tabela 2.2 à próxima página apresenta as principais finalidades desta abordagem:

Tabela 2.2: Empregos da simulação de sistemas (Perin Filho, 1995).

Aspectos teóricos	Aspectos práticos
Estimar distribuições de variáveis aleatórias	Gerar diversos cenários para o problema em estudo (análise de sensibilidade)
Testar hipóteses estatísticas	Avaliar o o comportamento de uma solução analítica
	Avaliar o processo de tomada de decisão em tempo real

Nas empresas, a simulação encontra vários fatores que justificam investimentos nesta área (Harrel, 2002):

Auxiliar na inovação de processos: a simulação serve com um palco de teste de novos conceitos. Torna possível a experimentação virtual de situações cuja aplicação prática desastrosa poderia trazer prejuízos incalculáveis. Deste modo, pode ser empregada para vender idéias.

Preditora de resultados: a simulação auxilia na compreensão de como os sistemas funcionam pois a análise visual de uma rodada de simulação apresenta seus pontos problemáticos. Esta identificação, comparada com dados históricos, permite visualizar, no futuro, o comportamento do ambiente modelado e estabelecer planos estratégicos de eliminação de problemas e cumprimento de metas (Seção 2.8).

Auxiliar na análise de sensibilidade: a incerteza é a principal componente dos sistemas reais. Mesmo processos altamente automatizados também podem sofrer alterações em seus padrões de ocorrência pela inclusão do fator humano. Neste sentido, a simulação é uma ferramenta poderosa capaz de lidar com as variações causadas pela incerteza e fornecer estimativas dos impactos causados por estas no sistema.

A maioria dos problemas cobertos pela simulação são de origem *dinâmica e estocástica*. Por este motivo, cresce rapidamente a dificuldade de análise de sensibilidade à medida que as variáveis estocásticas e de inter-relacionamento se multiplicam. A simulação (em especial sua

aplicação por meio de pacotes computacionais) permite a obtenção de conclusões potencialmente mais poderosas à medida que o sistema modelado é mais aproximado da realidade.

A análise de sensibilidade é uma tática importante na simulação. Permite variar, dentro de certos parâmetros, entradas vitais para o sistema e gerar respostas derivadas destes estímulos. De acordo com os resultados fornecidos, pode-se ter idéia da adequação do modelo à realidade. As respostas provindas da análise de sensibilidade também fornecem informações acerca do que pode ser feito nos piores casos (quebra severa de máquina, manutenção defeituosa ou outro impedimento grave na linha de produção) que costumam ter origem estocástica e não agregam valor ao produto.

A minimização ou eliminação dos efeitos negativos das variâncias é o objetivo final da análise de sensibilidade. Não é possível controlar o acontecimento de eventos aleatórios, mas pode-se prever suas conseqüências e agir de modo a diminuir sua incidência.

Promotora de soluções integradas: a simulação de sistemas pode agir como facilitador na resolução de problemas de forma cooperativa porque os resultados de uma simulação bem elaborada podem ser analisados sob múltiplos pontos de vista (principalmente em termos de processos, qualidade e engenharia). Claro está que se existe integração na resposta, é porque houve integração na geração de entradas para o sistema; deste modo, a correlação entre todos os setores envolvidos é total, do início ao final do processo de modelagem e simulação (este é o ponto capital para aumentar a vantagem competitiva: compartilhamento de informações).

A simulação não deve ser vista como fornecedora de uma única solução ótima, mas de uma solução “total”, que considera a sinergia do sistema, sendo possível ainda melhorá-la por meio da sua otimização (recursos avançado existente em pacotes de simulação sofisticados).

Viabilizadora financeira: a simulação auxilia na adoção de mudanças rápidas, num ambiente empresarial cada vez mais flexível e sensível à mudanças. Deixou de ser assunto acadêmico ou dependente de altos requisitos computacionais para poder ser aplicado em computadores pessoais acessíveis a empresas ou particulares. Também é uma excelente ferramenta educacional: por meio de modelos simulados, o aprendizado sobre um sistema se dá de modo mais rápido do que explorá-lo setorialmente.

O investimento em simulação é recuperado quando o retorno esperado é obtido. Atualmente a simulação tem tido grande aceitação e conseqüente emprego proporcional.

2.13 Funcionamento básico da Simulação de Sistemas Computacionais

A simulação funciona levando em consideração dois elementos primordiais: *tempo* e *evento*.

Os eventos devem ter a capacidade de ser *quantificados*. Em outras palavras, podem ser descritos por variáveis que assumem valores e controlarão aspectos funcionais sobre os quais se deseja estudar o comportamento.

Independente da modalidade temporal do sistema (discreto ou contínuo), são executados os seguintes passos na resolução de um problema por meio da simulação (Perin Filho, 1995):

- Determinação de um evento (retirado de uma lista prévia);
- Ajuste de uma variável temporal igual ao tempo de execução do evento;
- Atualização de todas as variáveis estatísticas;
- Atualização de todas as variáveis relativas ao evento e ao modelo global;
- Determinação do tempo em que o próximo evento ocorrerá.

Eventualmente, em sistemas computacionais de simulação, pode haver a necessidade de certo nível de programação lógica para que sejam empreendidas as tarefas descritas. Várias linguagens de programação de simulação têm sido desenvolvidas ao longo dos anos, como o SIMSCRIPT, o GPSS, o SIMAN e o SLAM.

2.14 Terminologias da Simulação de Sistemas

Na modelagem de sistemas para resolução por simulação, certos termos são recorrentes e, portanto, merecem destaque.

O primeiro passo é a quantificação dos eventos por meio de *variáveis*, que são conjuntos de valores que se alteram ao longo do processo de simulação e que controlam o comportamento das entidades que formam o sistema (seus atributos e estados), formando a base para a ocorrência de novos eventos similares ou servindo de entrada para eventos distintos.

Existem diversos tipos de variáveis (Perin Filho, 1995; Law, 2000):

- *De estado*: possuem informações essenciais ao funcionamento da simulação;
- *Independentes*: são determinadas externamente ao modelo, concorrendo para o funcionamento da mesma em conjunto com as variáveis de estado;
- *Dependentes*: aquelas cujos valores provêm de outras variáveis (geralmente distribuições) e costumam auxiliar na avaliação do comportamento do modelo;
- *De desempenho*: acumulam observações de avaliação de comportamento do modelo, servindo como base para a construção de gráficos comparativos;
- *Controladoras*: definem as ativações de rotinas, a lista de eventos futuros, entre outras finalidades;
- *Parâmetros*: os dados iniciais que se fornecem ao modelo para o início de suas atividades de simulação.

Uma variável controladora importante é o *relógio*, cujos valores visam determinar os instantes de início e fim de cada evento, bem como outros tipos de tempo necessários à compreensão da simulação ou à obtenção de respostas e estatísticas, sendo, portanto, necessariamente atualizada em todas as suas iterações. Em geral é diferente do tempo real e do tempo de execução da simulação (em termos de CPU), podendo ser não-linear.

A atualização do relógio pode ser executada pelas técnicas *passo a passo* ou *do evento seguinte* (Pidd, 1998). No primeiro caso definem-se intervalos menores e idênticos a partir do tempo total predefinido de simulação, fazendo-a ser executada em cada um destes instantes, ainda que em alguns deles não existam eventos a ocorrer.

No segundo caso é mantida uma lista de eventos futuros, sendo o relógio atualizado apenas quando um destes eventos tem lugar. Quando é este o caso, remove-se um elemento (evento) da lista, atualiza-se o relógio para seu tempo de início, simula-se o evento, passa-se para o próximo item da lista e assim sucessivamente. É uma técnica mais empregada do que a *passo a passo* e consome menor tempo de processamento computacional.

Durante a simulação pode ser necessário obter informações numéricas instantâneas sobre um ou mais processos que estão ocorrendo em um preciso momento de tempo. A esta amostra pontual de valores dá-se o nome de *estado do sistema*.

Este estado indica também quando são atingidos dois períodos especiais no desenvolvimento de uma corrida de simulação. O primeiro é o *período transiente*, em que a partir do início da simulação (relógio = 0) todas as variáveis passarão por constantes alterações até que seja alcançado o *período estacionário*, no qual mínimas alterações são constatadas.

O período transiente é importante na compreensão dos fenômenos modelados, principalmente no fornecimento de indicadores de como eles variam com o tempo e mudam de configuração sob as condições restritivas (que também estão em processo de acomodação), até atingirem o equilíbrio, a partir do que apenas se constata a manutenção da situação. No processo de *validação* do modelo (confirmação deste como efetivamente representativo da situação real), podem ser tomados valores de ambos os estados (Law, 2000).

Finalmente, a execução dos passos da simulação (Seção 2.13) requer que rotinas reúnam sob forma lógica todos estes conjuntos de alterações de variáveis e cálculos estatísticos de desempenho. Perin Filho (1995) identifica algumas das principais rotinas geralmente programadas nos próprios ambientes de simulação por meio de suas linguagens específicas:

- *Rotinas controladoras*: atualizam o relógio para o instante de ocorrência do próximo evento, insere e retira elementos da lista de eventos futuros e executa as demais rotinas nos momentos apropriados;
- *Rotinas de eventos*: simulam as ocorrências dos eventos em si, atuando sobre as variáveis de estado e variáveis dependentes;

- *Rotinas de atividades*: simulam a realização das atividades em processos contínuos, atuando também sobre variáveis dependentes e de estado;
- *Rotinas de inicialização*: promovem o ajuste de parâmetros iniciais, simulando o sistema nesta condição. É costume haver uma inicialização vazia (*i.e.* sem a presença de entidades);
- *Rotinas geradoras de variáveis aleatórias*⁸: geram os valores das variáveis aleatórias do sistema de acordo com as sementes⁹ correspondentes;
- *Rotinas estatísticas*: computam e armazenam dados sobre as estatísticas recolhidas pelo modelo por meio das variáveis de desempenho;
- *Rotinas auxiliares*: todas as demais rotinas que não se enquadram nas categorias anteriores e que servem para a manipulação de estruturas de dados especiais como filas, estoques e demais componentes do sistema.

As abordagens de programação devem ser compatíveis com a natureza da simulação. Geralmente a *programação orientada a eventos* é a mais empregada pois oferece simplicidade nas estruturas de dados em sistemas complexos. Em situações em que deve haver maior controle das atividades intrínsecas a cada evento usa-se a *programação orientada a atividades*, que, a cada instante de tempo efetua uma varredura sobre a condição das atividades e executa atualizações nas variáveis de estado conforme as informações obtidas (logo, é uma alternativa ideal para simulações cujo relógio é alterado por meio da técnica *passo a passo*).

Na *programação orientada a objetos* combinam-se e generalizam-se os modelos anteriores. São incorporadas às entidades, além de seus atributos, procedimentos computacionais voltados a atividades que passam a representar ações que o objeto pode desempenhar (Deboni, 2003).

⁸ *Variável aleatória* é uma função que associa um valor real a cada elemento de um espaço amostral (conjunto de possíveis resultados de um evento aleatório).

⁹ Semente é um número aleatório entre 0 e 1 gerado por meio de uma função especial e parâmetros finamente ajustados de modo a minimizar a repetição.

2.15 Resumo e comentários

Neste capítulo efetuou-se ampla revisão sobre as principais características da filosofia SCM, principalmente de sua importância no âmbito empresarial atual. O equilíbrio *reatividade x eficiência* toma lugar de destaque nas decisões estratégicas (a longo prazo) pois tem influência direta na estruturação de todos os serviços da cadeia e dos produtos a serem oferecidos ao consumidor.

Deste modo, torna-se obrigatória uma perfeita coordenação entre seus elos, o que é conseguido, inclusive, pela adoção eficiente de sistemas de informação e seus subsistemas auxiliares (cujos conceitos também foram revistos em profundidade), configurados para a resolução de situações práticas relativas a vários setores da organização, bem como para fornecer auxílio no processo decisório.

O próximo capítulo explicita algumas técnicas empregadas na abordagem a estoques, um direcionador do SCM de peso decisivo na obtenção da vantagem competitiva.

Capítulo 3

Formalização teórica

3.1 Importância estratégica do controle de estoques

O controle de estoques representa um dos problemas fundamentais na elaboração de estratégias eficientes de gerenciamento dos processos globais em uma cadeia de fornecedores, à luz de sua finalidade principal (Seção 2.1). Sob outro ponto de vista, como atividade intrínseca à obtenção de vantagem competitiva, a derivação de políticas relativas a previsões de demanda, frequência de pedidos, tamanhos de lotes e cálculo de medidas de desempenho impõe-se como necessidade primária na análise do equilíbrio *reatividade x eficiência* presente em todas as forças direcionadoras do SCM (Seção 2.3).

De um modo geral, define-se como *estoque* qualquer quantidade de itens acabados prontos para venda ao consumidor. A extensão deste conceito envolve a disponibilidade de matérias primas e itens intermediários durante a fabricação de produtos, seja local ou em algum meio de armazenamento apropriado.

Em termos de SCM, é um elemento unificador de processos de decisão cuja fundamentação deve ter origem na fase inicial de planejamento da cadeia. De fato, o controle desarticulado de seus níveis introduz problemas na maximização do valor na aliança de empresas, uma vez que a falta de interação entre as políticas particulares de cada segmento não privilegia o emprego de práticas econômicas destinadas a reduzir custos (Seção 3.4).

Nas duas visões de cadeia de fornecedores (Seção 2.5) é possível notar que a influência dos estoques se faz presente tanto nos ciclos a partir da interface de reposição (visão de ciclo) como

nas atividades *empurradas* e *puxadas* (visão *puxa-empurra*), pois todos os eventos desde a produção até o repasse ao consumidor¹ são afetados pelas quantidades de itens à disposição nos locais de armazenamento.

3.2 Fundamentos do controle de estoques

Estoques surgem devido ao atendimento de pedidos em grandes lotes² para cobrir necessidades de venda (Bowersox, 1996). O tamanho do lote (*i.e.* a quantidade solicitada) deve estar condicionado a regras que levam em conta certas fontes de custo³.

Inicialmente, é necessário contemplar as três modalidades de estoque que ocorrem naturalmente durante o desempenho das atividades da empresa:

O **estoque intermediário** (Seção 3.3) representa todos os itens normalmente utilizados para a execução dos processos ordinários de produção e suprimento. Podem estar armazenados em locais adequados na própria planta ou disponíveis nas proximidades de onde se dão tais processos⁴.

Em caso de demandas acima das previstas, é conveniente manter um **estoque de segurança** (Seção 3.4) que proverá os itens adicionais necessários para acomodá-las. Entretanto, *quando e em que quantidade* gerar este estoque são considerações que podem comprometer a relação reatividade/eficiência do sistema.

No tratamento de demandas variáveis segundo padrões de consumo estáveis é analisado o **estoque sazonal**, que apresenta o mesmo problema de equilíbrio do estoque de segurança apesar do foco diferente: neste caso deve-se decidir entre aumentar a taxa de produção⁵ gradualmente nos períodos de baixa demanda para suprir os de alta (e, deste modo, alterar o fluxo de produção já estabelecido, diminuindo reatividade) ou alterá-lo rapidamente nos períodos de alta demanda (o que pode diminuir a eficiência pelo aumento de custos).

¹ Por “consumidor” deve-se entender tanto o cliente final quanto qualquer outro elemento interno da cadeia de fornecedores que necessita dos produtos de seu antecedente na hierarquia de estágios.

² Para que haja benefício das economias de escala e fatores de desconto.

³ Maiores detalhes a partir da Seção 3.3.

⁴ Neste caso, deve-se levar em conta fatores extras sobre custo de transporte na dedução das técnicas a serem analisadas, o que está fora do escopo deste trabalho.

⁵ Frequência com que uma linha fabrica produtos, medida em *itens/unidade de tempo* e indicada por *T*.

3.3 Estoques intermediários: considerações preliminares

A análise de estoques intermediários costuma passar por um estágio em que algumas hipóteses restritivas são introduzidas com o intuito de facilitar a derivação de uma estratégia de tratamento inicial simples, porém suficientemente poderosa teoricamente para fornecer caminhos destinados à compreensão de fenômenos mais complexos (que são os observados na prática).

Assim, considera-se geralmente a situação em que existe uma demanda *conhecida e constante* por um certo item i ⁶, tomado isoladamente e não afetado pela obsolescência, de modo que não se perde qualquer parte da quantidade disponível devido a este fator. Há, ainda, suficiente espaço físico para armazenamento de uma quantidade máxima de itens e o tempo decorrido entre a abertura de um pedido de reposição e sua efetiva chegada é zero (*i.e.*, um novo carregamento para repor o estoque está disponível tão logo é solicitado). Deseja-se determinar a quantidade ideal de itens (ou tamanho de lote) que equilibre os custos de armazenagem e de abertura de pedido de modo a serem os mínimos possíveis (Bowersox, 1996)⁷.

Existe uma relação de proporcionalidade direta entre o quanto se deve encomendar do produto i a cada pedido e o seu tempo de fluxo⁸ na cadeia de suprimentos, o que remete ao já discutido balanço entre reatividade e eficiência (Seção 2.3). Lotes muito grandes podem ser encomendados mais espaçadamente no tempo (deste modo diminuindo custos com pedidos), mas incorrem em maiores despesas com armazenagem⁹. Pelo contrário, lotes menores levam a maiores gastos com pedidos, com menor custo de estocagem correspondente.

Evidencia-se, assim, a necessidade de um equilíbrio entre tais custos associados e as próprias quantidades solicitadas. O que se pretende é promover maior reatividade a menor custo.

⁶ $i = 1, \dots, n$, em que n é o total de itens produzidos em uma linha ou, ao menos, um subconjunto de interesse dos mesmos.

⁷ Em Chan (2003) e Papachristos (2006) encontra-se uma extensão destas suposições em que é possível haver itens defeituosos que, por conseguinte, não serão aceitos, afetando o tamanho do lote.

⁸ Em sistemas produtivos, define-se o *tempo de fluxo* F de um item i como o tempo em que ele permanece na cadeia de fornecedores (desde sua entrada até sua efetiva venda ou consumo por outro estágio).

⁹ Porém, as economias de escala são um fator decisivo na aquisição de grandes volumes pois demonstra-se que este procedimento diminui os custos de produção (Carlton, 1994).

3.3.1 A determinação da quantidade ideal: primeira aproximação

As principais fontes de consumo de recursos financeiros na manutenção de estoques intermediários provêm dos investimentos feitos para garantir seus níveis (Plossl, 1985): obtenção dos produtos (que inclui o custo material propriamente dito e o custo envolvido na abertura do pedido) e seu posterior armazenamento. A formulação a seguir considera tais fontes na composição de uma função objetivo para a qual busca-se a minimização, tendo sido proposta no começo do século XX (Harris, 1919 *apud* Castello, 2006)¹⁰.

Seja $P_i > 0$ a quantidade de um item i que a empresa deve pedir para atender à demanda $D_i > 0$ (por unidade de tempo). Sob as suposições restritivas estabelecidas à página anterior, o seguinte perfil de consumo pode ser delineado (Figura 3.1):

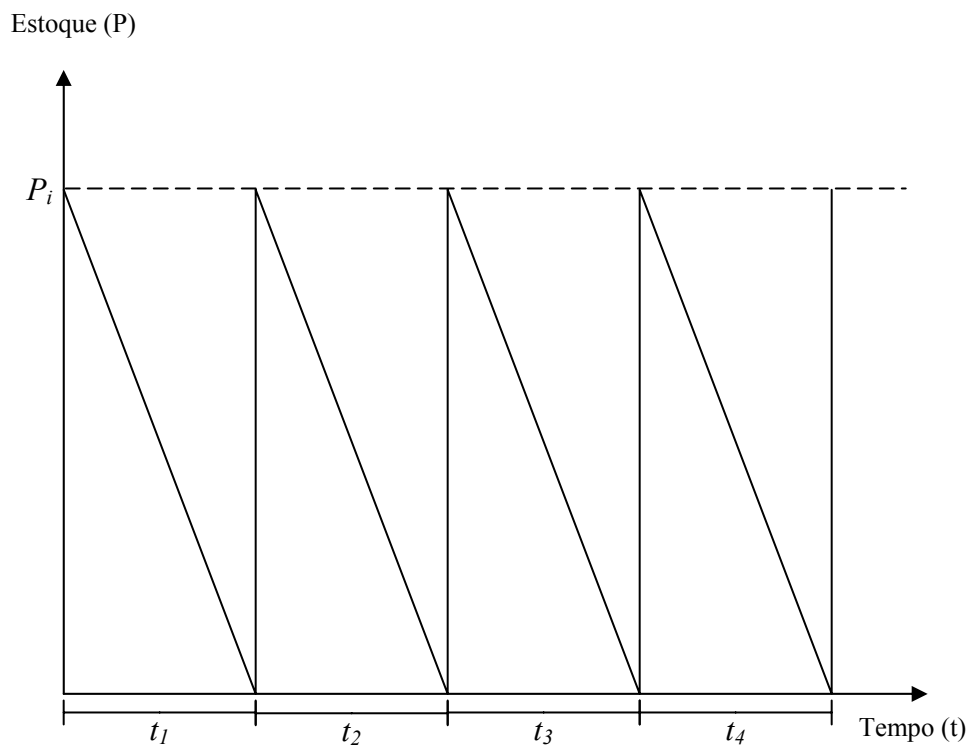


Figura 3.1: Perfil de consumo sob demanda constante e reposição imediata (suposição inicial).

¹⁰ Houve a preocupação de se demonstrar cada passo da formulação sob os rigores do cálculo diferencial a fim de garantir seus resultados (principalmente os ligados à minimização da função de custo).

O tempo $t_i > 0$ decorrido entre pedidos de reposição sucessivos é denominado *tempo de ciclo* e é medido em unidades apropriadas de acordo com a necessidade. No presente desenvolvimento, consideram-se estes tempos de mesma dimensão.

Atribuindo-se a uma variável q_i o custo unitário do item i , pode-se definir o *custo de compra de materiais* M_i como (Bramel, 1997):

$$M_i = q_i D_i \quad [3.1]$$

Em seguida, seja $O_i > 0$ o custo externo devido ao cumprimento do pedido, geralmente originado de taxas administrativas, pagamento de funcionários, uso de materiais, movimentação, separação, entrega, despesas fiscais diversas, além do próprio lucro do fornecedor correspondente, incorrido a cada requisição. O *custo de abertura do pedido* A_i , portanto, é tal que (Bramel, 1997):

$$A_i = \left(\frac{D_i}{P_i} \right) O_i \quad [3.2]$$

($\frac{D_i}{P_i}$ é a quantidade de pedidos feitos por unidade de tempo)

Por fim, existe o chamado *custo de armazenagem* R_i que, do mesmo modo que o custo de abertura do pedido, agrega parcelas originadas de diversos fatores, dentre os quais (Ross, 1998):

- *Custo de capital*: montante aplicável em expansões da empresa, que deriva da diminuição dos estoques (Brealey, 2000);
- *Perda por obsolescência*: taxa de diminuição do valor intrínseco do produto causada por alterações em suas características físicas (devido, por exemplo, ao tempo de armazenagem). Isto é especialmente aplicável a produtos perecíveis¹¹;

¹¹ Chen (1998) propõe um modelo geral em programação dinâmica para tratar de itens perecíveis empregando a distribuição Weibull de probabilidades.

- *Despesas operacionais internas*: todos os gastos observados quando do recebimento do produto, suas acomodações nas instalações da empresa, sua recuperação e despacho a clientes.

Seja, a princípio, a equação da reta que determina o comportamento do nível de estoque intermediário ao longo do tempo, conforme a Figura 3.1 (a dedução detalhada encontra-se no Anexo I, seção A.1, item a):

$$E(x) = -\frac{P_i}{t}x + P_i \quad [3.3]$$

Costuma-se definir R_i como uma proporção direta do custo de adquirir P_i unidades do item i , razão pela qual pode-se escrever (adaptado de Chopra, 2001):

$$R_i = r(q_i P_i) \quad [3.4]$$

O coeficiente r é uma constante de proporcionalidade cujo valor consolida a influência dos fatores descritos à página anterior, equivalendo ao custo de se armazenar 1 unidade monetária do item i por unidade de tempo.

Como P_i varia continuamente durante t (o que se observa pelo perfil de consumo), então é natural reescrever a equação [3.4] de modo a refletir este fato, e, então, vem:

$$R_i = r q_i \int_0^t E(x) dx = r q_i \int_0^t \left(\frac{-P_i \cdot x}{t} + P_i \right) dx \quad [3.5]$$

A equação [3.5] indica R_i como sendo as somas dos custos parciais com armazenagem à medida que a quantidade estocada varia segundo a regra determinada por E . A função E é contínua (pois é uma função polinomial) no intervalo $[0, t]$ e, portanto, pode-se aplicar a integral de Riemann¹², que fornecerá:

¹² Pelo teorema da integrabilidade de funções contínuas (Guidorizzi, 1993).

$$R_i = rq_i \left[\frac{-P_i x^2}{2t} \right]_0^t + P_i x \Big|_0^t = rq_i \left[\frac{-P_i t^2}{2t} + P_i t \right] = rq_i \left[\frac{-P_i t}{2} + P_i t \right] = \left(\frac{P_i t}{2} \right) rq_i \quad [3.6]$$

A relação acima indica o custo por armazenagem em todo o tempo de ciclo t . Para compatibilizar as unidades de medida com os demais custos, faz-se:

$$R_i = \frac{\left(\frac{P_i t}{2} \right) rq_i}{t} \quad [3.7]$$

E, finalmente:

$$R_i = \left(\frac{P_i}{2} \right) rq_i \quad [3.8]$$

(Custo de armazenagem por unidade de tempo)

O relacionamento entre o tamanho do pedido P_i e seus custos associados, portanto, será dado por uma função $T: \mathbb{R}_+^* \mapsto \mathbb{R}_+^*$ ¹³ cuja expressão é (Bramel, 1997):

$$T(P_i) = M_i + A_i + R_i = q_i D_i + \left(\frac{D_i}{P_i} \right) O_i + \left(\frac{P_i}{2} \right) rq_i = \frac{rq_i P_i^2 + 2q_i D_i P_i + 2D_i O_i}{2P_i}, \forall P_i \quad [3.9]$$

É fácil notar que T é uma função *racional* composta por duas funções polinomiais. Como toda função polinomial é contínua e, por extensão, também as racionais¹⁴ (Guidorizzi, 1993), segue que T é, igualmente, uma função contínua, $\forall P_i \in \mathbb{R}_+^*$. Além disto, sua natureza quadrática leva a variações gradativas, sem saltos abruptos (Figura A1.4, Anexo I).

¹³ O domínio D_T da função T (tamanho do lote P_i) é o dos reais positivos, bem como sua imagem $Im(T)$ (custos totais).

¹⁴ Desde que, obviamente, o denominador não seja 0, fato automaticamente excluído pela conveniente escolha do domínio da função T .

A função T é derivável até segunda ordem para $\forall P_i \neq 0, P_i \in \mathbb{R}$ (demonstração no Anexo I, seção A.1, item d). Em particular, portanto, será derivável para $\forall P_i \in \mathbb{R}_+^*$. É possível, então, obter

$\frac{dT}{dP_i}$ e $\frac{d^2T}{dP_i^2}$ (respectivamente, a derivada primeira e segunda de T):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dP_i} = -\left(\frac{D_i}{P_i^2}\right)O_i + \frac{rq_i}{2} \end{array} \right. \quad [3.10]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2T}{dP_i^2} = \left(\frac{2D_i}{P_i^3}\right)O_i \end{array} \right. \quad [3.11]$$

Assim como T , $\frac{dT}{dP_i}$ e $\frac{d^2T}{dP_i^2}$ são contínuas (pois são funções racionais formadas por funções polinomiais)¹⁵.

Não faz sentido exigir que P_i cresça indefinidamente, motivo por que é possível afirmar que o valor desta variável pode ser considerado um *ponto interior* a D_T ¹⁶, com $I =]a, b[$, $a = 0$ e b (inteiro) definido de acordo com critérios internos de aquisição máxima da empresa, constituindo um *limite superior*.

Este cenário permite que seja usado o *teorema do máximo e do mínimo local*¹⁷ (Guidorizzi, 1993), segundo o qual, para uma dada função (no caso, T) com derivada de 2ª ordem contínua em um intervalo aberto I e para um ponto $P_i \in I$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dP_i} = 0 \text{ e } \frac{d^2T}{dP_i^2} < 0 \Rightarrow P_i \text{ ser ponto de máximo local} \end{array} \right. \quad [3.12]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dP_i} = 0 \text{ e } \frac{d^2T}{dP_i^2} > 0 \Rightarrow P_i \text{ ser ponto de mínimo local} \end{array} \right. \quad [3.13]$$

¹⁵ Garantir a continuidade da função T (e, em especial, em torno do ponto de mínimo local), bem como sua variação “suave” são fatores importantes para justificar o resultado I do Anexo I (análise de sensibilidade sobre a função T).

¹⁶ Um ponto p , interior a D_T , significa que existe um intervalo aberto I tal que $I \subset D_T$ e $p \in I$.

¹⁷ Que, por sua vez, é uma das conseqüências do *Teorema do Valor Médio* (TVM), importante resultado do cálculo diferencial.

Para determinar P_i tal que $dT/dP_i = 0$, basta, a partir da equação [3.10], fazer:

$$-\left(\frac{D_i}{P_i^2}\right)O_i + \frac{rq_i}{2} = \frac{-2D_iO_i + rq_iP_i^2}{2P_i^2} = 0 \quad [3.14]$$

Do fato que $P_i > 0$ e, portanto, não sendo possível $2P_i^2 = 0$, resta que:

$$-2D_iO_i + rq_iP_i^2 = 0 \quad [3.15]$$

Isolando-se P_i e tomando-se a raiz positiva (pois excluiu-se o caso $P_i < 0$), finalmente:

$$P_i^o = \sqrt{\frac{2D_iO_i}{rq_i}}, \forall i \quad [3.16]$$

A condição $dT/dP_i = 0$ é necessária, porém insuficiente para estabelecer que P_i^o obtido pela equação [3.16] minimize T ; entretanto, tem-se $d^2T/dP_i^2 > 0$ qualquer que seja $P_i \in I$ (pois, por definição, $O_i > 0$ e $D_i > 0$), o que leva à conclusão, pela equação [3.13] do teorema anteriormente enunciado, que P_i^o é, de fato, um ponto de *mínimo local* para a função T , no intervalo I .

A equação [3.16] é classicamente denominada *Tamanho do Lote Econômico* (ou *Economic Order Quantity – EOQ*) e sua compreensão analítica permite determinadas conclusões sobre o tamanho de P_i^o (itens h , i , j e k do Anexo I, seção A.1), que indica qual é a quantidade a ser pedida a cada vez que o estoque intermediário deve ser repostado, sob demanda constante, ao menor custo¹⁸.

Entretanto, esta aproximação inicial possui pelo menos quatro limitações importantes que não refletem a realidade da quase totalidade dos casos (Chopra, 2001; Castello, 2006):

- Não envolve fatores de desconto no preço unitário q_i , não havendo, deste modo, total utilização dos preceitos da economia de escala;

¹⁸ Ao valor médio do lote calculado em [3.16] dá-se o nome de *estoque intermediário C* (Bertaglia, 2003).

- Não leva em conta fenômenos de consolidação (agregação) de produtos que podem ser pedidos coletivamente segundo suas demandas individuais;
- Não considera a possibilidade de que a reposição tome uma certa quantidade de tempo em vez de ocorrer imediatamente e
- Não contempla fatos como atrasos ou falhas na reposição.

A segunda observação é particularmente interessante, pois para demandas no mesmo patamar, a redução nos custos de pedido faz-se sentir substancialmente no custo total T , que se mantém estável em torno de uma certa flutuação de P_i^O (informações detalhadas no Anexo I, seção A.2, item I).

3.3.2 Extensões sobre o modelo inicial (Chopra, 2001)

Com frequência, o custo de abertura de pedido é constituído por um componente adicional relativo às particularidades apresentadas por um produto, sendo correto, portanto, reescrevê-lo como:

$$O + \sum_{i=1}^n o_i \quad [3.17]$$

Em que:

- O é o custo fixo administrativo, independente do produto pedido;
- o_i (com $i = 1, \dots, n$) é o custo variável, dependente do produto e das operações efetuadas sobre ele.

No modelo anterior (equação [3.16]), o valor P_i^O deve ser calculado para cada item, a cada reposição. Na prática, isto significa abrir um novo pedido para cada produto, o que pode ser economicamente inviável, uma vez que custos de transporte podem influenciar negativamente a variável O , conseqüentemente incrementando o custo final T (equação [3.9]).

É sabido que consolidar vários itens em apenas um pedido otimiza o tempo de entrega (Tielemans, 1996) além de diminuir os custos de transporte porque estes incidirão em uma quantidade maior de elementos, pelos quais se diluirão. Esta é a única fonte de custos possível de ser minimizada, uma vez que não é possível forçar queda nos custos de aquisição de produtos (equação [3.1]) (o que implicaria forçar queda no preço destes), nem nos custos de armazenagem por unidade de tempo (os quais já são rigidamente controlados internamente – equação [3.8]).

Deste modo, se em um único pedido forem consolidados diversos produtos para reposição de seus estoques intermediários, é provável que o custo total T diminua, em um cenário com os mesmos parâmetros da situação anterior (Seção 3.3.1).

Seja $p = D/P$ a quantidade de produtos agregados pedida em uma unidade de tempo. A equação [3.9], que relaciona tamanho do lote de um certo produto aos custo incorridos em sua manutenção, pode ser reescrita, neste caso, como¹⁹:

$$T(p) = \sum_{i=1}^n q_i D_i + p(O + \sum_{i=1}^n o_i) + \frac{r}{2p} \sum_{i=1}^n q_i D_i = \left(1 + \frac{r}{2p}\right) \sum_{i=1}^n q_i D_i + p(O + \sum_{i=1}^n o_i) \quad [3.18]$$

O primeiro termo da função T representa o custo de material da agregação (equação [3.1]); o segundo termo indica o custo de pedidos por unidade de tempo (equação [3.2]), já se considerando a equação [3.17] e o terceiro termo é o custo de armazenagem por unidade de tempo de todos os produtos agregados (substituiu-se p na expressão do custo de armazenagem – equação [3.8]).

A minimização do custo T se dá pelas mesmas considerações feitas para o modelo EOQ original (demonstração no Anexo I, seção A.1, item *e*) e fornecerá a seguinte expressão para p após o rearranjo dos termos:

¹⁹ Uma vez que todos os produtos são sempre solicitados e estão agregados sempre em um único pedido, não há índice i para p .

$$p = \sqrt{\frac{r \sum_{i=1}^n q_i D_i}{2(O + \sum_{i=1}^n o_i)}} \quad [3.19]$$

A equação [3.19] fornece a quantidade total de pedidos que incluem diversos itens consolidados para o caso que se convencionou denominar *agregação simples*.

A estratégia de agregação simples, entretanto, não leva em consideração variações de demandas entre os diversos produtos (isto é, produtos de grande demanda são agregados aos de pouca demanda *a cada pedido*). Isto faz com que os custos fixos específicos o_i dos itens menos solicitados sejam incorridos a cada encomenda.

Na tentativa de melhorar este resultado é sugerida por Chopra (2001) a abordagem denominada *agregação seletiva* em que os produtos de menor volume são pedidos espaçadamente em relação aos de maior volume (e não a cada ordem) segundo um procedimento algorítmico simples, considerando um conjunto de n produtos:

Passo 1: Determinar o produto mais solicitado pelo cálculo de sua quantidade de pedidos por unidade de tempo:

$$p'_m = \max_i \left\{ \sqrt{\frac{r D_i q_i}{2(O + o_i)}} \right\} \quad [3.20]$$

Passo 2: Para todos os demais $(i - 1)$ produtos, à exceção do mais solicitado, obter²⁰:

$$p'_i = \sqrt{\frac{r D_i q_i}{2 o_i}} \quad [3.21]$$

A seguir, avaliar a frequência de inclusão de cada produto i junto ao produto mais requisitado empregando o operador *maior inteiro*:

²⁰ Deve-se reparar que todo o custo fixo O foi atribuído ao produto mais solicitado no passo 1, motivo pelo qual O não compõe o cálculo representado pela equação [3.21], para os itens restantes. Isto é pertinente, uma vez que, caso assim não fosse (*i.e.*, se a variável O fizesse parte de [3.21]), o custo fixo estaria sendo novamente incorrido a cada inclusão dos mesmos junto aos pedidos do item mais solicitado.

$$f_i = \left\lceil \frac{p_m}{p_i} \right\rceil \quad [3.22]$$

Passo 3: Recalcular a quantidade de pedidos por unidade de tempo relacionada ao produto de maior volume por meio da expressão²¹:

$$p_m = \sqrt{\frac{r \sum_{i=1}^n D_i q_i}{2(O + \sum_{i=1}^n \frac{o_i}{f_i})}} \quad [3.23]$$

A quantidade real de pedidos do produto mais solicitado é dada pela equação [3.23] porque é nesta relação que está sendo considerada a contribuição do custo de abertura de pedido específico de cada um dos $(i - 1)$ demais produtos, que é $\sum_{i=1}^n \frac{o_i}{f_i}$.

Passo final: Obter, para os demais $(i - 1)$ produtos, sua quantidade de pedidos por unidade de tempo:

$$p_i = \frac{p_m}{f_i} \quad [3.24]$$

Para o índice i do produto mais solicitado, ter-se-á $p_i = p_m$.

A agregação seletiva explora efetivamente as diferenças entre volumes de produtos, tornando-se mais eficiente quanto maiores forem as frações o_i (custos fixos específicos) de cada um e significativamente variadas as demandas individuais dos produtos. De fato, para demandas com pouca variação, a heurística não produz resultados eficientes.

É importante notar que o emprego do método de agregação seletiva leva a valores diferentes de p para cada item (ao contrário do método de agregação simples); assim, é necessário reformular a equação [3.18] (custos totais), cuja nova forma é:

²¹ Na equação [3.23] o produto mais solicitado também é considerado no cálculo, com $f_i = 1$.

$$T(p) = \sum_{i=1}^n q_i D_i + \left[O \cdot p_m + \sum_{i=1}^n p_i o_i \right] + \frac{r}{2} \sum_{i=1}^n \frac{q_i D_i}{p_i} \quad [3.25]$$

Na expressão acima, o segundo termo mostra a incidência do custo fixo de abertura de pedido (O) apenas sobre produto mais solicitado (visto que este constará sempre em todas as ordens). Os custos específicos o_i refletir-se-ão em *todos* os produtos. No terceiro termo, p_i não é mais termo comum, devendo passar para dentro do somatório, de modo a refletir sua influência na computação dos custos de armazenagem.

3.3.3 Fatores de desconto por quantidade adquirida

Em muitas situações reais, costuma-se oferecer fatores de desconto por quantidade adquirida de um determinado produto. Por outras palavras, quanto maior a quantidade, tanto menor será seu preço unitário. Este é o conceito de economia de escala, que será empregado na análise das técnicas de controle de estoque intermediário desta seção.

Alguns autores²² propõem uma extensão do modelo EOQ em que o custo de armazenagem (equivalente a R_i) é formado a partir de *funções de descontos*. São soluções elaboradas, possuindo como desvantagem a dificuldade da implementação computacional. As duas metodologias a seguir (sugeridas por Chopra, 2001) adotam a função de descontos indiretamente, o que facilita sua programação em um ambiente de desenvolvimento (detalhes no Capítulo 4), sendo esta a estratégia adotada pelo SIPES.

Seja um esquema de preços unitários e descontos correspondentes para um certo item i que se deseja adquirir, conforme ilustrado pela Figura 3.2 (à próxima página). O valor unitário q_{ij} do produto passa por reduções quanto maior a quantidade adquirida, situada em intervalos sucessivos $[d_j, d_{j+1}[$ ($j=0, \dots, m$, admitindo-se que há m graus de descontos)²³. Nesta primeira aproximação aplica-se um procedimento algorítmico que consiste em:

Passo 1: Avaliar a quantidade P_{ij} (por meio da equação [3.16]) para um intervalo $[d_j, d_{j+1}[$ levando-se em conta o valor unitário q_{ij} correspondente.

²² Por exemplo, Matsuyama (2001) e Chen (1998) (nota de rodapé 11).

²³ A adoção do índice j é para diferenciar o intervalo de desconto do identificador do produto (índice i). Assim, q_{ij} deve ser interpretado como “preço na faixa j do produto i ” e P_{ij} como tamanho do lote do produto i no intervalo d_j .

Passo 2: Relacionar P_{ij} a cada uma das três possíveis situações e calcular seu custo T_j (equação [3.9]):

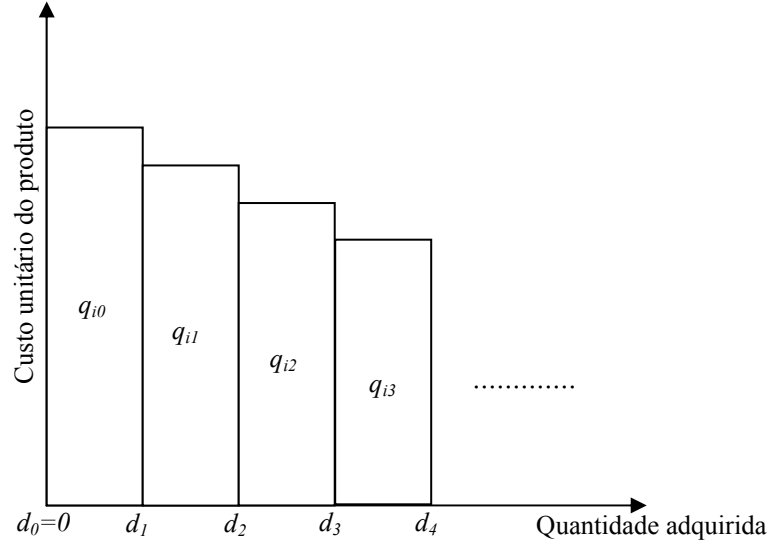


Figura 3.2: Esquema de descontos no preço unitário de um produto i por quantidade adquirida.

a) $d_j \leq P_{ij} \leq d_{j+1}$

Nesta situação, todo o conteúdo do lote terá um preço unitário de q_{ij} e seu custo será dado pela equação [3.9] aplicada diretamente a P_{ij} :

$$T_j(P_{ij}) = q_{ij}D_i + \left(\frac{D_i}{P_{ij}}\right)O_i + \left(\frac{P_{ij}}{2}\right)r q_{ij} \quad [3.9]$$

b) $P_{ij} < d_j$

A quantidade P_{ij} , neste caso, está na faixa $[d_{j-1}, d_j[$. Na prática, portanto, T_{ij} terá um aumento nos termos relativos ao custo de material e ao custo de armazenamento, pois $q_{i(j-1)} > q_{ij}$. Assim, deve-se reajustar P_{ij} para:

$$P_{ij} = d_j \quad [3.26]$$

E obter o custo T_{ij} , que será dado pela equação [3.9] aplicada a d_j :

$$T_j(P_{ij}) = q_{ij}D_i + \left(\frac{D_i}{d_j}\right)O_i + \left(\frac{d_j}{2}\right)rq_{ij}, \text{ para } d_j \neq 0 \quad [3.9]$$

c) $P_{ij} > d_{j+1}$

Na última situação possível, a quantidade P_{ij} moveu-se para além da faixa em que o desconto poderia ser concedido ($[d_{j+1}, d_{j+2}]$). Deste modo, ajusta-se P_{ij} para:

$$P_{ij} = d_{j+1} \quad [3.27]$$

E faz-se, novamente, uso da equação [3.9] aplicada agora ao ponto d_{j+1} :

$$T_j(P_{ij}) = q_{i(j+1)}D_i + \left(\frac{D_i}{d_{j+1}}\right)O_i + \left(\frac{d_{j+1}}{2}\right)rq_{i(j+1)}, \text{ para } d_{j+1} \neq 0 \quad [3.9]$$

Passo 3: Voltar ao passo 1 para todos os demais intervalos, obtendo os valores de P_{ij} e T_j .

Passo 4: Dentre todos os T_j 's calculados, escolher $\min_j \{T_j\}$ e o P_{ij}^O correspondente.

Este esquema (denominado *esquema de descontos por preço médio*) é válido quando os descontos oferecidos pelo fornecedor se aplicarem a *todas* as unidades do lote. Isto significa que tendo sido determinado P_{ij}^O pelo processo acima, a todos os seus componentes será atribuído o valor unitário q_{ij} , de acordo com a faixa de valores j em que o tamanho do lote se situou.

Na segunda abordagem, considera-se que os preços unitários *dentro* de um lote variam de acordo com a quantidade. Isto significa que, por exemplo, num lote de 4000 itens iguais, os 200 primeiros tiveram um preço unitário q_1 , os 200 restantes um preço q_2 , e assim sucessivamente, com $q_j < q_{j+1} < \dots < q_m$ ($j = 1, \dots, m$, admitindo-se que há $m \geq 2$ graus de descontos). Este é o chamado *esquema de descontos por preço marginal*.

Em um esquema como este é necessário estabelecer uma nova expressão para os custos de aquisição de material e de armazenagem (M_i e R_i) pois estes agora estão condicionados a variações de preço unitário dentro do próprio lote.

Seja P_{ij} um lote tal que $P_{ij} \in [d_j, d_{j+1}[$ e Q_j^{24} um valor real tal que:

$$Q_j = \sum_{j=1}^{m-1} q_{i(j-1)}(d_j - d_{j-1}) = q_{i0}(d_1 - d_0) + q_{i1}(d_2 - d_1) + \dots + q_{i(j-1)}(d_j - d_{j-1}) \quad [3.28]$$

A finalidade de Q_j é somar, dentro do lote, os custos parciais de aquisição das primeiras d_j unidades segundo o esquema de descontos especificado (Figura 3.3 abaixo). A quantidade faltante (expressa por $P_{ij} - d_j^{25}$) terá um custo q_{ij} e assim, o custo de aquisição total será dado por:

$$Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j) \quad [3.29]$$

A relação [3.29] expressa o custo material a *cada pedido*. Como, por unidade de tempo, são efetuados D/P pedidos, então, para o custo material final (por unidade de tempo) M_{ij} , tem-se:

$$M_{ij} = Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j) \left(\frac{D_i}{P_{ij}} \right) \quad [3.30]$$

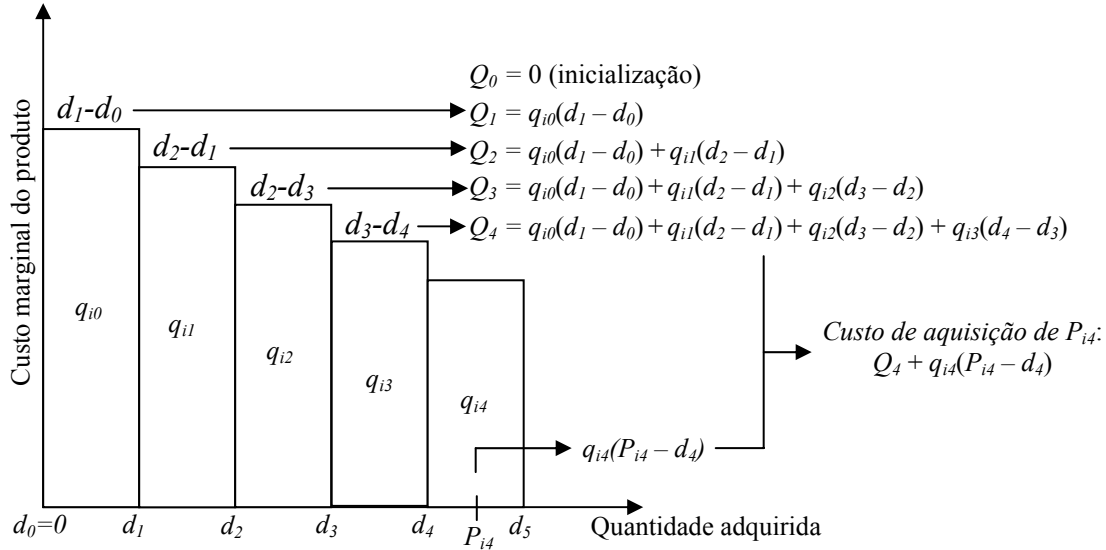


Figura 3.3: Exemplo de obtenção do valor de $Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j)$.

²⁴ Por definição, estabelece-se $Q_0 = 0$.

²⁵ A diferença $P_{ij} - d_j$ será sempre maior ou igual a 0, pois $P_{ij} \in [d_j, d_{j+1}[$.

O custo de abertura do pedido por unidade de tempo permanece como no modelo original do lote econômico:

$$A_{ij} = \left(\frac{D_i}{P_{ij}} \right) O_i \quad [3.2]$$

Para o custo por armazenamento, seja a equação [3.8] do modelo original do lote econômico:

$$R_i = \left(\frac{P_{ij}}{2} \right) r q_{ij} \quad [3.8]$$

Deve-se notar que $P_{ij}q_{ij}$ é o custo de aquisição de um lote de tamanho P_{ij} na ausência de um plano de descontos. Já que está sendo considerado um esquema por preços marginais, então substituí-se o termo $P_{ij}q_{ij}$ pela expressão [3.29], de tal modo que a nova equação para o custo de armazenagem é:

$$R_i = \frac{(Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j))r}{2} \quad [3.31]$$

A função de custos totais T_j , portanto, é expressa por:

$$T_j(P_{ij}) = M_i + A_i + R_i = (Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j)) \left(\frac{D_i}{P_{ij}} \right) + \left(\frac{D_i}{P_{ij}} \right) O_i + \frac{(Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j))r}{2} \quad [3.32]$$

A função T_j apresenta as mesmas propriedades daquela determinada na equação [3.9] para o modelo original do lote econômico (detalhes no Anexo I, seção A.1, item f). Deste modo, seu ponto de mínimo local é calculado pela resolução de $\frac{dT_j}{dP_{ij}} = 0$, levando a:

$$P_{ij}^o = \sqrt{\frac{2D_i(O_i + Q_j - q_{ij}d_j)}{r q_{ij}}} \quad [3.33]$$

(Lote Econômico para produtos sujeitos a descontos por preços marginais)

Como no caso anterior, esta metodologia é algorítmica, devendo-se seguir os passos descritos a seguir:

Passo 1 (preparação): Obter, para cada intervalo $[d_j, d_{j+1}[$, o valor Q_j correspondente por meio da equação [3.28], inicializando com $Q_0 = 0$.

Passo 2: Avaliar a quantidade P_{ij} (por meio da equação [3.33]) para um intervalo $[d_j, d_{j+1}[$.

Passo 3: Relacionar P_{ij} a cada uma das três possíveis situações e calcular seu custo T_j (equação [3.32])²⁶:

a) $d_j \leq P_{ij} \leq d_{j+1}$

Nesta primeira configuração, o menor custo é dado simplesmente pela equação [3.32]:

$$T_j(P_{ij}) = M_i + A_i + R_i = (Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j)) \left(\frac{D_i}{P_{ij}} \right) + \left(\frac{D_i}{P_{ij}} \right) O_i + \frac{(Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j))r}{2} \quad [3.32]$$

b) $P_{ij} < d_j$

Nestas condições, deve-se reajustar P_{ij} para (Equação [3.26]):

$$P = d_j \quad [3.26]$$

E obter o custo T_j , que será dado pela equação [3.32] aplicada a d_j :

$$T_j(P_{ij}) = (Q_j + O_i) \left(\frac{D_i}{d_j} \right) + \frac{Q_j r}{2}, \text{ para } d_j \neq 0 \quad [3.32]$$

c) $P_{ij} > d_{j+1}$

Aqui, faz-se o ajuste de P_{ij} para (Equação [3.27]):

²⁶ As considerações sobre os ajustes de P_{ij} nas situações *b* e *c* são as mesmas para o esquema de descontos por preço médio.

$$P = d_{j+1} \quad [3.27]$$

E obtém-se, pela aplicação de [3.32] ao ponto d_{j+1} :

$$T_j(P_{ij}) = (Q_{j+1} + O_i) \left(\frac{D_i}{d_{j+1}} \right) + \frac{Q_{j+1}r}{2}, \quad d_{j+1} \neq 0 \quad [3.32]$$

Passo 4: Voltar ao passo 2 para todos os demais intervalos, obtendo os valores de P_{ij} e T_j .

Passo 5: Dentre todos os T_j 's calculados, escolher $\min_j \{T_j\}$ e o P_{ij}^O correspondente.

3.3.4 Políticas de estoque baseadas em descontos

Os dois métodos descritos anteriormente são enquadrados numa categoria de problemas de estoque que leva em conta descontos oferecidos sobre quantidades adquiridas em um único lote. Existem métodos, entretanto, que consideram esquemas de desconto subordinados ao volume de compras em um dado período, independente da quantidade e tamanho dos lotes (Chopra, 2001).

Esquemas de desconto tendem a incrementar os estoques intermediários, como é facilmente observável pela equação [3.33] comparada à equação [3.16], e seus respectivos custos, gerados pela equação [3.9] aplicada a P_{ij} e a seus ajustes $P_{ij} = d_j$ e $P_{ij} = d_{j+1}$). O aumento dos estoques, entretanto, acaba sendo compensado pelo fato de que os elementos da cadeia de suprimentos devem, neste caso, agir conjuntamente e de modo articulado para garantir a maximização do lucro da cadeia em lugar da maximização dos lucros individuais de cada elo.

No mercado, preços de produtos de primeira necessidade (ou funcionais – Seção 2.3) costumam ser regulados entre empresas que competem entre si no oferecimento das melhores condições. Pelas considerações matemáticas feitas a respeito de controle de estoques com descontos pela quantidade comprada em um único lote, é possível demonstrar que um equilíbrio entre a aquisição do lote por um consumidor (uma empresa, por exemplo) e o seu preço de venda determinado pelo fabricante maximiza o lucro da cadeia como um todo, ainda que a empresa tenha seu estoque intermediário aumentado substancialmente. Este aumento está relacionado à

diminuição dos custos materiais que se contrabalançam com as duas outras fontes de custo (armazenamento e pedido).

Produtos inovadores (Seção 2.3), por sua vez, costumam ter seus preços regulados pelo fabricante pioneiro em sua fabricação e venda. Há uma tendência natural deste em derivar suas próprias políticas internas (entre as quais se incluem os controles de estoque) e o uso de políticas de estoque baseadas em tamanho de lote sob descontos não promove a maximização do valor da cadeia. Entretanto, tais esquemas, baseados em volumes em um determinado período, suprem esta falha, auxiliando na articulação entre consumidor (empresa) e fornecedor (fabricante). Como exemplo, pode-se citar o processo de *preços discriminados* (mesmo produto com preços diferentes dependendo do perfil de quem o consome) (Chopra, 2001).

A adoção de descontos a curto prazo (promoções) é uma outra estratégia baseada em volume, que usa o conceito de *compra adicional*, uma quantidade extra do produto adquirida para vendas futuras. Existem fórmulas derivadas da equação [3.16] que determinam qual a quantidade ótima que deve compor esta compra adicional e que naturalmente influenciam no estoque intermediário, aumentando-o, bem como fazendo diminuir o lucro da cadeia. Entretanto, pode-se reverter este quadro caso haja redução nas variações de demanda devido à promoção (Silver, 1998).

A Tabela 3.1 resume estas considerações:

Tabela 3.1: Políticas de controle de estoque aliadas a fatores de desconto (adaptado de Chopra, 2001).

	Tamanho do lote	Volume de produtos
Útil para que tipo de produto	Funcionais	Inovadores
Influência na cadeia sem articulação com outros elos	Diminui o lucro	Diminui o lucro
Influência na cadeia com articulação, porém visando aumentar o próprio lucro	Diminui o lucro	Pode aumentar o lucro
Influência no estoque intermediário	Aumenta	Aumenta

3.3.5 Tratamento de reposições não imediatas e faltas – uma visão do cálculo

Embora existam diversas sistemáticas de obtenção de resultados a partir do modelo EOQ sem o emprego do cálculo²⁷, o uso conveniente²⁸ dos operadores integrais e diferenciais (devidamente justificados pelos teoremas que lhes suportam) introduz facilidades na derivação de outras metodologias de tratamento de fenômenos de estocagem, além das já discutidas agregações e programações de descontos.

A equação [3.9] é o ponto de partida para considerações sobre a falta de itens para suprir a demanda e reposições não imediatas a partir do modelo tradicional de lote econômico. Conforme visto (equação [3.5]), o custo de armazenagem R_i é dependente de uma função contínua $E(x)$ que expressa a variação do nível de estoque ao longo de um tempo de ciclo t . Substituindo-se [3.5] em [3.9] e executando-se, em R_i , a devida correção pelo fator $1/t$ para compatibilizar as unidades de tempo, tem-se:

$$T(P_i) = q_i D_i + \left(\frac{D_i}{P_i} \right) O_i + r q_i \frac{1}{t} \int_0^t E(x) dx \quad [3.34]$$

Como $E(x)$ é contínua em $[0, t]$, então será integrável neste intervalo (nota de rodapé 12), gerando uma relação $e_t(P_i)$:

$$T(P_i) = q_i D_i + \left(\frac{D_i}{P_i} \right) O_i + r q_i \frac{1}{t} e_t(P_i) \quad [3.35]$$

A expressão $e_t(P_i)$ é, efetivamente, função do nível de estoque P_i em relação a um tempo de ciclo t . Se, por exemplo, $e_t(P_i) = \frac{P_i t}{2}$ (resultante da integração em $[0, t]$ da equação [3.3]), então [3.35] se reduz à equação [3.9].

²⁷ Encontradas, por exemplo, em Castello (2006), Yung-fu (2003) e Sphicas (2006).

²⁸ Em diversas bibliografias da área de planejamento e controle de produção encontram-se abordagens clássicas do modelo EOQ por meio do cálculo sem a devida e rigorosa fundamentação matemática que comprove a minimização dos custos dada pela adoção de um lote de tamanho P_{ij}^o (e.g. Chopra, 2001 e Hanssmann, 1962).

Pela aplicação do operador diferencial em [3.35], obtém-se:

$$T'(P_i) = -\left(\frac{D_i}{P_i^2}\right)O_i + rq_i \frac{1}{t} e'_i(P_i) \quad [3.36]$$

A demonstração do resultado acima encontra-se no Anexo I, seção A.1, item g. Fazendo $T'(P_i) = 0$ encontra-se o ponto que minimiza a função custo:

$$P_i^0 = \sqrt{\frac{D_i O_i t}{rq_i e'_i(P_i)}} \quad [3.37]$$

A ligação entre a equação [3.37] e a [3.16] pode ser observada facilmente multiplicando e dividindo o radicando da expressão acima por 2 e isolando certos termos:

$$P_i^0 = \sqrt{\frac{2D_i O_i}{rq_i}} \cdot \sqrt{\frac{t}{2e'_i(P_i)}} \quad [3.38]$$

Expressar o tamanho do lote P_i^0 pela equação [3.38] permite concluir imediatamente que não havendo falta de itens, considerando-se a reposição instantânea e uma variação linearmente decrescente no nível de estoque, o tempo de ciclo t não apresenta influência sobre P_i^0 .

Também é possível perceber que outras funções $e_i(P_i)$ não lineares podem ser utilizadas, desde que sejam contínuas, apresentem o mesmo comportamento de decrescimento e sejam deriváveis no intervalo $[0, t]$ ²⁹. A seção 3.3.5.3 apresenta um caso nestas condições.

Finalmente, a equação [3.38] facilita a compreensão das duas abordagens distintas do modelo EOQ tradicionais comentadas no início desta seção e cujo desenvolvimento será analisado a seguir.

²⁹ Ou deriváveis em um subconjunto do intervalo $[0, t]$. Esta suposição é necessária para o caso de reposições não imediatas.

3.3.5.1 EOQ com reposições não imediatas (modelo EOQ_{RNI})

Nesta seção será relaxada a suposição de que as reposições de estoque se dão imediatamente após seu esgotamento. Para isto, seja $0 < a < t$ o tempo gasto na reposição pelo fornecedor. Não é necessário saber a taxa com que os itens são produzidos, conforme poderá ser notado na formulação³⁰. O perfil de consumo do estoque ao longo do tempo, portanto, terá a forma apresentada na Figura 3.4, à página seguinte.

Como a reposição não é imediata, haverá um espaço de tempo a em que não se observa consumo (região 1 da Figura 3.4). Em uma situação real, isto é equivalente ao cliente demandar o item i e este não estar disponível, sendo solicitado a ele que retorne novamente após $(a - x)$ dias (com $x \in [0, a]$). Deve-se notar que não está sendo considerado o fato de o cliente não desejar este período de espera e ir procurar o item em outro estabelecimento.

É de se esperar que, em um cenário como o indicado, o tamanho do lote P_i deva ser maior do que o fornecido pela equação [3.16] pois, no período de tempo a em que não há consumo de estoque, solicitações pelo item i podem se acumular àquelas que certamente se verificarão no período restante $(t - a)$ (região 2 da Figura 3.4).

Como no modelo EOQ tradicional, a função de custo $T(P_i)$ também será dada pela equação geral [3.35]. Entretanto, embora a função $E(x)$ permaneça como na equação [3.3], os limites de integração serão diferentes:

$$e_i(P_i) = \int_a^t E(x) dx = \int_a^t \left(\frac{-P_i \cdot x}{t} + P_i \right) dx = \left[\frac{-P_i x^2}{2t} + P_i x \right]_a^t = \left[\frac{-P_i t^2}{2t} + \frac{P_i a^2}{2t} + P_i t - P_i a \right] \quad [3.39]$$

A integral deve ser calculada no intervalo $[a, t]$ pois, pela Figura 3.4, vê-se que o consumo está representado pelo setor delimitado pelas retas $E(x) = -\frac{P_i}{t}x + P_i$, $x = a$ e $x = t$.

³⁰ Embora existam trabalhos que considerem, no produtor, o tamanho do lote como importante influenciador no tempo de produção e entrega (e.g., Vaughan, 2006), este fenômeno não será considerado no presente texto.

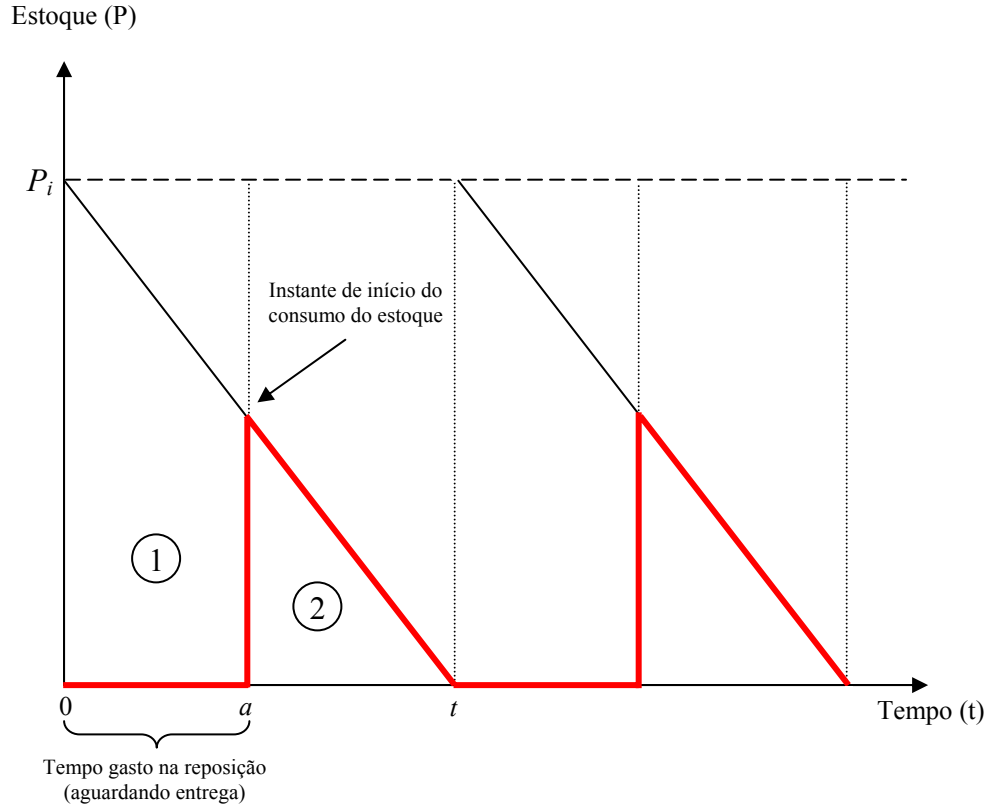


Figura 3.4: Perfil de consumo com reposição não imediata.

A função $e_t(P_i)$ é derivável no intervalo $[a, t]$ ³¹, fornecendo, após rearranjo dos termos:

$$e'_t(P_i) = \frac{-t}{2} + \frac{a^2}{2t} + t - a = \frac{(t-a)^2}{2t} \quad [3.40]$$

Substituindo [3.40] em [3.38], a expressão final para P_i^0 será:

$$P_i^0 = \sqrt{\frac{2D_i O_i}{r q_i}} \cdot \sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2}} \quad [3.41]$$

Como $t > a$, então $t^2 > (t-a)^2$. Assim, o segundo termo de [3.41] será sempre maior que 1, confirmando o fato de que o tamanho do lote em um cenário com reposição gradual será maior do que aqueles pedidos em um cenário cuja reposição é imediata.

³¹ Em $[0, a[$, a derivada de $e_t(P_i)$ é 0.

3.3.5.2 EOQ com faltas permitidas (modelo EOQ_{FP})

Uma *falta* significa esgotamento total do estoque antes do término do tempo de ciclo t . Este é um caso em que, como no anterior, não está sendo levada em conta nenhuma *penalização* pelo fato desta falta ocorrer. Pode-se ilustrar o fenômeno pelo perfil de consumo do estoque ao longo do tempo, que possuirá o aspecto ilustrado na Figura 3.5 (próxima página)³².

Havendo falta, por um tempo $(t - t')$ ainda existirá a demanda pelo produto que não poderá ser suprida (região 3 da Figura 3.5). Em termos práticos, a permissão de faltas se deve a fatores econômicos, uma vez que o tamanho do lote será menor do que no caso anterior³³.

Para este modelo, seja a função de custo $T(P_i)$ dada pela equação geral [3.35]. A função $E(x)$ (expressa pela equação [3.3]) deverá ser integrada da seguinte maneira, gerando a função $e_t(P_i)$:

$$e_t(P_i) = \int_a^t E(x)dx = \int_a^{t'} E(x)dx + \int_{t'}^t E(x)dx \quad [3.42]$$

A segunda integral representa uma variação negativa de estoque, indicando o quanto seria consumido pelo período $(t - t')$ caso houvesse a disponibilidade do produto. Em termos gráficos, a primeira integral representa a região 2 da Figura 3.5 e a segunda representa a região 3.

A resolução da primeira integral fornece o valor já calculado pela equação [3.39]. A segunda será igual a:

$$-\left[\frac{-P_i t'^2}{2t} + \frac{P_i t^2}{2t} + P_i t' - P_i t \right] = \frac{P_i t'^2}{2t} - \frac{P_i t^2}{2t} - P_i t' + P_i t \quad [3.43]$$

É importante notar o sinal negativo antes do colchete, que indica a variação negativa citada. Deste modo, a função $e_t(P_i)$ será a soma de [3.39] com [3.43]:

³² No modelo EOQ_{FP}, além de se relaxar a hipótese de que o estoque se esgota exatamente no ponto de reposição (final do tempo de ciclo t), mantém-se o tempo de reposição não-imediato a ; deste modo, EOQ_{FP} constitui uma extensão de EOQ_{RNI}.

³³ E, assim, incorrer em custos totais menores. Entretanto, esta é uma estratégia arriscada para a empresa caso seus clientes não tolerem faltas.

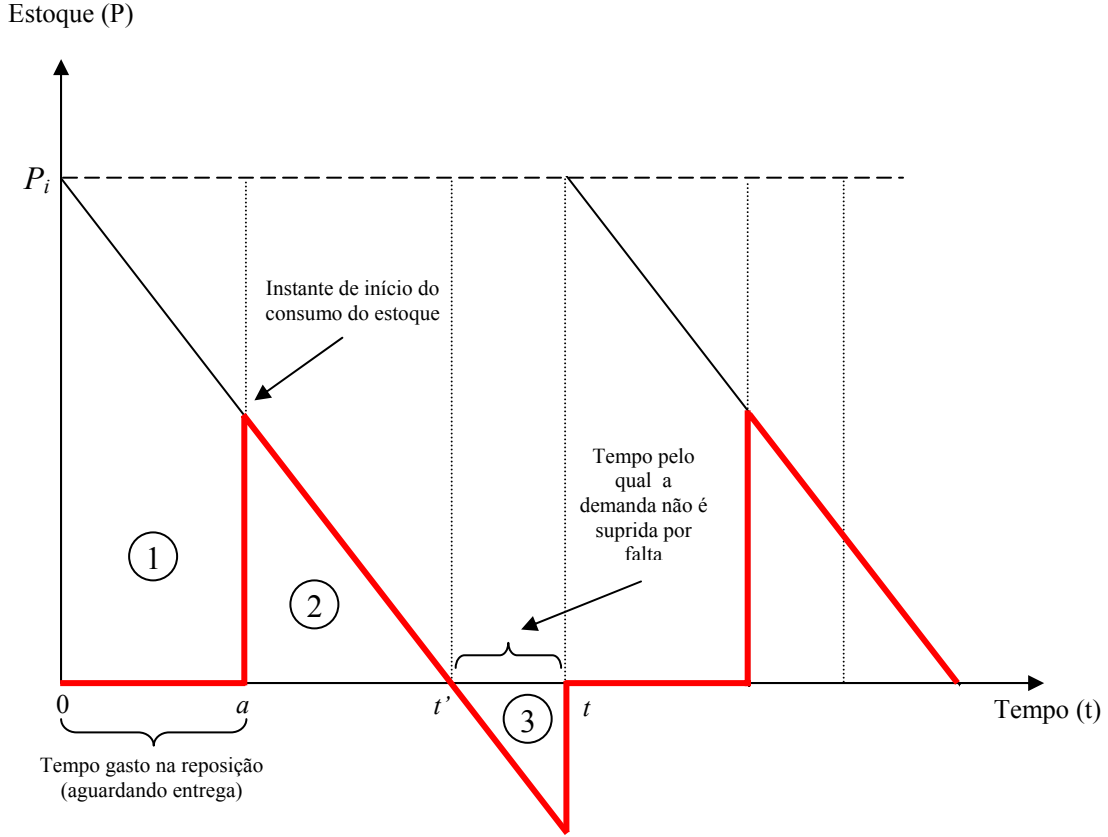


Figura 3.5: Perfil de consumo com reposição não imediata e possibilidade de falta de itens no estoque.

$$e_i(P_i) = \left[\frac{-P_i t^2}{2t} + \frac{P_i a^2}{2t} + P_i t - P_i a \right] + \left[\frac{P_i t'^2}{2t} - \frac{P_i t^2}{2t} - P_i t' + P_i t \right] \quad [3.44]$$

A forma final da derivada de $e_i(P_i)$ será³⁴:

$$e'_i(P_i) = \frac{(t-a)^2 + (t-t')^2}{2t} \quad [3.45]$$

Substituindo-se [3.45] em [3.38], P_i^0 será:

$$P_i^0 = \sqrt{\frac{2D_i O_i}{r q_i}} \cdot \sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2 + (t-t')^2}} \quad [3.46]$$

³⁴ Empregou-se, após a derivação termo a termo de [3.44], o artifício algébrico denominado *completamento do quadrado* para que se chegasse à equação [3.45]: introduzem-se termos no numerador que, manipulados, reduzem-no à forma $(t-a)^2$.

É fácil visualizar que não ocorrendo faltas no suprimento da demanda (*i.e.*, $t' = t$), a equação [3.46] se reduz à equação [3.41]. Se, além disso, a reposição for imediata ($a = 0$), então retorna-se à fórmula original do modelo EOQ tradicional.

Também é imediato que $(t-a)^2 + (t-t')^2 > (t-a)^2$. Logo, $\frac{t^2}{(t-a)^2 + (t-t')^2} < \frac{t^2}{(t-a)^2}$ e, portanto, $\sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2 + (t-t')^2}} < \sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2}}$ ³⁵, o que confirma ser o tamanho P_i^0 do lote em um cenário com faltas possíveis menor do que o lote pedido em um cenário em que faltas não são permitidas.

3.3.5.3 Funções $e_t(P_i)$ não lineares

Conforme comentado, uma das propriedades da fórmula genérica [3.37] para o cálculo de P_i^0 é permitir o uso de outras funções além da afim para determinar o padrão de consumo do estoque intermediário. Como exemplo, seja um perfil de consumo definido por uma função quadrática $E(x) = \alpha x^2 + \beta x + \gamma$ (região 2 da Figura 3.6, na página a seguir). Está sendo admitido um tempo de reposição $0 < a < t$ de modo a contemplar o modelo EOQ_{RNI} (região 1 da Figura 3.6).

O cálculo dos coeficientes α , β e γ para este problema leva à forma final de $E(x)$ (Anexo I, seção A.1, item b):

$$E(x) = \frac{P_i x^2}{t^2} - \frac{2P_i x}{t} + P_i \quad [3.47]$$

A função $e_t(P_i)$, portanto, será:

$$e_t(P_i) = \int_a^t E(x) dx = \int_a^t \left[\frac{P_i x^2}{t^2} - \frac{2P_i x}{t} + P_i \right] dx = \frac{P_i t}{3} - \frac{P_i a^3}{3t^2} + \frac{P_i a^2}{t} - P_i a \quad [3.48]$$

³⁵ Para o mesmo valor de a e na ausência de esquemas de desconto ou agregação.

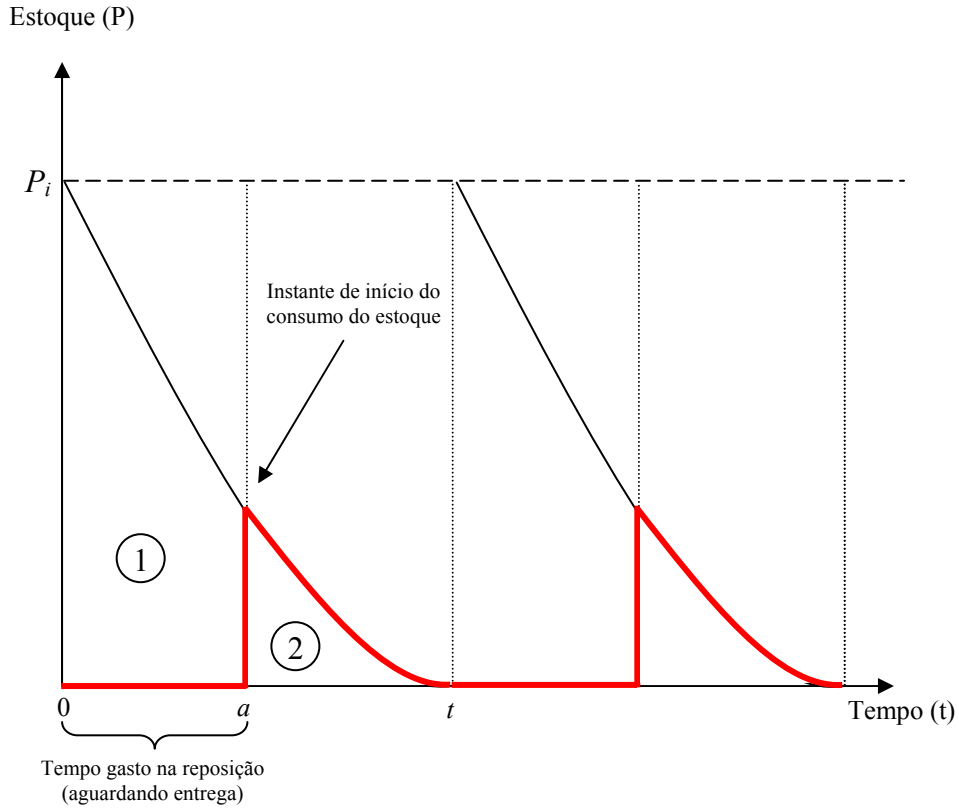


Figura 3.6: Perfil de consumo não linear (função quadrática) com reposição não imediata.

E sua derivada³⁶:

$$e'_i(P_i) = \frac{t}{3} - \frac{a^3}{3t^2} + \frac{a^2}{t} - a = \frac{(t-a)^3}{3t^2} \quad [3.49]$$

Substituindo-se [3.49] em [3.38], obter-se-á para P_i^0 :

$$P_i^0 = \sqrt{\frac{2D_i O_i}{rq_i}} \cdot \sqrt{\frac{3t^2}{2(t-a)^3}} \quad [3.50]$$

O mesmo princípio pode ser empregado em uma nova abordagem do modelo EOQ_{FP}. O perfil de consumo, neste caso, será o ilustrado pela Figura 3.7 (página seguinte).

³⁶ Empregou-se, após a derivação termo a termo de [3.48], outro artifício algébrico, denominado *completamento do cubo*, para que se chegasse à equação [3.49]. Neste caso, introduzem-se adequadamente certos termos no numerador que permitam à expressão ser reduzida à forma $(t-a)^3$.

Identicamente ao modelo EOQ_{FP} linear, emprega-se a equação [3.42] para determinar a função $e_i(P_i)$, o que, no caso quadrático, levará a:

$$e_t(P_i) = \left[\frac{P_i t}{3} - \frac{P_i a^3}{3t^2} + \frac{P_i a^2}{t} - P_i a \right] + \left[\frac{-P_i t^3}{3t^2} + \frac{P_i t}{3} + \frac{P_i t^2}{t} - P_i t' \right] \quad [3.51]$$

A respectiva derivada será, após os devidos rearranjos de termos (nota de rodapé 36):

$$e'_i(P_i) = \frac{(t-a)^3 + (t-t')^3}{3t^2} \quad [3.52]$$

A substituição de [3.52] em [3.38] fornece, finalmente:

$$P_i^0 = \sqrt{\frac{2D_i O_i}{rq_i}} \cdot \sqrt{\frac{3t^2}{2((t-a)^3 + (t-t')^3)}} \quad [3.53]$$

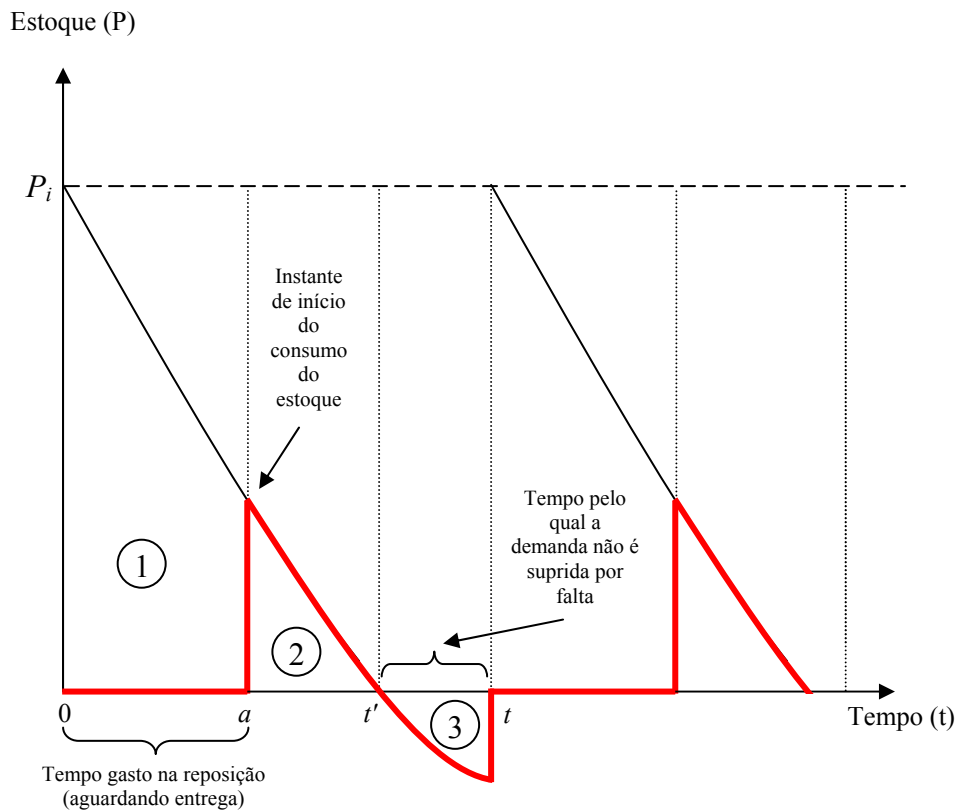


Figura 3.7: Perfil de consumo não linear (função quadrática) com reposição não imediata e falta permitida.

É interessante notar que como $t > a$ e $t > t'$, as equações [3.41], [3.46], [3.50] e [3.53] não apresentarão problemas com radicandos negativos.

3.3.5.4 Outros usos da expressão geral de P_i^0

Além de funções polinomiais, também é possível o uso de funções exponenciais como indicação da variação de estoque. Como ilustração, seja, para o modelo original EOQ_{FP} (*i.e.*, com faltas permitidas e com reposição não imediata) a função $E(x)$ definida como³⁷:

$$E(x) = \left(\frac{1 - e^x}{e^t - 1} + 1 \right) \cdot P_i \quad [3.54]$$

Após o uso dos mesmos raciocínios anteriormente descritos, é possível obter a equação de P_i^0 como sendo:

$$P_i^0 = \sqrt{\frac{2D_i O_i}{rq_i}} \cdot \sqrt{\frac{t(e^t - 1)}{2[(2t' - t - a + 1)e^t - 2e^{t'} + e^a]}} \quad [3.55]$$

O radicando do segundo termo da equação acima pode se tornar negativo no denominador³⁸ dependendo dos valores de a , t e t' .

É possível também combinar as funções das regiões 2 e 3 de modo a apresentarem perfis distintos de consumo de estoque, no caso do modelo EOQ_{FP} (*e.g.*, função linear na região 2 e função quadrática – ou exponencial – na região 3). Deste modo, é possível avaliar a influência da mudança de comportamento do cliente no caso de falta dos itens demandados.

A análise da proposta de uma expressão geral para P_i^0 desenvolvida a partir da seção 3.3.5 permite concluir que os casos de falta permitida (EOQ_{FP}) e tempos não imediatos de reposição (EOQ_{RNI}) (com funções de consumo lineares ou não) consistem no modelo original EOQ

³⁷ Detalhes no Anexo I, seção A.1, item c.

³⁸ O numerador sempre será positivo para $t > 0$. Em particular se o valor de t' for diferente de t (*i.e.*, faltas são permitidas), a equação [3.55] rapidamente converge a radicandos negativos.

corrigido por um fator dependente somente de variáveis de tempo (tempo de ciclo t , tempo de reposição a e período em que o estoque permanece zero após o consumo total t').

Os modelos de Chopra para o cálculo de P_i^0 sob esquema de descontos usam as equações [3.16] e [3.33] para a obtenção de um tamanho de lote que pode ser reajustado caso não se encaixe em um intervalo apropriado (Seções 3.3.3 e 3.3.4). É possível estender este modelo para comportar as situações descritas nas subseções de 3.3.5 bastando, para isso, multiplicar [3.16] ou [3.33] pelo fator de correção apropriado (o que levará, naturalmente, à equação [3.38]), conforme resumido na Tabela 3.2 abaixo:

Tabela 3.2: Tamanhos de lotes para as diversas variações do modelo EOQ.

	EOQ		EOQ _{RNI}		EOQ _{FP}	
E	T e D1	D2	T e D1	D2	T e D1	D2
L	$E1$	$E2$	$E1 \cdot \sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2}}$	$E2 \cdot \sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2}}$	$E1 \cdot \sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2 + (t-t')^2}}$	$E2 \cdot \sqrt{\frac{t^2}{(t-a)^2 + (t-t')^2}}$
Q	$E1 \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}$	$E2 \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}$	$E1 \cdot \sqrt{\frac{3t^2}{2(t-a)^2}}$	$E2 \cdot \sqrt{\frac{3t^2}{2(t-a)^2}}$	$E1 \cdot \sqrt{\frac{3t^2}{2((t-a)^2 + (t-t')^2)}}$	$E2 \cdot \sqrt{\frac{3t^2}{2((t-a)^2 + (t-t')^2)}}$
X	$E1 \cdot \sqrt{\alpha}$	$E2 \cdot \sqrt{\alpha}$	$E1 \cdot \sqrt{\frac{t(e' - 1)}{2[\beta e' - 2e' + 1]}}$	$E2 \cdot \sqrt{\frac{t(e' - 1)}{2[\beta e' - 2e' + 1]}}$	$E1 \cdot \sqrt{\frac{t(e' - 1)}{2[\gamma e' - 2e' + e^a]}}$	$E2 \cdot \sqrt{\frac{t(e' - 1)}{2[\gamma e' - 2e' + e^a]}}$

A legenda da tabela é a seguinte:

- **E** (função $E(x)$): **L** = linear, **Q** = quadrática, **X** = exponencial;
- **T** = relativo ao EOQ tradicional (sem descontos de qualquer tipo, faltas ou reposições não imediatas);
- **D1** = relativo ao modelo de Chopra para descontos por preço médio (estendido para comportar faltas e reposições não imediatas);
- **D2** = relativo ao modelo de Chopra para descontos por preço marginal (estendido para comportar faltas e reposições não imediatas);
- **E1** = equação [3.16] e **E2** = equação [3.33];
- $\alpha = \frac{t(e' - 1)}{2[e'(t-1) + 1]}$, $\beta = 2t' - t + 1$, $\gamma = 2t' - t - a + 1$

Torna-se clara a necessidade de adaptar também a expressão de R_i , visto ser esta a única dependente do padrão de consumo do estoque. A partir de sua definição (terceiro termo da equação [3.35]) e considerando-se as equações [3.44], [3.51] e [3.55]³⁹, é possível determinar o formato de R_i segundo a Tabela 3.3⁴⁰:

Tabela 3.3: Custos de armazenagem (R_i) para as diversas variações do modelo EOQ.

	EOQ tradicional	EOQ com descontos
L	$\left\{ \frac{rq_i}{t} \left[\left(\frac{-t}{2} + \frac{a^2}{2t} + t - a \right) + \left(\frac{-t}{2} + \frac{t'^2}{2t} + t - t' \right) \right] \right\} P_i$	$\frac{r[Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j)]}{t} \cdot \left[\left(\frac{-t}{2} + \frac{a^2}{2t} + t - a \right) + \left(\frac{-t}{2} + \frac{t'^2}{2t} + t - t' \right) \right]$
Q	$\left\{ \frac{rq_i}{t} \left[\left(\frac{t}{3} - \frac{a^3}{3t^2} + \frac{a^2}{t} - a \right) + \left(\frac{t}{3} - \frac{t'^3}{3t^2} + \frac{t'^2}{t} - t' \right) \right] \right\} P_i$	$\frac{r[Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j)]}{t} \cdot \left[\left(\frac{t}{3} - \frac{a^3}{3t^2} + \frac{a^2}{t} - a \right) + \left(\frac{t}{3} - \frac{t'^3}{3t^2} + \frac{t'^2}{t} - t' \right) \right]$
x	$\left\{ \frac{rq_i}{t} \left[\frac{(2t' - t - a + 1)e' - 2e' + e^a}{e' - 1} \right] \right\} P_i$	$\frac{r[Q_j + q_{ij}(P_{ij} - d_j)]}{t} \cdot \left[\frac{(2t' - t - a + 1)e' - 2e' + e^a}{e' - 1} \right]$

Observando-se a Tabela 3.3, vê-se a possibilidade de estender o modelo de agregação (simples e seletiva) para comportar reposições não imediatas e períodos de falta⁴¹. Como consideração inicial neste sentido, seja, novamente, o custo de armazenagem R_i , tomado a partir da equação [3.35]. Pela relação existente entre p_i e P_i , R_i assume o seguinte formato:

$$R_i = \frac{rq_i}{t} e_t(P_i) = \frac{rq_i}{t} e_t(p_i) = \frac{\alpha r q_i D_i}{t p_i} \quad [3.56]$$

Na equação acima, α é qualquer um dos termos temporais (envolvendo as variáveis a e t') da Tabela 3.3, dependendo do padrão de consumo do estoque intermediário. Como os produtos estão agregados, o índice i de p torna-se desnecessário; ao mesmo tempo, é necessário somar o produto $q_i D_i$ para todos os itens incluídos no pedido, motivo pelo qual:

$$R = \frac{rq_i}{t} e_t(P_i) = \frac{rq_i}{t} e_t(p) = \frac{\alpha r}{t p} \sum_{i=1}^n q_i D_i \quad [3.57]$$

³⁹ A equação [3.55] permite que se extraia a expressão de $e_t(P_i)$ para o caso exponencial, bastando, para isso, aplicar a definição geral de P_i^O (equação [3.38]).

⁴⁰ Já figuram nas fórmulas as variáveis a (tempo de reposição) e t' (tempo de falta) (modelo EOQ_{FP}). Fazer $t' = t$ (com $a \neq 0$) leva ao modelo EOQ_{RNI} e fazer $t' = t$ e $a = 0$ conduz ao modelo EOQ tradicional, conforme pode ser verificado algebricamente.

⁴¹ O presente trabalho não contemplará programas de desconto para agregações, embora a estrutura de cálculos empregada na derivação destas extensões permita tal abordagem.

A função de custo T para a agregação *simples* (tomada a partir da equação [3.18]) passa, portanto, a ser escrita como:

$$T(p) = \sum_{i=1}^n q_i D_i + p(O + \sum_{i=1}^n o_i) + \frac{\alpha r}{tp} \sum_{i=1}^n q_i D_i \quad [3.58]$$

Por idêntica justificativa já apresentada à seção 3.3.2, calcular p para o qual $dT/dp = 0$ minimiza a função de custos. Isto leva, portanto, a:

$$p = \sqrt{\frac{\alpha r \sum_{i=1}^n q_i D_i}{t(O + \sum_{i=1}^n o_i)}} \quad [3.59]$$

O uso da equação acima pressupõe que os perfis de consumo e os tempos de ciclo de todos os produtos sejam idênticos (fatores α e t , respectivamente). Entretanto, cada produto pode apresentar um perfil distinto, bem como um tempo de ciclo diferente; neste caso, α e t passam a depender do item, e assim, é imediato (a partir de [3.58]) que:

$$p = \sqrt{\frac{r \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i q_i D_i}{t_i}}{O + \sum_{i=1}^n o_i}} \quad [3.60]$$

(Modelo de agregação simples/seletiva de Chopra estendido para comportar faltas e reposições não imediatas)

No caso específico da agregação *seletiva*, não há qualquer mudança no algoritmo: utiliza-se diretamente a nova expressão de p para a determinação das frequências de inclusão dos produtos menos solicitados junto ao mais solicitado e prossegue-se com os demais passos, segundo explicitado na seção 3.3.2. Entretanto, como no caso da equação [3.18], deve-se reformular a equação [3.58] para incluir os diferentes valores de p_i calculados ao final da heurística, o que leva ao novo formato para a função de custos T :

$$T(p) = \sum_{i=1}^n q_i D_i + \left[O \cdot p_m + \sum_{i=1}^n p_i o_i \right] + r \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i q_i D_i}{t_i p_i} \quad [3.61]$$

3.4 Estoques de segurança

Estoques de segurança são mantidos na eventualidade de se dever cumprir uma demanda não prevista durante um (ou mais) período(s) de tempo. Exatamente por isto, o tratamento dado ao controle e às políticas deste tipo de estoque envolvem ferramentas estatísticas para efetuar certas medidas da incerteza que pode levar ao esgotamento dos estoques intermediários, causando à empresa fornecedora perdas de oportunidades de lucro.

Métodos de previsão (Nahmias, 1997; Silver, 1998) não são totalmente confiáveis, assim como as demandas, cujas inexatidões podem apenas ser estimadas. Assim, ao optar por criar estoques de segurança, deve-se ter em conta as conseqüências de tal decisão, refletidas principalmente no estoque intermediário. Caso algum indicador não seja bem estimado, haverá aumento em seus níveis que podem não encontrar saída por vários motivos (*e.g.* obsolescência) e, assim, comprometer os ganhos daquele elo da cadeia no momento considerado.

A situação ideal é que estoques de segurança sejam mantidos baixos o suficiente para a provisão permanente de produtos (ou a máxima possível sem falhas de abastecimento) ao mesmo tempo em que causa impacto mínimo nos níveis de estoque intermediário. Deve-se considerar, portanto, qual é o grau de disponibilidade que se deseja para aquele produto e as flutuações de demanda que podem comprometer esta disponibilidade (Silver, 1998).

3.4.1 Políticas de reabastecimento

A criação de níveis de estoques de segurança está condicionada às variações no que se convencionou chamar *ponto de reposição* (P_r). O ponto de reposição é o ponto do estoque intermediário a partir do qual um pedido de reabastecimento deve ser feito, sob pena de não haver disponibilidade do produto caso seja ultrapassado (Figura 3.8, na próxima página).

Outra variável (neste trabalho denominada *limiar máximo* – L_m) estabelece que o estoque intermediário deve estar sempre suprido de uma determinada quantidade máxima que será consumida segundo a demanda.

É necessário ressaltar que entre os momentos em que se atinge o ponto de reposição (surgindo um pedido de reabastecimento) e a chegada da ordem pode haver variações súbitas de demanda que consumam o estoque além do P_r antes do desejado (no caso de não haver estoque de segurança ou este estar mal dimensionado). É possível estabelecer certas variáveis de controle que meçam esta variação e forneçam indicações para a tomada de decisão mais adequada pela instâncias competentes (Seção 3.4.2).

Do mesmo modo, é possível que os estoques estejam sempre perto de L_m . No caso de uma baixa demanda imprevista, seus níveis de estoques podem se manter altos (o conceito de “alto” é dependente da situação), prejudicando as operações da cadeia.

Uma política de reabastecimento deve, portanto, monitorar os níveis de estoque para avaliar quando as reposições devem ser feitas. O monitoramento pode ser *contínuo* (justificando a análise da variável P_r) ou *periódico* (para L_m).

3.4.2 Indicadores de disponibilidade do produto

Os indicadores de disponibilidade do produto são elementos indissociáveis das políticas de reabastecimento, uma vez que estas utilizam seus conceitos para a derivação de expressões para o controle de estoques de segurança. Chopra (2001) considera três indicadores, a saber:

Taxa de provimento de produto (T_{pd}): fração da demanda por um produto que pode ser satisfeita pelo estoque. Em termos probabilísticos, é a probabilidade da empresa de prover o produto recorrendo apenas ao seu estoque.

Taxa de provimento de pedido (T_{pe}): é a fração de pedidos que pode ser atendida apenas pelo estoque. Em se tratando de pedidos agregados (*i.e.* com mais de um produto), este só é considerado atendido se todos os produtos puderem ser providos pelo estoque (tendência observada em muitas empresas, principalmente aquelas que possuem portais para compras pela Internet).

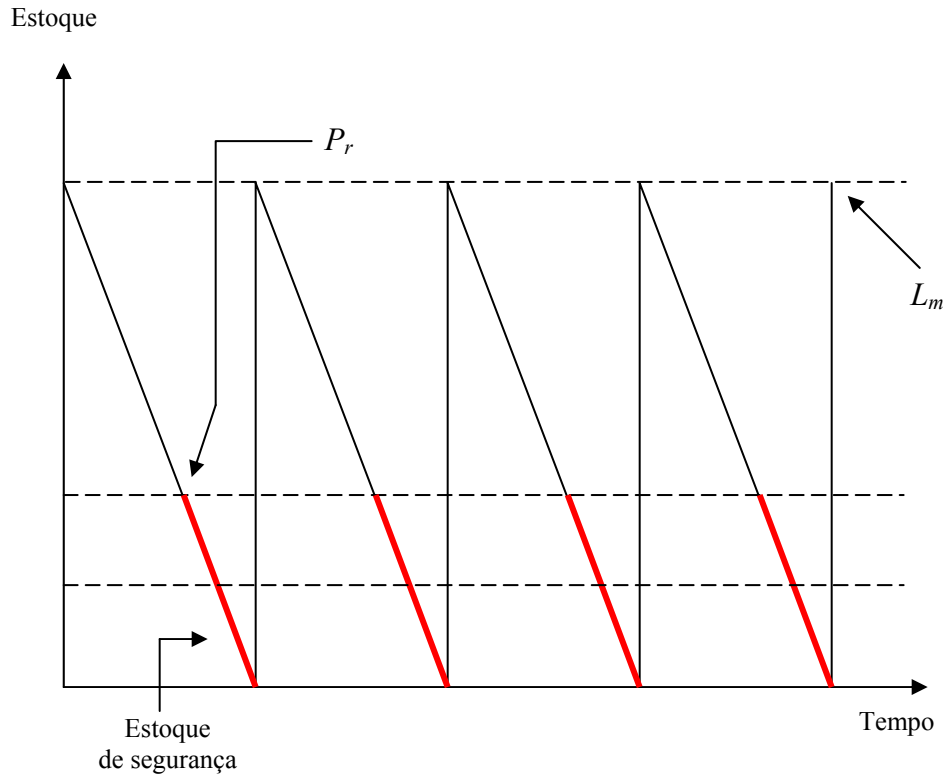


Figura 3.8: Ponto de reposição, limiar máximo e estoque de segurança no perfil do estoque intermediário.

Nível de serviço cíclico (N_s): é a quantidade de ciclos de reposição que termina com todas as demandas satisfeitas. Um ciclo de reposição é equivalente ao período entre o início de dois pontos de reposição sucessivos. Isto significa que é configurado um ciclo de reposição a partir do momento em que um pedido é feito para reabastecimento de estoques até o imediatamente próximo pedido com idêntico propósito. Em termos probabilísticos, é a probabilidade de que todos os pedidos sejam atendidos corretamente (sem faltas) entre um P_r e outro.

3.4.3 Avaliação de indicadores no controle de estoques de segurança

As técnicas de controle de estoque de segurança baseadas em *revisão contínua* exigem que um lote de tamanho P seja pedido assim que P_r é atingido, e os indicadores de disponibilidade de produto farão uso desta característica. A revisão periódica, por não ser realizada a cada instante, por sua vez, exige que sejam considerados períodos de tempo fixos em que os estoques serão reabastecidos até L_m . Em ambos os casos, a demanda incerta induz ao uso de distribuições

estatísticas. O interessante desta abordagem é que de acordo com a natureza do problema pode-se empregar a distribuição mais apropriada, com suas respectivas medidas de dispersão.

A distribuição normal é a mais utilizada por representar a maioria dos comportamentos de muitos sistemas baseados em observações de fenômenos. Para os propósitos deste texto, esta é a que será utilizada.

Dada uma variável aleatória contínua X , a *distribuição normal* com média μ e desvio-padrão $\sigma > 0$ é aquela para que a respectiva *função de densidade de probabilidade* $f(x)$ é dada por (Gomes, 1968):

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad [3.62]$$

A *função normal de distribuição acumulada* $F(x)$, por sua vez, indica a probabilidade de que uma variável aleatória contínua X com média μ e desvio-padrão σ assumam um valor menor ou igual a x . Assim:

$$F(x, \mu, \sigma) = \int_{-\infty}^x f(x', \mu, \sigma) dx' \quad [3.63]$$

Muitas situações práticas requerem que, dada uma probabilidade p , seja descoberto o valor x para o qual tal probabilidade se verifica. A *função normal inversa* $F^{-1}(x)$ é usada nestes casos, demonstrando-se que:

$$F(x, \mu, \sigma) = p \Leftrightarrow F^{-1}(p, \mu, \sigma) = x \quad [3.64]$$

3.4.3.1 Modelos de Revisão Contínua

A determinação do estoque de segurança (E_s) para um dado produto é feita pela introdução de duas novas variáveis (Chopra, 2001):

- G = Tempo gasto na reposição do estoque a partir do momento em que o P_r é atingido (em unidades de tempo);

- M = Média da distribuição normal de demanda (não pelo tempo G), com desvio padrão σ_M (em produtos/unidades de tempo). O desvio padrão da distribuição normal de demanda pelo tempo G é dada por $\sigma_G = \sqrt{G}\sigma_M$.

Ambas se relacionam por meio da fórmula:

$$D_e = GM \quad (D_e = \text{demanda média esperada durante o tempo } G) \quad [3.65]$$

O estoque de segurança E_s , portanto, é dado por:

$$E_s = P_r - GM \quad [3.66]$$

Além do estoque de segurança em si, quantificar os indicadores é necessário para dar suporte a estratégias de tratamento mais sofisticadas. Por exemplo, pelas taxas de provimento (de produto e de pedido) é possível determinar a fração de demanda que não está sendo atendida, o que determinará o curso de ação a ser tomado.

No caso de revisões contínuas, falhas no estoque ocorrem porque a demanda durante o tempo G excedeu o P_r . Seja F_r a demanda média por um produto que não pôde ser satisfeita no tempo G . Sendo P o tamanho do lote que deveria ter repostado o estoque, tem-se:

$$T_{pd} = \frac{P - F_r}{P} \quad [3.67]$$

Sejam agora $f(x)$ a função de densidade de probabilidade relativa à demanda que provocou o término do estoque e $F(x)$ a função de distribuição acumulada. F_r , portanto, pode ser descrita por:

$$F_r = \int_{P_r}^{\infty} (x - P_r) f(x) dx \quad [3.68]$$

Como a demanda é normalmente distribuída durante o tempo G , pela equação [3.66] tem-se:

$$P_r = E_s + GM \quad [3.69]$$

Substituindo [3.69] em [3.68]:

$$F_r = \int_{E_s+GM}^{\infty} (x - E_s - GM) f(x) dx \quad [3.70]$$

O que, aplicado à expressão da função de densidade de probabilidade da distribuição normal (equações [3.62] e [3.63]), fornece:

$$F_r = \int_{E_s+GM}^{\infty} (x - E_s - GM) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_G} e^{-\frac{(x-GM)^2}{2\sigma_G^2}} dx \quad [3.71]$$

Pela substituição de variáveis $z = \frac{x-GM}{\sigma_G}$, obtém-se:

$$F_r = \int_{\frac{E_s}{\sigma_G}}^{\infty} (z\sigma_G - E_s) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \sigma_G \int_{\frac{E_s}{\sigma_G}}^{\infty} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz - E_s \int_{\frac{E_s}{\sigma_G}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad [3.72]$$

A relação entre $F(x)$ e $f(x)$ é dada por (Downing, 1999):

$$1 - F(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad [3.73]$$

Substituindo [3.73] em [3.72], usando a substituição de variáveis $z = \frac{x^2}{2}$ e reagrupando termos, chega-se, finalmente, à expressão para a demanda não satisfeita por um certo produto:

$$F_r = \sigma_G \int_{\frac{E_s}{\sigma_G}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z} dz - E_s \left[1 - F\left(\frac{E_s}{\sigma_G}\right) \right] = \sigma_G f\left(\frac{E_s}{\sigma_G}\right) - E_s \left[1 - F\left(\frac{E_s}{\sigma_G}\right) \right] \quad [3.74]$$

Igualmente importante é o *Nível de serviço cíclico* que, como já mencionado, é a probabilidade de que não haja falta de estoques em um ciclo de reposição. Em termos matemáticos, isto equivale a:

$$N_s = \text{Probabilidade}(\text{demanda durante o tempo } G \leq P_r) \quad [3.75]$$

Utilizando novamente as equações [3.62] e [3.63], vem:

$$N_s = \int_{-\infty}^{P_r} \frac{1}{\sigma_G \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-GM)^2}{2\sigma_G^2}} dx \quad [3.76]$$

Uma abordagem interessante do ponto de vista matemático é a consideração dos problemas inversos aos exibidos: dados os indicadores nos níveis em que se deseja, há a necessidade de determinar o melhor estoque de segurança. Geralmente estes problemas visam atingir metas de estoques em níveis ótimos, uma vez que os indicadores mais eficientes já estão em uso.

Um exemplo de estratégia empregada na construção de estoques de segurança a partir dos indicadores citados é encontrado em Chopra (2001) e trata da obtenção de um estoque de segurança E_s a partir do *Nível de serviço cíclico* (N_s). Da percepção de que a equação [3.75] pode ser reescrita empregando-se a notação usada na equação [3.63], obtém-se:

$$N_s = F(P_r, GM, \sigma_G) \quad [3.77]$$

Pela relação estabelecida entre F e F^{-1} (equação [3.64]), vem:

$$P_r = F^{-1}(N_s, GM, \sigma_G) \quad [3.78]$$

Substituindo-se a equação [3.69] na relação acima e rearranjando os termos:

$$E_s = F^{-1}(N_s, GM, \sigma_G) - GM \quad [3.79]$$

A vantagem do monitoramento contínuo é óbvia em situações em que demandas atípicas ocorrem com muita frequência. Em situações como essa, a observação constante dos níveis de estoque dá margem à rápidas ações por parte dos gerentes com base nas políticas acima descritas. É claro que, pelo exposto, apenas nos períodos de reposição é que deve haver maior cuidado uma vez que faltas de estoque tendem a ocorrer nestes intervalos de tempo.

A desvantagem desta metodologia é ser mais difícil de colocar em prática do que os modelos de revisão periódica, embora tecnologias atuais como a coordenação por meio de leitores de códigos de barras e transferência via rede estejam tornando mais atraentes as possibilidades de uma ampla adoção da técnica.

3.4.3.2 Modelos de Revisão Periódica

Os modelos de revisão periódica diferem fundamentalmente dos anteriores pela natureza de suas observações e atualizações de dados dos estoques de segurança. Nestes, a revisão é feita a intervalos regulares denominados I , em que o nível de estoque é examinado e, se necessário, completado até um ponto denominado *limiar máximo* (L_m) (conclui-se, portanto, que estas quantidades podem não ser constante, devido à demanda). Uma das vantagens deste modelo é que as reposições de estoque são feitas em instantes bem conhecidos (Chopra, 2001).

Para a dedução do estoque de segurança neste modelo, seja considerado um intervalo de tempo G (a partir de 0). No momento 0 é feito um pedido de reposição tal que completará o estoque até o nível L_m e que deve chegar no momento G . O próximo período de revisão, portanto, será em $G + I$, e assim sucessivamente. O que ocorre, na prática, é que se deseja que:

$$\text{Probabilidade(demanda durante o tempo } G + I \leq L_m) = N_s \quad [3.80]$$

Novamente, sabe-se que a demanda é normalmente distribuída no tempo $G + I$, com:

- Demanda Média durante $G + I$ observações: $\mu_{G+I} = (G + I)M$ [3.81]
- Desvio padrão da demanda durante $G + I$ observações: $\sigma_{G+I} = \sqrt{G + I} \sigma_M$ (Seção 3.4.3.1)

É fácil ver que:

$$L_m = (G + I)M + E_s \quad [3.82]$$

E que, para um dado nível de serviço cíclico N_s , tem-se (como na equação [3.79]):

$$E_s = F^{-1}(N_s, (G+I)M, \sigma_{G+I}) - (G+I)M \quad [3.83]$$

É de se esperar que políticas de reposição baseadas em revisões periódicas requeiram maiores quantidades em seus estoques de segurança do que políticas de revisão contínua para o mesmo período G e o mesmo nível de disponibilidade de produto.

3.4.4 Outras influências nos estoques de segurança

Estabelecer níveis para os indicadores no estudo dos estoques é um dos fatores que promovem seu incremento. Por exemplo, aumentar a disponibilidade de produto conduz, naturalmente, a um aumento nos níveis dos estoques intermediários. Isto também acontece quando o período G aumenta, ou o desvio padrão da demanda periódica.

Assim sendo, duas estratégias interessantes para a diminuição dos estoques de segurança consistem em tentar diminuir o tempo G ou tentar diminuir a incerteza da demanda (reduzindo também o desvio padrão), embora sejam resultados difíceis de se obter num primeiro momento uma vez que entram complexos componentes sociais e mercadológicos subjetivos que fogem ao escopo deste texto (Chopra, 2001).

A própria cadeia de suprimentos pode apresentar situações incertas, como atrasos na produção (causados, por exemplo, pelo não recebimento de matérias primas necessárias ao início do processo), variações entre os períodos que contam da elaboração de um pedido até seu recebimento, dentre outros, apesar de fatores internos como os mencionados não terem qualquer contribuição no que foi discutido até o momento.

Ressalta-se, assim, a importância da necessidade de colaboração entre os parceiros da cadeia para que suas ações sejam coordenadas de modo a evitar dificuldades e perdas de lucros (Seção 3.3.4).

Por fim, a agregação de produtos, como nos pedidos feitos pelo modelo do Lote Econômico, também apresenta influências em seu comportamento. É possível não comprometer a disponibilidade de produtos por meio da exploração adequada de agregações que podem diminuir os estoques de segurança. Isto envolve, inclusive, localizações geográficas distintas de centros de

distribuição, que necessitarão de um sistema de controle eletrônico eficiente, métodos de especialização de produtos, substituição destes e pressões do consumidor.

3.4.5 Níveis de disponibilidade do produto

Como já comentado, os indicadores de taxa de provimento e nível de serviço cíclico (também denominado nível de serviço ao cliente) são os responsáveis pelo gerenciamento dos níveis de disponibilidade do produto. Existe um equilíbrio básico entre estes indicadores, que preconiza o balanceamento entre a existência de estoques de segurança e a necessidade de manutenção de baixos custos de armazenamento, para que o lucro (valor) da cadeia de suprimentos seja aumentado, embora empresas diferentes apresentem graus de disponibilidade de produtos diferentes.

Uma das ferramentas mais úteis na estruturação da disponibilidade de um produto é o *adiamento* (Tayur, 1999), uma estratégia gerencial cuja finalidade é alinhar do modo mais preciso possível demanda com os objetivos da cadeia de suprimentos em um dado instante, o que aumenta seu lucro, apesar de mostrar certas limitações principalmente na presença de produtos responsáveis por grande parte da demanda.

Considerações semelhantes às já feitas sobre o nível de serviço cíclico para revisões contínuas levam a fórmulas (baseadas em ferramentas estatísticas) que contemplam situações como demandas deslocadas (presentes quando não há estoques) ou perdas (que mudam de fornecedor na ausência de estoques) (Chopra, 2001).

Por fim, uma tendência observada em certos ramos de negócio são os estoques gerenciados pelos vendedores, uma filosofia por meio da qual são os próprios fornecedores que se encarregam do controle de estoque dos produtos que vendem a seus clientes. Como resultado, as regras de decisão saem de dentro da empresa, passando a ser compartilhadas até mesmo no processo de produção, servindo como uma ponte entre o cliente e o fabricante do produto.

Neste ponto, sistemas de informação de nível gerencial (Seção 2.8) desempenham papel fundamental, oferecendo serviços apropriados (usando redes de computadores) para a eficiente

disseminação de dados para todos os integrantes da cadeia, auxiliando na maximização de seu valor e garantindo processos que mantenham a disponibilidade do produto ao menor custo.

3.5 Resumo e comentários

O presente capítulo formou a base matemática para a compreensão dos diversos processos de controle de estoque existentes. Contemplaram-se os estoques intermediários, necessários ao andamento das operações diárias de atendimento de pedidos e os estoques de segurança, mantidos para os casos em que a demanda pode apresentar variações imprevistas.

Sobre os estoques intermediários, foram sugeridas novas abordagens sobre o cálculo dos lotes econômicos em modelos mais gerais. Tal generalização consistiu em determinar uma função descritora do perfil de consumo dos estoques na presença de reposições não-imediatas e faltas antes do término do tempo de ciclo. Tal função, podendo ter qualquer natureza (foram consideradas versões lineares, quadráticas e exponenciais), permitiu que novas versões de lote econômico fossem derivadas, incluindo alterações dos modelos de Chopra para agregações e descontos levando a métodos mais completos para o cálculo de níveis de estoque.

Cumprir notar que estas derivações foram totalmente baseadas no cálculo diferencial, sendo os resultados devidamente demonstrados à luz dos teoremas tradicionais de continuidade, diferenciabilidade e integrabilidade.

Na maioria dos casos, a distribuição normal de probabilidade é uma boa aproximação para a descrição de fenômenos nos quais esteja envolvida a incerteza, motivo pela qual foi escolhida para a dedução das relações empregadas no cálculo de estoques de segurança e seus indicadores de desempenho (nível de serviço ao cliente, taxa de provimento de produtos e de provimento de serviços).

O SIPES, analisado a seguir, é a versão computacional das técnicas vistas, aliada à simulação computacional e a um ambiente distribuído, de modo a fornecer ao usuário um aplicativo robusto para o planejamento de políticas de estoques, conforme será visto no Capítulo 5.

Capítulo 4

Análise experimental

4.1 O sistema de informação SIPES

O SIPES (*Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em Simulação*) é um sistema computacional voltado à integração, em um ambiente distribuído, entre os vários elos formadores de uma cadeia de suprimentos no que diz respeito ao planejamento global de estoques segundo os preceitos anteriormente discutidos (principalmente os da Seção 3.3.4). Foi desenvolvido pelo autor deste trabalho no **Departamento de Engenharia de Fabricação (DEF)** da **Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM)** da **Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)**, que tornou disponíveis os recursos necessários.

Um dos requisitos estabelecidos na composição do *software* foi a facilidade de uso por meio de uma interface com o usuário amigável e suficientemente auto-explicativa, constituída principalmente de “equivalentes eletrônicos” de muitos controles reais presentes nas operações rotineiras do cotidiano (*e.g.* botões de pressão, listas, grades, dentre outros)¹.

O SIPES é a reunião de diversas tecnologias computacionais: inclui uma interface de comunicação local desenvolvida em Microsoft® Visual Basic™ 6.0, uma interface de comunicação remota desenvolvida em HTML (e que utiliza os recursos *Internet Information Services*™ – IIS e *Active Server Pages*™ – ASP, também da Microsoft®), o simulador ProModel 2001™, da ProModel Corporation®, e o mecanismo de acesso a dados provido pela ferramenta

¹ Deve-se ressaltar, entretanto, que estes “equivalentes eletrônicos” (denominados, no jargão do *design* de interfaces, como *metaphors*) nem sempre possuem a mesma facilidade de uso do que seus pares reais, o que compromete o desempenho de muitas aplicações computacionais (Baber, 1994; Mandel, 1997).

ODBCTM (*Open Data Base Connectivity* – Anexo II). O emprego do Visual BasicTM 6.0, IISTM e ASPTM justifica-se pelo fato de serem tecnologias amadurecidas e utilizadas intensamente na grande maioria dos sistemas de informação (Gosney, 2002), além de serem de rápida configuração, propiciando um ambiente de desenvolvimento eficiente para as aplicações propostas.

4.2 Mecanismo principal de operação do SIPES – mensagens

O Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em Simulação funciona em um ambiente criado de acordo com a arquitetura cliente/servidor (Seção 2.11). Neste aspecto, portanto, permite, de modo transparente e independente da plataforma computacional utilizada, a condução de informações por uma rede de computadores devidamente configurada.

A arquitetura cliente/servidor tem como uma de suas definições formais o funcionamento por meio de *troca de mensagens* (Orfali, 1994). Uma *mensagem* é um objeto de estrutura simples que trafega pela rede e tem duas finalidades:

- Ativar processos e
- Transmitir respostas.

A ativação de processos² é feita pelo cliente, a partir das operações desempenhadas pelo usuário em seu terminal. Como exemplo, pode-se citar uma determinada consulta a um banco de dados: o usuário fornece os dados necessários à aplicação cliente que os enviará (devidamente formatados em uma mensagem) a um servidor que os processará e transmitirá a resposta (também sob forma de mensagens) de volta ao cliente, para visualização (Figura 4.1).

Mensagens, na maioria dos casos, são *strings*³ cujo formato é convencionado no estágio de desenvolvimento das aplicações que interagirão. Entretanto, devem ser simples o suficiente para não comprometer a qualidade de tráfego dos dados e garantir pronto atendimento à todas as

² Um *processo* (Tanenbaum, 1992) é comumente definido como um programa em execução.

³ Em estruturas de dados (Standish, 1994), uma *string* é uma sequência de caracteres que pode representar qualquer tipo de informação, numérica, alfabética, ou ambas.

solicitações feitas. Este fator de desempenho é crucial na análise de um sistema de informação (Tanenbaum, 1989).

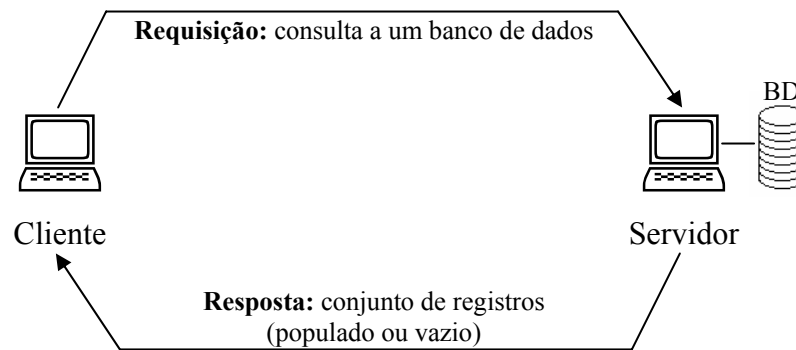


Figura 4.1: Exemplo de interação entre cliente e servidor numa consulta a banco de dados.

A manutenção de mensagens como agentes de interação na rede por parte de seus elementos é também um fator importante na obtenção da *escalabilidade* (Barry, 1994), outra característica presente na formalização da arquitetura C/S e que se refere ao poder de uma rede de alterar seus elementos (*i.e.* adotando máquinas mais poderosas e/ou mais específicas para uma determinada função) sem a necessidade de alterar seus esquemas de trocas de mensagem. Assim, este recurso se revela um unificador e facilitador de todas as operações em uma rede sob a filosofia C/S.

4.3 O cenário de atuação do SIPES

O SIPES foi desenvolvido para auxiliar na tomada de decisões estruturadas baseadas em modelos de simulação computacional. O simulador é, basicamente, um fornecedor de resultados acerca das disponibilidades de um certo bem de consumo quando uma projeção de demanda sobre o mesmo é feita.

Tal bem é gerado pela operação de diversas linhas de produção em que dados reguladores de desempenho (*e.g.* tempo de processamento, tempo de chegadas de entidades ao sistema, dentre outros) são passados via parâmetros por meio de páginas de Internet (acessíveis a qualquer cliente) e o modelo resultante desta passagem de parâmetros é executado remotamente (no chamado *servidor de simulação*), gerando dados que depois serão analisados pela interface local, comum a todos os clientes, e que formarão a base para a adoção das melhores políticas conjuntas

de estoque intermediário e de segurança, visando a maximização de valor da cadeia de suprimentos (Seções 2.1 e 3.3.4) (Figura 4.2).

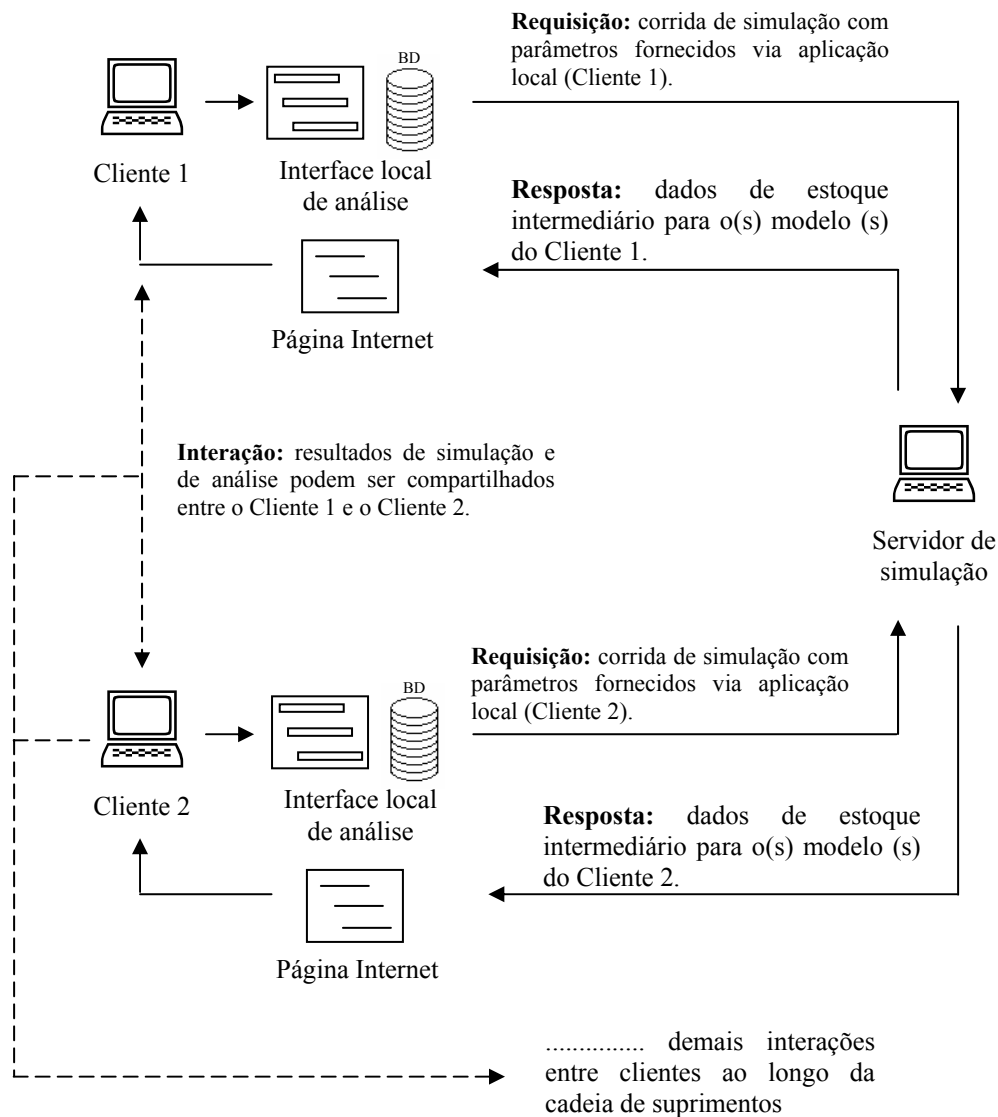


Figura 4.2: Esquema geral de uso do SIPES.

Cada cliente (*i.e.* cada elo da cadeia) possui seu próprio modelo de produção, com variáveis independentes dos demais elos e procedimentos próprios. O SIPES permite que cada cliente execute não apenas o seu modelo, mas também os modelos de outros, para análise conjunta de como o perfil de estoques intermediários de seus parceiros de negócio pode afetar suas políticas atuais (isto é feito por meio da interface local, que é uma aplicação desenvolvida em Visual BasicTM 6.0).

O SIPES pode ser empregado na produção empurrada: de acordo com dados históricos (providos, por exemplo, de um sistema ERP), é possível conhecer a demanda por determinado bem e, assim, será possível determinar as necessidades de produção e/ou compra necessárias em antecipação às solicitações dos clientes.

Ao mesmo tempo, o sistema também pode ser usado na produção puxada: determinados os requerimentos por um elo da cadeia que deseja antecipar sua produção, o elo fornecedor terá condições prover respostas a seu cliente sobre a possibilidade ou não de atender ao seu pedido. Tais interações podem ser vistas na Figura 4.3 abaixo.

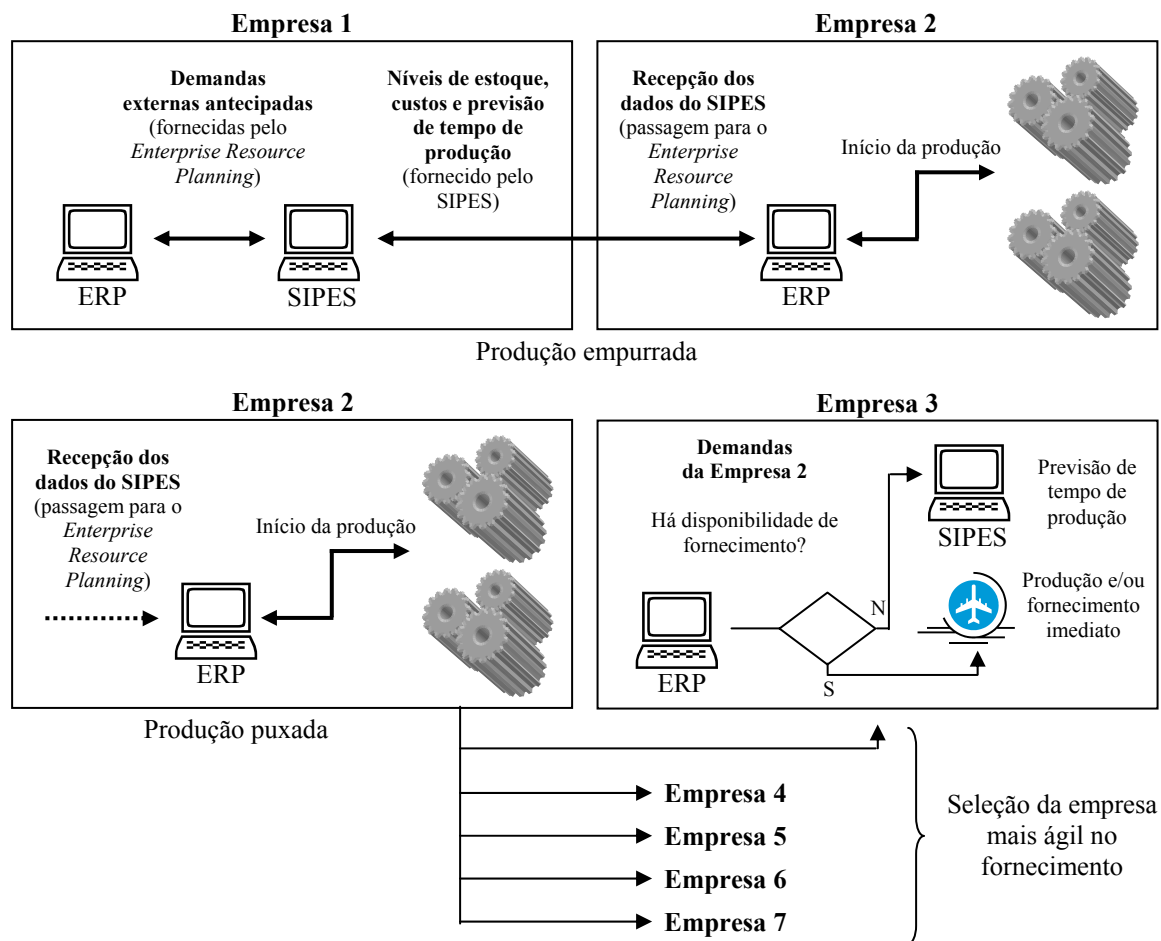


Figura 4.3: Uso do SIPES na hierarquização de produção puxada/empurrada.

Deve-se ressaltar que dados de produção são altamente estratégicos; assim, a função do SIPES é reunir elementos para indicar a um dado elo da cadeia se seus pedidos poderão ser fornecidos em tempo de atender às requisições de seus clientes. As informações sobre produção permanecem sob responsabilidade das empresas envolvidas, sendo usadas apenas nos cálculos das variáveis de estoques analisadas no Capítulo 3⁴.

4.4 Funcionalidades do SIPES

O Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em Simulação trabalha em duas frentes: a local (fornecimento de dados via páginas Internet e análises pós-execução do modelo de simulação) e a remota (envio dos dados do cliente para o servidor e vice-versa, execução do modelo de simulação e geração de respostas).

É necessário que, em toda a estrutura, esteja devidamente configurado o *Internet Information Services*TM (IIS), um recurso presente nas versões NTTM, 2000TM e XPTM do sistema operacional WindowsTM.

A função do IISTM é prover um ambiente de desenvolvimento baseado na arquitetura cliente/servidor que simula localmente a interação entre estes dois componentes, permitindo a posterior extensão para um ambiente real em que equipamentos se comuniquem por uma rede de computadores. No Anexo II encontra-se um tutorial completo sobre como configurar este ambiente visando melhorias futuras no SIPES.

4.4.1 A aplicação *cliente*

O SIPES dispõe de uma aplicação no cliente responsável pela análise das variáveis de produção geradas pela simulação de modelos específicos (Seção 4.4.3) em comparação aos modelos discutidos no Capítulo 3. Uma vez que um modelo representa uma situação real de produção (desde que devidamente validado), a análise permite identificar os problemas de estoque que ocorrem na configuração atual e é permitido ao usuário variar seus parâmetros e novamente executá-lo para testar novas hipóteses.

⁴ Torna-se claro, portanto, que aspectos de segurança nas transações do SIPES devem ser considerados. Maiores detalhes serão comentados na seção 4.6.3.

Em seu menu principal (Figura 4.4), a aplicação cliente (ou local) oferece as opções que permitem ao usuário desempenhar as seguintes tarefas:

- Cadastrar as empresas integrantes da cadeia de suprimentos com que deseja interagir e seus principais produtos;
- Importar os dados de simulação do modelo correspondente a seu elo ou a outros elos da cadeia;
- Analisar comparativamente por meio de um relatório específico as diversas situações decorrentes da observação da situação atual e da pretendida por meio dos modelos discutidos no capítulo anterior e
- Tornar disponíveis, por páginas de Internet, os resultados da comparação, para visualização geral dos demais membros da cadeia.

O presente capítulo tem por finalidade apresentar a estrutura interna do SIPES, sua maneira de operação e um exemplo prático que será devidamente detalhado e explicado no capítulo 5.



Figura 4.4: O menu principal do SIPES (aplicação cliente).

4.4.1.1 Primeiras ações

Como uma das primeiras providências para o uso do sistema, deve haver o cadastro de empresas (menu *Sistema*, opção *Empresa*, Figura 4.5).

Cadastro de empresas - [Visualização]

Registro: [Ícones de manipulação de registros]

Navegação: [Ícones de navegação]

Form: [Ícones de formulário]

Código: 1 **Nome**: Empresa 1

Nome simplificado: E1

Pasta de arquivos: d:\UNICAMP\Doutorado\Sistema\SIPES\Empresas\Empresa 1 [Localizar...]

Modelo de simulação associado: d:\UNICAMP\Doutorado\Sistema\SIPES\Empresas\Empresa 1\M: [Localizar...]

Registro 1 de 4.

Figura 4.5: Cadastro e manutenção de clientes no SIPES.

O SIPES segue o modelo denominado *fat server*, em contraposição ao modelo *fat client* (Orfali, 1994). No primeiro caso, existe um acúmulo de operações no cliente; no segundo, este acúmulo ocorre no servidor. No SIPES, apesar de em ambos ocorrerem operações importantes, arquivos (mensagens de texto e bancos de dados) e suas operações relacionadas estão presentes no servidor (Seção 4.6).

Códigos (primeiro campo) funcionam tradicionalmente em bancos de dados (Silberschatz, 1991) como indexadores (ou *chaves primárias*), evitando, na maioria dos casos, duplicação de informações.

O cadastro de produtos (menu *Sistema*, opção *Produtos*, Figura 4.6) deve ser feito após o cadastro de empresas, pois informações destas são empregadas no armazenamento de seus dados.

Nesta operação, além do básico a respeito de um produto (seu código, nome e empresa fornecedora), são pedidos também demanda por unidade de tempo, custo unitário, de armazenamento e específico por pedido, que podem ser alterados a qualquer momento quando do cálculo futuro das medidas desempenho. Tendo sido concluído os cadastros preliminares, deve-se importar os arquivos de resultados das simulações cujos dados se deseja comparar (Figura 4.7).

A simulação, portanto, deve ter seu início dado por um operador a partir de uma lista gerada pelos clientes. Pode-se fazer com que tal lista acumule uma quantidade de requisições suficientes para maior rendimento do processo.

Cadastro de produtos - [Visualização]

Registro: [Icons for file operations and navigation]

Navegação: [Navigation icons]

Form: [Form icon]

Código	Descrição
1	Parafuso P1

Empresa fornecedora: Empresa de Fixadores Ltda.

Empresa consumidora: Empresa 1

Dados de formação do lote ótimo (empresa consumidora)

D	q	r	o (esp.)	O (fixo)
5625	0.50	0.25	50	80

Dados de estoque de segurança

M	DPD-M	G	Pr	P	Int. rev.	Ns
1400	200	2	1000	3420	1	.85

Registro 1 de 1.

Figura 4.6: Cadastro e manutenção de produtos no SIPES.

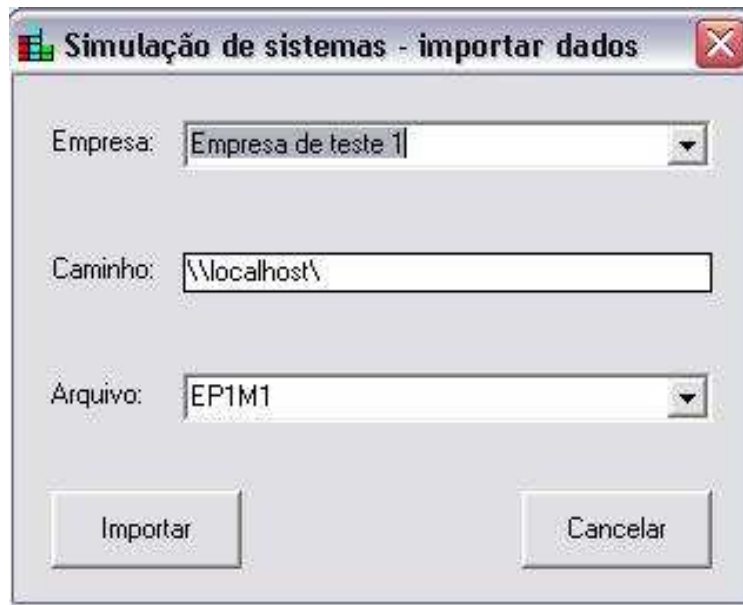


Figura 4.7: Importação dos dados de simulação.

Neste ponto, é importante ressaltar que deve haver um consenso entre nomenclaturas, locais remotos de armazenamento de arquivos, níveis de acesso e demais aspectos envolvendo a operação conjunta do sistema. Sistemas de informação eficientes são aqueles cujos processos são padronizados o suficiente para que todos os operadores, em diferentes setores da empresa, tenham facilidade no seu uso, com o menor impacto social possível.

4.4.1.2 Estudo de estoques intermediários e de segurança

Após estes passos iniciais, prossegue-se na compreensão de suas capacidades de cálculo e análise propriamente ditas, por meio dos menus *Intermediário*, *Segurança*, *Planejamento* e *Análise*, respectivamente.

Um dos aspectos dos estoques intermediários pode ser estudado por meio da interface apresentada na Figura 4.8).

Estoque intermediário - pedido único

Selecione a empresa: Empresa 1 Seleccione o produto: Peça 2

Informações sobre o produto e parâmetros de exibição dos resultados

Demanda (D): 1200 Custo unitário (q): 500 Comb. de custos totais: Mat. + Ped. + Armaz.

Fator de armazen. (r): 0.2 C. esp. de pedido (o): 1000 C. fixo de pedido (O): 4000 Unidade de tempo de fluxo: Dias

Dados de estoque

Tamanho ótimo (P): 346.41 Consumo diário: 49.49 Tempo de fluxo (F): .28868 Pedidos a cada t (p): 3.46

Custos

Material (M): \$600,000.00 Pedidos (A): \$17,320.51 Armazenamento (R): \$17,320.51 Total: \$634,641.00

Calcular Salvar Perfil Fechar

Ciclo (t): 1 Semana(s) Reposição (a): 0 Dia(s) Falta (t'): 0 Dia(s) Padrão: Linear

Figura 4.8: O modelo EOQ.

Para o uso deste recurso, supõe-se executado um modelo de simulação sobre o comportamento de um certo produto e importadas as informações sobre ele.

A primeira abordagem a estoques é dada pelo *Tamanho do Lote Econômico* (Seção 3.3.1). Escolhido um produto, seus dados de demanda e custos são exibidos e, pelo botão *Calcular*, obtém-se os valores de diversas variáveis pela teoria associada.

O estudo dos fenômenos de agregação de produtos em lotes (Seção 3.3.2) é uma variação possível em que, no SIPES, mais de um produto é selecionado de uma lista, com seus dados de demanda e custos apresentados, por conseguinte, também em uma lista (Figura 4.9).

Estoque intermediário - agregação simples e seletiva

Selecione a empresa: Empresa 1

Produtos
Peça 1
Peça 2
Peça 3
Peça 4
Peça 5
Peça 6
Peça 7
Peça 8
Peça 9
Peça 10
Peça 11

Informações sobre o(s) produto(s)

Produto	Cód.	D	q	r	o	Padrão
Peça 4	4	340	550	0.25	570	Quadrático
Peça 5	5	5765	329.9	0.2	190	Linear
Peça 6	6	476	110	0.15	110	Exponencial

Tipo de agregação
☒ Simples
☐ Seletiva

C. de custos totais
Mat.+Ped.+Armaz.

U. tempo de fluxo
Dias

C. F. pedido (O)
1200

Dados de estoque de Peça 4

Tamanho ótimo (P)	Consumo diário	Tempo de fluxo (F)	Pedidos a cada t (p)
33.63	4.80	.09892	10.11

Custos (clique no produto para detalhes)

Material (M)	Pedidos (A)	Armazenamento (R)	Total
\$2,141,234.00	\$20,925.22	\$20,925.22	\$2,183,084.00

Calcular

Salvar

Perfil

Fechar

Item: Peça 6 t: 2 Semana(s) a: 2 Dia(s) t': 1 Dia(s) Exponencial

Figura 4.9: Modelo EOQ estendido: pedidos agregados simples ou seletivamente.

Em ambos os casos (agregação simples ou seletiva), os resultados dos cálculos podem ser visualizados para cada produto bastando, para isso, selecioná-lo na lista, o que exibirá os detalhes nos quadros de dados de estoque e custos.

Estoque intermediário - esquema de descontos por preço médio e marginal

Selecione a empresa: Empresa de Fixadores Ltda. Seleccione o produto: Parafuso P1

Informações sobre o produto

Demanda (D): 5625

Fator de armazen. (r): 0.25

C. esp. de pedido (o): 50

C. fixo de pedido (O): 80

Detalhes do esquema de descontos

☒ Preço médio ☐ Preço marginal

	Início	Fim	Preço
Faixa 1	0	5000	0.5
Faixa 2	5001	10000	0.47
Faixa 3	10001	inf	0.45

Inserir linha Remove linha

Comb. de custos totais Mat.+Ped.+Armaz. **U. de tempo de fluxo** Dias

Dados de estoque

Tamanho ótimo (P): 5000.00 Consumo diário: 714.29 Tempo de fluxo (F): .88889 Pedidos a cada t (p): 1.13

Custos

Material (M): \$2,643.75 Pedidos (A): \$146.25 Armazenamento (R): \$293.75 Total: \$3,083.75

Calcular Salvar Perfil Fechar

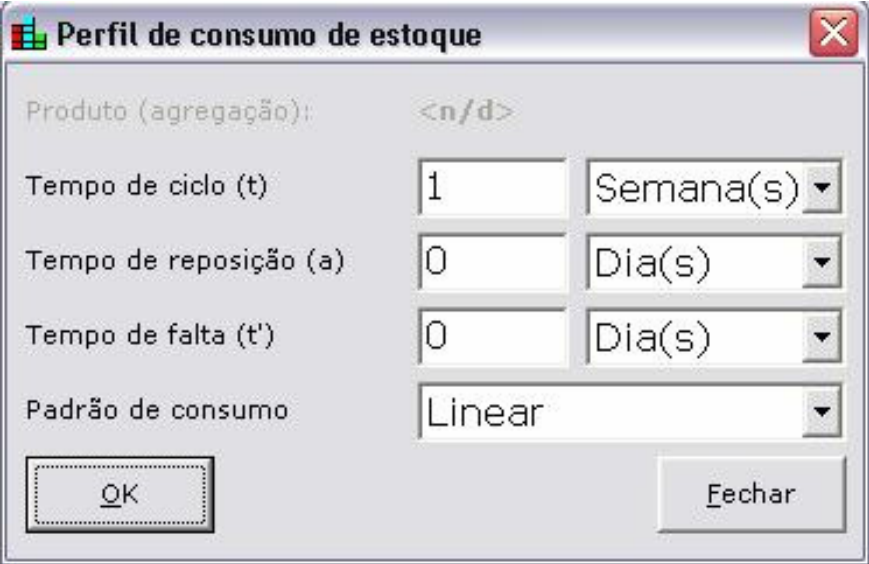
Ciclo (t): 1 Semana(s) Reposição (a): 0 Dia(s) Falta (t'): 0 Dia(s) Padrão: Linear

Figura 4.10: Segunda extensão do modelo EOQ: fatores de desconto.

Por fim, a última abordagem de estoques intermediários discutida é que emprega fatores de desconto para diminuição de preços e utilização da economia de escala (Seção 3.3.3, Figura 4.10).

O botão *Salvar* presente nos três processos até agora vistos tem por função gravar, junto aos dados de produto sobre custos e demanda, os resultados obtidos tanto pela simulação quanto pelo uso das regras trabalhadas no capítulo anterior. Também é possível alterar os dados primários digitando novos valores nas caixas correspondentes, o que deve ser feito com cautela, para evitar divergências futuras nos cálculos.

O botão *Perfil*, por sua vez, permite que se alterem os dados do perfil de consumo para a definição do tempo de reposição (no modelo de reposições não-imediatas, Seção 3.3.5.1), do tempo permitido para faltas (modelo de faltas permitidas, Seção 3.3.5.2) e o perfil propriamente dito, que pode ser linear (modelo EOQ tradicional), quadrático ou exponencial (Figura 4.11).



Perfil de consumo de estoque

Produto (agregação): <n/d>

Tempo de ciclo (t) 1 Semana(s)

Tempo de reposição (a) 0 Dia(s)

Tempo de falta (t') 0 Dia(s)

Padrão de consumo Linear

OK Fechar

Figura 4.11: Alteração do perfil de consumo para produtos individuais.

Com relação a estoques de segurança, são contempladas as situações de revisão contínua (Seção 3.4.3.1) e periódica (Seção 3.4.3.2). A primeira é considerada no formulário ilustrado pela Figura 4.12:

Estoque de segurança - revisão contínua

Selecione a empresa: Empresa 1 Seleccione o produto: Peça 1

Informações sobre o produto e parâmetros de exibição dos resultados

Demanda média (M)	Desv. padrão de M	Comb. de custos totais
43	350	Mat. + Ped. + Armaz.
T. de reposição (G)	DPD de M durante G	
2	494.97	
P. de reposição (Pr)	Tamanho do lote (P)	Unidade de tempo de fluxo
315	525	Anos

Dados de estoque e variáveis de segurança

C	Es	E. médio	Ns	Fr	Tpd	F
262.50	229.00	491.50	67.82%	103.73	80.24%	.22

Custos incorridos pelo estoque intermediário

Material (M)	Pedidos (A)	Armazenamento (R)	Total
\$245,750.00	\$122,075.30	\$24,575.00	\$392,400.30

Figura 4.12: Dados de estoque de segurança de revisão contínua.

Deve-se deixar claro que existe um modelo de simulação para cada tipo de estoque, por sua vez dividido nos casos em questão (pedido de produto único, agregados e com desconto, nos estoques intermediários, e revisão contínua e periódica, nos estoques de segurança). Esta é uma estratégia utilizada principalmente para facilitar o desenvolvimento para o presente trabalho, embora, em situações mais complexas (como as observadas em muitos casos práticos), exija-se um único modelo que represente todas as situações e que forneça múltiplas respostas.

A Figura 4.13, à próxima página, exhibe o tratamento dado a estoques de segurança de revisão periódica:

Estoque de segurança - revisão periódica

Selecione a empresa: Empresa 1 Seleccione o produto: Peça 1

Informações sobre o produto e parâmetros de exibição dos resultados

Demanda média (M)	Desv. padrão de M	Comb. de custos totais
43	350	Mat. + Ped. + Armaz.
T. de reposição (G)	Int. de revisão (I)	
2	2	
N. de serviço (Ns)	DPD de M em G+I	Unidade de tempo de fluxo
0.7	700.00	Anos

Dados de estoque e variáveis de segurança

P médio	C	Es	E. médio	L. máximo (Lm)	F
86.00	43.00	367.08	410.08	539.08	.18

Custos incorridos pelo estoque intermediário

Material (M)	Pedidos (A)	Armazenamento (R)	Total
\$205,040.20	\$146,312.80	\$20,504.02	\$166,816.80

Figura 4.13: Dados de estoque de segurança de revisão periódica.

O módulo de revisão contínua possibilita ao usuário introduzir uma nova taxa de nível de serviço cíclico (N_s – Seção 3.4.2) para o recálculo do estoque de segurança e seus custos, por meio do botão *Novo Ns*. Em ambos os casos (revisão contínua e periódica) também é facultado um novo cálculo da variável σ_M após a alteração do tempo de reposição G (Seção 3.4.3.1), o que é feito pelo botão *Recalcular D.P.*

4.4.1.3 Alteração dos parâmetros de simulação

O processo de análise das variações de valores como tamanho ótimo do lote, níveis de estoque de segurança, tempo de fluxo e outros (análise de sensibilidade) é feita pela re-execução do modelo de simulação com novos parâmetros derivados da observação e discussão,

principalmente aqueles ligados aos tempos de processamento e chegadas de matérias-primas ao sistema.

Por meio do menu *Simulação*, opção *Alteração de parâmetros* pode-se mudar certas variáveis do modelo (Figura 4.14). Em termos práticos, estes são parâmetros livres em cada modelo que, ao ser executado, lê tais dados de um arquivo gerado assim que é pressionado o botão *Alterar*. O SIPES armazena este arquivo no servidor de simulação, mantendo a coerência e a centralização de informações durante o processo de utilização.

A janela de diálogo 'Simulação de sistemas - alterar parâmetros' apresenta os seguintes campos e controles:

- Empresa:** Menu suspenso com 'Empresa 1' selecionado.
- Modelo de simulação:** Campo de texto com o caminho 'd:\UNICAMP\Doutorado\Sistema\SIPES\Empresas\Em'.
- Tempo de processamento:**
 - Entidade:** Menu suspenso com 'MP1' selecionado.
 - Local:** Menu suspenso com 'EN1' selecionado.
 - Valor (em minutos):** Campo de texto com o valor '1'.
- Parâmetros de chegada:**
 - Entidade:** Menu suspenso com 'MP1' selecionado.
 - Local:** Menu suspenso com 'EN1' selecionado.
 - Qtde.:** Campo de texto com o valor '1'.
 - P. Tempo:** Campo de texto com o valor '0'.
 - Ocorr.:** Campo de texto com o valor 'inf'.
 - Freq.:** Campo de texto com o valor '2'.
 - ☒ Incluir na chegada de entidades do ProModel
- Botões:** 'Salvar' e 'Fechar' na base da janela.

Figura 4.14: Alteração dos parâmetros de simulação.

Observação: uma vez que o modelo é re-executado com os novos parâmetros, torna-se necessário ativar mais uma vez o menu *Simulação*, opção *Importar dados* para atualizá-los em termos de novas comparações de níveis de estoques.

4.4.1.4 Análise e criação de relatórios

O SIPES possui uma ferramenta de análise e criação de relatórios (que serão vistos com maiores detalhes no Capítulo 5) que sumariza o conjunto de dados criado e auxilia na tomada de decisão sobre como modificar as políticas internas de produção e consumo à uma empresa de modo a torná-la articulada com outros elos da cadeia de suprimentos, fato de importância fundamental na manutenção de suas operações (Seção 3.4).

Pelo menu *Análise*, opção *Comparação de políticas* (Figura 4.15, na página a seguir), o usuário tem a possibilidade de gerar um relatório em modo texto padrão (arquivo de extensão *.txt*) ou gráfico contendo as principais características dos níveis de estoques criados pelas configurações gerenciada pelo SIPES.

O relatório tem a possibilidade de ser colocado em formato HTML para visualização em qualquer navegador compatível, o que incentiva sua consulta por outros interessados, de modo remoto. Isto é conseguido pela ativação do menu *Internet*, opção *Exportar para visualização*.

Antes da geração dos relatórios é preciso estabelecer um planejamento inicial da produção, o que é feito pelo menu *Planejamento*, opção *Requerimentos de produção* (Figura 4.16), em que se deverá escolher o produto desejado, relacionar os componentes que o formam, suas quantidades, se a produção é puxada ou empurrada e qual a data limite para entrega do produto. No caso de produção empurrada, deve-se determinar também a partir de que data se inicia a fabricação do mesmo.

Este passo é necessário para que o módulo de análises tenha informações suficientes para determinar as possibilidades ideais de programação de pedidos, baseadas nos dados de estoque e simulação da produção.

SIPES - Comparação de políticas

Selecione a empresa: Empresa 1

Anexar dados da(s) empresa(s) abaixo

- ☐ Empresa 1
- ☒ Empresa 2
- ☐ Empresa 3
- ☒ Empresa 4

Estoque intermediário

- ☒ Lote econômico
- ☐ Agregação simples
- ☒ Agregação seletiva
- ☐ Descontos por média de preço
- ☐ Descontos por preço marginal

Estoque de segurança

- ☐ Revisão contínua
- ☒ Revisão periódica

Combinação de custos totais

Mat.+Ped.+Armaz.

Gerar relatório Fechar

Figura 4.15: Geração de relatórios.

4.4.2 A aplicação *cliente web*

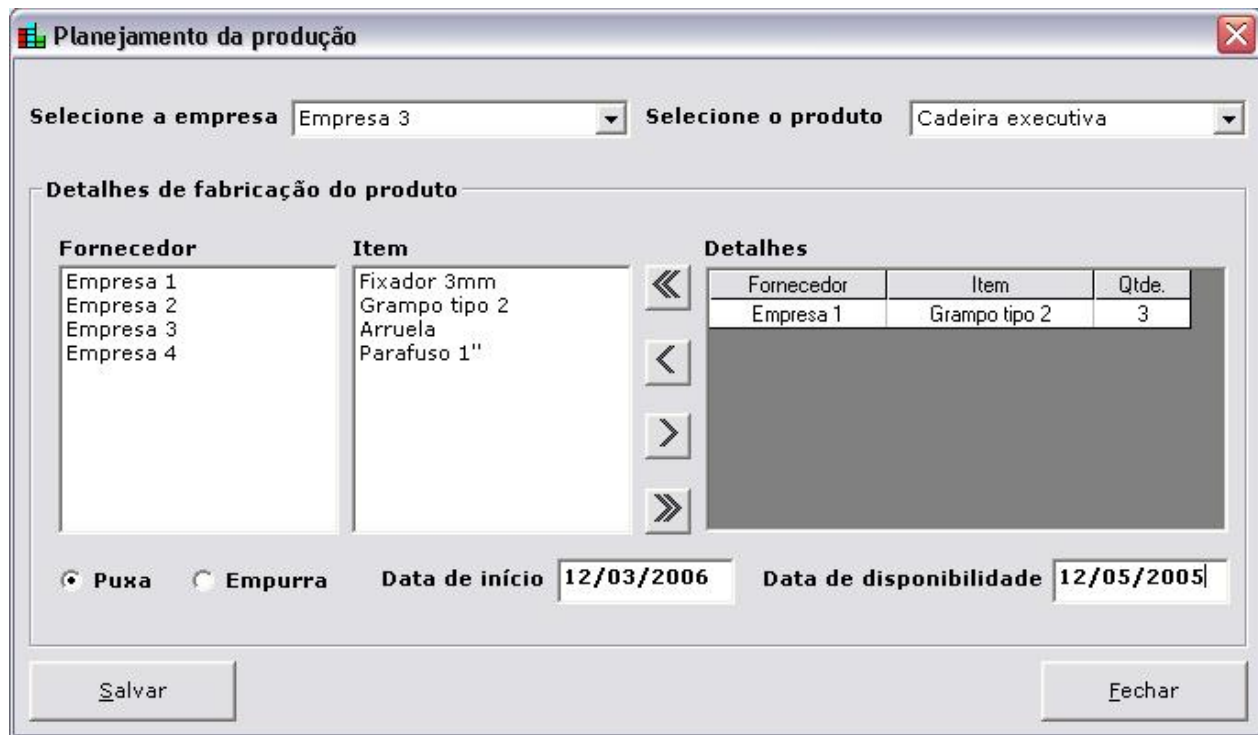
No caso, por algum motivo, de a aplicação local (discutida na Seção 4.4.1) não estar disponível, ao usuário é facultada a entrada dos parâmetros necessários à execução, no servidor, do modelo de produção especificado, por meio de um *cliente web*⁵. Estes parâmetros são, como no caso da aplicação anterior, convertidos em um arquivo de texto externo ao ProModel 2001TM (mensagem), que o lê e extrai as informações para a rodada de simulação (Seção 4.2).

A construção das páginas empregou a linguagem de formatação de hipertexto⁶ HTML (Seção 2.5.1), visando a máxima uniformidade possível entre os clientes e a simplificação de seu carregamento nos terminais, uma vez que páginas mais elaboradas construídas por meio de

⁵ Um *cliente web* é uma aplicação que funciona localmente por meio de um navegador de Internet.

⁶ Maiores detalhes a respeito do que é um hipertexto podem ser encontrados no clássico artigo de Bush (1945).

software específico tendem a aumentar o tempo de carregamento e a causar problemas de tráfego em instantes de alto uso da rede.



Planejamento da produção

Selecione a empresa: Empresa 3 Selecione o produto: Cadeira executiva

Detalhes de fabricação do produto

Fornecedor	Item	Detalhes
Empresa 1	Fixador 3mm	
Empresa 2	Grampo tipo 2	
Empresa 3	Arruela	
Empresa 4	Parafuso 1"	

☒ Puxa ☐ Empurra
 Data de início: 12/03/2006 Data de disponibilidade: 12/05/2005

Salvar Fechar

Figura 4.16: Planejamento da produção sobre os dados de estoque e de simulação.

Outra vantagem apresentada pela linguagem HTML é que, sendo padronizada internacionalmente, qualquer navegador de Internet pode ser utilizado, o que causa impacto mínimo nos padrões de trabalho já estabelecidos em cada setor da organização. Este, aliás, é um fator que deve ser levado em conta no desenvolvimento de sistemas de informação, pois uma das maiores resistências à introdução destes é a alteração dos procedimentos operacionais padronizados (Seção 2.7) já institucionalizados e cujos usuários se tornam relutantes em abandonar, o que gera conflitos sociais internos de difícil gerenciamento, visto tratar-se de pessoas (Laudon, 2002).

Como primeira providência, o usuário deve escolher com que empresa (integrante da cadeia de suprimentos) deseja interagir (Figura 4.17). Esta é uma relação *uma-para-uma*, isto é, pode-se escolher apenas um elo da cadeia com que trocar informações. Numa abordagem assim estabelecida, é interessante que cada empresa procure interagir com seus parceiros mais próximos, obtendo maior precisão nas relações futuras que manterão a respeito de seus estoques.

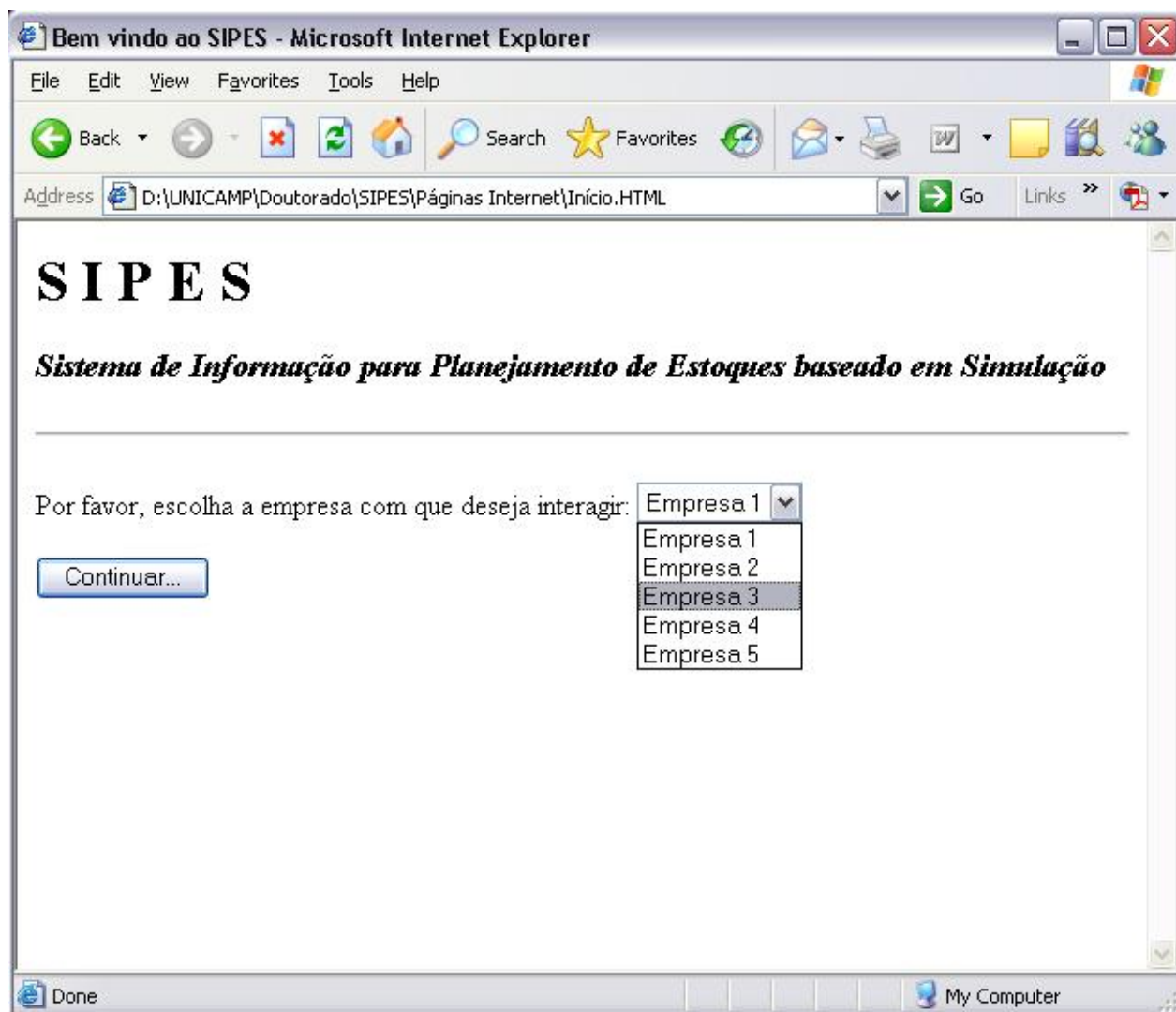


Figura 4.17: Início do processo (escolha da empresa com a qual se vai interagir).

A seguir (pela pressão do botão *Continuar...*), o usuário será enviado à outra página (Figura 4.18) na qual deverá decidir qual a operação que será desempenhada sobre a empresa escolhida. É possível tanto apenas visualizar dados sobre a última simulação ocorrida (Figura 4.20) como enviar dados para que uma nova rodada de simulação seja executada, de acordo com a necessidade atual.

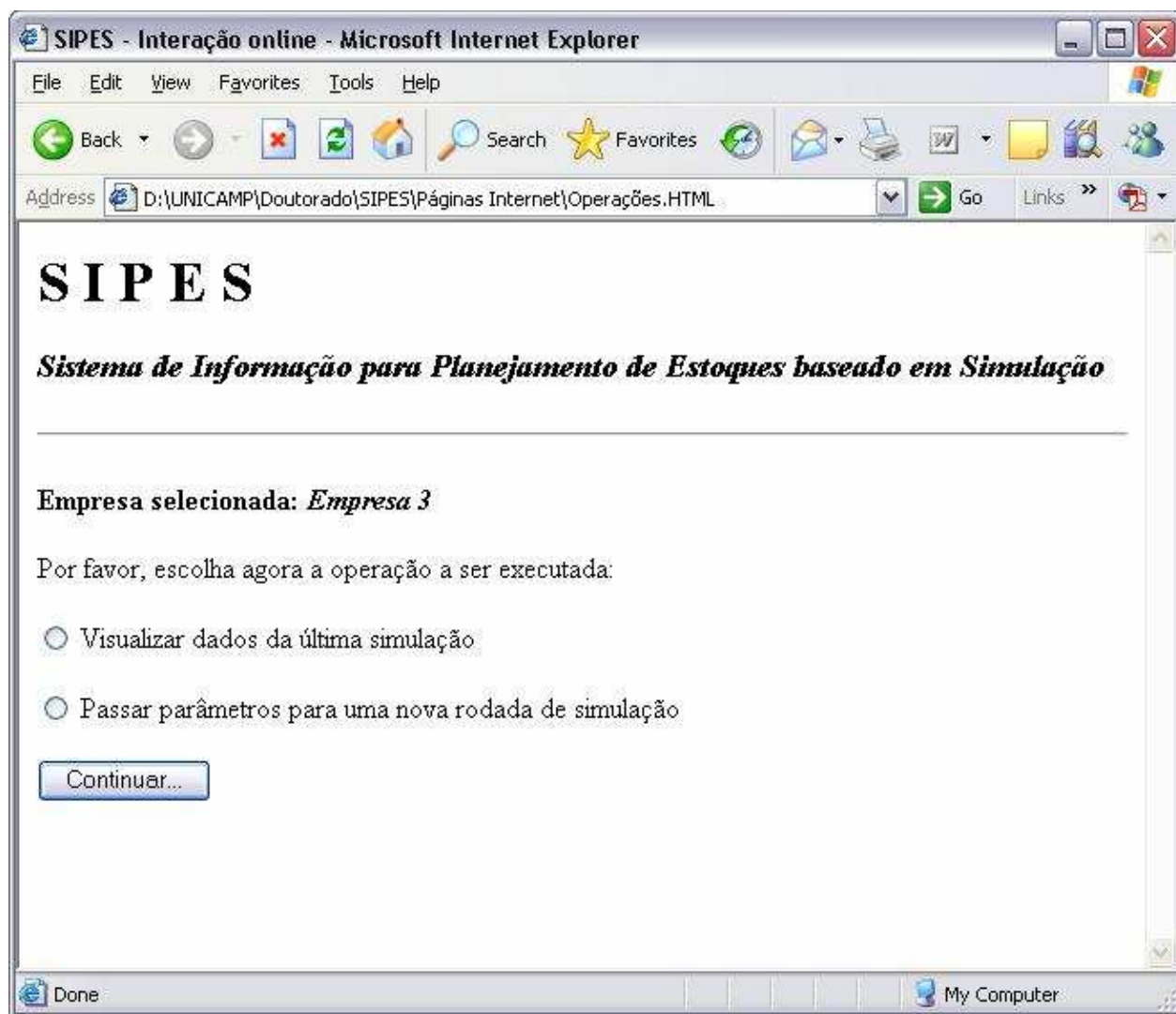


Figura 4.18: Operações possíveis sobre a empresa com que interagir.

Em ambos os casos, nesta modalidade do uso do SIPES, são feitas consultas a bancos de dados para a recuperação das informações solicitadas. Na tela inicial, por exemplo, são recuperadas todas as empresas cadastradas para o uso do sistema, o que é feito pela aplicação local (Seção 4.4.1). Na presente tela de interação, a operação ativada pelo usuário terá efeito sobre um dos modelos armazenados para a empresa selecionada (no caso, Empresa 3), que deverá ser escolhido na tela seguinte (Figura 4.19), carregada pela pressão do botão *Continuar....*

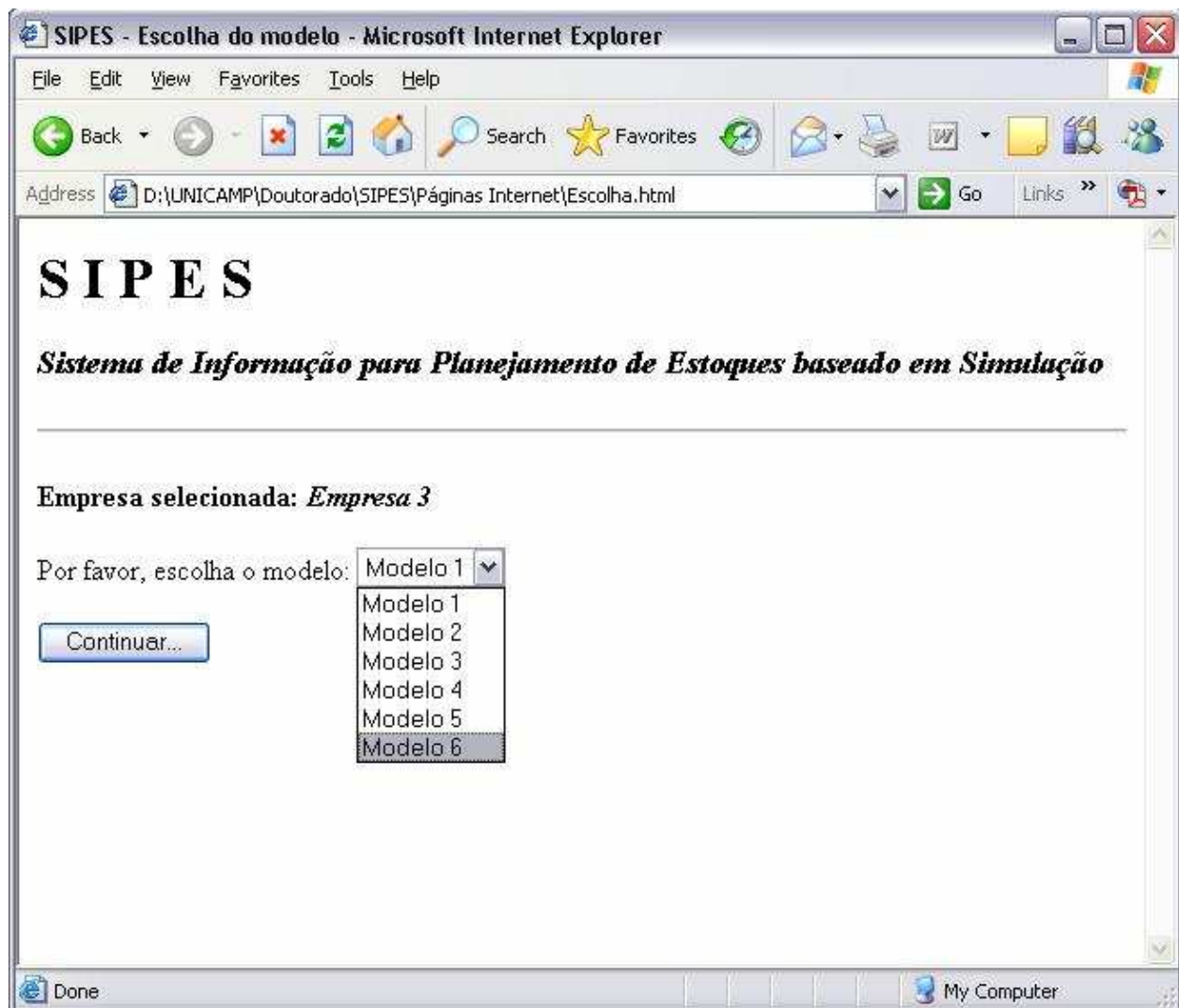


Figura 4.19: Escolha dos modelos disponíveis.

Após a escolha do modelo e o prosseguimento da operação (mais uma vez, por meio do botão *Continuar...*), ou serão recuperadas as últimas informações sobre o modelo selecionado (Figura 4.20) ou será permitido que novos parâmetros sejam enviados para nova execução (Figura 4.21). Novamente, o uso de banco de dados se faz presente até o fim do processo, o que será detalhado na Seção 4.5 (Estrutura de bancos de dados).

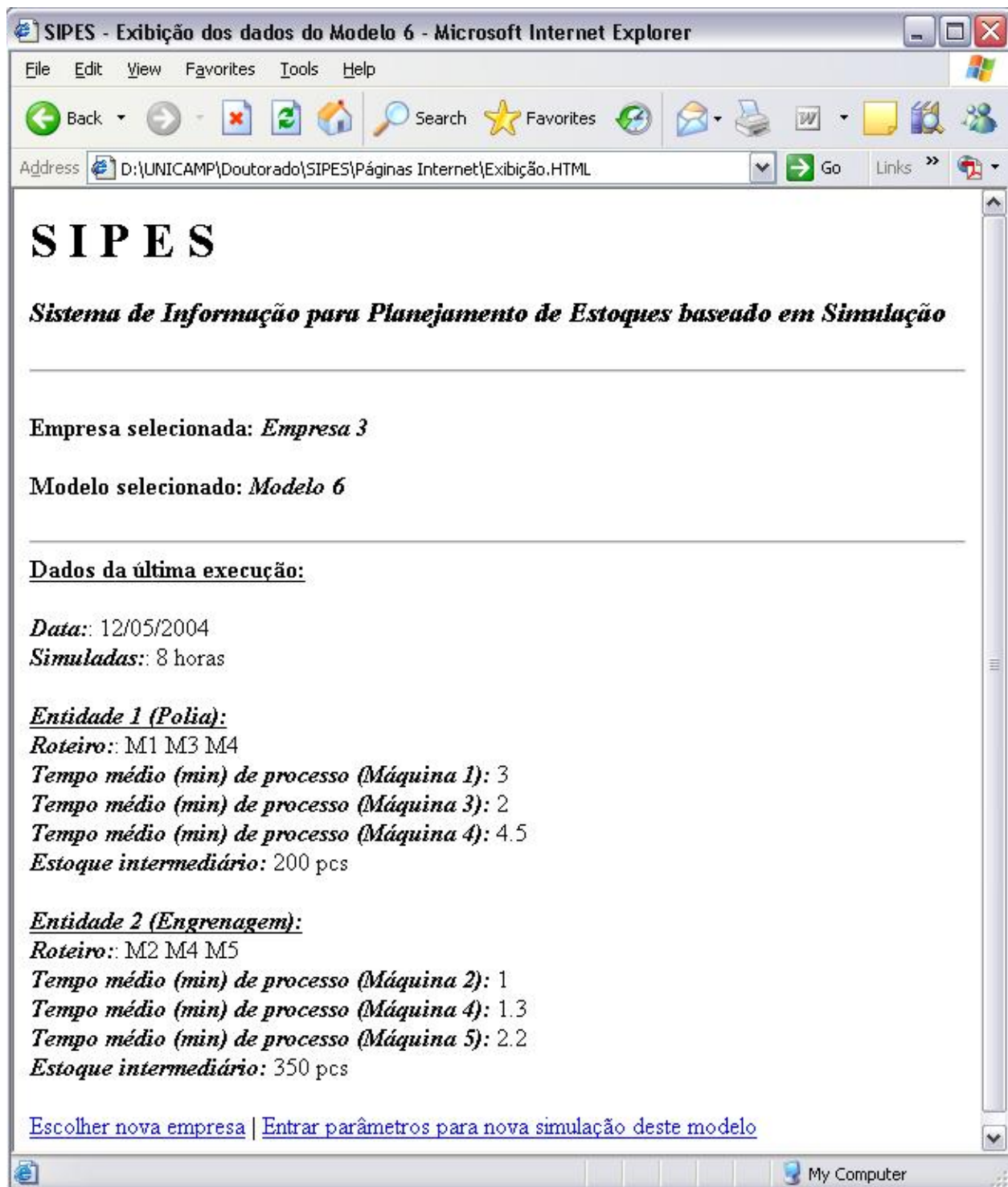


Figura 4.20: Simples exibição dos resultados relativos a estoques de um modelo.

As informações sobre um certo modelo são relativas apenas à quantidade de estoque formado pela simulação de suas operações de fabricação, com seus respectivos tempos de processamento, pois estas são as variáveis de interesse.

SIPES - Entrada de parâmetros para o Modelo 6 - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites Reload Print W Links

Address D:\UNICAMP\Doutorado\SIPES\Páginas Internet\Entrada.HTML Go

SIPES

Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em Simulação

Empresa selecionada: *Empresa 3*

Modelo selecionado: *Modelo 6*

Entrada de parâmetros:

Entidade 1 (Polia):

Tempo de processo (Máquina 1):

Tempo de processo (Máquina 3):

Tempo de processo (Máquina 4):

Entidade 2 (Engrenagem):

Tempo de processo (Máquina 2):

Tempo de processo (Máquina 4):

Tempo de processo (Máquina 5):

Salvar dados

Done My Computer

Figura 4.21: Alteração de parâmetros para nova execução do modelo.

4.4.3 A aplicação *servidora*: os modelos de simulação

O servidor (equipamento prestador de serviços computacionais aos clientes), no SIPES, executa todas as suas operações por meio do *software* ProModelTM 2001, desenvolvido pela ProModel Corporation[®] exclusivamente para a simulação de processos discretos da produção. No Brasil, é representado pela Belge Simulação[®] cujo curso básico de operação do *software* foi freqüentado pelo autor deste trabalho.

Pelo ProModelTM 2001 criam-se modelos pela construção, em um *layout* apropriado, dos quatro blocos básicos que o formam:

- *Locations* (Locais, Figura 4.22): representam os lugares *físicos* e *fixos* nos quais ocorrerão processos pré-programados. Localidades podem ter definidas capacidades, quantidade existente e regime de *downtime*⁷. Podem também representar filas, áreas de estoque e mesmo rótulos identificadores de outras localidades;
- *Entities* (Entidades, Figura 4.23): representam os elementos transitórios do sistema, aqueles que serão efetivamente processados nos locais (*locations*). Como exemplo podem ser citados peças, produtos ou mesmo pessoas. As entidades se movem pelo sistema por meios de lógicas⁸ apropriadas ligadas aos locais e possuem como atributo a velocidade de movimentação;
- *Arrivals* (Chegadas, Figura 4.24): entidades devem surgir no sistema em alguma localidade especificada. Esta **primeira** aparição é denominada *arrival* e deve ser especificada como, quando e onde ocorrer, dentre outras propriedades. Destaca-se neste ponto o uso de distribuições estatísticas para controlar as entradas de entidades e lógicas adicionais, caso necessárias;

⁷ Um *downtime* é uma parada (programada ou não) que ocorre devido a fatores como manutenção preventiva/corretiva, falta de energia elétrica, *setup* (preparação), dentre outros fatores.

⁸ A maioria dos pacotes de simulação atuais é *programável*. Isto significa que além dos componentes visuais, inclui também uma linguagem formal de programação por meio da qual se constroem *lógicas* (conjuntos ordenados de operações destinadas a atingir um objetivo específico).

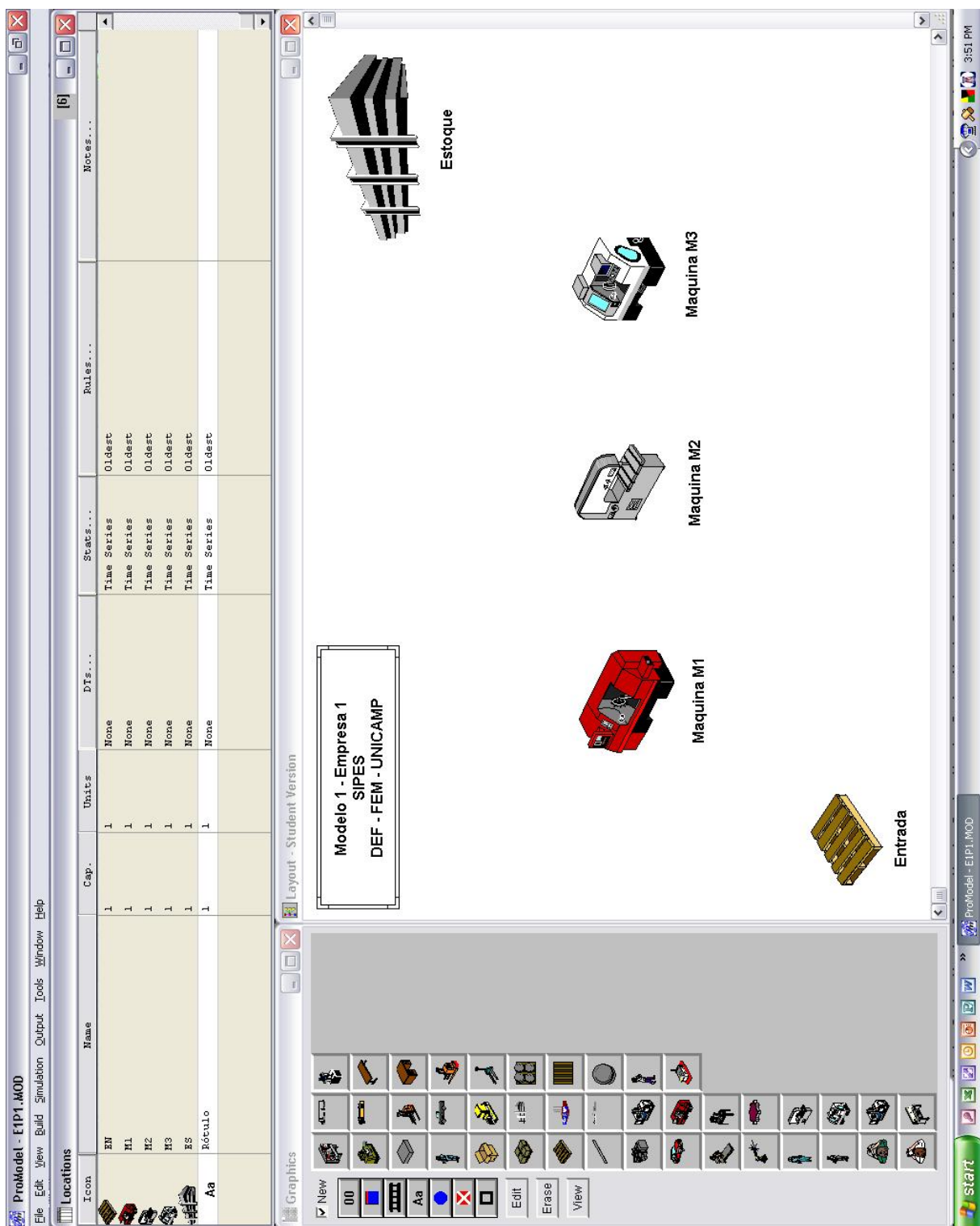


Figura 4.22: Construção de locais (*locations*) em ProModel™ 2001.

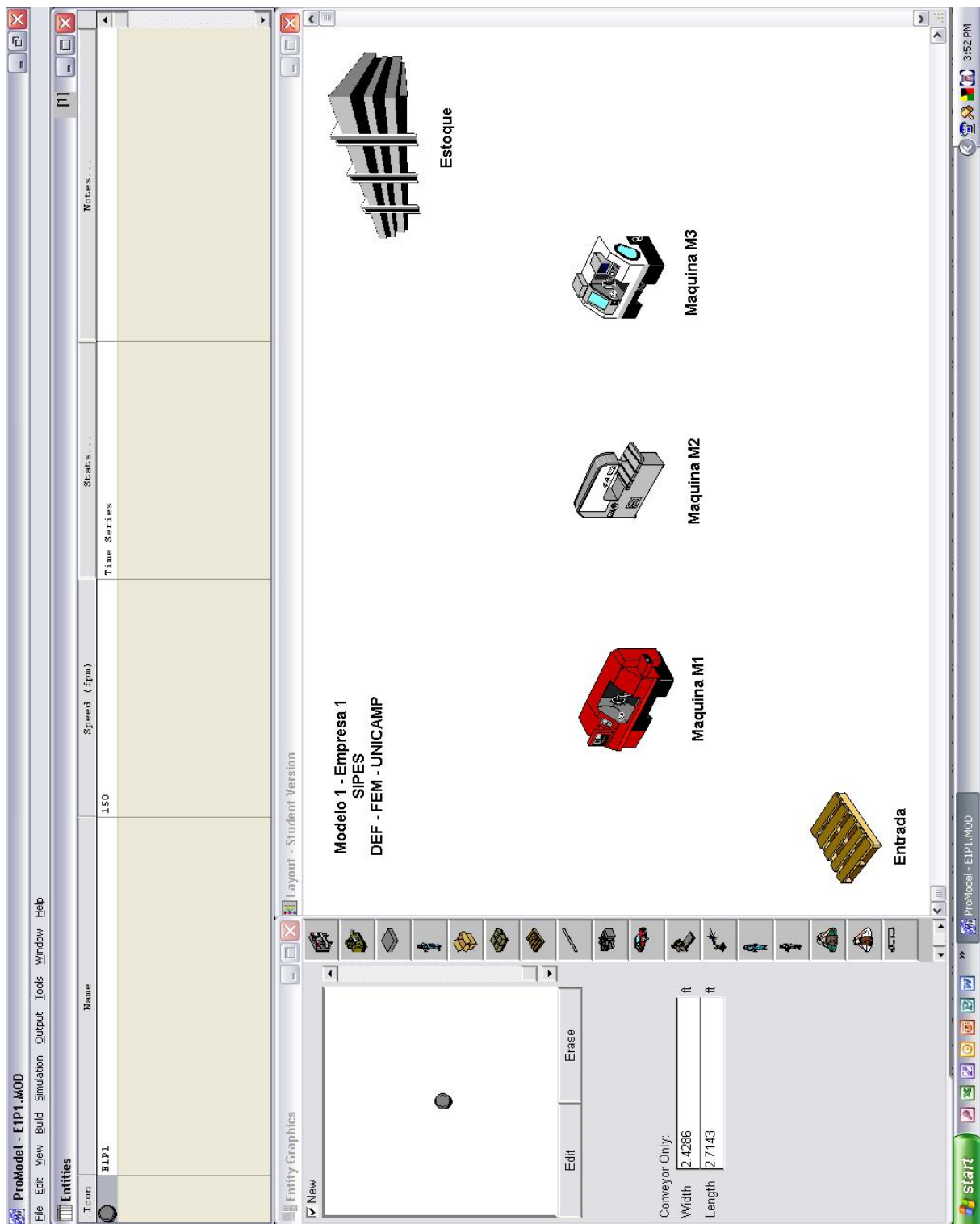


Figura 4.23: Construção de entidades (entities) em ProModel™ 2001.

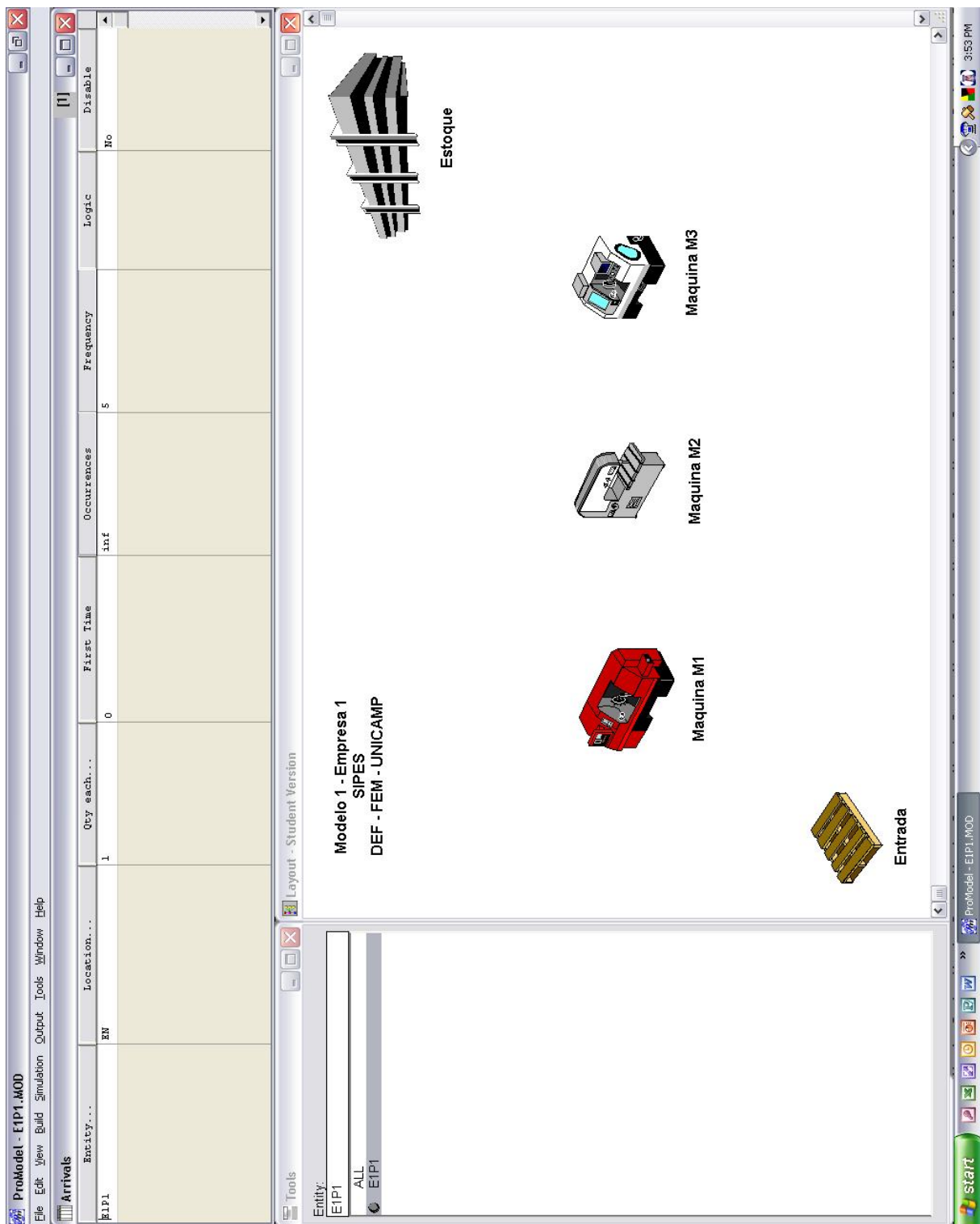


Figura 4.24: Construção de chegadas (*arrivals*) em ProModel™ 2001.

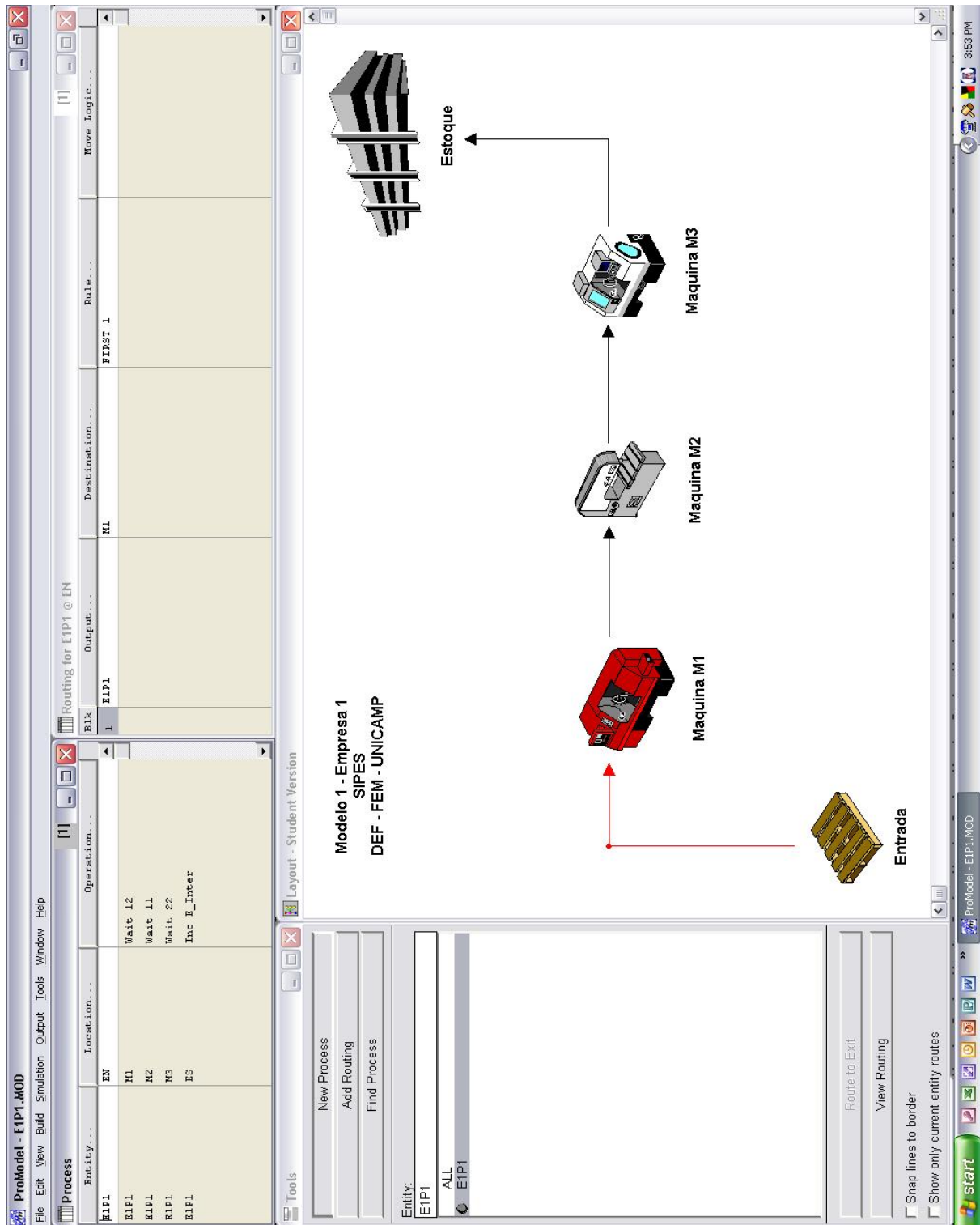


Figura 4.25: Construção de processos (*processing*) em ProModel™ 2001.

- *Processing* (Processos, Figura 4.24): principal elemento do ProModelTM 2001, tem como finalidade descrever **como** as entidades serão processadas em cada localidade no sistema. Isto inclui tempos de processamento, uso de recursos e roteamento para o próximo local ou para a saída, de acordo com a necessidade. Também são programados por meio de lógicas apropriadas.

Um dos elementos complementares utilizados para incrementar a funcionalidade do modelo são os *recursos*, cuja função é auxiliar no desempenho de algum processo. Como exemplo pode ser citado um operador humano, uma empilhadeira ou uma ponte rolante. Recursos devem operar por meio de uma rede de caminhos previamente estabelecida (*path networks*) e possuem características como ponto de descanso e posição inicial. Maiores detalhes podem ser encontrados em Harrel (2003).

4.5 A estrutura da base de dados do SIPES

Em um sistema de informação, é essencial que o acesso às mais diferentes fontes de dados seja feito do modo mais eficiente possível. A variação na natureza de tais fontes (fabricantes, mecanismos de recuperação, edição e acréscimo, aspectos de segurança, facilidade de uso, escalonamento, recursos de *tuning*, etc.) é facilmente compreensível dada à diversidade de plataformas que coexistem em uma mesma rede coordenada sob a arquitetura cliente/servidor (Seção 2.11), às vezes até mesmo em um mesmo departamento.

Uma das tecnologias facilitadoras que promovem a integração entre diversos esquemas de bancos de dados e torna uma aplicação, na maioria dos casos, independente da base que utiliza, é o ODBCTM (*Open Data Base Connectivity*), da Microsoft[®], uma espécie de tradutor universal de funcionalidades básicas que se interpõe entre uma aplicação e a base propriamente dita (e, portanto, seus registros, campos e tabelas).

Por meio da linguagem SQL (*Structured Query Language*) (Hirsch, 1990; Silberschatz, 1991), qualquer aplicação (desenvolvida em qualquer linguagem) tem a capacidade de efetuar as operações clássicas sobre bancos de dados (a saber: adição, edição, consulta e exclusão) uma vez

que o ODBCTM converte as cláusulas⁹ SQL nos comandos específicos do banco em uso. No caminho contrário, os processos ocorridos no banco têm seus resultados passados à aplicação por meio da conversão destes, via ODBCTM (Figura 4.26¹⁰).

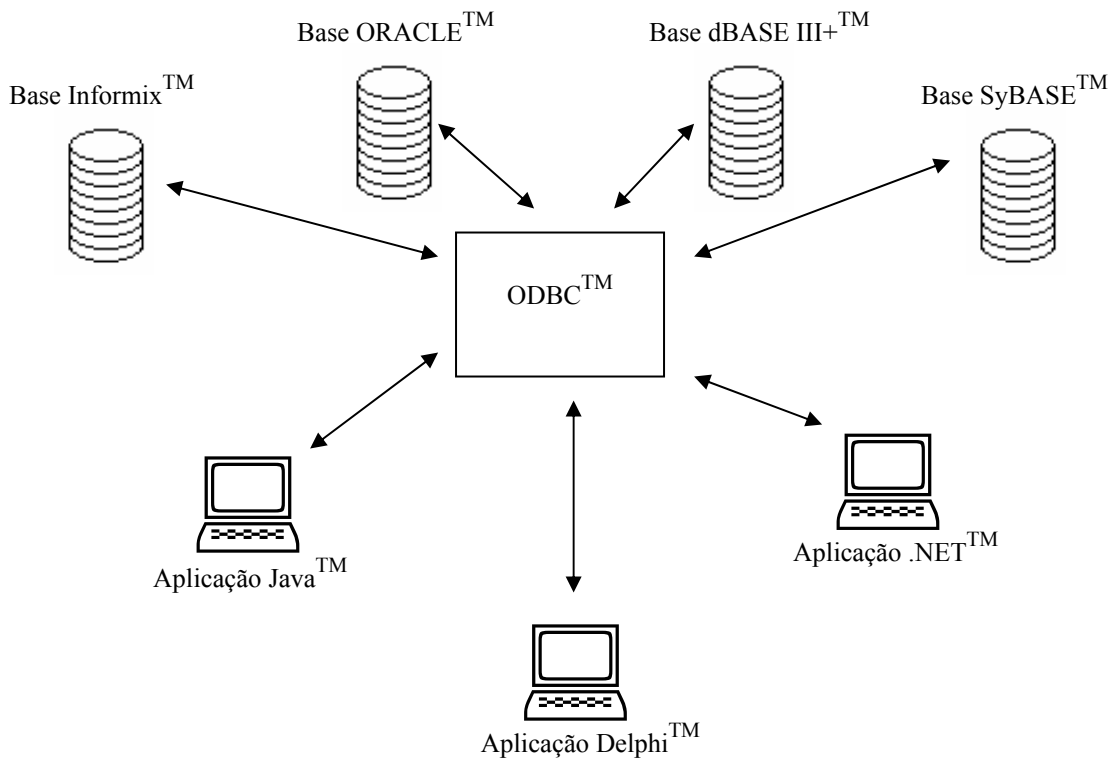


Figura 4.26: Interações entre bancos de dados e aplicações via ODBCTM.

O SIPES, nesta versão inicial, interage com o banco de dados Microsoft[®] AccessTM 2003, pertencente ao pacote Microsoft[®] OfficeTM 2003. Como o sistema faz uso da ferramenta ODBCTM, entretanto, consegue-se de modo relativamente fácil sua configuração para uso com outros SGBD's¹¹.

São 7 as tabelas¹² fixas utilizadas pelo SIPES, cujas estruturas encontram-se a seguir:

⁹ *Cláusula* é o termo empregado tecnicamente na literatura de banco de dados para designar um comando SQL específico.

¹⁰ Todos os nomes de bancos de dados e plataformas de desenvolvimento utilizados nesta figura são marcas registradas e proprietárias, legalmente pertencentes aos que detêm seus direitos.

¹¹ SGBD = Sistema Gerenciados de Bancos de Dados, do original DBMS (*Data Base Management Systems*).

¹² O SIPES produz outras tabelas cujo caráter é dinâmico (*i.e.*, aquelas que são geradas como resultado de operações intermediárias internas do sistema, sendo depois descartadas). Maiores detalhes na Seção 4.6.

Tabela 4.1: Estrutura da tabela *Empresas*.

Estrutura	
Nome do campo	Descrição
Emp_COD	Código da empresa
Emp_NOM	Nome completo da empresa
Emp_NSM	Nome simplificado da empresa
Emp_PAR	Pasta de arquivos da empresa (caminho)
Emp_MOD	Modelo associado à empresa

Finalidade: armazenar dados das empresas que fazem parte da cadeia de suprimentos.

Tabela 4.2: Estrutura da tabela *Produtos*.

Estrutura	
Nome do campo	Descrição
Prd_COD	Código do produto
Prd_DES	Descrição do produto
Prd_FCD	Empresa fornecedora do produto (código)
Prd_EFN	Nome da Empresa fornecedora do produto
Prd_CCD	Empresa consumidora do produto (código)
Prd_ECS	Nome da Empresa consumidora do produto
Prd_DEM	Demanda por unidade de tempo do produto
Prd_UNI	Preço unitário do produto
Prd_ARM	Custo de armazenagem (fração do preço unitário)
Prd_CEP	Custo por pedido (específico por produto)
Prd_CFP	Custo por pedido (fixo)
Prd_DMP	Demanda média por período
Prd_DPD	Desvio padrão da demanda média
Prd_TMR	Tempo médio gasto na reposição
Prd_PRP	Ponto de reposição de produtos
Prd_TML	Tamanho médio do lote
Prd_IRV	Intervalo de revisão
Prd_NSC	Nível de serviço cíclico básico

Finalidade: armazenar dados dos produtos fornecidos pelas empresas.

Tabela 4.3: Estrutura da tabela *EOQ_Basico*.

Estrutura	
Nome do campo	Descrição
Eob_COD	Código do produto analisado
Eob_EMP	Empresa fornecedora (código)
Eob_TML	Tamanho do lote ótimo (P)
Eob_ESI	Estoque intermediário (C)
Eob_TFL	Tempo de fluxo (F)
Eob_NPA	Número de pedidos por unidade de tempo (p)
Eob_CMA	Custo de material (M)
Eob_CAP	Custo de abertura de pedido (A)
Eob_CAR	Custo de armazenagem (R)
Eob_TOT	Total de custos (T)

Finalidade: armazenar valores do EOQ provenientes do cálculo efetuado pelo SIPES.

Tabela 4.4: Estrutura da tabela *EOQ_Agrega*.

Estrutura	
Nome do campo	Descrição
Agr_SEQ	Sequenciamento dos grupos agregados
Agr_COD	Código do produto analisado
Agr_EMP	Empresa fornecedora (código)
Agr_TML	Tamanho do lote ótimo (P)
Agr_ESI	Estoque intermediário (C)
Agr_TFL	Tempo de fluxo (F)
Agr_NPA	Número de pedidos por unidade de tempo (p)
Agr_CMA	Custo de material (M)
Agr_CAP	Custo de abertura de pedidos (A)
Agr_CAR	Custo de armazenagem (R)
Agr_TOT	Total de custos (T)
Agr_TAG	Tipo de agregação (simples ou seletiva)

Finalidade: armazenar valores do modelo de agregação simples ou seletiva provenientes do cálculo efetuado pelo SIPES.

Tabela 4.5: Estrutura da tabela *EOQ_Descontos*.

Estrutura	
Nome do campo	Descrição
Eod_COD	Código do produto analisado
Eod_EMP	Empresa fornecedora (código)
Eod_TML	Tamanho do lote ótimo (P)
Eod_ESI	Estoque intermediário (C)
Eod_TFL	Tempo de fluxo (F)
Eod_NPA	Número de pedidos por unidade de tempo (p)
Eod_CMA	Custo de material (M)
Eod_CAP	Custo de abertura de pedidos (A)
Eod_CAR	Custo de armazenagem (R)
Eod_TOT	Total de custos (T)
Eod_FXD	Faixas de descontos
Eod_TDS	Tipo de desconto (preço médio ou marginal)

Finalidade: armazenar valores do modelo de descontos provenientes do cálculo efetuado pelo SIPES.

Tabela 4.6: Estrutura da tabela *Rev_Continua*.

Estrutura	
Nome do campo	Descrição
Rvc_COD	Código do produto analisado
Rvc_EMP	Empresa fornecedora (código)
Rvc_ESI	Estoque intermediário (C)
Rvc_ESS	Estoque de segurança (E_s)
Rvc_ESM	Estoque médio ($=C+E_s$)
Rvc_NSS	Nível de serviço cíclico (N_s)
Rvc_DNS	Demanda média pelo produto não satisfeita no período G
Rvc_TPD	Taxa de provimento do produto (T_{pd})
Rvc_TFL	Tempo de fluxo (F)
Rvc_CMA	Custo de material (M)

Rvc_CAP	Custo de abertura de pedidos (A)
Rvc_CAR	Custo de armazenagem (R)
Rvc_TOT	Total de custos (T)

Finalidade: armazenar valores do modelo EOQ de revisão contínua.

Tabela 4.7: Estrutura da tabela *Rev_Periodica*.

Estrutura	
Nome do campo	Descrição
Rvp_COD	Código do produto analisado
Rvp_EMP	Empresa fornecedora (código)
Rvp_TML	Tamanho médio do lote (P)
Rvp_ESI	Estoque intermediário (C)
Rvp_ESS	Estoque de segurança (E_s)
Rvp_ESM	Estoque médio ($=C+E_s$)
Rvp_LIM	Limiar máximo (L_m)
Rvp_TFL	Tempo de fluxo (F)
Rvp_CMA	Custo de material (M)
Rvp_CAP	Custo de abertura de pedidos (A)
Rvp_CAR	Custo de armazenagem (R)
Rvp_TOT	Total de custos (T)

Finalidade: armazenar valores do modelo EOQ de revisão periódica.

4.6 Estrutura interna do SIPES sob a ótica da Engenharia de Software

A concepção de sistemas computacionais de larga escala (ou, ao menos, aqueles desenvolvidos como *suporte* aos de grande magnitude) envolve um conjunto de técnicas reunidas, genericamente, sob o nome de *Engenharia de Software*. A necessidade da Engenharia de *Software* se revela quando três aspectos são considerados na construção de programas: determinação de uma infraestrutura e metodologia de desenvolvimento, organização e gerenciamento.

Segundo Bauer (1976), estes aspectos são essenciais na geração *econômica* de programas de computador que sejam confiáveis e executáveis de modo eficiente em máquinas reais. A

economia se reflete na minimização do retrabalho inevitável devido à falta de planejamento prévio das atividades de criação do *software*.

A confiabilidade está relacionada à segurança¹³ com que dados trafegam nos meios eletrônicos sem interferências externas indesejáveis, enquanto que eficiência, neste contexto, se refere ao uso racional dos recursos computacionais que farão parte do programa¹⁴.

Os aspectos essenciais citados estendem-se também aos procedimentos de operação do sistema quando efetivamente implantado e a toda documentação de apoio (McDermid, 1991), do que é possível depreender que o processo global, da idéia inicial à operacionalização final, deve ser pautado sempre por ordem, método e padronização, princípios básicos herdados da engenharia.

A Engenharia de *Software* atual conta com diversos modelos que visam estabelecer meios para que uma equipe possa desenvolver programas de grande abrangência em uma organização em tempo hábil (Wang, 2000). Empregou-se no SIPES a *Análise Estruturada* (Gane *et. al.*, 1986 *apud* Rezende, 1997) na definição de seus principais componentes, a fim de determinar a interação destes entre si e com seus usuários.

4.6.1 Diagramas de fluxo de dados (D.F.D.)

Diagramas de fluxo de dados são utilizados para explicitar as entradas e saídas de cada processo do *software* sob análise. Em um primeiro momento, delimita-se sua abrangência e suas macro-estruturas, o que fornece uma visão geral do funcionamento do sistema. Convenciona-se denominar este primeiro diagrama como *D.F.D. de nível 0*.

Rezende (1997) identifica também o chamado *Diagrama de Contexto* em que, diferentemente do D.F.D. de nível 0, não são exibidos os depósitos de dados (locais de

¹³ No processo de Engenharia de *Software* deve-se cobrir os mecanismos de segurança a serem empregados principalmente nas redes de computadores pelas quais informações (às vezes confidenciais) vão trafegar: constitui parte do *levantamento de requisitos* a escolha destes mecanismos, sobre os quais os desenvolvimentos futuros se apoiarão.

¹⁴ Recursos podem ser, por exemplo, memória, periféricos como impressoras, discos rígidos ou outros equipamentos compartilhados, largura de banda, capacidade de processamento, dentre outros.

armazenamento de dados, segundo especificado pelas Tabelas 4.1 a 4.7). Este trabalho empregará esta abordagem para informar o funcionamento global do SIPES (Figura 4.27).

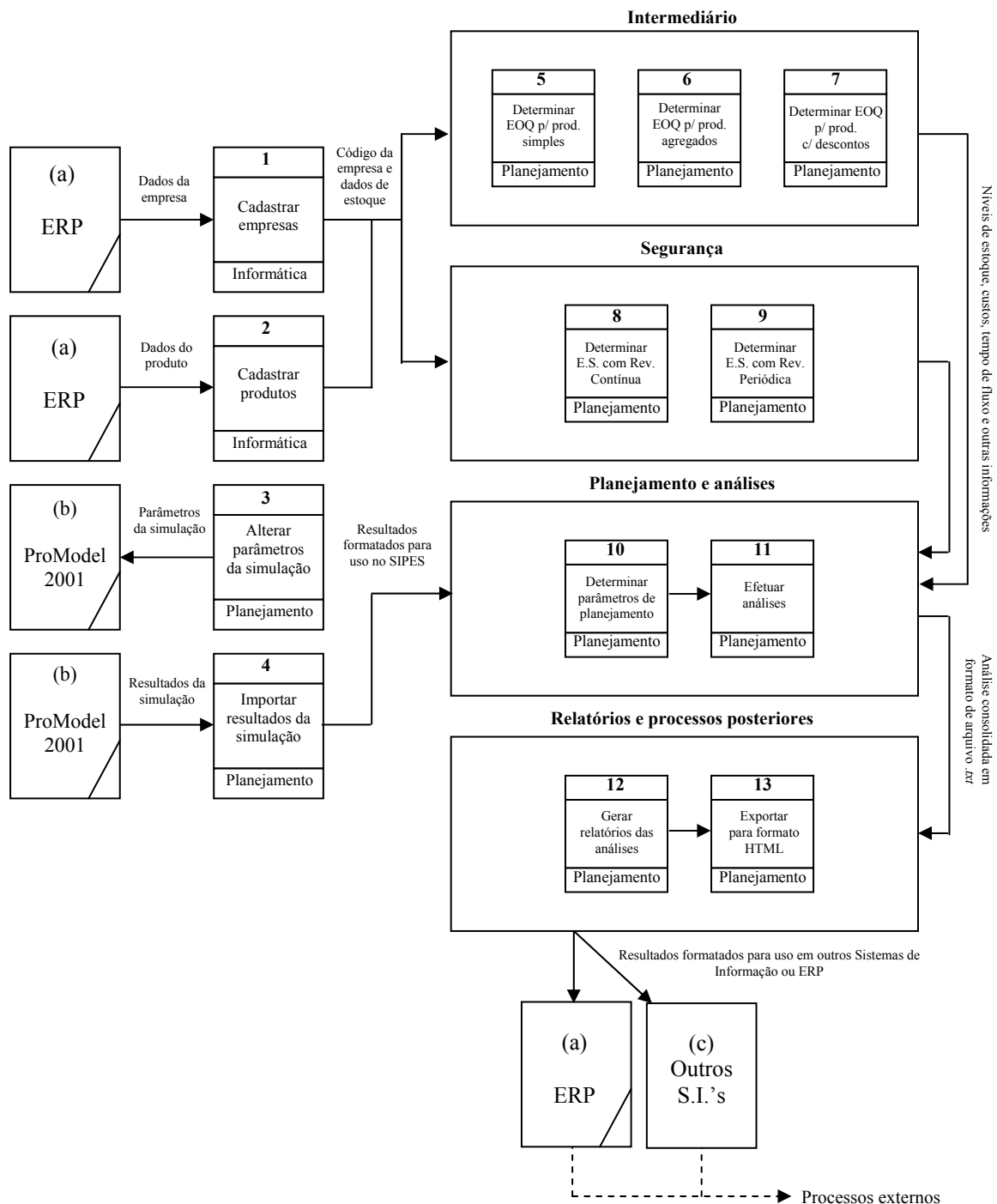


Figura 4.27: Diagrama de Contexto do SIPES.

Após a especificação global do SIPES, torna-se necessário determinar suas funcionalidades a partir do *D.F.D. de nível 1*¹⁵. As figuras a seguir (Figuras 4.28 a 4.39) explicitam o fluxo de dados pelos módulos do sistema (ou sua microestrutura). Grande parte do código-base do SIPES foi reutilizada na construção de outros módulos do programa (principalmente no que se refere à entrada de dados de empresas e de produtos e dos cálculos sobre estoques). O processo de reutilização de *software* na construção de novos sistemas (Grabow *et. al.*, 1990) incrementa as capacidades de depuração e acréscimo de melhorias em suas versões futuras.

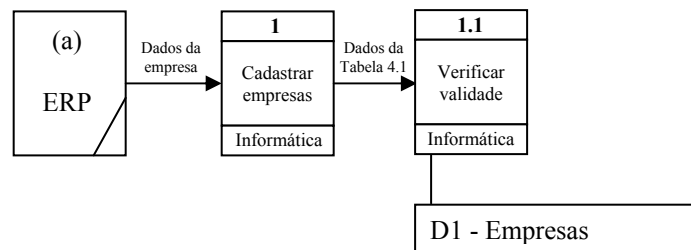


Figura 4.28: D.F.D. de nível 1 para o Cadastro de Empresas.

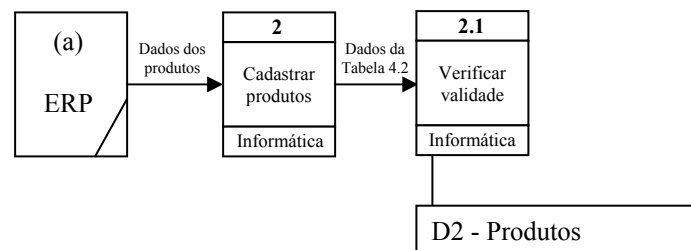


Figura 4.29: D.F.D. de nível 1 para o Cadastro de Produtos.

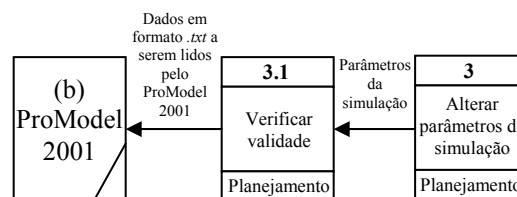


Figura 4.30: D.F.D. de nível 1 para a alteração de dados da simulação.

¹⁵ Os D.F.D.'s de nível 1 são utilizados na expansão dos processos do Diagrama de Contexto (ou D.F.D. de nível 0).



Figura 4.31: D.F.D. de nível 1 para a importação de dados da simulação.

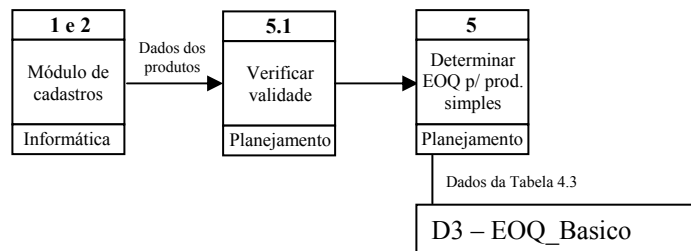


Figura 4.32: D.F.D. de nível 1 para o EOQ tradicional.

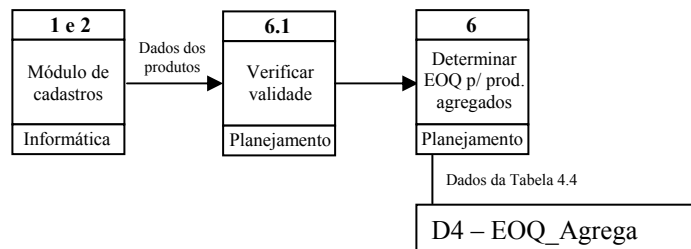


Figura 4.33: D.F.D. de nível 1 para o EOQ de produtos agregados.

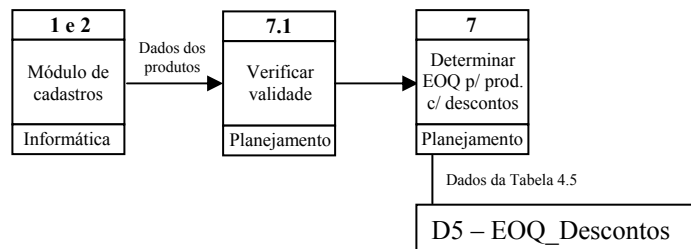


Figura 4.34: D.F.D. de nível 1 para o EOQ de produtos sob esquemas de descontos.

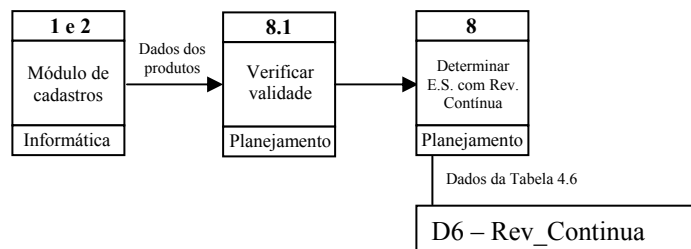


Figura 4.35: D.F.D. de nível 1 para o estoque de segurança sob revisão contínua.

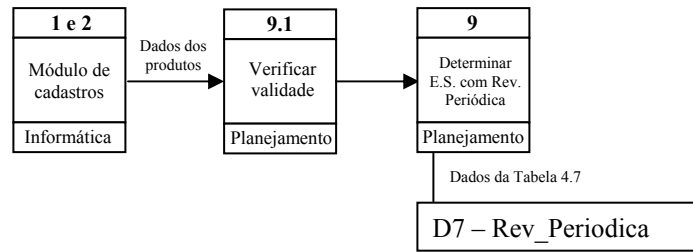


Figura 4.36: D.F.D. de nível 1 para o estoque de segurança sob revisão periódica.

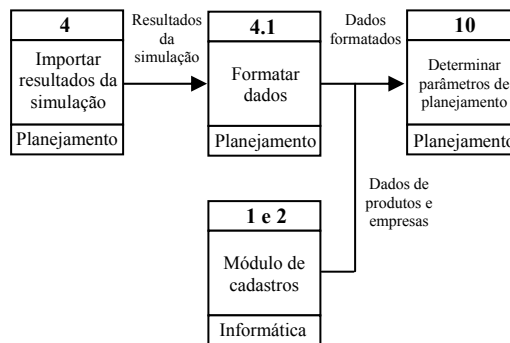


Figura 4.37: D.F.D. de nível 1 para o planejamento de experimentos.

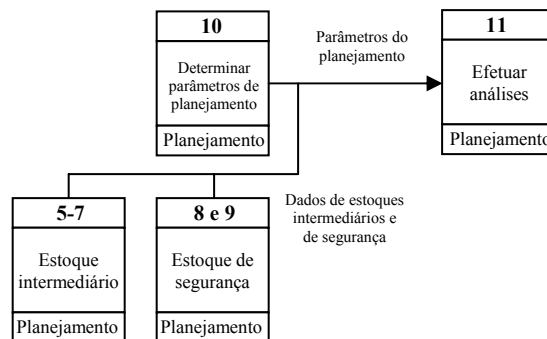


Figura 4.38: D.F.D. de nível 1 para a análise de dados.

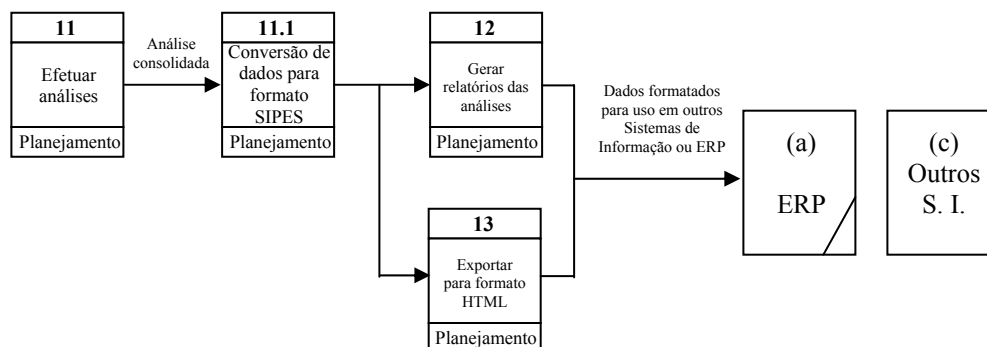


Figura 4.39: D.F.D. de nível 1 para a geração de relatórios.

O SIPES faz uso do Microsoft® Excel™ 2003 internamente por meio de um objeto *planilha*, responsável pelos cálculos do estoque de agregação seletiva (D.F.D. Figura 4.33), do estoque de segurança de revisão contínua e de revisão periódica (D.F.D. respectivamente das Figuras 4.35 e 4.36). Preferiu-se empregar esta abordagem a desenvolver rotinas proprietárias para o cálculo das distribuições estatísticas usadas nos últimos dois métodos de controle e na ordenação dos dados no caso da agregação.

4.6.2 Diagramas de entidades-relacionamentos (D.E.R.)

A modelagem dos dados é feita pelos diagramas E–R, cuja função é exibir os objetos de dados e seus relacionamentos. Cada objeto deve ser representado por uma tabela no SGBD e por um depósito de dados no D.F.D. correspondente (nível 0 ou 1; o que for aplicável). A Figura 4.40 indica o diagrama E–R gerado no próprio aplicativo de banco de dados empregado nos testes do SIPES (o Microsoft® Access™ 2003):

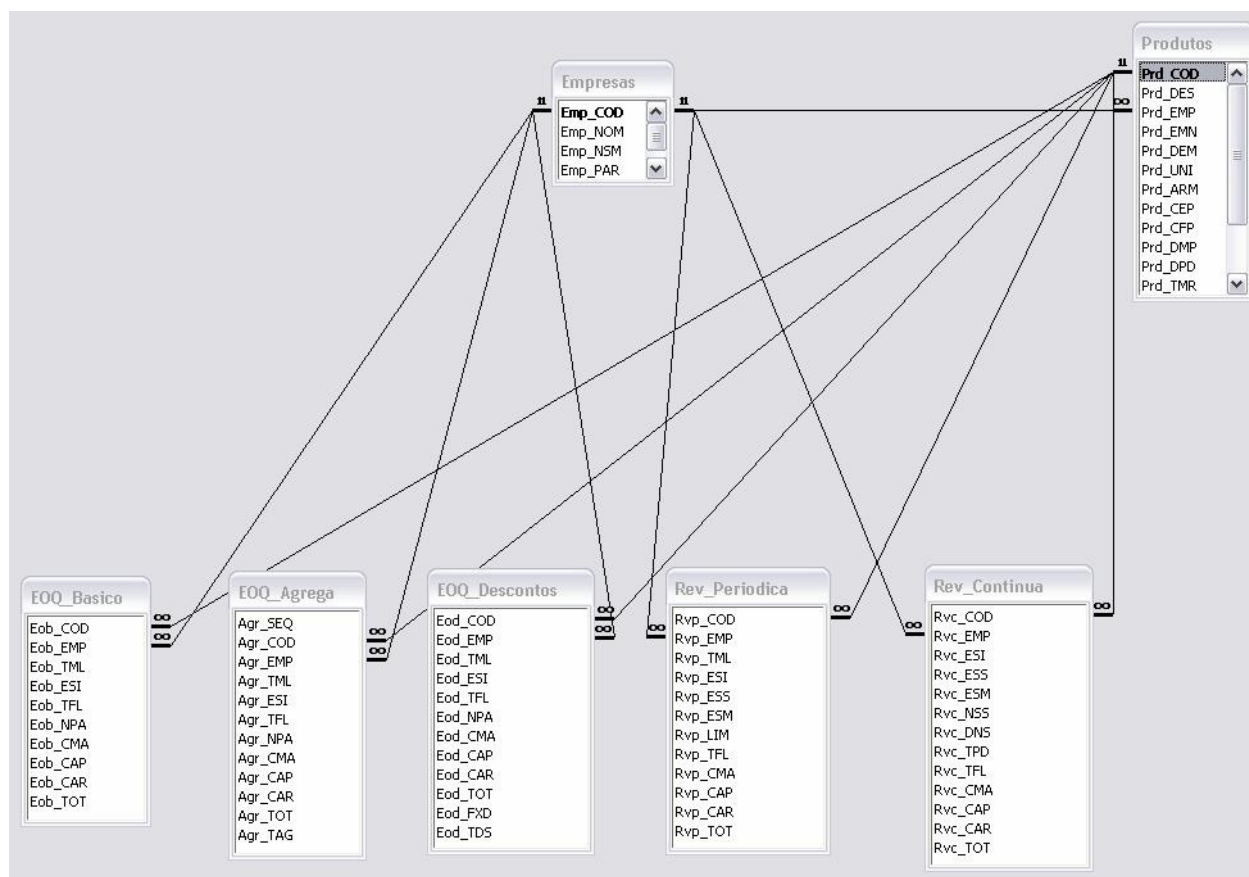


Figura 4.40: O diagrama E–R para o banco de dados do SIPES.

4.6.3 Aspectos de segurança e sistemas existentes

Um dos problemas principais que se verificam nos sistemas distribuídos é a manutenção da segurança dos dados que trafegam pela rede. Coulouris (2001), em um de seus modelos fundamentais, determina que pela proteção dos canais de comunicação, dos processos envolvidos nas transações e dos próprios objetos de dados¹⁶, é possível atingir níveis de segurança que garantam a integridade das informações em uso por um sistema contra ataques externos.

Um mecanismo básico de proteção envolve o uso de *direitos de acesso* de um usuário sobre uma determinada operação que envolve dados confidenciais. Coulouris (2001) sugere que cada invocação de uma operação feita por um cliente contenha uma lista de direitos de acesso (em algum formato codificado apropriadamente, segundo as políticas de segurança implantadas) que, chegada ao servidor, possibilite a este permitir ou negar a continuidade de seu processamento. Esta lista, denominada *principal*, pode ser anexada a requisições que partem tanto de usuários quanto de outros processos.

Ataques a sistemas distribuídos costumam ameaçar processos (*software*) e canais de comunicação (*hardware*). No primeiro caso, é necessário notar que processos (nota de rodapé nº 2 deste capítulo) interagem por meio de trocas de mensagens (Seção 4.2); entretanto, não é obrigatório que sejam identificados os agentes de envio das mensagens que um determinado processo executará¹⁷.

Canais de comunicação, por sua vez, representam vias de fluxo de dados nas quais podem ser injetadas, por agentes externos, mensagens espúrias que alterem os conteúdos de mensagens válidas trocadas entre processos comunicantes, levando a erros nos resultados de um processo específico ou a ações que comprometam a funcionamento global do sistema¹⁸.

¹⁶ No caso de objetos de dados, o paradigma da *orientação a objetos* preconiza o seu *encapsulamento*, tornando disponíveis a usuários apenas métodos e propriedades minimamente necessários às operações sobre os mesmos.

¹⁷ O protocolo IP, em sua definição, prevê a identificação do emissor da mensagem. Entretanto, é relativamente simples gerar identificações de IP falsas que um processo pode interpretar como válida.

¹⁸ Por exemplo, uma falha de identificação pode fazer um servidor desbloquear serviços a usuários que não possuem permissão para acessá-los. No lado do cliente, códigos *maliciosos* podem dar início a uma sequência ininterrupta de requisições que culminam na sobrecarga do servidor, impossibilitando-o de atender a outros clientes (este ataque é conhecido como *Denial of Service* – DoS).

O uso de *canais seguros* é uma alternativa na construção de sistemas distribuídos que dificultem os ataques citados; empregam a *criptografia* e a *autenticação* para garantir que as mensagens em trânsito serão compreendidas apenas pelos processos internos ao sistema. Além disto, protocolos como o SSL (*Secure Sockets Layer*) introduzem um grau adicional na identificação de requisições emitidas por clientes a servidores, visando minimizar a incidência de falsificações de identidades eletrônicas.

O SIPES, por empregar em sua concepção componentes conhecidos de computação distribuída (Seção 4.1), pode ser instalado sobre qualquer camada de segurança que implante as soluções discutidas brevemente acima, o que é um requisito primordial de utilização do programa, visto se tratar do processamento de informações estratégicas.

Dentre outros sistemas¹⁹ empregados no controle de estoques para o planejamento da produção pode-se citar o *iMagic Inventory*TM (iMagic Software[®]). Dentre suas atribuições está a possibilidade de uso de códigos de barras no controle de itens e o estabelecimento de diversos esquemas de preços para a derivação de promoções de venda. O sistema da RyTech[®] (SBIC – *Small Business Inventory Control*TM), por sua vez, além de suas funcionalidades básicas, semelhantes ao *iMagic*, também apresenta um rastreamento de quem está adquirindo os itens estocados.

O *Amics Inventory Control Software*TM (da Amics[®]) apresentou alguns recursos não detectados nos outros sistemas, como a possibilidade de auxiliar na produção a partir da lista de requisição de materiais (BOM – *Bill of Materials*) e a de trabalhar com estoques na cadeia de suprimentos, além de apresentar um módulo opcional para seqüenciamento de operações em chão de fábrica.

Por fim, o *CS Inventory Control*TM (CS Software[®]), além da interface amigável, possui um módulo contábil integrado e, como o anterior, um outro para o gerenciamento da produção.

Em nenhum destes sistemas notou-se interface com simuladores, visto os mesmos já possuírem rotinas de controle de estoque internas. O *Supply Chain Guru*TM (da ProModel

¹⁹ As páginas da Internet correspondentes estão listadas nas referências bibliográficas, no setor *Referências eletrônicas*.

Corporation[®]) é um *software* semelhante ao ProModel[™] 2001 com funcionalidades voltadas ao gerenciamento da cadeia de suprimentos. O SIPES aproxima-se mais deste último, incluindo a possibilidade de análises dos outros modelos EOQ desenvolvidos no Capítulo 3 e permitindo o trabalho integrado ao Microsoft[®] Excel[™].

4.7 Resumo e comentários

O capítulo detalhou as estruturas internas do SIPES pela exibição de seus componentes (aplicação cliente local e *web* e o simulador, sob a arquitetura cliente/servidor), da organização da base de dados utilizada e da visão do sistema na ótica da *Engenharia de Software* (por meio da *Análise Estruturada*, pela qual se estabelecem, em um sistema, as hierarquias entre seus elementos formadores e suas interações).

O processo consciente de criação de sistemas de informação exige minuciosa documentação para referências e execução de futuras melhorias. Buscou-se delimitar claramente os potenciais e limitações do sistema, cujo uso será testado no Capítulo 5, a seguir.

Capítulo 5

Resultados e discussões

5.1 Montagem do cenário

A simulação de sistemas é baseada na execução de *cenários*. Um cenário é um conjunto de valores que se atribuem às variáveis do modelo (Seção 2.14) e que refletem uma determinada configuração do sistema em um intervalo de tempo. Os cenários têm como finalidade permitir comparações entre as diversas situações em que um sistema pode se encontrar, inclusive as atípicas. Comparando-as, é possível determinar os melhores modos de tratá-las no caso de suas ocorrências no sistema real, minimizando fatores de risco.

Uma empresa do setor metal-mecânico produz, dentre vários tipos de fixadores, três modelos específicos de parafusos sextavados usados em automóveis cujas especificações encontram-se na Tabela 5.1 abaixo:

Tabela 5.1: Especificações parciais dos modelos de parafusos produzidos.

Modelo	P1	P2	P3
$\varnothing$ Flange máx./mm	10,40	13,60	15,20
Chave (mm)	5,36	7,12	8,40
Altura mín./mm	14,24	17,12	19,84

O *layout* da planta responsável pela produção destas e outras peças foi modelado no ProModelTM 2001 e apresenta o seguinte aspecto (Figura 5.1):

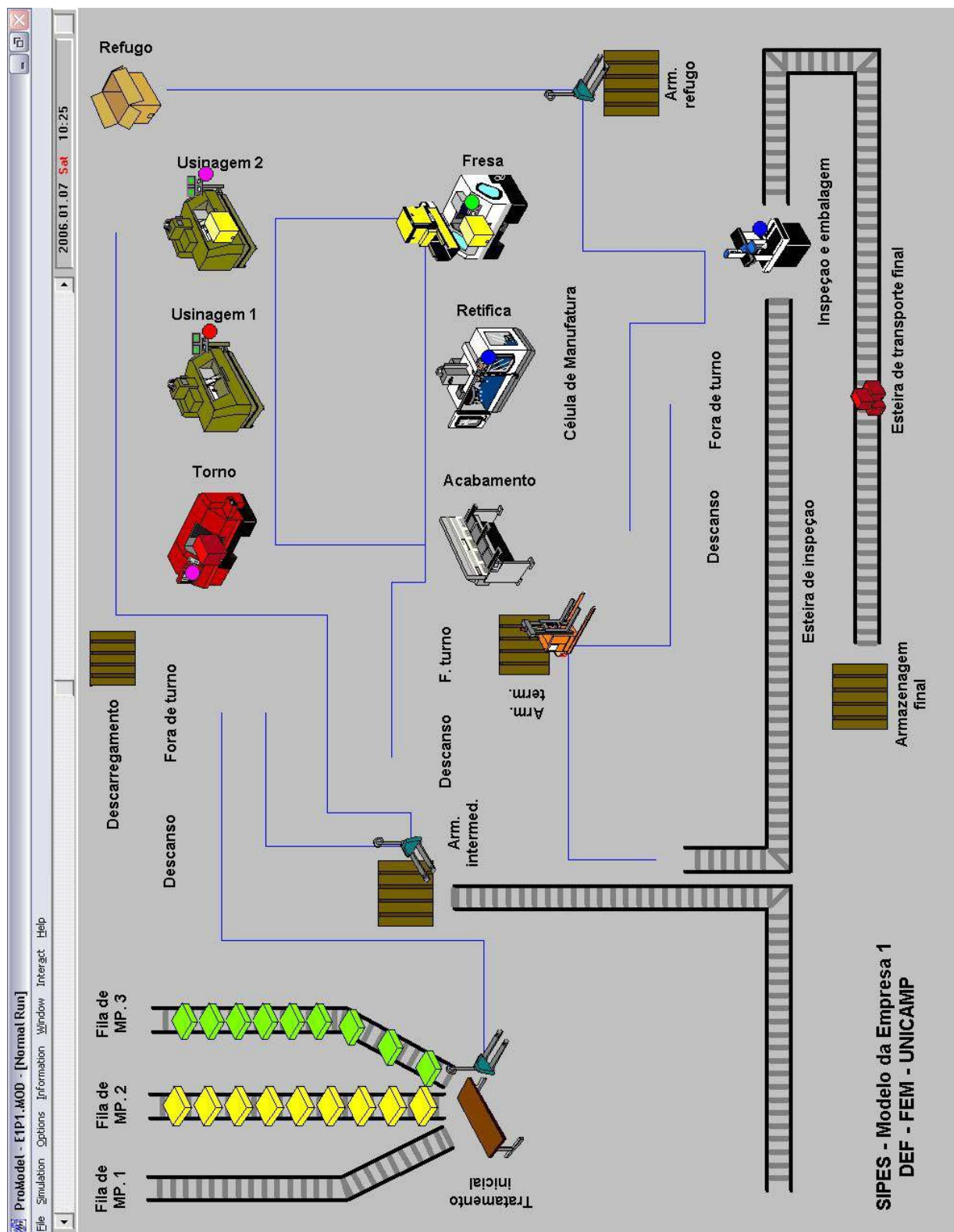


Figura 5.1: Layout da planta modelado em ProModel™ 2001.

A Tabela 5.2 abaixo especifica detalhadamente as características dos locais modelados em termos de nomes (utilizados pelo ProModelTM 2001), tipos, capacidades e finalidades:

Tabela 5.2: Detalhes dos locais I (nomes, tipos, capacidades e finalidades).

Nome do local	Tipo de local	Capacidade	Descrição
<i>FProd1</i>	Fila/Esteira	Infinita	Fila de entrada de matéria prima para o parafuso P1
<i>FProd2</i>	Fila/Esteira	Infinita	Fila de entrada de matéria prima para o parafuso P2
<i>FProd3</i>	Fila/Esteira	Infinita	Fila de entrada de matéria prima para o parafuso P3
<i>Fallet</i>	Fila/Esteira	Infinita	Fila de entrada dos pallets usados nos transportes do armazenamento intermediário até o descarregamento na entrada da produção
<i>Trat_Inicial</i>	Comum	400	Estação de zincagem da matéria-prima
<i>Armaz_I</i>	Comum	200	Armazenamento intermediário (após a zincagem)
<i>Descarregamento</i>	Comum	200	Local de descarregamento dos lotes
<i>Torno</i>	Comum	1	Torno CNC usado na produção dos parafusos modelo P1
<i>Usinagem1</i>	Comum	1	Centro de usinagem usado na produção dos parafusos modelos P1 e P3
<i>Fresa</i>	Comum	1	Fresa usada na produção dos parafusos modelo P2
<i>Usinagem2</i>	Comum	1	Centro de usinagem usado na produção dos parafusos modelo P2
<i>Retifica</i>	Comum	1	Retificadora usada na primeira parte da finalização dos três modelos de parafusos
<i>Acabamento</i>	Comum	1	Gravação das especificações na peça (segunda parte da finalização)

<i>Armaz_P</i>	Comum	200	Local de armazenamento temporário dos lotes produzidos para envio à inspeção
<i>FInsp</i>	Fila/Esteira	Infinita	Fila de condução à estação de inspeção
<i>Insp</i>	Comum	1	Estação de inspeção do produto acabado
<i>Refugo</i>	Comum	1	Local de armazenagem das peças refugadas (das que não passaram na inspeção)
<i>ETFinal</i>	Fila/Esteira	Infinita	Esteira de transporte dos lotes para expedição
<i>Armaz_F</i>	Comum	1000	Local de armazenamento para expedição
<i>Armaz_R</i>	Comum	500	Armazenamento temporário do refugo até o envio para o local apropriado (<i>Refugo</i>)

Os processos de fabricação consistem, para as três peças, em um tratamento químico inicial à base de zinco (ou *zincagem*) feito na matéria-prima, seguido das conformações específicas em tornos, centros de usinagem e fresas. Finalmente, a retificação e o acabamento completam o ciclo, após o que as peças são enviadas para inspeção e posterior expedição ou descarte.

Durante o ciclo, as peças são agrupadas de modo que o processamento se dê por lotes, diminuindo tempos de *setup*. Não está sendo considerada a preemptividade (interrupção) na produção e paradas (*downtimes*) para manutenção de certos locais estão previstas segundo as Tabelas 5.3 e 5.4:

Tabela 5.3: Detalhes dos locais II (*downtimes*).

Local	Tipo de <i>downtime</i>	Descrição	T. de manutenção
<i>Torno</i>	<i>Setup</i>	Preparação do torno para processamento	<i>Vide Tabela 5.4</i>
	Entrada	Parada para troca de ferramenta após certa quantidade de processamentos	5 minutos a cada 30 lotes

<i>Usinagem1</i>	<i>Setup</i>	Preparação do Centro de Usinagem I para processamento	<i>Vide Tabela 5.4</i>
	Entrada	Parada para troca de ferramenta após certa quantidade de processamentos	8 minutos a cada 20 lotes
<i>Fresa</i>	Entrada	Parada para troca de ferramenta após certa quantidade de processamentos	5 minutos a cada 15 lotes
<i>Usinagem2</i>	Entrada	Parada para troca de ferramenta após certa quantidade de processamentos	10 minutos a cada 20 lotes
<i>Retífica</i>	<i>Setup</i>	Preparação da estação retificadora para processamento	<i>Vide Tabela 5.4</i>
	Entrada	Parada para troca de ferramenta após certa quantidade de processamentos	9 minutos a cada 25 lotes
<i>Acabamento</i>	<i>Setup</i>	Preparação da estação de acabamento para gravação das especificações	<i>Vide Tabela 5.4</i>
	Entrada	Parada para lubrificação após certa quantidade de processamentos	1 minuto a cada 40 lotes

Tabela 5.4: Detalhes dos locais III (*setup* dependente da sequência).

Máquina	Entidade	Entidade anterior	Tempo (seg.)
<i>Torno</i>	P1	n/a	5
<i>Usinagem1</i>	P1	P3	8
	P3	P1	10
<i>Retífica</i>	P1	P2	8
	P1	P3	10
	P2	P1	15
	P2	P3	12
	P3	P1	13
	P3	P2	20

<i>Acabamento</i>	P1	P2	5
	P1	P3	5
	P2	P1	6
	P2	P3	6
	P3	P1	4
	P3	P2	4

As Tabelas abaixo (5.5 a 5.8) exibem os detalhes a respeito dos roteiros de fabricação, os tempos de processamento de cada operação para uma peça unitária e seus agrupamento em lotes e cargas.

Tabela 5.5: Roteiro de fabricação e tempos de processamento da peça P1 (unidade).

Operação	Descrição	Local (ProModel™)	T. de proc. (seg.)
10	Zincagem	<i>Trat_Inicial</i>	2
20	Torneamento da cabeça	<i>Torno</i>	2
30	Usinagem da rosca	<i>Usinagem1</i>	2
40	Retificação da base	<i>Retífica</i>	2,5
50	Gravação das especificações	<i>Acabamento</i>	2
60	Inspeção final	<i>Insp</i>	2

Tabela 5.6: Roteiro de fabricação e tempos de processamento da peça P2 (unidade).

Operação	Descrição	Local (ProModel™)	T. de proc. (seg.)
10	Zincagem	<i>Trat_Inicial</i>	1,5
20	Usinagem da rosca	<i>Usinagem2</i>	1
30	Fresamento	<i>Fresa</i>	2,1
40	Retificação da base	<i>Retífica</i>	2
50	Gravação das especificações	<i>Acabamento</i>	1,5
60	Inspeção final	<i>Insp</i>	2,5

Tabela 5.7: Roteiro de fabricação e tempos de processamento da peça P3 (unidade).

Operação	Descrição	Local (ProModel™)	T. de proc. (seg.)
10	Zincagem	<i>Trat_Inicial</i>	4,5
20	Usinagem da rosca	<i>Usinagem1</i>	2
30	Retificação da base	<i>Retífica</i>	1,5
40	Gravação das especificações	<i>Acabamento</i>	1,5
50	Inspeção final	<i>Insp</i>	2

Tabela 5.8: Agrupamento de peças para montagem de lotes.

Peça	Local	Quantidade
P1	<i>Trat_Inicial</i>	75 unidades (de matéria-prima) = 1 lote
	<i>Armaz_P</i>	60 lotes (de peças P1 concluídas) = 1 carga
	<i>Armaz_R</i>	50 lotes (de peças P1 defeituosas)
P2	<i>Trat_Inicial</i>	60 unidades (de matéria-prima) = 1 lote
	<i>Armaz_P</i>	45 lotes (de peças P2 concluídas) = 1 carga
	<i>Armaz_R</i>	50 lotes (de peças P2 defeituosas)
P3	<i>Trat_Inicial</i>	65 unidades (de matéria-prima) = 1 lote
	<i>Armaz_P</i>	45 lotes (de peças P3 concluídas) = 1 carga
	<i>Armaz_R</i>	50 lotes (de peças P3 defeituosas)

O tempo de *setup*, por sua vez, é dependente da seqüência (conforme se observa na Tabela 5.4), mas não da quantidade que será processada em cada máquina.

A movimentação de entidades (peças) pelo sistema se dá por diversas *redes de caminhos* (*path networks*) sobre as quais se posicionam os recursos¹ que efetivamente desempenham tal transporte. Cada nó das redes deve ter uma *interface* (ligação) com um local apropriado, de modo a indicar ao ProModelTM 2001 onde as ações programadas para os recursos que as usam serão executadas (Tabela 5.9).

Tabela 5.9: Dados das redes de caminhos (*path networks*) empregadas pelos recursos.

Rede <i>P_Trat</i>		Rede <i>P_Intermed</i>		Rede <i>P_Prod</i>		Rede <i>P_Refugo</i>		Rede <i>P_Insp</i>	
Nó	Local	Nó	Local	Nó	Local	Nó	Local	Nó	Local
N1	<i>Trat_Inicial</i>	N1	<i>Armaz_I</i>	N1	<i>Torno</i>	N1	<i>Armaz_R</i>	N1	<i>Armaz_P</i>
N2	<i>Armaz_I</i>	N2	<i>Descarregamento</i>	N2	<i>Usinagem1</i>	N2	<i>Refugo</i>	N2	<i>Finsp</i>
		N3	<i>Torno</i>	N3	<i>Usinagem2</i>	N2	<i>Inspeção</i>		
		N4	<i>Usinagem1</i>	N4	<i>Fresa</i>				
		N7	<i>Usinagem2</i>	N5	<i>Retífica</i>				
				N6	<i>Acabamento</i>				

¹ Um *recurso* é um elemento acessório usado, geralmente, na movimentação de entidades pelo sistema (*e.g.*, uma empilhadeira, *trolley* ou ponte rolante).

Nem todos os nós necessitam de uma interface com um local específico pois alguns servem apenas como pontos de repouso dos recursos quando os mesmos se encontram em horários de folga ou fora dos seus respectivos turnos de trabalho (conforme se verá mais adiante)².

A Figura 5.2 a seguir ilustra o posicionamento dos nós, bem como a identificação das redes. A Tabela 5.11, por sua vez, explicita os recursos empregados no modelo.

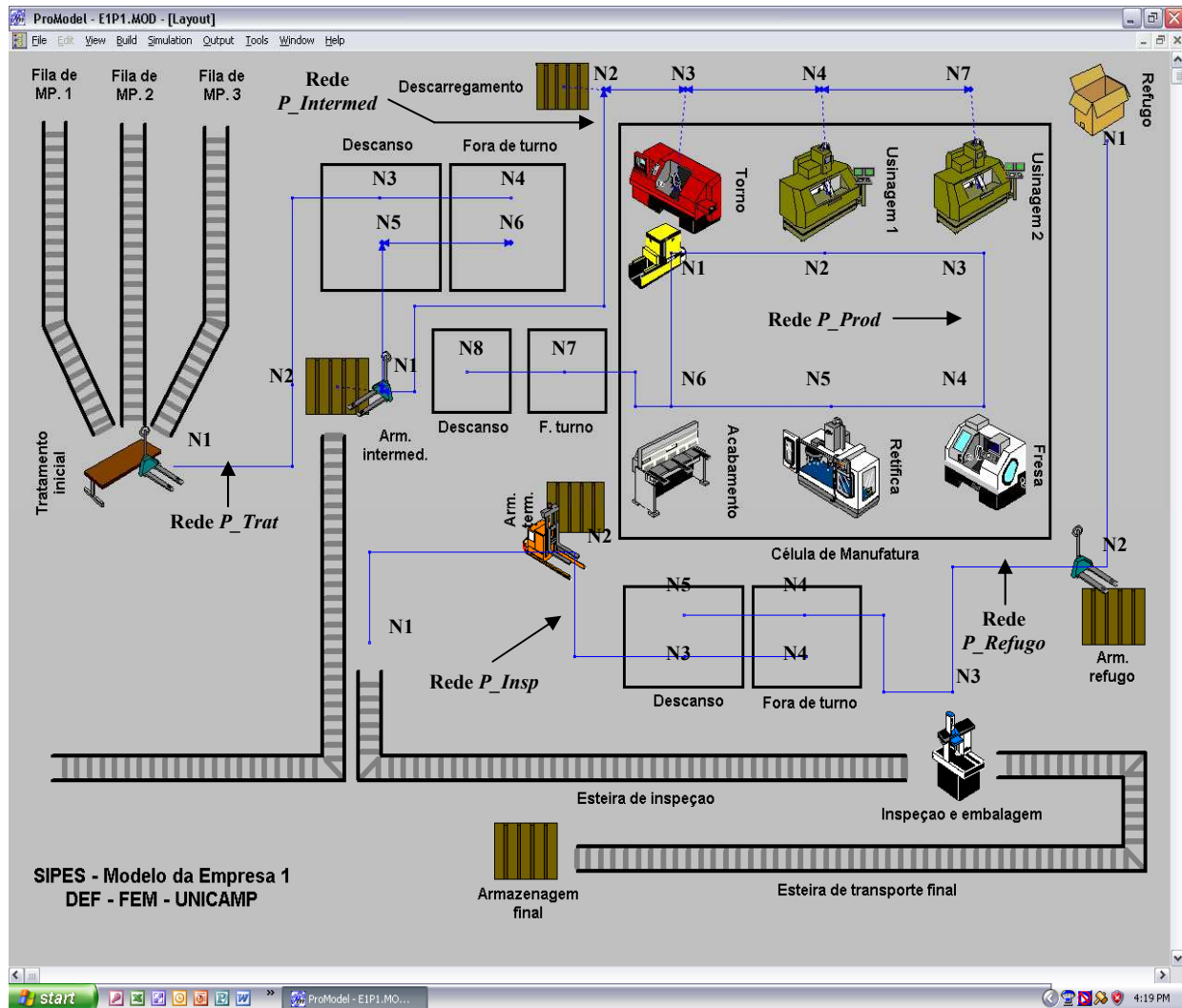


Figura 5.2: Disposição das redes de caminhos para o modelo de simulação analisado.

² Em ProModel™ 2001, turnos (ou *shifts*) são períodos de trabalho que podem ser intercalados com períodos de descanso. Um recurso fora de turno é classificado pelo sistema como em *off-shift*, ao passo que um recurso em descanso (dentro de um turno) é considerado em *break*.

O regime de chegadas (*arrivals*)³ das entidades ao sistema, por fim, segue os dados da Tabela 5.10 abaixo:

Tabela 5.10: Dados das chegadas das entidades (*arrivals*) ao sistema.

Entidade	Local	Qtd.	Primeira chegada	Ocorrências	Frequência
P1	<i>FProd1</i>	120	02/01/2006, 00:00h	Infinitas	1 hora
P2	<i>FProd2</i>	100	02/01/2006, 00:00h	Infinitas	1,5 horas
P3	<i>FProd3</i>	40	02/01/2006, 00:00h	Infinitas	1,5 horas
Pallet	<i>FPallet</i>	1	02/01/2006, 00:00h	50	10 minutos

Tabela 5.11: Dados dos recursos de movimentação de entidades.

Recurso	Especificações (coluna Specs...)										
Nome	Rede (<i>Path network</i>)	Nós (<i>Nodes</i>)				Movimentação (<i>Motion</i>) ⁴					
		<i>Home</i>	<i>Off Shift</i>	<i>Break</i>	<i>RHIF</i> ⁵	<i>Vel. (vazio)</i>	<i>Vel. (cheio)</i>	<i>Acl.</i>	<i>Desacl.</i>	<i>T. carreg.</i>	<i>T. desc.</i>
<i>R_Trat</i>	<i>P_Trat</i>	N1	N4	N3	Sim	22	18	-	-	3	4
<i>R_Intermed</i>	<i>P_Intermed</i>	N1	N6	N5	Sim	10	6	0,5	1	10	3
<i>R_Prod</i>	<i>P_Prod</i>	N1	N7	N8	Não	120	100	1	1,5	5	2
<i>R_Refugo</i>	<i>P_Refugo</i>	N1	N3	N4	Sim	10	8	0,5	1	3	3
<i>R_Insp</i>	<i>P_Insp</i>	N1	N4	N3	Sim	30	20	2	1,7	5	3

A interação ProModelTM 2001 – SIPES se dá por meio da passagem de parâmetros de simulação ao modelo (tempos de processamento e quantidades a serem agrupadas nos locais indicados pela Tabela 5.8), cuja resolução fornece ao SIPES dados de disponibilidade de produtos para montagem de estoques intermediários e de segurança que possibilitem pedidos de empresas serem atendidos de modo coordenado (Figura 5.3 à próxima página).

O SIPES também calcula os custos no fabricante (Seção 5.2) para que seja possível avaliar os custos totais da cadeia de suprimentos com os dados provindos da simulação. Isto permite que se defina uma política de consumo dos estoques que gere o menor custo (Seção 3.3.5).

³ Rever seção 4.4.3 (Capítulo 4) para informações sobre *arrivals* (chegadas) e os outros elementos básicos de modelagem do ProModelTM 2001.

⁴ As colunas da seção *Movimentação (Motion)* indicam, respectivamente, a velocidade do recurso quando este se encontra vazio, sua velocidade quando está cheio (ambos em *m/s*), sua aceleração e desaceleração (ambos em *m/s²*), tempo gasto no carregamento de entidades e tempo gasto no descarregamento (ambos em *segundos*).

⁵ RHII (*Return Home If Idle* – retornar ao nó *Home* se ocioso) indica ao ProModelTM 2001 que se o recurso estiver ocioso, ele deve retornar ao nó de origem (*Home*) em lugar de permanecer no último nó em que desempenhou alguma função.

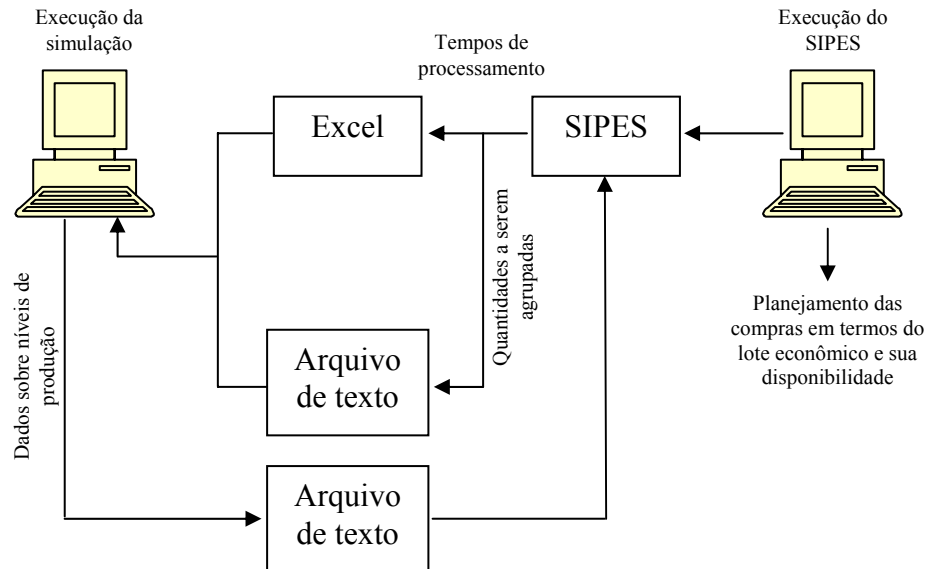


Figura 5.3: Interação entre o SIPES e o ProModel™ 2001.

O produtor de fixadores possui três clientes principais (denominados *Empresa 1*, *Empresa 2* e *Empresa 3*), todos do setor automotivo, cujas necessidades de estoque intermediário (compra) estão dispostas na tabela abaixo (Tabela 5.12)⁶:

Tabela 5.12: Dados de estoque intermediário dos clientes.

Produto	Cliente	Demanda semanal (D) ⁷	Custo unitário (q)	Perc. relativo ao armaz. (r)	Custo espec. de ab. de pedido (o)	Custo fixo de ab. de ped. (O)
P1	Empresa 1	120	21,00	15%	100	50
	Empresa 2	300		18%		
P2	Empresa 2	250	25,00	18%	150	
	Empresa 3	100		20%		
P3	Empresa 1	350	19,00	15%	45	
	Empresa 3	70		20%		

Para os custos, a partir deste ponto, será adotada uma *Unidade Monetária Padrão* – **UMP** – de modo a não serem representadas quaisquer influências de moeda, nacional ou estrangeira.

A experiência anterior demonstrou ser necessário manter estoques de segurança para as peças adquiridas, pois as empresas fornecem peças de reposição para concessionárias e

⁶ Estes dados serão usados para derivar resultados a partir do modelo EOQ com reposição imediata ($a = 0$) e faltas não permitidas ($t' = t$) sob os perfis de consumo comentados no Capítulo 3.

⁷ Em centenas (ou *centos*, pacotes com cem unidades).

mecânicas autorizadas que representam uma demanda excedente e variável. A Tabela 5.15 (próxima página) detalha os dados a este respeito.

O fabricante oferece, alternativamente, um esquema de descontos por quantidade adquirida de modo a favorecer o emprego de economias de escala (Tabela 5.13 a seguir):

Tabela 5.13: Esquema de descontos por quantidade adquirida.

Produto	Cliente	De (centos)	Até (centos)	Preço unitário
P1	Empresa 1	0	90	21,00
		91	180	20,00
		Acima de 180		19,00
	Empresa 2	0	150	21,00
		151	300	20,50
		Acima de 300		20,00
P2	Empresa 2	0	120	25,00
		121	240	23,00
		Acima de 240		21,00
	Empresa 3	0	45	25,00
		46	90	24,00
		Acima de 90		23,00
P3	Empresa 1	0	200	19,00
		201	400	18,50
		Acima de 400		18,00
	Empresa 3	0	20	19,00
		21	40	17,00
		Acima de 40		15,00

O custo de fabricação para a empresa produtora de fixadores está estabelecido pela Tabela 5.14 a seguir. A cada pedido feito por um cliente, incorre-se em um custo interno de 150 UMP's, sendo que a fração do preço unitário responsável pelo estoque é de 20%. A empresa trabalha em um esquema de turnos conforme mostra a Tabela 5.16 (próxima página).

Das peças produzidas, 90% são aprovadas na inspeção, sendo o restante acumulado para a composição de lotes de reciclagem.

Tabela 5.14: Custos para o fabricante.

Produto	Custos de fabricação do cento (em UMP's)
P1	15,00
P2	18,00
P3	13,00

Tabela 5.15: Dados de estoque de segurança dos clientes.

Produto	Cliente	Demanda semanal (D)	σ_D ⁸	Tempo de reposição (G) ⁹	Ponto de reposição (Pr)	Tam. médio do lote (P)
P1	Empresa 1	120	18	0,19	24	124
	Empresa 2	150	30	0,49	75	174
P2	Empresa 2	125	40	0,49	62	211
	Empresa 3	50	25	0,45	25	93
P3	Empresa 1	175	15	0,49	87	189
	Empresa 3	35	10	0,47	17	67

Tabela 5.16: Regime de trabalho da empresa (turnos)¹⁰.

Turno	Trabalho	Descanso (<i>break</i>)	Recursos submetidos ao turno	Locais submetidos ao turno
1	05h:00m a 12h:30m	09h:00m a 09h:20m	R_Prod e R_Refugo	<i>Torno, Usinagem1, Usinagem2, Fresa, Retífica e Acabamento</i>
2	13h:00m a 20h:30m	17h:10m a 17h:30m		
3	21h:00m a 04h:30m	01h:00m a 01h:20m		

5.2 Obtenção dos resultados

Para um mês de produção¹¹ (iniciando em 02/01/2006, à 00h:00m e terminando em 02/02/2006, no mesmo horário), a execução do modelo de simulação descrito na Seção 5.1 gerou os dados da tabela a seguir (Tabela 5.17):

Tabela 5.17: Dados de fabricação das peças no mês em análise (fornecidos pelo ProModelTM 2001).

Peça	Total mensal (unidades)	Média semanal (unidades)	Média semanal (centos)
P1	108.000	27.000	270
P2	99.900	24.975	250
P3	371.475	92.869	929

O SIPES, empregado para o cálculo dos tamanhos de lotes de produtos a serem adquiridos pelas empresas consumidoras, forneceu os dados das Tabelas 5.18 e 5.19 à próxima página:

⁸ Desvio padrão de D .

⁹ Igualmente em semanas.

¹⁰ Os períodos de *off-shift* (fora de turno) são de 12h:00m às 13h:00m, 20h:00m às 21h:00m e 4h:00m às 5h:00m.

¹¹ Considerando-se um mês composto por quatro semanas, de segunda a segunda (a produção não é interrompida aos sábados e domingos).

Tabela 5.18: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (caso *linear*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	106	53	0,89	1,12
	2	150	75	0,51	1,94
P2	2	149	75	0,59	1,68
	3	89	45	0,89	1,12
P3	1	153	77	0,44	2,29
	3	59	30	0,84	1,18

Tabela 5.19: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2.520,00	168,37	168,37	2.856,74
	2	6.300,00	291,63	291,63	6.883,26
P2	2	6.250,00	335,41	335,41	6.920,82
	3	2.500,00	223,61	223,61	2.947,22
P3	1	6.650,00	217,67	217,67	7.085,34
	3	1.330,00	112,41	112,41	1.554,82

Deve-se ressaltar que no cálculo dos tamanhos de lote por meio da implantação computacional do modelo de Lote Econômico geral (equação [3.38], Seção 3.3.5) usou-se, em lugar do valor de O (custo fixo de abertura de pedido), seu equivalente genérico O' (equação [3.17], Seção 3.3.2), que contempla também os custos variáveis de abertura de pedido e que dependem da natureza do produto.

Para efeitos de compreensão da interação entre produtor e consumidor (e, deste modo, derivar políticas conjuntas de atuação responsáveis pela coordenação eficiente da cadeia – Seção 3.3.4), é necessário estabelecer a relação existente entre os custos surgidos no produtor (objeto da simulação e seus resultados) e no consumidor (as empresas cujas variáveis possuem seus valores determinados pelo SIPES).

Assim como se podem expressar os custos de atendimento de um pedido para o consumidor (pelo uso da equação [3.35] do Capítulo 3 e sendo, nesta análise, consumidoras as Empresas 1, 2 e 3), é possível, pela mesma relação matemática, avaliar os custos com os quais o *produtor* deve arcar para cumprir tal pedido; como está sendo considerada a cooperação entre empresas de uma cadeia de suprimentos, é natural concluir que a maneira de determinar estas despesas seja,

portanto, equivalente para ambos os lados¹², embora os parâmetros de cálculo e obtenção dos valores das variáveis envolvidas possam ser diferentes em cada organização.

Por meio dos resultados da simulação em termos de volume de produção fornecidos pelo ProModelTM 2001 e aproveitados pelo SIPES, este executou a projeção de custos incorridos no fabricante de fixadores¹³ sendo, neste, a demanda D de cada peça dada pela terceira coluna da Tabela 5.19 e P as somas dos tamanhos de lotes de parafusos encomendados pelas empresas correspondentes calculados pelo SIPES (e que se encontram na Tabela 5.18). Desde modo, tem-se (Tabela 5.20)¹⁴:

Tabela 5.20: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	158,20	384,00	4.592,20
	2				
P2	2	4.500,00	157,56	428,40	5.085,96
	3				
P3	1	12.077,00	657,31	275,60	13.009,91
	3				

O custo para o produtor suprir as demandas dos consumidores será de **22.688,08 UMP's**. Para os compradores, por sua vez, haverá um custo de (Tabela 5.21, derivada da Tabela 5.19, agrupada por empresa):

Tabela 5.21: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (caso *linear*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.740,00
P2	Empresas 2 e 3	9.868,04
P3	Empresas 1 e 3	8.640,16

O custo observado na cadeia de suprimentos, então, é (em UMP's):

¹² Esta equivalência consiste no esquema de montagem do custo total pela soma dos custos materiais, de abertura de pedido e de armazenagem, que incorrem também, igualmente, no produtor, conforme estabelecido na Seção 3.3.1 do Capítulo 3.

¹³ Tabela 5.15 e dados do parágrafo anterior a esta.

¹⁴ Deve-se reparar na coerência entre os valores usados: o SIPES produziu as necessidades *semanais* de peças; o ProModelTM 2001, por sua vez, gerou um volume de produção *mensal*, cuja estimativa semanal serviu para compôr a Tabela 5.20.

$$\underbrace{22.688,08}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.740,00 + 9.868,04 + 8.640,16}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = 50.936,28$$

5.3 Discussão dos resultados

A partir destes dados básicos, parte-se para melhorias que podem ser obtidas pelo uso do SIPES e suas saídas, a partir da integração com os resultados da simulação do modelo descrito.

5.3.1 Perfis de consumo distintos do linear

O perfil de consumo linear (base teórica para a construção do modelo EOQ clássico) indica um consumo constante dos clientes, que adquirirão lotes de produtos em intervalos regulares de tempo. Entretanto, de acordo com o estabelecido na Seção 3.3.5 (Capítulo 3), outros perfis podem ser empregados.

O perfil *quadrático* de consumo, por exemplo, indica uma queda rápida no nível de estoque intermediário no início do tempo de ciclo t , tendendo a se tornar mais lenta à medida em que tal ciclo se aproxima de seu fim. O perfil *exponencial* de consumo, contrariamente, indica um baixo consumo inicial, aumentando rápida e mais pronunciadamente nos instantes finais de t (Figuras A1.2 e A1.3 do Apêndice I).

No primeiro caso, tem-se os seguintes dados (Tabelas 5.22 a 5.25):

Tabela 5.22: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	131	66	1,09	0,92
	2	189	95	0,63	1,59
P2	2	183	92	0,73	1,37
	3	110	55	1,09	0,91
P3	1	187	94	0,53	1,87
	3	72	36	1,03	0,97

Tabela 5.23: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	137,48	137,48	2794,96
	2	6300,00	238,12	238,12	6776,24
P2	2	6250,00	273,86	273,86	6797,72
	3	2500,00	182,57	182,57	2865,14
P3	1	6650,00	177,73	177,73	7005,46
	3	1330,00	91,78	91,78	1513,56

Os custos no fornecedor quando os clientes apresentam um perfil *quadrático* de consumo de seus estoques será (Tabela 5.24):

Tabela 5.24: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	126,56	320,00	4.496,56
	2				
P2	2	4.500,00	127,99	351,60	4.979,59
	3				
P3	1	12.077,00	538,03	224,47	12.839,50
	3				

O custo total no fabricante, portanto, será de **22.315,65** UMP's (soma dos itens da coluna **Total** da tabela acima), o que, em conjunto com a Tabela abaixo (5.25), conduz a:

Tabela 5.25: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (caso *quadrático*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.571,20
P2	Empresas 2 e 3	9.662,86
P3	Empresas 1 e 3	8.519,02

$$\underbrace{22.315,65}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.571,20 + 9.662,86 + 8.519,02}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = 50.068,73$$

O perfil de consumo *exponencial*, por fim, levará a (Tabelas 5.26 a 5.29):

Tabela 5.26: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	82	41	0,38	1,47
	2	118	59	0,39	2,55
P2	2	114	57	0,45	2,20
	3	68	34	0,68	1,46
P3	1	117	59	0,33	3,00
	3	45	23	0,64	1,55

Tabela 5.27: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	220,57	220,57	2961,14
	2	6300,00	382,04	382,04	7064,08
P2	2	6250,00	439,39	439,39	7128,78
	3	2500,00	292,93	292,93	3085,86
P3	1	6650,00	285,15	285,15	7220,30
	3	1330,00	147,25	147,25	1624,50

Para o fornecedor, o perfil exponencial de consumo de seus estoques leva a (Tabela 5.28):

Tabela 5.28: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	202,50	349,19	4.601,69
	2				
P2	2	4.500,00	206,04	381,31	5.087,36
	3				
P3	1	12.077,00	860,19	245,13	13.182,31
	3				

A Tabela 5.29 abaixo resume os custos agrupados por peças, de acordo com as empresas que as consomem:

Tabela 5.29: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (caso *exponencial*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	10.025,22
P2	Empresas 2 e 3	10.214,64
P3	Empresas 1 e 3	8.844,80

Observa-se, ao final destas tabulações, um custo total de:

$$\underbrace{22.871,35}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{10.025,22 + 10.214,64 + 8.844,80}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{51.956,01}$$

Nas Tabelas 5.24 e 5.28 (que exibem os custos incorridos no fabricante para atender às demandas), os valores calculados para armazenagem seguiram o mesmo perfil dos consumidores. Claro está, por exemplo, que se há maior consumo no início de um período de ciclo t , então deve haver produção correspondente no mesmo período.

Os valores de custos de armazenagem foram determinados segundo as expressões encontradas na Tabela 3.3 (Capítulo 3).

Pelo menor custo obtido (fornecido pelo consumo de perfil *quadrático*), conclui-se ser mais vantajoso para a cadeia que as vendas de parafusos ocorram em maior volume nos períodos iniciais de cada semana. Retê-las para os finais das mesmas, por seu turno, não se revelou uma estratégia útil para aumentar o valor da cadeia de suprimentos.

5.3.2 A influência da agregação de produtos nos custos

Conforme apresentado na Seção 3.3.2, os pedidos agregados possuem a vantagem de diluir os custos de abertura de pedido (fixos e variáveis) por um lote de tamanho maior contendo produtos agrupados.

O problema em estudo permite que sejam feitas *agregações por empresa* e *agregações por produto*. No primeiro caso, uma mesma empresa pode encomendar dois ou mais produtos agregados, visando diminuir seus custos internos. No segundo caso, empresas que consomem o mesmo produto podem integrar seus pedidos e encomendá-los conjuntamente.

O Capítulo 3, por seu turno, apresentou duas heurísticas de agregação: a *simples* (que não leva em consideração as demandas dos produtos agrupados) e a *seletiva*, que intercala pedidos de produtos menos solicitados entre os mais requisitados, bem como uma extensão de ambas para comportar perfis de consumos distintos do linear, faltas e reposições não-imediatas.

5.3.2.1 Resultados da agregação simples por empresa

As Tabelas 5.30 a 5.41 exibem, respectivamente, os resultados provindos da *agregação simples por empresa* em termos de perfil de consumo, custos para os consumidores, custos para os produtores e os custos agrupados por empresa de acordo com os produtos que adquirem, seguindo os mesmos raciocínios empregados na construção das Tabelas a partir de 5.18:

Tabela 5.30: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por empresa, caso *linear*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	64	32	0,53	1,88
	2	155	77	0,51	1,94
P2	2	129	64	0,51	1,94
	3	80	40	0,79	1,25
P3	1	186	93	0,53	1,88
	3	56	28	0,79	1,25

Tabela 5.31: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por empresa, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	183,11	100,64	2803,75
	2	6300,00	291,06	292,21	6883,27
P2	2	6250,00	291,06	289,89	6830,95
	3	2500,00	153,17	199,95	2853,12
P3	1	6650,00	183,11	265,57	7098,68
	3	1330,00	153,17	106,37	1589,54

Tabela 5.32: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por empresa, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	184,93	328,50	4.563,43
	2				
P2	2	4.500,00	179,43	376,20	5.055,63
	3				
P3	1	12.077,00	575,83	314,60	12.967,43
	3				

Tabela 5.33: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por empresa, caso *linear*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.687,01
P2	Empresas 2 e 3	9.684,06
P3	Empresas 1 e 3	8.688,21

O custo observado na cadeia de suprimentos, neste caso, será (em UMP's):

$$\underbrace{22.586,48}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.687,01 + 9.684,06 + 8.688,21}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{50.645,76}$$

As Tabelas de 5.34 a 5.37 relacionam-se à *agregação simples por empresa* de acordo com o perfil de consumo *quadrático*:

Tabela 5.34: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	78	39	0,65	1,53
	2	189	94	0,63	1,58
P2	2	158	79	0,63	1,58
	3	98	49	0,97	1,02
P3	1	228	114	0,65	1,53
	3	69	34	0,97	1,02

Tabela 5.35: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	149,51	82,17	2751,68
	2	6300,00	237,65	238,59	6776,24
P2	2	6250,00	237,65	236,70	6724,35
	3	2500,00	125,06	163,26	2788,32
P3	1	6650,00	149,51	216,84	7016,35
	3	1330,00	125,06	86,85	1541,91

Tabela 5.36: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	151,69	267,00	4.468,69
	2				
P2	2	4.500,00	146,48	307,20	4.953,68
	3				
P3	1	12.077,00	469,19	257,40	12.803,59
	3				

Tabela 5.37: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.527,91
P2	Empresas 2 e 3	9.512,66
P3	Empresas 1 e 3	8.558,25

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.225,96}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.527,91 + 9.512,66 + 8.558,25}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{49.824,78}$$

As Tabelas de 5.38 a 5.41 relacionam-se à *agregação simples por empresa* de acordo com o perfil de consumo *exponencial*:

Tabela 5.38: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	49	24	0,41	2,46
	2	118	59	0,39	2,54
P2	2	98	49	0,39	2,54
	3	61	30	0,61	1,64
P3	1	142	71	0,41	2,46
	3	43	21	0,61	1,64

Tabela 5.39: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	239,87	131,84	2891,71
	2	6300,00	381,28	382,80	7064,08
P2	2	6250,00	381,28	379,76	7011,04
	3	2500,00	200,65	261,94	2962,59
P3	1	6650,00	239,87	347,90	7237,77
	3	1330,00	200,65	139,35	1670,00

Tabela 5.40: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	242,51	291,57	4.584,09
	2				
P2	2	4.500,00	235,85	333,12	5.068,97
	3				
P3	1	12.077,00	753,24	279,93	13.110,17
	3				

Tabela 5.41: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.955,79
P2	Empresas 2 e 3	9.973,63
P3	Empresas 1 e 3	8.907,77

O custo observado na cadeia de suprimentos, neste caso, será (em UMP's):

$$\underbrace{22.763,23}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.955,79 + 9.973,63 + 8.907,77}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{51.600,41}$$

5.3.2.2 Resultados da agregação seletiva por empresa

A *agregação seletiva por empresa* apresentou os seguintes resultados (Tabelas 5.42 a 5.53):

Tabela 5.42: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por empresa, caso *linear*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	110	55	0,92	1,09
	2	134	67	0,45	2,24
P2	2	223	111	0,89	1,12
	3	80	40	0,79	1,25
P3	1	161	80	0,46	2,18
	3	56	28	0,79	1,25

Tabela 5.43: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por empresa, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	108,89	175,56	2804,45
	2	6300,00	336,08	253,06	6889,14
P2	2	6250,00	168,04	502,11	6920,15
	3	2500,00	187,55	199,95	2887,50
P3	1	6650,00	206,90	229,01	7085,91
	3	1330,00	118,78	106,37	1555,15

Tabela 5.44: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por empresa, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	165,98	366,00	4.581,98
	2				
P2	2	4.500,00	123,76	545,40	5.169,16
	3				
P3	1	12.077,00	642,17	282,10	13.001,27
	3				

Tabela 5.45: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por empresa, caso *linear*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.693,59
P2	Empresas 2 e 3	9.807,65
P3	Empresas 1 e 3	8.641,06

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.752,41}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.693,59 + 9.807,65 + 8.641,06}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{50.894,71}$$

As Tabelas de 5.46 a 5.49 relacionam-se à *agregação seletiva por empresa* de acordo com o perfil de consumo *quadrático*:

Tabela 5.46: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	135	67	1,12	0,89
	2	164	82	0,55	1,83
P2	2	273	136	1,09	0,91
	3	98	49	0,97	1,02
P3	1	197	98	0,56	1,78
	3	69	34	0,97	1,02

Tabela 5.47: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	88,91	141,71	2750,62
	2	6300,00	274,41	206,63	6781,04
P2	2	6250,00	137,20	409,97	6797,17
	3	2500,00	153,13	163,26	2816,39
P3	1	6650,00	168,93	186,98	7005,91
	3	1330,00	96,98	86,85	1513,83

Tabela 5.48: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	135,45	299,00	4.484,45
	2				
P2	2	4.500,00	101,08	445,20	5.046,28
	3				
P3	1	12.077,00	523,87	230,53	12.831,41
	3				

Tabela 5.49: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por empresa, caso *quadrático*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.531,66
P2	Empresas 2 e 3	9.613,56
P3	Empresas 1 e 3	8.519,74

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.362,14}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.531,66 + 9.613,56 + 8.519,74}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = 50.027,10$$

As Tabelas de 5.50 a 5.53 relacionam-se à *agregação seletiva por empresa* de acordo com o perfil de consumo *exponencial*:

Tabela 5.50: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	84	42	0,70	1,43
	2	102	51	0,34	2,94
P2	2	170	85	0,68	1,47
	3	61	30	0,61	1,64
P3	1	123	61	0,35	2,85
	3	43	21	0,61	1,64

Tabela 5.51: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	142,65	227,37	2890,02
	2	6300,00	440,27	331,52	7071,79
P2	2	6250,00	220,13	657,77	7127,90
	3	2500,00	245,69	261,94	3007,63
P3	1	6650,00	271,04	300,00	7221,04
	3	1330,00	155,60	139,35	1624,95

Tabela 5.52: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	217,74	324,74	4.592,48
	2				
P2	2	4.500,00	162,34	483,97	5.146,31
	3				
P3	1	12.077,00	839,46	251,18	13.167,64
	3				

Tabela 5.53: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por empresa, caso *exponencial*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.961,81
P2	Empresas 2 e 3	10.135,53
P3	Empresas 1 e 3	8.845,99

O custo observado na cadeia de suprimentos, neste caso, será (em UMP's):

$$\underbrace{22.906,43}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.961,81 + 10.135,53 + 8.845,99}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{51.849,76}$$

5.3.2.3 Resultados da agregação simples por produto

As Tabelas 5.54 a 5.65 exibem, respectivamente, os resultados provindos da *agregação simples por produto* em termos de perfil de consumo, custos para os consumidores, custos para os produtores e os custos agrupados por empresa de acordo com os produtos que adquirem; tais tabelas foram montadas a partir dos mesmos princípios da agregação por empresa.

Tabela 5.54: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por produto, caso *linear*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	69	34	0,57	1,74
	2	173	86		
P2	2	164	82	0,66	1,52
	3	66	33		
P3	1	165	82	0,47	2,12
	3	33	16		

Tabela 5.55: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por produto, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	217,37	108,69	2846,06
	2	6300,00	217,37	326,06	6843,43
P2	2	6250,00	266,64	369,19	6885,83
	3	2500,00	266,64	164,08	2930,72
P3	1	6650,00	148,70	234,79	7033,49
	3	1330,00	148,70	62,61	1541,31

Tabela 5.56: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por produto, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	167,36	363,00	4.580,36
	2				
P2	2	4.500,00	163,04	414,00	5.077,04
	3				
P3	1	12.077,00	703,79	257,40	13.038,19
	3				

Tabela 5.57: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por produto, caso *linear*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.689,49
P2	Empresas 2 e 3	9.816,54
P3	Empresas 1 e 3	8.574,80

O custo observado na cadeia de suprimentos, neste caso, será (em UMP's):

$$\underbrace{22.695,59}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.689,49 + 9.816,54 + 8.574,80}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{50.776,42}$$

As Tabelas de 5.58 a 5.61 relacionam-se à *agregação simples por produto* de acordo com o perfil de consumo *quadrático*:

Tabela 5.58: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por produto, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	85	42	0,70	1,42
	2	211	105		
P2	2	201	100	0,80	1,24
	3	80	40		
P3	1	202	101	0,58	1,73
	3	40	20		

Tabela 5.59: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por produto, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	177,48	88,74	2786,22
	2	6300,00	177,48	266,22	6743,70
P2	2	6250,00	217,71	301,44	6769,15
	3	2500,00	217,71	133,97	2851,68
P3	1	6650,00	121,41	191,70	6963,11
	3	1330,00	121,41	51,12	1502,53

Tabela 5.60: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por produto, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	136,82	296,00	4.482,82
	2				
P2	2	4.500,00	133,45	337,20	4.970,65
	3				
P3	1	12.077,00	575,83	209,73	12.862,56
	3				

Tabela 5.61: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por produto, caso *quadrático*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.529,92
P2	Empresas 2 e 3	9.620,82
P3	Empresas 1 e 3	8.465,64

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.316,04}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.529,92 + 9.620,82 + 8.465,64}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{49.932,42}$$

As Tabelas de 5.62 a 5.65 relacionam-se à *agregação simples por produto* de acordo com o perfil de consumo *exponencial*:

Tabela 5.62: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação simples por produto, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	53	26	0,44	2,28
	2	132	66		
P2	2	125	62	0,50	2,00
	3	50	25		
P3	1	126	63	0,36	2,78
	3	25	12		

Tabela 5.63: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. simples por produto, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	284,76	142,38	2947,14
	2	6300,00	284,76	427,13	7011,89
P2	2	6250,00	349,29	483,63	7082,92
	3	2500,00	349,29	214,95	3064,24
P3	1	6650,00	194,80	307,57	7152,37
	3	1330,00	194,80	82,02	1606,82

Tabela 5.64: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. simples por produto, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	218,92	323,00	4.591,92
	2				
P2	2	4.500,00	214,29	366,65	5.080,93
	3				
P3	1	12.077,00	922,85	228,48	13.228,33
	3				

Tabela 5.65: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. simples por produto, caso *exponencial*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.959,02
P2	Empresas 2 e 3	10.147,16
P3	Empresas 1 e 3	8.759,18

O custo observado na cadeia de suprimentos, neste caso, será (em UMP's):

$$\underbrace{22.901,18}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.959,02 + 10.147,16 + 8.759,18}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{51.766,54}$$

5.3.2.4 Resultados da agregação seletiva por produto

A agregação seletiva por produto apresentou os seguintes resultados (Tabelas 5.66 a 5.77):

Tabela 5.66: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por produto, caso *linear*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	123	61	1,03	0,97
	2	154	77	0,51	1,94
P2	2	145	72	0,58	1,72
	3	116	58	1,16	0,86
P3	1	151	75	0,43	2,32
	3	60	30	0,86	1,16

Tabela 5.67: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por produto, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	97,21	194,42	2811,63
	2	6300,00	291,63	291,63	6883,26
P2	2	6250,00	343,78	327,25	6921,03
	3	2500,00	128,92	290,89	2919,81
P3	1	6650,00	220,28	215,09	7085,37
	3	1330,00	52,17	114,72	1496,89

Tabela 5.68: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por produto, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	146,21	415,50	4.611,71
	2				
P2	2	4.500,00	143,68	469,80	5.113,48
	3				
P3	1	12.077,00	660,43	274,30	13.011,73
	3				

Tabela 5.69: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por produto, caso *linear*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.694,89
P2	Empresas 2 e 3	9.840,84
P3	Empresas 1 e 3	8.582,26

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.736,91}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.694,89 + 9.840,84 + 8.582,26}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{50.854,90}$$

As Tabelas de 5.70 a 5.73 relacionam-se à *agregação seletiva por produto* de acordo com o perfil de consumo *quadrático*:

Tabela 5.70: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por produto, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	151	75	1,26	0,79
	2	189	94	0,63	1,59
P2	2	178	89	0,71	1,40
	3	142	71	1,42	0,70
P3	1	185	92	0,53	1,89
	3	74	37	1,05	0,95

Tabela 5.71: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por produto, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	79,37	158,75	2758,12
	2	6300,00	238,12	238,12	6776,24
P2	2	6250,00	280,69	267,20	6797,89
	3	2500,00	105,26	237,51	2842,77
P3	1	6650,00	179,86	175,62	7005,48
	3	1330,00	42,60	93,67	1466,27

Tabela 5.72: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por produto, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	119,12	340,00	4.509,12
	2				
P2	2	4.500,00	117,19	384,00	5.001,19
	3				
P3	1	12.077,00	538,03	224,47	12.839,50
	3				

Tabela 5.73: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por produto, caso *quadrático*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.534,36
P2	Empresas 2 e 3	9.640,66
P3	Empresas 1 e 3	8.471,75

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.349,80}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.534,36 + 9.640,66 + 8.471,75}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{49.996,57}$$

As Tabelas de 5.74 a 5.77 relacionam-se à *agregação seletiva por produto* de acordo com o perfil de consumo *exponencial*:

Tabela 5.74: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (agregação seletiva por produto, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	94	47	0,78	1,27
	2	118	59	0,39	2,55
P2	2	111	55	0,44	2,25
	3	89	44	0,89	1,13
P3	1	115	57	0,33	3,04
	3	46	23	0,66	1,52

Tabela 5.75: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (agr. seletiva por produto, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2520,00	127,35	254,69	2902,04
	2	6300,00	382,04	382,04	7064,08
P2	2	6250,00	450,35	428,70	7129,05
	3	2500,00	168,88	381,06	3049,94
P3	1	6650,00	288,57	281,77	7220,34
	3	1330,00	68,35	150,28	1548,63

Tabela 5.76: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (agr. seletiva por produto, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	191,04	370,14	4.611,17
	2				
P2	2	4.500,00	187,50	419,02	5.106,52
	3				
P3	1	12.077,00	865,53	243,62	13.186,14
	3				

Tabela 5.77: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (agr. seletiva por produto, caso *exponencial*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.966,12
P2	Empresas 2 e 3	10.178,99
P3	Empresas 1 e 3	8.768,97

O custo observado na cadeia de suprimentos, neste caso, será (em UMP's):

$$\underbrace{22.903,84}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.966,12 + 10.178,99 + 8.768,97}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{51.817,92}$$

Ao longo destes resultados, pôde-se perceber que a agregação levou a um aumento de valor da cadeia pois, de maneira geral (à exceção de alguns casos esporádicos), houve redução de custos tanto no fabricante quanto nos consumidores em relação a pedidos feitos separadamente.

Observa-se também que a agregação *seletiva por produto* (Tabelas de 5.66 a 5.77) foi mais benéfica ao fornecedor que a agregação *seletiva por empresa* (Tabelas de 5.42 a 5.53). Contrariamente, no caso da agregação *simples*, aquela feita por empresa (Tabelas de 5.30 a 5.41) apresentou melhor resultado ao fornecedor em comparação àquela feita por produto (Tabelas de 5.54 a 5.65).

A Tabela 5.78 à próxima página resume as variações ocorridas nos custos tanto no fornecedor quanto nos consumidores, levando à conclusão de que a melhor política de produção e estocagem intermediária, na ausência de esquemas de desconto, é aquela que emprega a *agregação simples por empresa*, para qualquer perfil de consumo.

Tabela 5.78: Resumo das variações ocorridas nos custos devido à agregação.

Perfil de consumo	Pela Empresa	Pedidos feitos separadamente						Agregação simples por empresa						Agregação relativa por empresa						Agregação simples por produto						Agregação relativa por produto									
		M	A	R	M	Var.	A	Var.	R	Var.	M	Var.	A	Var.	R	Var.	M	Var.	A	Var.	R	Var.	M	Var.	A	Var.	R	Var.	M	Var.	A	Var.	R	Var.	
Linear	P1	1	2320,00	168,37	168,37	2320,00	0,00%	183,11	8,75%	100,64	-40,23%	2320,00	0,00%	108,89	-35,33%	175,56	4,27%	2320,00	0,00%	217,37	29,10%	108,69	-35,45%	2320,00	0,00%	97,21	-42,26%	194,42	15,47%	2320,00	0,00%	97,21	-42,26%	194,42	15,47%
		2	6300,00	291,63	291,63	6300,00	0,00%	291,06	-0,20%	292,21	0,20%	6300,00	0,00%	336,08	15,24%	233,06	-13,23%	6300,00	0,00%	217,37	-25,46%	326,06	11,81%	6300,00	0,00%	291,63	0,00%	291,63	0,00%	291,63	0,00%	291,63	0,00%	291,63	0,00%
		3	6200,00	335,41	335,41	6200,00	0,00%	291,06	-13,22%	298,89	-13,57%	6200,00	0,00%	168,04	-49,90%	302,11	49,70%	6200,00	0,00%	266,64	-20,50%	369,19	10,07%	6200,00	0,00%	343,78	2,50%	327,25	-2,45%	6200,00	0,00%	343,78	2,50%	327,25	-2,45%
	P2	1	2300,00	223,61	223,61	2300,00	0,00%	153,17	-31,50%	199,95	-10,58%	2300,00	0,00%	187,55	-16,13%	199,95	-10,58%	2300,00	0,00%	266,64	19,24%	144,08	-26,62%	2300,00	0,00%	128,92	-42,35%	290,89	30,09%	2300,00	0,00%	128,92	-42,35%	290,89	30,09%
		2	6630,00	217,67	217,67	6630,00	0,00%	183,11	-15,88%	265,57	22,01%	6630,00	0,00%	206,90	-4,95%	229,01	5,21%	6630,00	0,00%	148,70	-31,69%	234,79	7,87%	6630,00	0,00%	220,28	1,20%	215,09	-1,19%	6630,00	0,00%	220,28	1,20%	215,09	-1,19%
		3	1330,00	112,41	112,41	1330,00	0,00%	153,17	36,26%	106,37	-5,37%	1330,00	0,00%	118,78	5,67%	106,37	-5,37%	1330,00	0,00%	177,48	32,28%	62,61	-44,30%	1330,00	0,00%	52,17	-53,59%	114,72	2,05%	1330,00	0,00%	52,17	-53,59%	114,72	2,05%
Quadrado	P1	1	2520,00	137,48	137,48	2520,00	0,00%	149,51	8,75%	82,17	-40,23%	2520,00	0,00%	88,91	-35,33%	141,71	3,08%	2520,00	0,00%	177,48	29,10%	88,74	-35,45%	2520,00	0,00%	79,37	-42,27%	158,75	15,47%	2520,00	0,00%	79,37	-42,27%	158,75	15,47%
		2	6300,00	238,12	238,12	6300,00	0,00%	237,65	-0,20%	238,59	0,20%	6300,00	0,00%	274,41	15,24%	206,63	-13,22%	6300,00	0,00%	177,48	-25,47%	266,22	11,80%	6300,00	0,00%	238,12	0,00%	238,12	0,00%	238,12	0,00%	238,12	0,00%	238,12	0,00%
		3	6200,00	273,86	273,86	6200,00	0,00%	237,65	-13,22%	236,70	-13,57%	6200,00	0,00%	137,20	-49,90%	409,97	49,70%	6200,00	0,00%	217,71	-20,51%	301,44	10,07%	6200,00	0,00%	280,69	2,49%	267,20	-2,45%	6200,00	0,00%	280,69	2,49%	267,20	-2,45%
	P2	1	2500,00	182,57	182,57	2500,00	0,00%	125,06	-31,50%	162,26	-10,58%	2500,00	0,00%	153,13	-16,13%	162,26	-10,58%	2500,00	0,00%	217,71	19,24%	133,97	-26,62%	2500,00	0,00%	105,26	-42,35%	237,51	30,09%	2500,00	0,00%	105,26	-42,35%	237,51	30,09%
		2	6630,00	177,73	177,73	6630,00	0,00%	149,51	-15,88%	216,64	22,01%	6630,00	0,00%	186,93	-4,95%	186,98	5,20%	6630,00	0,00%	121,41	-31,69%	191,70	7,86%	6630,00	0,00%	179,86	1,20%	175,62	-1,19%	6630,00	0,00%	179,86	1,20%	175,62	-1,19%
		3	1330,00	91,78	91,78	1330,00	0,00%	125,06	36,26%	86,85	-5,37%	1330,00	0,00%	96,98	5,67%	86,85	-5,37%	1330,00	0,00%	121,41	32,28%	51,12	-44,30%	1330,00	0,00%	42,60	-53,58%	93,67	2,06%	1330,00	0,00%	42,60	-53,58%	93,67	2,06%
Exponencial	P1	1	2520,00	220,57	220,57	2520,00	0,00%	239,87	8,75%	131,84	-40,23%	2520,00	0,00%	142,65	-35,33%	227,57	3,08%	2520,00	0,00%	284,76	29,10%	142,38	-35,45%	2520,00	0,00%	127,35	-42,26%	254,69	15,47%	2520,00	0,00%	127,35	-42,26%	254,69	15,47%
		2	6300,00	382,04	382,04	6300,00	0,00%	381,28	-0,20%	382,80	0,20%	6300,00	0,00%	440,27	15,24%	331,52	-13,22%	6300,00	0,00%	284,76	-25,46%	427,13	11,80%	6300,00	0,00%	382,04	0,00%	382,04	0,00%	382,04	0,00%	382,04	0,00%	382,04	0,00%
		3	6200,00	439,39	439,39	6200,00	0,00%	381,28	-13,22%	379,76	-13,57%	6200,00	0,00%	220,13	-49,90%	657,77	49,70%	6200,00	0,00%	349,29	-20,51%	463,63	10,07%	6200,00	0,00%	430,35	2,49%	428,70	-2,45%	6200,00	0,00%	430,35	2,49%	428,70	-2,45%
	P2	1	2500,00	292,93	292,93	2500,00	0,00%	200,65	-31,50%	261,94	-10,58%	2500,00	0,00%	245,69	-16,13%	261,94	-10,58%	2500,00	0,00%	349,29	19,24%	214,95	-26,62%	2500,00	0,00%	168,88	-42,35%	381,06	30,09%	2500,00	0,00%	168,88	-42,35%	381,06	30,09%
		2	6630,00	285,15	285,15	6630,00	0,00%	239,87	-15,88%	347,90	22,01%	6630,00	0,00%	271,04	-4,95%	300,00	5,21%	6630,00	0,00%	194,80	-31,69%	307,57	7,86%	6630,00	0,00%	288,57	1,20%	281,77	-1,19%	6630,00	0,00%	288,57	1,20%	281,77	-1,19%
		3	1330,00	147,25	147,25	1330,00	0,00%	200,65	36,26%	139,35	-5,37%	1330,00	0,00%	155,60	5,67%	139,35	-5,37%	1330,00	0,00%	194,80	32,29%	82,02	-44,30%	1330,00	0,00%	68,35	-53,58%	150,28	2,06%	1330,00	0,00%	68,35	-53,58%	150,28	2,06%

5.3.3 A influência dos fatores de desconto nos estoques intermediários

De acordo com o que foi apresentado às Seções 3.3.3 e 3.3.4, quanto menores os requerimentos por parte dos consumidores, mais oneroso para o produtor se tornam, em média, os processos de abertura de pedido.

As metodologias analisadas no Capítulo 3 (descontos por preços médios e descontos por preços marginais) são as duas possíveis abordagens de tratamento do problema, cuja implantação computacional está prevista no SIPES.

É necessário ressaltar que ambas as abordagens são destinadas ao estudo de situações em que a quantidade pedida é baseada no tamanho do lote. Deste modo, implicitamente, os produtos em questão (parafusos dos modelos P1, P2 e P3) devem ser considerados *commodities* ou funcionais (Seção 2.3), em contraposição aos produtos inovadores, cujos esquemas de desconto devem se basear em *volumes adquiridos* em um dado período, independente do tamanho de lote.

O uso de tais esquemas possui o inconveniente de aumentar os estoques intermediários nos consumidores; entretanto, a idéia principal é estabelecer um equilíbrio entre custos de abertura de pedidos (que diminuirão conforme os preços unitários dos produtos adquiridos são reduzidos proporcionalmente) e os custos de armazenagem que, a seu turno, serão incrementados.

Os próximos cenários exibem os valores dos custos da cadeia de suprimentos obtidos pelo uso dos algoritmos apresentados nas Seções 3.3.3 e 3.3.5.4 (respectivamente, os algoritmos originais propostos por Chopra (2001) e suas extensões para comportar faltas e reposições não-imediatas). As Tabelas 5.79 a 5.90 estão relacionadas aos *descontos por preço médio* sob diferentes perfis de consumo, ao passo que as Tabelas 5.91 a 5.102 relacionam-se aos *descontos por preços marginais*.

5.3.3.1 Resultados da aplicação de descontos por preço médio

A aplicação de *descontos por preço médio* (segundo o esquema apresentado na Tabela 5.13) apresentou os seguintes resultados:

Tabela 5.79: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço médio, caso *linear*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	180	90	1,50	0,67
	2	300	150	1,00	1,00
P2	2	240	120	0,96	1,04
	3	93	46	0,93	1,07
P3	1	200	100	0,57	1,75
	3	67	33	0,95	1,05

Tabela 5.80: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço médio, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2280,00	100,00	256,50	2636,50
	2	6000,00	150,00	540,00	6690,00
P2	2	5250,00	208,33	453,60	5911,93
	3	2300,00	214,48	214,48	2728,96
P3	1	6475,00	166,25	277,50	6918,75
	3	1050,00	99,87	99,87	1249,74

Tabela 5.81: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço médio, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	84,38	720,00	4.854,38
	2				
P2	2	4.500,00	112,61	599,40	5.212,01
	3				
P3	1	12.077,00	521,91	347,10	12.946,01
	3				

Tabela 5.82: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço médio, caso *linear*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.326,50
P2	Empresas 2 e 3	8.640,89
P3	Empresas 1 e 3	8.168,49

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{23.012,40}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.326,50 + 8.640,89 + 8.168,49}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{49.148,28}$$

Para o perfil *quadrático* de consumo, os resultados foram (Tabelas 5.83 a 5.86):

Tabela 5.83: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço médio, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	180	90	1,50	0,67
	2	300	150	1,00	1,00
P2	2	240	120	0,96	1,04
	3	114	57	1,14	0,88
P3	1	400	200	1,14	0,88
	3	82	41	1,17	0,86

Tabela 5.84: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço médio, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2280,00	100,00	171,00	2551,00
	2	6000,00	150,00	360,00	6510,00
P2	2	5250,00	208,33	302,40	5760,73
	3	2300,00	175,12	175,12	2650,24
P3	1	6300,00	83,13	360,00	6743,13
	3	1050,00	81,55	81,55	1213,10

Tabela 5.85: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço médio, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	84,38	480,00	4.614,38
	2				
P2	2	4.500,00	105,93	424,80	5.030,73
	3				
P3	1	12.077,00	289,11	417,73	12.783,84
	3				

Tabela 5.86: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço médio, caso *quadrático*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.061,00
P2	Empresas 2 e 3	8.410,97
P3	Empresas 1 e 3	7.956,23

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.428,95}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.061,00 + 8.410,97 + 7.956,23}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = 47.857,15$$

E, para o perfil *exponencial* de consumo, os seguintes resultados foram observados (Tabelas 5.87 a 5.90):

Tabela 5.87: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço médio, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	180	90	1,50	0,67
	2	150	75	0,50	2,00
P2	2	240	120	0,96	1,04
	3	90	45	0,90	1,11
P3	1	200	100	0,57	1,75
	3	51	25	0,73	1,38

Tabela 5.88: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço médio, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2280,00	100,00	440,18	2820,18
	2	6150,00	300,00	474,93	6924,93
P2	2	5250,00	208,33	778,43	6236,76
	3	2300,00	222,22	355,24	2877,46
P3	1	6475,00	166,25	476,22	7117,47
	3	1050,00	130,84	130,84	1311,68

Tabela 5.89: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço médio, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	122,73	576,16	4.748,88
	2				
P2	2	4.500,00	113,64	691,39	5.305,02
	3				
P3	1	12.077,00	555,18	379,80	13.011,98
	3				

Tabela 5.90: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço médio, caso *exponencial*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.745,11
P2	Empresas 2 e 3	9.114,22
P3	Empresas 1 e 3	8.429,15

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{23.065,89}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.745,11 + 9.114,22 + 8.429,15}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{50.354,37}$$

5.3.3.2 Resultados da aplicação de descontos por preço marginal

A aplicação de *descontos por preço marginal* (segundo o esquema apresentado na Tabela 5.13) apresentou os seguintes resultados (Tabelas 5.91 a 5.94):

Tabela 5.91: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso *linear*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	139	69	1,15	0,87
	2	191	95	0,64	1,57
P2	2	349	174	1,40	0,72
	3	121	60	1,21	0,83
P3	1	153	76	0,44	2,29
	3	100	50	1,43	0,70

Tabela 5.92: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2477,94	129,90	214,60	2822,44
	2	6267,63	235,27	359,65	6862,55
P2	2	5765,99	143,33	724,12	6633,44
	3	2411,86	165,72	291,08	2868,66
P3	1	6650,00	217,67	217,67	7085,34
	3	1133,86	66,39	162,25	1362,50

Tabela 5.93: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço marginal, caso *linear*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	122,73	495,00	4.667,73
	2				
P2	2	4.500,00	79,79	846,00	5.425,79
	3				
P3	1	12.077,00	550,79	328,90	12.956,69
	3				

Tabela 5.94: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço marginal, caso *linear*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.684,99
P2	Empresas 2 e 3	9.502,10
P3	Empresas 1 e 3	8.447,84

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{23.050,21}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.684,99 + 9.502,10 + 8.447,84}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{50.685,14}$$

Para o perfil *quadrático* de consumo, os resultados foram (Tabelas 5.95 a 5.98):

Tabela 5.95: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	230	115	1,92	0,52
	2	234	117	0,78	1,28
P2	2	427	213	1,71	0,59
	3	148	74	1,47	0,68
P3	1	272	136	0,78	1,29
	3	123	61	1,75	0,57

Tabela 5.96: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2420,67	78,15	232,32	2731,14
	2	6246,05	192,09	292,64	6730,78
P2	2	5671,30	117,03	581,53	6369,86
	3	2391,33	135,31	235,64	2762,28
P3	1	6603,85	122,41	256,26	6982,52
	3	1118,47	54,21	130,68	1303,36

Tabela 5.97: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço marginal, caso *quadrático*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	87,28	464,00	4.601,28
	2				
P2	2	4.500,00	65,22	690,00	5.255,22
	3				
P3	1	12.077,00	352,78	342,33	12.772,12
	3				

Tabela 5.98: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço marginal, caso *quadrático*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	9.461,92
P2	Empresas 2 e 3	9.132,14
P3	Empresas 1 e 3	8.285,88

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.628,62}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{9.461,92 + 9.132,14 + 8.285,88}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{49.508,56}$$

E, para o perfil *exponencial* de consumo, os seguintes resultados foram observados (Tabelas 5.99 a 5.102):

Tabela 5.99: Perfil de estoque e de pedidos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Dados de estoque e pedidos nos consumidores			
		Tamanho do lote	Estoque inter. médio (C)	Tempo de fluxo (sem.)	Nº de pedidos/sem.
P1	1	106	53	0,88	1,13
	2	118	59	0,39	2,55
P2	2	176	88	0,71	1,42
	3	77	38	0,77	1,30
P3	1	117	58	0,33	3,00
	3	76	38	1,09	0,92

Tabela 5.100: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos nos consumidores (descontos por preço marginal, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) nos consumidores			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	2502,11	170,17	283,86	2956,14
	2	6300,00	382,04	382,04	7064,08
P2	2	6090,97	284,14	662,17	7037,28
	3	2458,35	259,31	325,38	3043,04
P3	1	6650,00	285,15	285,15	7220,30
	3	1159,86	86,97	217,42	1464,25

Tabela 5.101: Perfil de custos (em UMP's) dos produtos no fabricante (descontos por preço marginal, caso *exponencial*).

Peça	Empresa	Custos (semanais) no fabricante			Total
		Material	Ab. de pedidos	Armazenagem	
P1	1	4.050,00	180,80	391,09	4.621,89
	2				
P2	2	4.500,00	148,22	530,06	5.178,29
	3				
P3	1	12.077,00	722,02	292,04	13.091,06
	3				

Tabela 5.102: Perfil de custos (em UMP's) agrupados por empresa (descontos por preço marginal, caso *exponencial*).

Peça	Adquirida por	Total
P1	Empresas 1 e 2	10.020,22
P2	Empresas 2 e 3	10.080,32
P3	Empresas 1 e 3	8.684,55

O custo observado na cadeia de suprimentos será (em UMP's):

$$\underbrace{22.891,23}_{\text{Custos gerados pelo produtor}} + \underbrace{10.020,22 + 10.080,32 + 8.684,55}_{\text{Custos gerados pelos consumidores}} = \mathbf{51.676,32}$$

Pode-se notar que os custos no fabricante (Tabelas 5.81, 5.85, 5.89, 5.93, 5.97 e 5.101) não passaram por alterações sensíveis, ao passo que, para os consumidores, houve, em média, uma redução nos custos de abertura de pedidos e aumento nos custos de armazenagem. Entretanto, a soma destes valores levou, de modo geral, à diminuição dos custos da cadeia, indicando como melhor opção o uso de *descontos por preço médio*.

Tanto na ausência de esquemas de descontos como na presença deles, notou-se que o menor custo é dado para o perfil de consumo quadrático. Deste modo, a conclusão a que se chega é que, para o cenário montado, é melhor organizar a produção e incentivar sua maior taxa de saída (*throughput*) no início de cada período de ciclo t (semanal), de modo a aproximar a curva de consumo o mais possível deste comportamento quadraticamente decrescente.

Outro fato a que se deve dar importância é que algumas das quantidades de pedidos por semana excedem a capacidade do fornecedor de atendê-los. Assim, a adoção de fornecedores alternativos deve ser considerada desde que estes, devidamente integrados aos processos da cadeia de suprimentos, ofereçam condições de entrega semelhantes ao fornecedor primário (que, neste cenário, é o fabricante de fixadores em análise). Também é possível, por parte dos clientes, tomar estoques de segurança para garantir suas vendas, conforme se verá a seguir.

5.3.4 O uso de estoques de segurança

Conforme exposto no Capítulo 3, estoques de segurança são um reforço dos estoques intermediários. Deste modo, na prática, o que se calcula é em quanto este estoque aumentará e avaliar os impactos financeiros observados.

De acordo com a equação [3.66] do capítulo citado (Seção 3.4.3.1), pode-se obter o estoque de segurança básico conhecendo-se a distribuição média da demanda, o ponto de reposição e o tempo gasto na mesma a partir do momento em que aquele é atingido. Assim, para o melhor caso anteriormente obtido (uso de fatores de descontos por preço médio e perfil de consumo quadrático), os seguintes níveis de estoque de segurança podem ser calculados (Tabela 5.103):

Tabela 5.103: Estoques de segurança para o caso de esquema de descontos por preço médio e perfil quadrático.

Peça	Empresa	Dados de estoque			
		Estoque inter. médio (C)	Estoque de segurança (E_s)	Estoque total	Custo de E_s
P1	1	180	63	243	1.711,55
	2	300	88	388	2.534,24
P2	2	240	106	346	3.365,90
	3	114	49	163	1.755,66
P3	1	400	96	496	2.302,95
	3	82	34	116	906,95

Os custos de E_s na tabela acima (bem como os da Tabela 5.107) foram computados admitindo-se que os estoques de segurança são formados de modo a serem consumidos de acordo com um perfil linear em um ambiente sem faltas permitidas e com reposição imediata. Deste modo, empregaram-se as equações [3.1], [3.2] e [3.8] (Capítulo 3) para calcular os gastos com material, abertura de pedidos e armazenagem, respectivamente. O custo total de geração deste estoque de segurança será de 12.577,25 UMP's, distribuídos pelas empresas consumidoras da cadeia de suprimentos.

Sob o modelo de revisão contínua (Seção 3.4.3.1), os níveis de serviço ao cliente para os dados da Tabela 5.103, fornecidos pelo SIPES, são (Tabela 5.104):

Tabela 5.104: Níveis de serviço ao cliente.

Peça	Empresa	Níveis de serviço ao cliente
P1	1	56,07%
	2	52,85%
P2	2	51,07%
	3	55,93%
P3	1	54,74%
	3	53,20%

Estes níveis (obtidos por meio da equação [3.76] do Capítulo 3) indicam a capacidade das empresas compradoras de suprirem suas encomendas a partir dos estoques de que dispõem a cada ciclo de reposição.

A taxa de provimento de produtos (T_{pd}) para cada empresa e a demanda média por um produto que não pôde ser satisfeita no tempo $G(F_r)$ (equações [3.67] e [3.74], Capítulo 3), por turno, são dadas via SIPES por (Tabela 5.105, à próxima página):

Tabela 5.105: Indicadores de disponibilidade dos produtos.

Peça	Empresa	Demanda média não satisfeita (centos de produtos)	Taxa de provimento de serviço
P1	1	2,57	97,93%
	2	7,65	95,60%
P2	2	10,80	94,88%
	3	5,51	94,07%
P3	1	3,59	98,10%
	3	2,47	96,31%

Se for exigido um mínimo de 70% de nível de serviço ao cliente, então (equação [3.79], Capítulo 3) os novos níveis de estoque de segurança serão os observados na Tabela 5.106 a seguir, a um custo de 13.370,47 UMP's distribuídos pelas empresas consumidoras da cadeia de suprimentos:

Tabela 5.106: Novos níveis de estoque de segurança para $N_s = 70\%$.

Peça	Empresa	Nível de estoque de segurança anterior	Novo nível de estoque de segurança	Custo do novo nível de E_s
P1	1	63	66	1.764,83
	2	88	98	2.702,63
P2	2	106	120	3.691,02
	3	49	55	1.882,29
P3	1	96	100	2.375,11
	3	34	37	954,59

A Tabela 5.107 (próxima página) exhibe alguns níveis de serviço adicionais e os correspondentes tamanhos de estoque de segurança necessários para alcançá-los, bem como seus custos associados.

Tabela 5.107: Diferentes níveis de serviço e tamanhos de estoques de segurança.

Peça	Empresa	Nível de serviço				
		75%	80%	90%	95%	99%
P1	1	67	69	72	75	80
	2	101	105	114	122	136
P2	2	124	129	141	152	171
	3	58	61	68	74	86
P3	1	102	103	108	112	119
	3	38	39	42	45	49
Custos totais (em UMP's)		13.648,54	13.961,69	14.804,35	15.516,68	16.883,28

As próximas duas figuras (Figuras 5.4 e 5.5) exibem graficamente os dados das Tabelas 5.107 para melhor visualização do comportamento dos níveis de estoque em relação a seus custos e níveis de serviço.

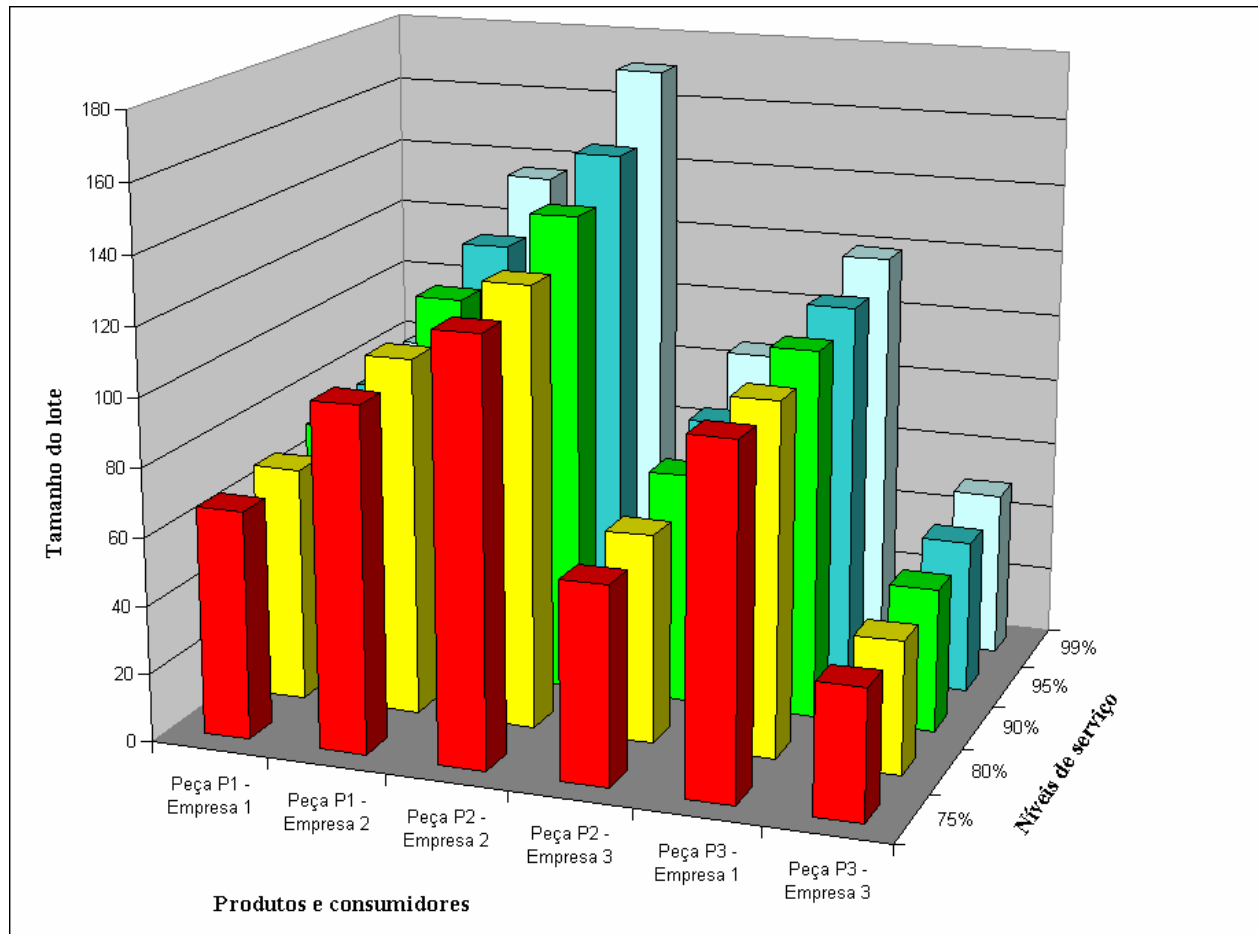


Figura 5.4: Gráfico *Tamanho do lote x Produtos x Níveis de serviço*.

Na figura seguinte, cada grupo de barras corresponde ao tamanho do lote, seguindo a ordem da Tabela 5.107. Deste modo, a primeira barra (correspondente a 1.786,66) relaciona-se à quantidade de estoque de segurança para a peça P1 no consumidor Empresa 1, a segunda barra (correspondente a 2.760,47) relaciona-se à quantidade de estoque de segurança para a peça P1 no consumidor Empresa 2), e assim sucessivamente.

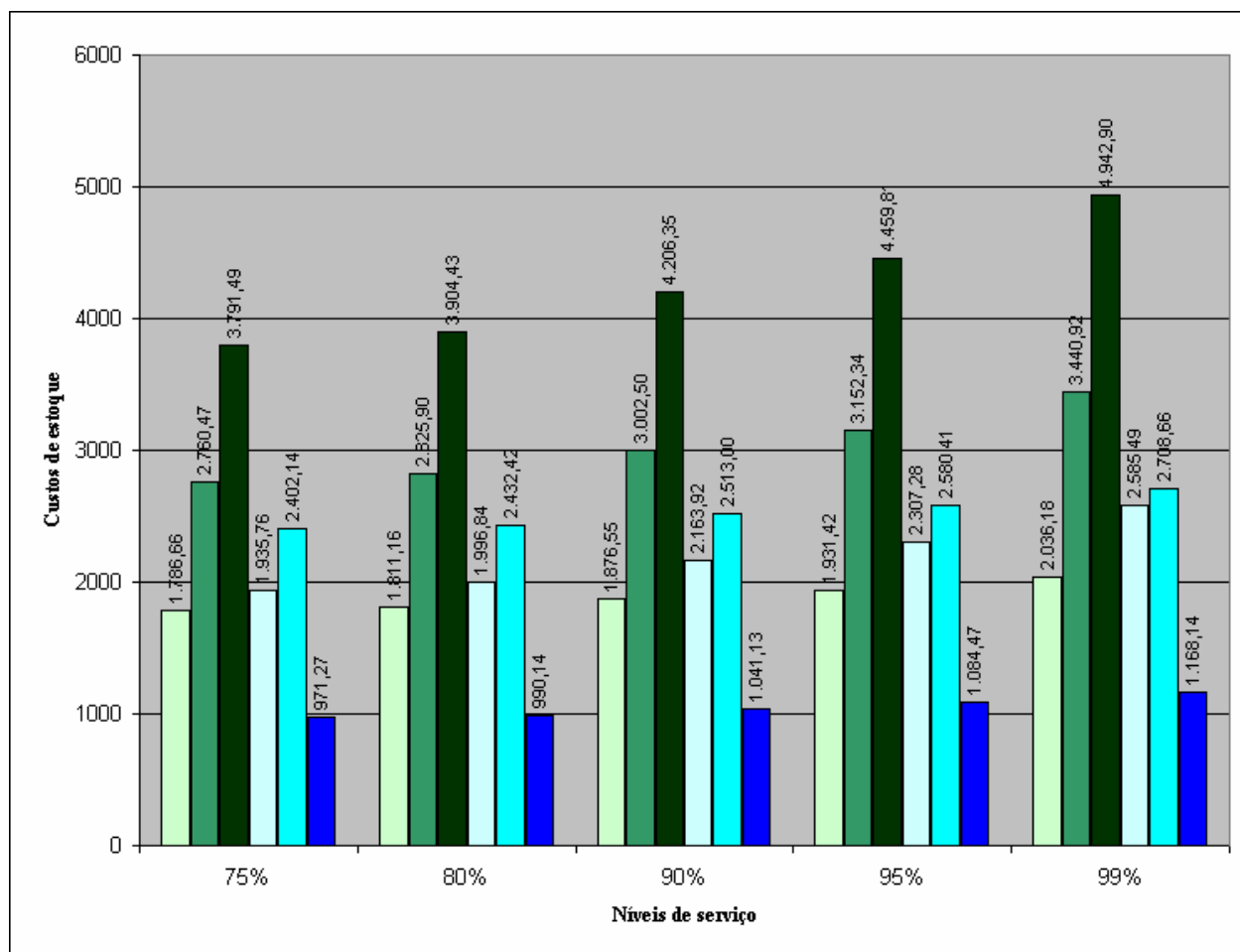


Figura 5.5: Perfil *Níveis de serviço* x *Incremento nos custos*.

Capítulo 6

Conclusões e sugestões para próximos trabalhos

6.1 Conclusões finais

O presente trabalho teve por meta fornecer estratégias de tratamento matemático (segundo as expostas no Capítulo 3) e computacional (Capítulo 4) acerca dos diversos tipos de estoques que se originam naturalmente durante as operações direta ou indiretamente ligadas à produção, observadas nas empresas. Tais estoques, com finalidades distintas (porém complementares) apresentam considerações que convergem para um ponto comum: a necessidade de minimização dos gastos inerentes ao seu gerenciamento na presença ou não de condições especiais e/ou restritivas.

Deste modo, foram abordados diversas variações e extensões do modelo do lote econômico como gerador de *estoque intermediários* (dedicado à manutenção da disponibilidade de materiais para os processos de curto e médio prazo) e o *estoque de segurança* (destinado ao suprimento de demandas não previstas), tendo sido derivadas diversas metodologias (a partir dos modelos clássicos e híbridos destes) para o cálculo de certos indicadores de desempenho essenciais à determinação de suas quantidades ótimas.

A seguir, dada a importância dos sistemas de apoio à tomada de decisão e dos simuladores em computador de processos discretos como ferramenta associada, construiu-se um modelo de sistema de informação com foco na distribuição, em uma cadeia de suprimentos, de dados sobre estoques de cada um de seus elos, permitindo que políticas conjuntas de controle sejam adotadas.

A idéia do SIPES (Capítulo 4) é que cada integrante da cadeia possua um ou mais sistemas produtivos (*i.e.* relativos a um ou mais produtos) modelados em uma linguagem de simulação em computador (que, neste trabalho, é representada pelo ProModelTM 2001) e acessíveis em toda a rede por meio de aplicações locais.

O maior benefício propiciado por esta interação é a unificação das variadas idéias que cada empresa pode ter a respeito de seus próprios níveis de estoque intermediário e de segurança. Demonstrou-se (Capítulo 5) que decisões individuais tomadas em cada elo sobre estes parâmetros podem interferir negativamente no lucro total da cadeia, motivo pelo qual surge claramente a necessidade da articulação entre seus membros por meio de um sistema de informação que a torne possível.

A simulação dos sistemas produtivos, por sua vez, facilita a geração de dados de estoques a partir de dados primários de entrada como tempos de processamento e chegadas de matérias-primas, estendendo as possibilidades de articulação inter-empresas aos seus próprios processos de fabricação, aumentando, assim, a coordenação entre as partes interessadas.

O SIPES, entretanto, apresenta algumas limitações técnicas oriundas dos elementos que o formam. A mais significativa é a falta de um processo que automatize o início das simulações a partir de um cliente, com conseqüente fornecimento de seus resultados à toda rede, devido à impossibilidade de execução do ProModelTM 2001 por meio de linhas de comando. Se esta funcionalidade pudesse ser utilizada, o mecanismo de troca de mensagens (Seção 4.2) incluiria ações como *ativação de simulação* e *organização de resultados em arquivos*, aumentando a flexibilidade do sistema.

A versão empregada do ProModelTM 2001 também não permite a exportação de seus diversos tipos de gráficos (criados pelo módulo de estatísticas) para formatos conhecidos (*e.g.* Microsoft[®] ExcelTM) pois não usa a tecnologia OLETM¹, tornando algo mais complexa a tarefa de geração de relatórios visuais pelo SIPES os certos resultados advindos da simulação.

¹ OLE (*Object Linking and Embedding*TM) é uma tecnologia da Microsoft[®] que permite a troca de objetos comuns entre aplicativos distintos, oferecendo os mesmos métodos e propriedades de tratamento.

Outra limitação é a falta de capacidade analítica do cliente *web*, que se restringe à simples passagem de parâmetros para a simulação. Nesta versão, cálculos, análises e gerações de gráficos são feitos pelo cliente convencional (Seção 4.4.1) executado nas estações individuais.

6.2 Trabalhos futuros

Apesar da eficiência do SIPES, diversas modificações podem ser adotadas, principalmente para melhorar a interação com o usuário. Como exemplo, é possível aproveitar o modelo e empregar linguagens de programação orientadas a objetos e voltadas à Internet para a construção de um aplicativo cujo funcionamento será inteiramente baseado em navegadores, em lugar da utilização de um módulo à parte para gerar os arquivos de dados que serão enviados ao servidor de simulação e executar as análises dos resultados.

Por outras palavras, o que se cogita é a possibilidade de transferência destas funções para um provável *servidor de análises*, que é a abordagem mais adequada na estruturação da *Plataforma de Servidores Organizacionais* citada na Seção 2.11 e cuja força direcionadora (o *rightsizing*) é de grande importância na redução de custos, além de promover a escalabilidade² dos serviços.

Um exemplo de linguagem extremamente útil para os propósitos acima citados é o JavaTM, da Sun Microsystems[®], de que a grande maioria dos portais e páginas da Internet já se serve para comunicações remotas entre bancos de dados. Permite o uso de elementos tradicionais dos sistemas operacionais visuais (como caixas de verificação, de lista e botões) na composição de páginas *web* e possui total autonomia em relação à plataforma devido ao conceito denominado JVM (*Java Virtual Machine*TM)³, que lhe confere uma natureza simultaneamente compilada⁴ e interpretada⁵.

² Seção 4.2.

³ Maiores detalhes sobre a linguagem Java podem ser encontrados em *The Java Tutorial: Object-Oriented Programming for the Internet* (Campioni e Walrath, Addison-Wesley, 1998).

⁴ Em uma *linguagem compilada*, o código fonte é traduzido para linguagem de máquina em uma única operação cujo resultado (código objeto) é o que será executado a partir daí. *Exemplos*: PascalTM e CTM.

⁵ Nas *linguagens interpretadas*, o código fonte vai sendo executado à medida em que é traduzido para linguagem de máquina pelo interpretador, o que pode tornar o funcionamento do código objeto lento. *Exemplos*: primeiras versões do BASICTM para máquinas de 8 bits.

Além desta liberdade em termos de *software*, a reformulação do subsistema de acesso a dados por meio do modelo *three-tier*⁶ torná-lo-ia independente da base utilizada, ampliando seu espectro de utilização a outros sistemas computacionais e aumentando sua adequação, sob os preceitos da arquitetura cliente/servidor.

Estas são apenas algumas das sugestões que podem incrementar os recursos já existentes neste sistema de informação e fornecer idéias para trabalhos semelhantes nas demais áreas de pesquisa sobre os pilares técnicos da filosofia SCM.

⁶ O modelo *three-tier* é uma variação da arquitetura cliente/servidor na qual a interface com o usuário, a lógica dos aplicativos, bancos de dados e modos de acesso são desenvolvidos e mantidos em módulos independentes (geralmente até mesmo em máquinas diferentes).

Referências e bibliografia

Agility Forum, *Agile Customer-Supplier Relations*, Agility Forum, 1994.

Baber, C., *Keeping Mice in the Control Room: the Pros and Cons of Mouse Driven Interfaces for Process Control*, in *Advances in Agile Manufacturing*, P. T. Kidd e W. Karwowski (editores), IOS Press, 1994 (pp. 281-284).

Ballou, R. H., *Business Logistics / Supply Chain Management*, 5th ed., Prentice-Hall, 2003 – livro.

Barry, N., *Programação Cliente/Servidor para Redes Locais*, Axcel Books, 1994 – livro.

Bauer, F. L., *Software Engineering*, in *Encyclopedia of Computer Science*, A. Ralston e C. L. Meek (editores), Petrocelli/Charter, 1976.

Bazaraa, M. S. *et al.*, *Linear Programming and Network Flows*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1990 – livro.

Bertaglia, P. R., *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento*, Editora Saraiva, 2003 – livro.

Bowersox, D. J. *et al.*, *Logistical Management – The Integrated Supply Chain Process*, McGraw-Hill International Editions, 1996 – livro.

Bramel, J. *et al.*, *The Logic of Logistics*, Springer Series in Operations Research, Springer, 1997 – livro.

Brealey, R. A. *et al.*, *Principles of Corporate Finance*, McGraw-Hill, 2000 – livro.

Burns, A. *et al.*, *Concurrent Programming*, Addison-Wesley, 1993 – livro.

Bush, V., *As We May Think*, The Atlantic Monthly (July), 1945.

Carlton, D. W. *et al.*, *Modern Industrial Organization*, Harper Collins, 1994 – livro.

Castello, B. E. *et al.*, *EOQ Rides Again!*, Department of Applied Mathematics and Statistics, The John Hopkins University, Baltimore, 2006 – artigo em PDF baixado de “www.mts.jhu.edu/~castello/EOQRidesAgainRevisionI.pdf” em 10/03/2006.

Certo, S. C., *Administração Estratégica: Planejamento e Implantação da Estratégia*, Makron Books, 1993 – livro.

Chan, W. M. *et al.*, *A New EPQ Model: Integrating Lower Pricing, Rework and Reject Situations*, Production and Planning Control, vol. 14, pp. 588 – 595, 2003.

Chen, J. M., *An Inventory Model for Deteriorating Items with Time-Proportional Demand and Shortages under Inflation and Time Discounting*, International Journal of Production Economics vol. 55, pp. 21 – 30, 1998.

Christopher, M., *Logistic and Supply Chain Management*, 2nd ed., Prentice-Hall, 1998 – livro.

Chopra, S. *et al.*, *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*, Prentice-Hall, 2001 – livro.

Coulouris, G. F., *et al.*, *Distributed Systems: Concepts and Design*, 3rd ed., Addison-Wesley, 2001 – livro.

Dagnone, C. A. F., *Projeto de Desenvolvimento de um Sistema de Planejamento da Manufatura*, Campinas: Departamento de Engenharia de Fabricação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000, 153 p. Dissertação (Mestrado).

Daskin, M. S., *Network and Discrete Location – Models, Algorithms and Applications*, Wiley Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, John Wiley & Sons, 1995 – livro.

Deboni, J. E. Z., *Modelagem Orientada a Objetos com a UML*, Futura, 2003 – livro.

Downing, D., *Estatística Aplicada*, Editora Saraiva, 1999 – livro.

Duguid, P. et al., *Estrutura e Espontaneidade: Conhecimento e Organização*, in *Gestão Estratégica do Conhecimento: Integrando Aprendizagem, Conhecimento e Competências*, M. T. M. Fleury e M. M. Oliveira Jr. (organizadores), Editora Atlas S.A., 2001 (pp. 50 – 78).

Eberts, R. E., *User Interface Design*, Prentice-Hall, 1994 – livro.

Fleury, A. et al., *Estratégias Empresariais e Formação de Competências: um Quebra-cabeça Caleidoscópico da Indústria Brasileira*, Editora Atlas S.A., 2000 – livro.

Fisher, M. L., *What Is the Right Supply Chain for Your Product?*, Harvard Business Review (March-April, 1997), pp. 105-116.

Gomes, F. P., *Iniciação à Estatística*, 2ª ed., Nobel, 1968 – livro.

Goranson, H. T., *The Agile Virtual Enterprise: Cases, Metrics, Tools*, Quorum Books, 1999 – livro.

Gosney, J. W., *ASP Programming for the Absolute Beginner*, Course Technology PTR, 1ª edição, 2002 – livro.

Grabow, P. C. *et al.*, *Reusable Software Concepts and Software Development Methodologies*, in *System and Software Requirements Engineering*, R. H. Thayer e M. Dorfman (editores), IEEE Computer Society Press Tutorial, pp. 539-542, 1990.

Greenberg, P., *CRM at the Speed of Light*, McGraw-Hill, 2001 – livro.

Gross, J. *et al.*, *Graph Theory and its Applications*, CRC Press, 1998 – livro.

Guidorizzi, H. L., *Um Curso de Cálculo (volume I)*, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1993 – livro.

Haberkorn, E. M., *Gestão Empresarial com ERP*, Microsiga Intelligence, 2003 – livro.

Haksever, C. *et al.*, *A Model for Optimizing Multi-Product Inventory Systems with Multiple Constraints*, International Journal of Production Economics, vol. 97, pp. 18 – 30, 2005.

Hanssmann, F., *Operations Research in Production and Inventory Control*, John Wiley & Sons, 1962 – livro.

Harrel, C. R. *et al.*, *Simulação – Otimizando os Sistemas*, Instituto IMAM, 2002 – livro.

Harrel, C. R. *et al.*, *Simulation Using ProModel*, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2003 – livro.

Hong, Y. C., *Gestão de Estoques na Cadeia Logística Integrada (Supply Chain)*, Atlas, 1999 – livro.

Hursch, C. J. *et al.*, *Linguagem de Consulta Estruturada SQL*, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1990 – livro.

- Kleber, R. *et al.*, *A Continuous Time Inventory Model for a Product Recovery System with Multiple Options*, International Journal of Production Economics, vol. 79, pp. 121 – 141, 2002.
- Lampson, B. W. *et al.*, *Distributed Systems Architecture and Implementation: An Advanced Course*, Springer, 1988 – livro.
- Laudon, K. C. *et al.*, *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*, 7th ed., Prentice-Hall, 2002 – livro.
- Law, A. *et al.*, *Simulation Modelling and Analysis*, McGraw-Hill Education, 2000 – livro.
- Mandel, T., *The Elements of User Interface Design*, John Wiley & Sons, 1997 – livro.
- Matsuyama, K., *The EOQ-Models Modified by Introducing Discount of Purchase Price or Increase of Setup Cost*, International Journal of Production Economics, vol. 73, pp. 83 – 99, 2001.
- McDermid, J. A., *Software Engineer's Reference Book*, Butterworth-Heinemann Ltd., 1991 – livro.
- Nahmias, S., *Production and Operations Analysis*, Irwin, 1997 – livro.
- O'Brien, J. A., *Management Information Systems: Managing Information Technology in the E-Business Enterprise*, 6th ed., McGraw-Hill, 2003 – livro.
- Oliveira Jr., M. M., *Competências Essenciais e Conhecimento na Empresa, in Gestão Estratégica do Conhecimento: Integrando Aprendizagem, Conhecimento e Competências*, M. T. M. Fleury e M. M. Oliveira Jr. (organizadores), Editora Atlas S.A., 2001 (pp. 121 – 151).
- Orfali, R. *et al.*, *Essential Client/Server Survival Guide*, John Wiley & Sons, 1994 – livro.

- Papachristos, S. *et al.*, *Economic Ordering Quantity Models for Items With Imperfect Quality*, International Journal of Production Economics, vol. 100, pp. 148 – 154, 2006.
- Paula Filho, *Engenharia de Software: Fundamentos, Métodos e Padrões*, 2^a ed., Livros Técnicos e Científicos Editora, 2003 – livro.
- Perin Filho, C., *Introdução à Simulação de Sistemas*, Editora da Unicamp, 1995 – livro.
- Pidd, M., *Computer Simulation in Management Science*, 4th ed., John Wiley & Sons, 1998 – livro.
- Plossl, G. W., *Production and Inventory Control*, 2nd ed., Prentice-Hall, 1985 – livro.
- Poirier C. C., *Advanced Supply Chain Management – How to Build a Sustained Competitive Advantage*, Berrett-Koehler Publishers, 1999 – livro.
- Porter, M., *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, Free Press, 1998 – livro.
- Prahalad, C. K., *The Core Competence of the Corporation*, Harvard Business Review (Maio-Junho, 1990), pp. 79-91.
- Renaud, P. E., *Introduction to Client/Server Systems: A Practical Guide for Systems Professionals*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1996 – livro.
- Rezende, D. A., *Engenharia de Software Empresarial*, Brasport, 1997 – livro.
- Riggs, D. A., et al., *The Executive's Guide to Supply Management Strategies – Building Supply Chain Thinking Into All Business Processes*, AMACON (American Management Association), 1997 – livro.

- Rios, L. O., *Cooperativas Brasileiras: Manual de Sobrevivência e Crescimento Sustentável*, Editora STS, 1998 – livro.
- Ross, D. F., *Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships*, Chapman & Hall, 1998 – livro.
- Silberschatz, A. et al., *Database System Concepts*, McGraw-Hill, 1991 – livro.
- Silver, E. A. et al., *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, John Wiley & Sons, 1998 – livro.
- Sphicas, G. P., *EOQ and EPQ with Linear and Fixed Backorder Costs: Two Cases Identified and Models Analyzed without Calculus*, International Journal of Production Economics, vol. 100, pp. 59 – 64, 2006.
- Standish, T. A., *Data, structures, algorithms and software principles*, Addison-Wesley, 1994 – livro.
- Sutcliffe, A., *Human-computer Interface Design*, 2nd ed., Macmillan, 1995 – livro.
- Swift, R. S., *Accelerating Customer Relationships: Using CRM and Relationship Technologies*, Prentice-Hall, 2001 – livro.
- Tanenbaum, A. S., *Computer Networks*, Englewood Cliffs, 1989 – livro.
- Tanenbaum, A. S., *Modern Operating Systems*, Prentice-Hall, 1992 – livro.
- Tanenbaum, A. S., *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, Prentice-Hall, 2002 – livro.
- Tayur, S., et al., *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Kluwer Academic Publishers, 1999 – livro.

Telles, R., *B2B Marketing Empresarial*, Editora Saraiva, 2003 – livro.

Tielemans, P. *et al.*, *An Exploration of Models that Minimize Lead Time Through Batching of Arrived Orders*, European Journal of Operations Research, vol. 95, pp. 374 – 389, 1996.

Vaughan, T., *Lot Size Effects on Process Lead Time, Lead Time Demand, and Safety Stock*, International Journal of Production Economics, vol. 100, pp. 1 – 9, 2006.

Wang, Y. *et al.*, *Software Engineering Processes – Principles and Applications*, CRC Press, 2000 – livro.

Watson, R. T., *Data Management: Databases and Organizations*, 4th ed., John Wiley & Sons, 2003 – livro.

Yung-fu, H., *The Deterministic Inventory Models with Shortage and Defective Items Derived without Derivatives*, Journal of Statistics and Management Systems, vol. 6, pp. 171 – 180, 2003.

Referências eletrônicas

Amics Inventory Control Software. Disponível em <http://www.amics2000.com/> (visitado em 15/05/2006).

CS Inventory Control Software. Disponível em <http://www.cs-inventory-software.com/> (visitado em 15/05/2006).

iMagic Inventory. Disponível em <http://www.imagicinventorysoftware.com/> (visitado em 16/05/2006).

SBIC – Small Business Inventory Control. Disponível em <http://www.rytechsoftware.com/> (visitado em 16/05/2006).

Supply Chain Guru. Disponível em **<http://www.promodel.com/>** (visitado em 17/05/2006).

Anexo I

Demonstrações, deduções e resultados analíticos advindos do modelo EOQ

A1.1 Demonstrações e deduções

a) Função de nível de estoque E em termos do tempo (linear)

Seja o seguinte segmento da Figura 3.1 (Capítulo 3) que representa o perfil de consumo em um único tempo de ciclo t (Figura A1.1):

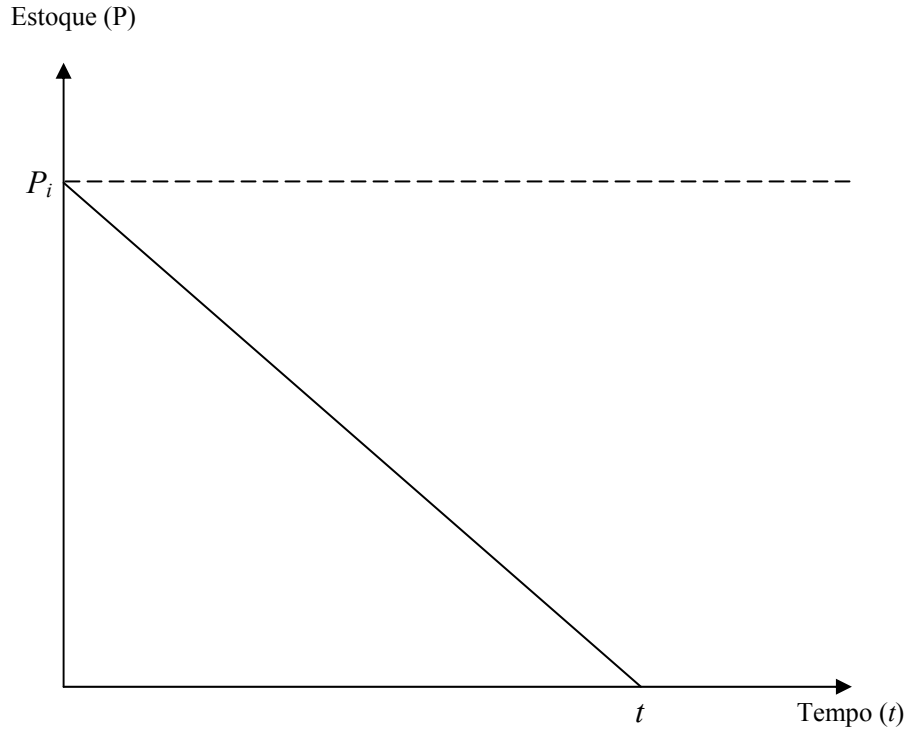


Figura A1.1: Perfil de consumo no modelo do lote econômico em um tempo de ciclo t com $E(x)$ linear.

É fácil perceber que E é uma função afim no formato:

$$E(x) = ax + b \quad [\text{A1.1}]$$

Como $E(0) = P_i$ e $E(t) = 0$, pode-se montar o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} a \cdot 0 + b = P_i \\ a \cdot t + b = 0 \end{cases} \quad [\text{A1.2}]$$

Cuja solução imediata é $a = -\frac{P_i}{t}$ e $b = P_i$. Assim:

$$E(x) = -\frac{P_i}{t}x + P_i \quad [\text{A1.3}]$$

b) Função de nível de estoque E em termos do tempo (quadrática)

Seja o modelo EOQ tradicional (*i.e.*, reposição imediata de estoque intermediário e sem permissão de faltas) com uma função quadrática. Em um ciclo de tempo t o perfil de consumo é o seguinte (Figura A1.2):

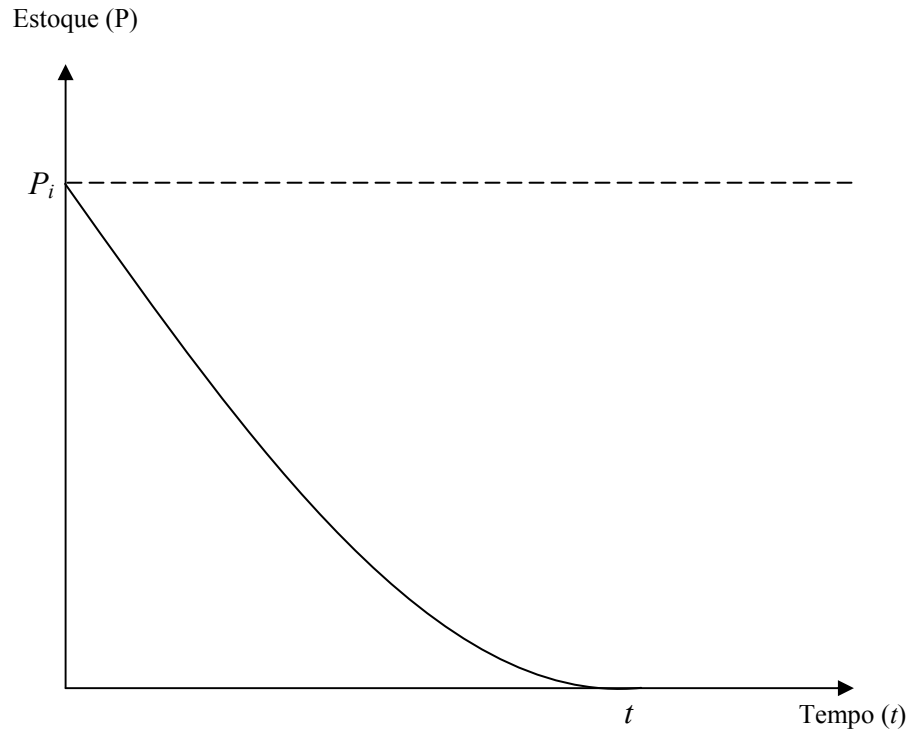


Figura A1.2: Perfil de consumo no modelo do lote econômico em um tempo de ciclo t com $E(x)$ quadrática.

A função E possui o seguinte formato:

$$E(x) = \alpha x^2 + \beta x + \gamma \quad [\text{A1.4}]$$

Tem-se, para esta função, $E(0) = E(2t) = P_i$ ¹ e $E(t) = 0$, o que permite estabelecer o seguinte sistema de equações:

¹ Pela simetria da função quadrática.

$$\begin{cases} \alpha \cdot 0^2 + \beta \cdot 0 + \gamma = P_i \\ \alpha \cdot t^2 + \beta \cdot t + \gamma = 0 \\ 4\alpha \cdot t^2 + 2\beta \cdot t + \gamma = P_i \end{cases} \quad [\text{A1.5}]$$

A primeira equação conduz imediatamente a $\gamma = P_i$. Multiplicando-se a segunda por (-2) e somando-a à terceira, obtém-se $\alpha = \frac{P_i}{t^2}$. Por fim, substituindo as duas variáveis já calculadas em qualquer equação chega-se a $\beta = \frac{-2P_i}{t}$. Assim, a forma final de $E(x)$ será:

$$E(x) = \frac{P_i x^2}{t^2} - \frac{2P_i x}{t} + P_i \quad [\text{A1.6}]$$

c) Função de nível de estoque E em termos do tempo (exponencial)

Nas mesmas condições do item *b*, caso a função $E(x)$ seja uma exponencial apropriada, o perfil de consumo de estoque será (Figura A1.3):

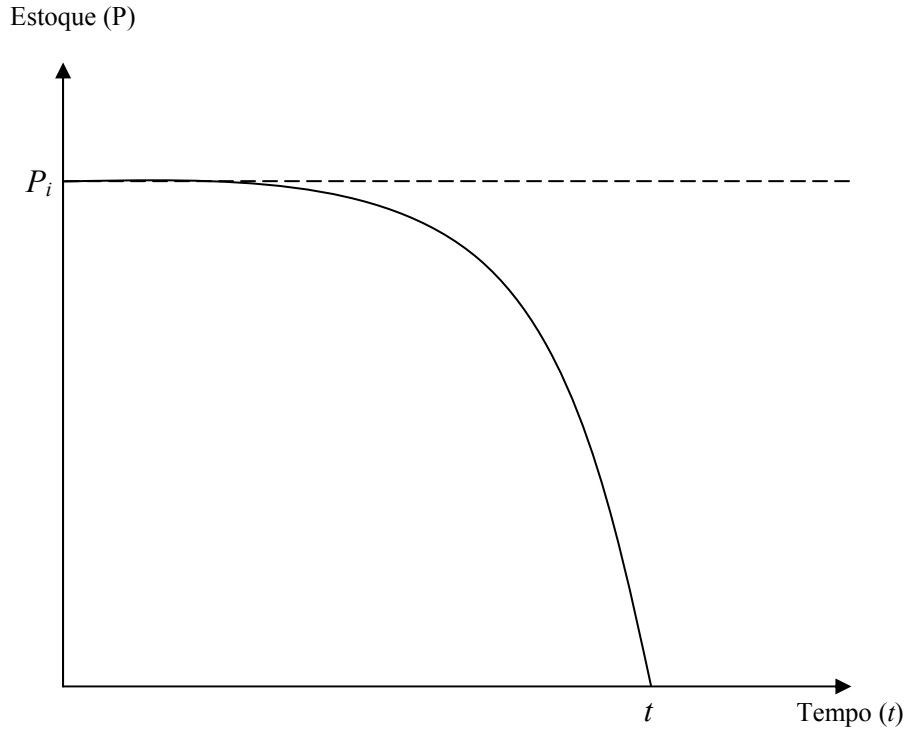


Figura A1.3: Perfil de consumo no modelo do lote econômico em um tempo de ciclo t com $E(x)$ exponencial.

Neste caso, a função E terá o formato:

$$E(x) = ae^x + b \quad [A1.7]$$

Como $E(0) = P_i$ e $E(t) = 0$, a substituição destes valores em [A1.7] gerará:

$$\begin{cases} a \cdot e^0 + b = P_i \\ a \cdot e^t + b = 0 \end{cases} \quad [A1.8]$$

Da primeira equação vê-se que $b = P_i - a$. Colocando b assim obtido na segunda equação, calcula-se $a = \frac{-P_i}{e^t - 1}$, donde imediatamente $b = P_i + \frac{P_i}{e^t - 1}$. Assim, após o rearranjo dos termos:

$$E(x) = \left(\frac{1 - e^x}{e^t - 1} + 1 \right) \cdot P_i \quad [A1.9]$$

d) A função de custos T para o modelo tradicional do lote econômico (equação [3.9], Capítulo 3) admite derivada contínua até 2ª ordem.

Seja m um ponto tal que $m \in D_T$. A função $T(P)^2$ será *derivável* no ponto m se o limite

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T(P) - T(m)}{P - m} \quad [A1.10]$$

existir e for finito, denominando-se tal limite a *derivada de T em m* (indicada por $T'(m)$) (Guidorizzi, 1993).

Para esta demonstração é conveniente considerar $T(P)$ escrita como:

$$T(P) = \frac{aP^2 + bP + c}{2P} \quad [A1.11]$$

com $a = rq$, $b = 2qD$ e $c = 2DO$.

² Não será usado o subíndice i a partir de agora para simplificar a apresentação desta e das demais demonstrações deste anexo.

Deste modo,

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T(P) - T(m)}{P - m} = \lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \left[\frac{aP^2 + bP + c}{2P} - \left(\frac{am^2 + bm + c}{2m} \right) \right] \quad [\text{A1.12}]$$

Desenvolvendo e reagrupando termos convenientemente, chega-se a³:

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{amP - c}{2mP} = \lim_{P \rightarrow m} \frac{amP}{2mP} - \frac{c}{2mP} = \lim_{P \rightarrow m} \frac{amP}{2mP} - \lim_{P \rightarrow m} \frac{c}{2mP} = \lim_{P \rightarrow m} \frac{a}{2} - \lim_{P \rightarrow m} \frac{c}{2mP} \quad [\text{A1.13}]$$

Como a função T é contínua, então a relação de [A1.13] fornecerá, para $P \rightarrow m$:

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T(P) - T(m)}{P - m} = \frac{a}{2} - \frac{c}{2m^2} \quad [\text{A1.14}]$$

Substituindo a e c , tem-se, finalmente, após reagrupamento e simplificação:

$$T'(m) = - \left(\frac{D}{m^2} \right) O + \frac{rq}{2} \quad [\text{A1.15}]$$

A derivada de segunda ordem $T''(m)$ é obtida pelo mesmo princípio. Por outras palavras, deve existir e ser finito o limite:

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T'(P) - T'(m)}{P - m} \quad [\text{A1.16}]$$

Reescrevendo [A1.15] para um ponto geral $P \in D_T$ como:

$$T'(P) = \frac{aP^2 - b}{2P^2} \quad [\text{A1.17}]$$

com $a = rq$ e $b = 2DO$, tem-se, para um ponto m também pertencente a D_T :

³ Usando-se as propriedades do limite.

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T'(P) - T'(m)}{P - m} = \lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \left[\frac{aP^2 - b}{2P^2} - \left(\frac{am^2 - b}{2m^2} \right) \right] \quad [\text{A1.18}]$$

O desenvolvimento dos termos acima conduz a:

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{2b(P + m)}{4m^2 P^2} = \frac{b}{m^3} \quad [\text{A1.19}]$$

Portanto:

$$T''(m) = \left(\frac{2D}{m^3} \right) O \quad [\text{A1.20}]$$

Observações (I):

- Pode-se notar que T' e T'' são contínuas para qualquer m pertencente ao domínio de T (pois são funções polinomiais);
- Não há problemas com o denominador pois o domínio de T são os reais positivos.

e) A função de custos T para o modelo de lote econômico com agregação simples de produtos (equação [3.18], Capítulo 3) admite derivada contínua até 2ª ordem.

A função T deste caso pode ser reescrita (após devido rearranjo de termos) como:

$$T(p) = \frac{2ap^2 + 2bp + rb}{2p} \quad [\text{A1.21}]$$

em que $a = O + \sum_{i=1}^n o_i$ e $b = \sum_{i=1}^n D_i q_i$.

Deste modo, para um ponto m do domínio de T :

$$\lim_{p \rightarrow m} \frac{T(p) - T(m)}{p - m} = \lim_{p \rightarrow m} \frac{1}{p - m} \left[\frac{2ap^2 + 2bp + rb}{2p} - \left(\frac{2am^2 + 2bm + rb}{2m} \right) \right] \quad [\text{A1.22}]$$

Após conveniente desenvolvimento e simplificação, [A1.22] reduz-se a:

$$T'(m) = \lim_{p \rightarrow m} \frac{2amp - rb}{2mp} = \frac{2am^2 - rb}{2m^2} \quad [\text{A1.23}]$$

Substituindo-se a e b no resultado acima, tem-se, para um ponto p geral:

$$T'(p) = \frac{2\left(O + \sum_{i=1}^n o_i\right)p^2 - r\left(\sum_{i=1}^n D_i q_i\right)}{2p^2} \quad [\text{A1.24}]$$

Para a derivada de 2ª ordem, vem, para um ponto m do domínio de T :

$$\lim_{p \rightarrow m} \frac{T'(p) - T'(m)}{p - m} = \lim_{p \rightarrow m} \frac{1}{p - m} \left[\frac{2ap^2 - rb}{2p^2} - \left(\frac{2am^2 - rb}{2m^2} \right) \right] = \frac{rb}{p^3} \quad [\text{A1.25}]$$

Por conseguinte:

$$T''(p) = \frac{r\left(\sum_{i=1}^n D_i q_i\right)}{p^3} \quad [\text{A1.26}]$$

Observações (II):

- As observações (I) também valem para este caso;
- Fazendo-se $T'(p) = 0$ a partir da equação [A1.24] chega-se à equação [3.19] do Capítulo 3;
- Como $T''(p) > 0$ para qualquer $p \in D_T$, então p dado por [3.19] é um ponto de mínimo local para T expresso por [A1.21].

f) A função de custos T para o modelo de lote econômico sob esquema de descontos por preço marginal (equação [3.32], Capítulo 3) admite derivada contínua até 2ª ordem.

A expansão algébrica e rearranjo de termos da equação [3.32] levará, como no item d , à expressão [A1.11] para T , com $a = rq$, $b = 2qD + r(Q - qd)$ e $c = 2D(O + Q - qd)$. Deste modo, o cálculo das expressões $\lim_{P \rightarrow m} \frac{T(P) - T(m)}{P - m}$ e $\lim_{P \rightarrow m} \frac{T'(P) - T'(m)}{P - m}$ resultará nas já calculadas equações [A1.14] e [A1.19] respectivamente.

Para o primeiro caso, diretamente (usando [A1.14]):

$$T'(P) = \frac{rq}{2} + \left[\frac{-D(O + Q - qd)}{P^2} \right] \quad [A1.27]$$

No segundo caso, reescreve-se [A1.27] como [A1.17], com $a = rq$ e $b = 2D(O + Q - qd)$. Usando-se agora [A1.19]

$$T''(P) = \frac{2D(O + Q - qd)}{P^3} \quad [A1.28]$$

Observações (III):

- As observações (I) também valem para este caso, como nos itens d e e ;
- Fazendo-se $T'(P) = 0$ a partir da equação [A1.27] chega-se à equação [3.33] (Capítulo 3)⁴;
- Como $T''(P) > 0$ ⁵ para qualquer $P \in D_T$, então P dado por [3.33] é um ponto de mínimo local para T expresso por [A1.11].

⁴ É interessante notar que $Q - qd > 0$ para qualquer intervalo $[d_j, d_{j+1}[$, dada a própria definição de Q (equação [3.28] do Capítulo 3). Logo, a equação [3.33] não terá radicando negativo.

⁵ Pelo mesmo motivo da nota anterior.

g) A função de custos T genérica para o modelo de lote econômico (equação [3.35] do Capítulo 3) admite derivada contínua até 2ª ordem.

A partir da equação [3.35] e para um ponto m no domínio de T :

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T(P) - T(m)}{P - m} = \lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \left[qD + \left(\frac{D}{P} \right) O + \frac{rqe_t(P)}{t} - qD - \left(\frac{D}{m} \right) O - \frac{rqe_t(m)}{t} \right] \quad [A1.29]$$

Após as devidas simplificações, [A1.29] se torna:

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \left[\frac{DO}{P} + \frac{rqe_t(P)}{t} - \frac{DO}{m} - \frac{rqe_t(m)}{t} \right] \quad [A1.30]$$

Expandindo a expressão e usando as propriedades do limite:

$$\left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \cdot \frac{DO(m - P)}{Pm} \right] + \frac{rq}{t} \left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{e_t(P) - e_t(m)}{P - m} \right] \quad [A1.31]$$

Como $(m - P) = -(P - m)$:

$$\left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \cdot \frac{-DO(P - m)}{Pm} \right] + \frac{rq}{t} \left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{e_t(P) - e_t(m)}{P - m} \right] \quad [A1.32]$$

O segundo limite de [A1.31] é a derivada de $e_t(P)$ em m (pois está sendo suposto que $e_t(P)$ é contínua). Deste modo, procedendo à simplificação em [A1.32]:

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T(P) - T(m)}{P - m} = T'(m) = -DO \left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{Pm} \right] + \frac{rq}{t} e'_t(m) = -\left(\frac{D}{P^2} \right) O + \frac{rq}{t} e'_t(m) \quad [A1.33]$$

Como T' é a soma de duas funções contínuas (os dois termos da equação [A1.33] são contínuos), então T' também será contínua.

A obtenção de $T''(P)$ se dá pelo mesmo processo, para um ponto m do domínio de T :

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T'(P) - T'(m)}{P - m} = \lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \left[\frac{-DO}{P^2} + \frac{rqe'_i(P)}{t} + \frac{DO}{m^2} - \frac{rqe'_i(m)}{t} \right] \quad [A1.34]$$

Novamente, manipulações adequadas da relação acima levam a:

$$DO \left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{1}{P - m} \left(\frac{P^2 - m^2}{P^2 m^2} \right) \right] + \frac{rq}{t} \left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{e'_i(P) - e'_i(m)}{P - m} \right] \quad [A1.35]$$

O segundo limite de [A1.35] é, pelas mesmas considerações anteriores, igual a $e''_i(P)$. Além disto, considerando-se que $(P^2 - m^2) = (P - m)(P + m)$, vem:

$$\lim_{P \rightarrow m} \frac{T'(P) - T'(m)}{P - m} = T''(m) = DO \left[\lim_{P \rightarrow m} \frac{P + m}{P^2 m^2} \right] + \frac{rq}{t} e''_i(P) = \left(\frac{2D}{m^3} \right) O + \frac{rq}{t} e''_i(P) \quad [A1.36]$$

Observações (IV):

- Pela natureza de $e_i(P)$, $e''_i(P) = 0$ sempre (as equações [3.40], [3.45], [3.49] e [3.52] do Capítulo 3 são constantes (*i.e.*, independentes de P));
- Pelo esclarecimento acima, $T''(P) > 0$, confirmando P_i^0 como mínimo local de T .

A1.2 Resultados analíticos

A partir da equação [3.16] (Capítulo 3) relativa ao modelo original do lote econômico, as seguintes observações podem ser feitas:

h) Se a demanda por um produto aumenta por um fator f , o tamanho ótimo de lote P aumentará por um fator $\sqrt{f}$.

Demonstração: seja um produto qualquer pedido em lotes de tamanho P obtido pela equação [3.16], com uma demanda D , um preço unitário q , um custo fixo de pedido O e um percentual de custo de armazenagem r . Mantendo-se as demais variáveis fixas e sendo uma nova demanda D' definida por:

$$D' = fD \quad [A1.37]$$

com $f > 0$, é possível escrever:

$$P' = \sqrt{\frac{2D'O}{rq}} \quad [A1.38]$$

Substituindo-se [A1.37] em [A1.38]:

$$P' = \sqrt{\frac{2fDO}{rq}} \quad [A1.39]$$

Isolando-se f na equação [A1.39], vem:

$$P' = \sqrt{f} \sqrt{\frac{2DO}{rq}} = \sqrt{f} P \quad \blacksquare$$

i) Se a demanda por um produto aumenta por um fator f , o número de pedidos deste produto feitos por unidade de tempo aumentará por um fator $\sqrt{f}$.

Demonstração: considerando-se as mesmas variáveis da situação anterior, seja $p = D/p$ a quantidade de pedidos feitos por unidade de tempo. Substituindo a equação [3.16] (Capítulo 3) nesta relação e rearranjando os termos, obtém-se:

$$p = \sqrt{\frac{Drq}{2O}} \quad [A1.40]$$

Pela equação [A1.37] anterior (considerando as demais variáveis fixas), é válido que:

$$p' = \sqrt{\frac{D'rq}{2O}} = \sqrt{\frac{fDrq}{2O}} \quad [A1.41]$$

Novamente, isolando-se f em [A1.41]:

$$p' = \sqrt{f} \sqrt{\frac{Drq}{2O}} = \sqrt{f} p \quad \blacksquare$$

j) Se a demanda por um produto aumenta por um fator f , o tempo de fluxo deste produto no sistema decrescerá por um fator $\sqrt{f}$.

Demonstração: o tempo de fluxo F de um item i é dado pela lei de Little (Vaughan, 2006):

$$F = \frac{P}{D} \quad [A1.42]$$

em que P é o tamanho do lote (em itens) e D a demanda (em itens/unidade de tempo).

Aplicando a equação [3.16] do Capítulo 3 à equação [A1.42] acima, vem:

$$F = \sqrt{\frac{2DO}{rq}} \frac{1}{D} \quad [A1.43]$$

Para uma nova demanda D' dada pela equação [A1.37] e sob as mesmas condições anteriores, um novo tempo de fluxo F' é escrito como (já substituída a equação [A1.37] em [A1.43]):

$$F' = \sqrt{\frac{2fDO}{rq}} \frac{1}{fD} \quad [A1.44]$$

Removendo f da raiz e agrupando certos termos:

$$F' = \frac{\sqrt{f}}{f} \sqrt{\frac{2DO}{rq}} \frac{1}{D} \quad [A1.45]$$

Por fim, multiplicando e dividindo a equação [A1.45] por $\sqrt{f}$ e simplificando:

$$F' = \frac{1}{\sqrt{f}} \sqrt{\frac{2DO}{rq}} \frac{1}{D} = \frac{1}{\sqrt{f}} F \quad \blacksquare$$

k) Para reduzir o tamanho ótimo do lote P por um fator f , o custo fixo O deve ser reduzido por um fator f^2 .

É necessário ressaltar uma vez mais que a única fonte de custos que pode ser trabalhada de modo a ter seus valores reduzidos é a de custos fixos (O) (Seção 3.3.2), o que justifica a agregação de produtos. Deste modo, é possível reduzir a quantidade de um dado item pois outros pedidos agrupados incorrerão na diluição dos custos fixos, diminuindo-os.

Demonstração: o custo fixo relativo à abertura de pedidos pode ser isolado na equação [3.16] do Capítulo 3, o que fornecerá a seguinte relação:

$$O = \frac{rqP^2}{2D} \quad [A1.46]$$

Reduzir o lote por um fator f significa que, dado um lote P , um novo lote P' terá seu tamanho obtido por:

$$P' = \frac{P}{f} \quad [A1.47]$$

Assim, o novo custo O' será:

$$O' = \frac{rqP'^2}{2D} \quad [A1.48]$$

Substituindo-se a equação [A1.47] em [A1.48] e reagrupando termos:

$$O' = \frac{rqP'^2}{2D} = \frac{rqP^2}{2f^2D} = \frac{1}{f^2} \frac{rqP^2}{2D} = \frac{1}{f^2} O \quad \blacksquare$$

l) É possível estabelecer uma relação entre os percentuais de variação do tamanho do lote P e do custo total T .

Demonstração: sejam P e P' lotes que estão relacionados por meio de uma variável δ como segue:

$$P' = P(1 + \delta), \delta \in [0,1] \quad [\text{A1.49}]$$

Do mesmo modo, sejam T e T' seus respectivos custos totais associados, relacionados por uma variável γ tal que:

$$T' = T(1 + \gamma), \gamma \in [0,1] \quad [\text{A1.50}]$$

Pela equação [3.9] do Capítulo 3, também pode-se escrever T' como:

$$T' = \left(\frac{D}{P'} \right) O + \left(\frac{P'}{2} \right) r q \quad [\text{A1.51}]$$

Esta é uma versão simplificada da referida equação [3.9] sem o termo referente aos custos anuais com material, que são independentes do tamanho do lote e, deste modo, podem ser ignorados nesta abordagem sem prejuízo para os resultados finais.

Isolando γ na equação [A1.50], obtém-se:

$$\gamma = \frac{T'}{T} - 1 \quad [\text{A1.52}]$$

Substituindo-se a equação [A1.49] na equação [A1.51]:

$$T' = \left(\frac{D}{(1 + \delta)P} \right) O + \left(\frac{(1 + \delta)P}{2} \right) r q \quad [\text{A1.53}]$$

Rearranjando termos:

$$T' = \frac{1}{1 + \delta} \left(\frac{D}{P} \right) O + (1 + \delta) \left(\frac{P}{2} \right) r q \quad [\text{A1.54}]$$

Os termos $\left(\frac{D}{P} \right) O$ e $\left(\frac{P}{2} \right) r q$ são, respectivamente, o custo de abertura de pedido e o custo de armazenagem (ambos por unidade de tempo), representados por A e R (equações [3.2] e [3.8] do Capítulo 3). Assim, a equação [A1.54] pode ser reescrita como:

$$T' = (1 + \delta)^{-1} A + (1 + \delta) R \quad [A1.55]$$

Substituindo-a na equação [A1.52], vem, por fim:

$$\gamma = \frac{(1 + \delta)^{-1} A + (1 + \delta) R}{T} - 1 \quad [A1.56]$$

A equação [A1.56] expressa a relação entre δ (variação percentual no tamanho do lote) e γ (correspondente variação percentual no custo total devido a δ) na presença dos parâmetros fixos A , R e T .

A aplicação desta equação a diversos valores de P (Tabela A1.1) permite observar que para variações consideráveis no tamanho do lote, ocorre pouca variação no custo total (menos de 1% até 200 unidades a menos, para o exemplo da tabela). Pode-se concluir, portanto, que cada pedido não precisa ter exatamente o tamanho indicado por P , mas *em torno* deste valor. Isto é particularmente útil em casos de pedidos que não podem ser fracionados ou possuem alguma restrição quanto à quantidade a ser enviada (*e.g.* apenas quantidades pares ou ímpares).

É de se esperar a pequena variação em γ pois é fácil ver que a expressão de T' é semelhante à de T , com exceção das ponderações em A e R introduzidas pelos fatores de pequena magnitude $(1 + \delta)^{-1}$ e $(1 + \delta)$. Como os custos de pedido e de armazenagem tendem ao mesmo valor, sob o modelo do Lote Econômico clássico (Capítulo 3, seção 3.3.1 e Figura A1.4), as ponderações não gerarão mudanças significativas em T' ⁶. Assim, a razão T'/T (e, portanto, γ), sob condições normais, apresentará valores substancialmente menores em relação à variação em δ .

Tabela A1.1: Exemplo de comparação entre alterações no tamanho do lote.

Dados primários do produto				
Demanda (D), em unidades ^(*)	20000	20000	20000	20000
Preço de pedido (O), em R\$	3500	3500	3500	3500
Preço unitário (q), em R\$	250	250	250	250
Fator de armazenagem (r)	0,3	0,3	0,3	0,3
Tamanho do lote (P) (ótimo)	1366	1366	1366	1366
Tamanho do lote (P') (alternativo)	966	1066	1166	1266
Variação absoluta (em produtos)	400	300	200	100
Custos para o tamanho de lote ótimo (P)				
Custo de abertura de pedido (A) ^(*)	R\$ 51.234,75	R\$ 51.234,75	R\$ 51.234,75	R\$ 51.234,75
Custo de armazenagem (R) ^(*)	R\$ 51.234,75	R\$ 51.234,75	R\$ 51.234,75	R\$ 51.234,75
Custo total ($A+R$) ^(*)	R\$ 102.469,51	R\$ 102.469,51	R\$ 102.469,51	R\$ 102.469,51
Custos para o tamanho de lote alternativo (P')				
Percentual de variação em P (δ)	29,30%	21,98%	14,66%	7,34%
Novo custo de abertura de pedido (A) ^(*)	R\$ 39.625,93	R\$ 42.003,69	R\$ 44.685,03	R\$ 47.732,04
Novo custo de armazenagem (R) ^(*)	R\$ 66.244,51	R\$ 62.494,51	R\$ 58.744,51	R\$ 54.994,51
Novo custo total ($A+R$) ^(*)	R\$ 105.870,43	R\$ 104.498,20	R\$ 103.429,54	R\$ 102.726,55
Variação no custo total (γ)	3,32%	1,98%	0,94%	0,25%

^(*) Por unidade de tempo

O SIPES executa estes cálculos para efeitos de análise das possibilidades de variação no tamanho do lote, que influencia a produção e os estoques intermediários envolvidos no processo.

⁶ A menos, claro está, se A e R assumirem valores muito diferentes devido a alterações bruscas em seus parâmetros de origem: demanda D , preço de pedido O , preço unitário do produto q e fator de custo de armazenagem r .

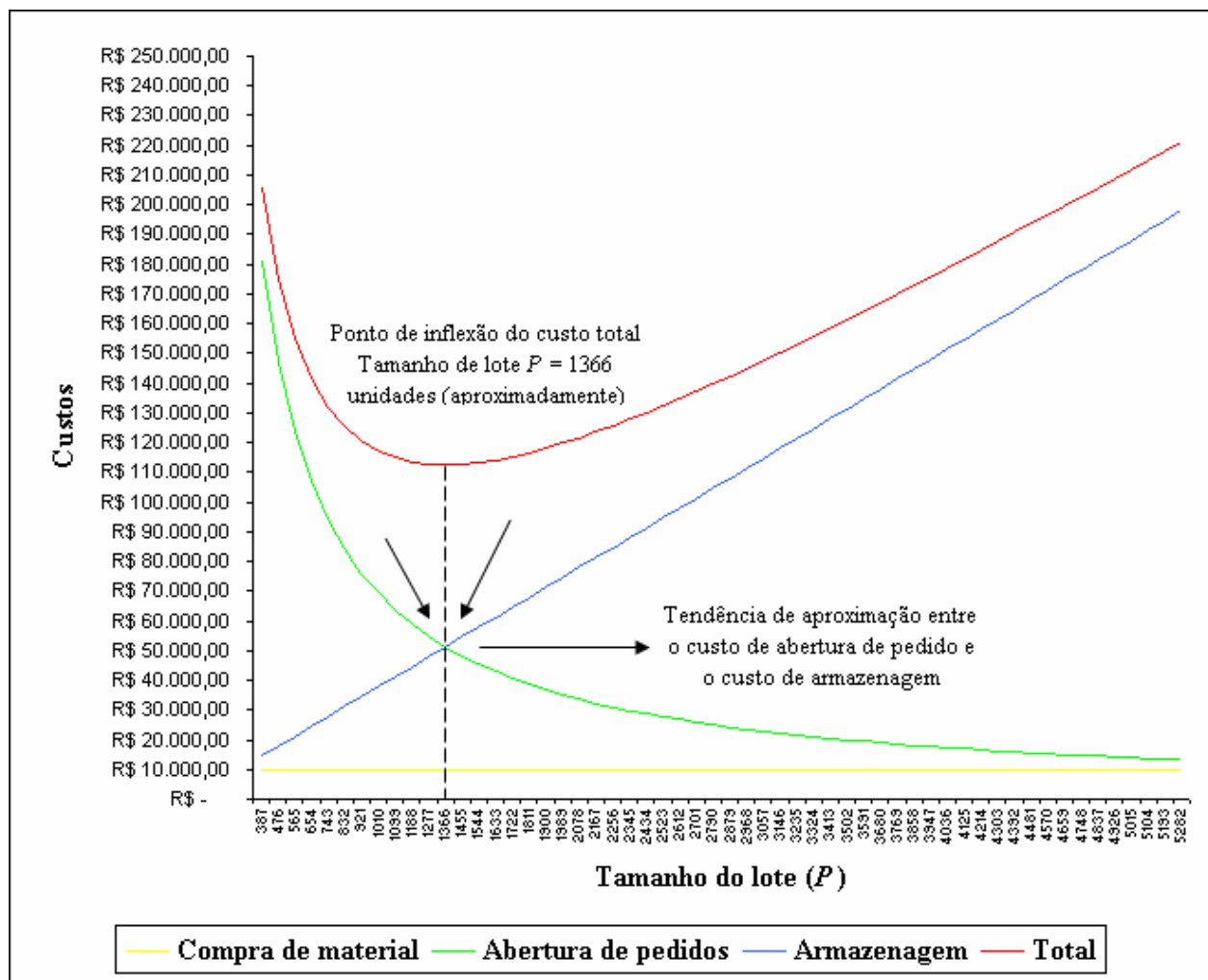


Figura A1.4: Relação entre os custos envolvidos na decisão sobre o tamanho de lote P .

O gráfico da Figura A1.4 exhibe uma situação que se observa genericamente quando da derivação da fórmula do Lote Econômico original. O custo total mínimo T é composto por fatores A e R de valores próximos pois o ponto de inflexão do custo tende ao ponto para o qual $y = A(x) \approx R(x)$ (no eixo x estão os tamanhos de lote e em y os custos correspondentes).

A comparação entre as variações em δ e γ para o exemplo da Tabela A1.1 pode ser melhor visualizada pela Figura A1.5 a seguir:

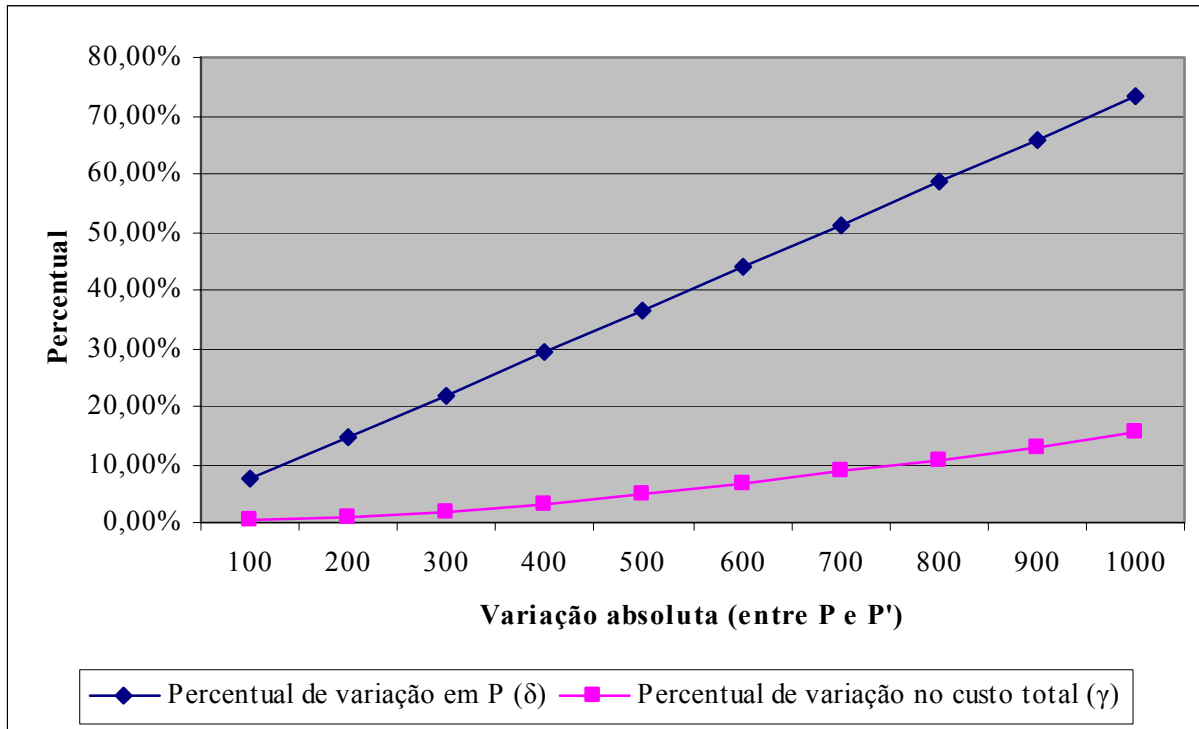


Figura A1.5: Gráfico comparativo entre os tamanhos de lote P e P' e os custos T e T' .

Anexo II

Preparação do ambiente distribuído para funcionamento do SIPES

A2.1 – Introdução

O ASP (*Active Server Pages*TM) é uma ferramenta da Microsoft[®] para o desenvolvimento de *scripts*. Um *script*, na Internet, é uma pequena rotina executada quando, por exemplo, uma página é ativada (visitada) e requisita dados pessoais para um cadastro, ou ainda quando necessita de uma entrada do usuário para exibir determinado conteúdo.

Em ASPTM, os *scripts* são criados por meio de uma variação da linguagem Visual BasicTM, integrante do pacote Visual StudioTM 6.0.

Os *scripts* ASPTM são encontrados nos servidores (Seção 2.11, Capítulo 2), e executarão operações específicas sobre os dados que receberem remotamente das páginas a que o usuário teve acesso (clientes). Estas, por sua vez, conterão referências aos *scripts* armazenados nos servidores, para efeitos de roteamento (envio) dos dados à máquina apropriada. Deste modo, observa-se que também os clientes conterão *scripts* ASPTM.

A2.2 – Início da configuração: *Internet Information Services*TM (IIS)

A criação de um ambiente cliente/servidor para uso do ASPTM começa com a devida configuração do serviço chamado IIS – *Internet Information Services*TM, presente nas versões do Windows NTTM, 2000TM e XPTM. No Windows 98TM existe um serviço equivalente denominado *Personal Web Server*TM (PWS), com características semelhantes.

O roteiro exposto a seguir será baseado na instalação do Windows XPTM. Podem ocorrer diferenças ligeiras de localização dos programas em outras versões do sistema operacional.

O IISTM tem como função hospedar as páginas a serem visitadas e receber todas as requisições externas, processando-as adequadamente e devolvendo os resultados aos usuários. Sem esta aplicação, é impossível haver qualquer comunicação entre os *scripts* de servidor e os de cliente.

O IIS™ encontra-se a partir do menu *Iniciar* → *Acessórios* → *Ferramentas administrativas* → *Internet Information Services*¹.

A principal janela do IIS™ está ilustrada a seguir (Figura A2.1):

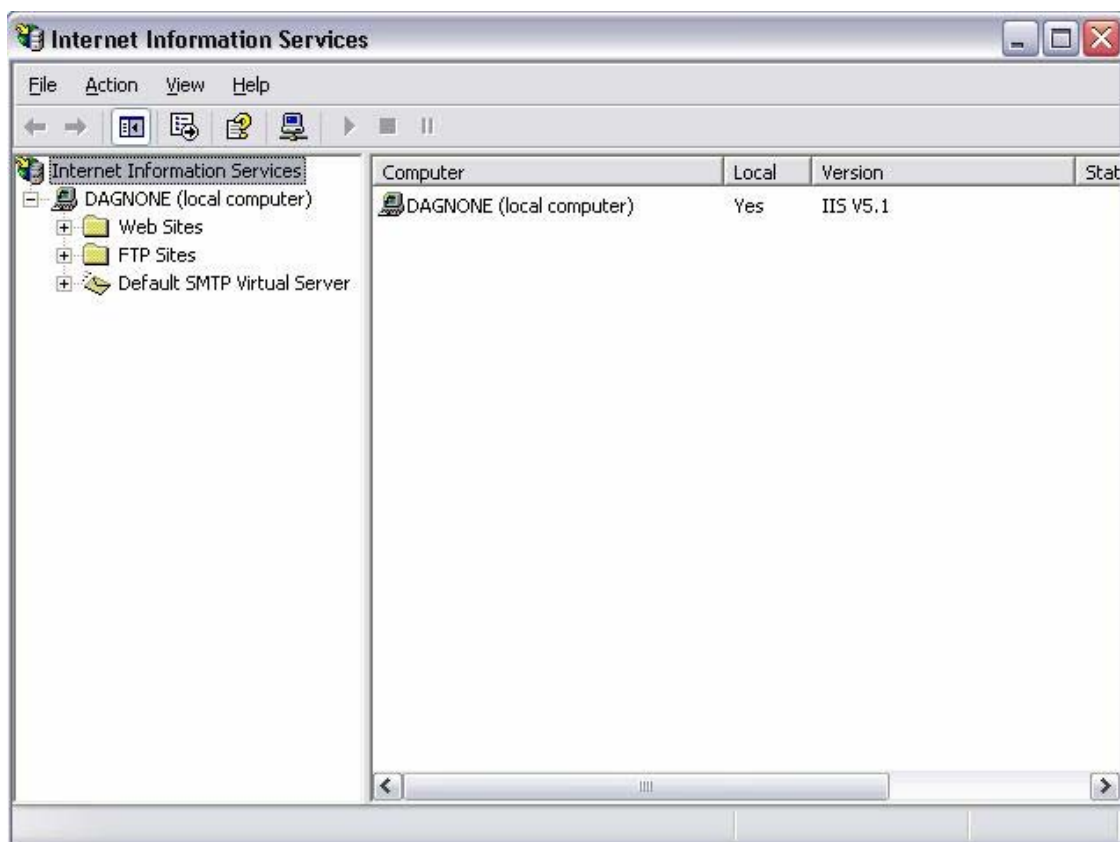


Figura A2.1: Janela principal do IIS™.

O passo seguinte é criar um diretório virtual (*virtual directory*). A finalidade do diretório virtual é, no servidor, armazenar efetivamente todos os códigos que serão criados (alguns exemplos serão listados adiante). O diretório virtual, na verdade, é uma referência a um diretório real criado em qualquer lugar do *host*², isto é, em qualquer disco rígido do mesmo.

O IIS™, então, executará todas as transações entre as requisições externas e os *scripts* de servidor que as recebem nos arquivos contidos neste diretório virtual.

¹ O IIS™ não faz parte da instalação tradicional do Windows™. É necessário ativar o *Painel de Controle*, opção *Adicionar e Remover Programas*, ativar a opção *Adicionar/Remover Componentes do Windows* e então selecionar a opção de adicionar o IIS™. Deve-se dispor do CD original de instalação para que tal operação seja completada.

² *Host*, neste contexto, é toda máquina que armazena os *scripts* de servidor.

Na criação do diretório virtual, é necessário que, como primeira providência, haja sido criado um diretório real, em qualquer lugar conveniente do disco rígido, para o armazenamento futuro de *scripts* e demais dados. Para efeitos de exemplificação, neste tutorial, seja uma pasta criada na raiz de um disco rígido C: denominada **SIPES** (Capítulo 4).

Abrindo a pasta **Websites** (clicando no sinal (+) a seu lado) (Figura A2.2), surgirá a subpasta **Default Web Site**. Abrindo-a, por sua vez, (clicando em (+)), serão exibidos todas as páginas pré-criadas quando da instalação do IIS™, para propósitos de gerenciamento interno do Windows™. A seguir, pela ativação com o botão direito do *mouse* do item *Default Web Site*, será aberto um menu com diversas opções. Pela seleção de *New* → *Virtual Directory...*, dá-se início ao *Assistente de Criação de Diretório Virtual* (Figura A2.3).

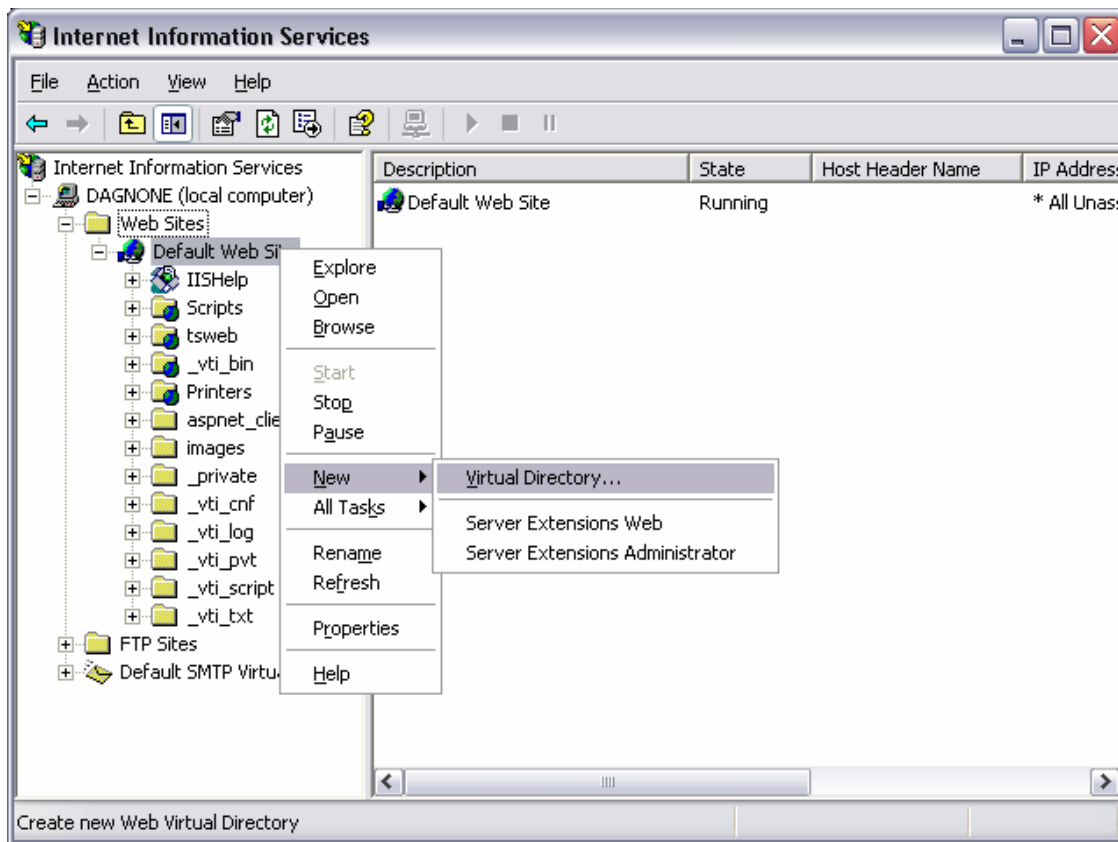


Figura A2.2: Ativação do assistente de criação de diretório virtual.



Figura A2.3: Tela inicial do *Assistente de Criação de Diretório Virtual*.

Clicando no botão *Next*, será solicitada a criação de um *alias* por meio do qual o IIS™ se referenciará à sua pasta real (Figura A2.4), sendo adicionado à lista de páginas padrão (*Default Web Site*) já existente.

Um *alias* é um nome simplificado que atuará como identificador da pasta real no ambiente cliente/servidor em configuração, necessário para mascarar seu caminho. Artifícios como este são muito utilizados na composição de listas de DNS³ de modo a tornar a navegação na Internet mais amigável (Tanenbaum, 1989).

³ Sigla de *Domain Name Server*, ou servidor de nomes de domínio. Este servidor contém os endereços das páginas alocadas pelo sistema distribuído no formato IP (*Internet Protocol*) e mantém uma lista de nomes amigáveis correspondentes a estes endereços.



Figura A2.4: Atribuição de um *alias* à pasta real.

A seguir (pela ativação do botão *Next*), deve-se indicar o caminho da pasta real criada que conterá os documentos e os *scripts* de servidor. Para o exemplo presente, é a pasta SIPES recém-criada.

Na sequência, deverão ser indicadas quais as operações permitidas ao usuários que interagirão com as páginas futuras. Ao possibilitar a escrita (*Write*) e a execução de aplicações no diretório da aplicação distribuída (*Execute (such as ISAPI applications or CGI)*), esta estará sendo exposta a riscos de invasão, alteração de conteúdo e demais problemas. Um cuidado especial deve ser tomado quando da decisão por se habilitar estas permissões.

As Figuras A2.5 e A2.6 à próxima página exibem o aspecto das janelas em que tais configurações são definidas.



Figura A2.5: Seleção da pasta real.



Figura A2.6: Determinação das permissões dos diversos serviços.

O assistente é encerrado pela ativação do botão *Next* anterior, que conduz à tela ilustrada pela Figura A2.7 abaixo:



Figura A2.7: Conclusão do *Assistente de Criação de Diretório Virtual*.

Após a execução do assistente, o IISTM retorna à janela principal e lá deve constar o diretório virtual criado (Figura A2.8).

A2.3 – Configuração da base de dados

O passo seguinte consiste na criação da base de dados local com a qual a aplicação ASPTM interagirá por meio das páginas da *web* (a serem criadas) utilizadas pelos usuários.

É interessante notar que bases de dados de qualquer natureza podem ser utilizadas pois o próprio sistema operacional se encarrega de efetuar as traduções necessárias entre a página e o SGBD escolhido (Capítulo 4, Seção 4.5).

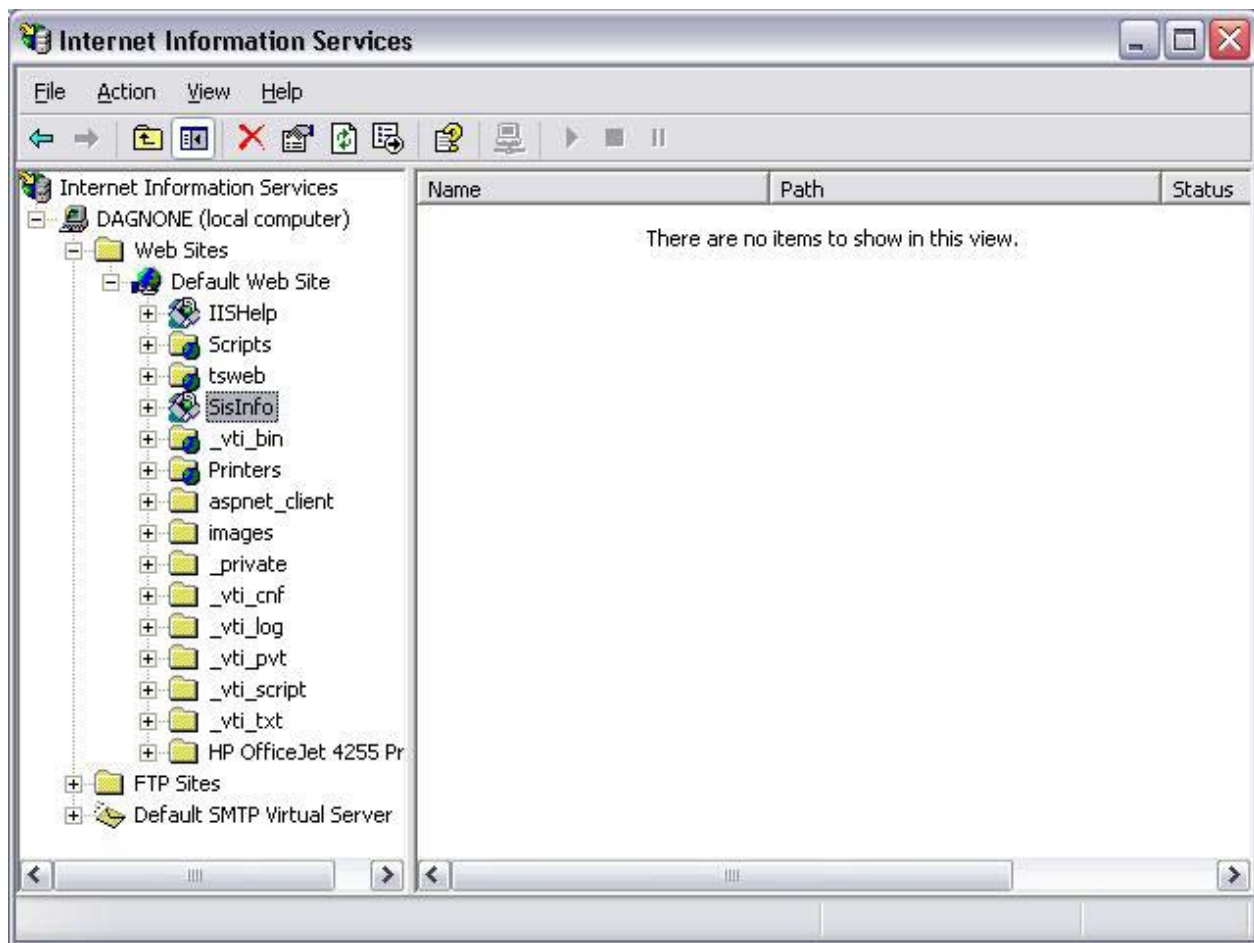


Figura A2.8: O diretório virtual SisInfo (que, na verdade, aponta para o diretório real presente em C:\SIPES).

Seja uma base de dados já criada, gravada, em princípio, localmente, em uma pasta qualquer. Para efeitos de explanação, será empregado o SGBD Microsoft® Access™ 2003,, presente no pacote Microsoft® Office™ 2003.

A base empregada no exemplo é a mesma utilizada nos testes efetuados com o SIPES (Capítulo 4), sendo utilizada uma tabela que armazena os dados para a execução da simulação pelo ProModel™ 2001 (Figura A2.9).

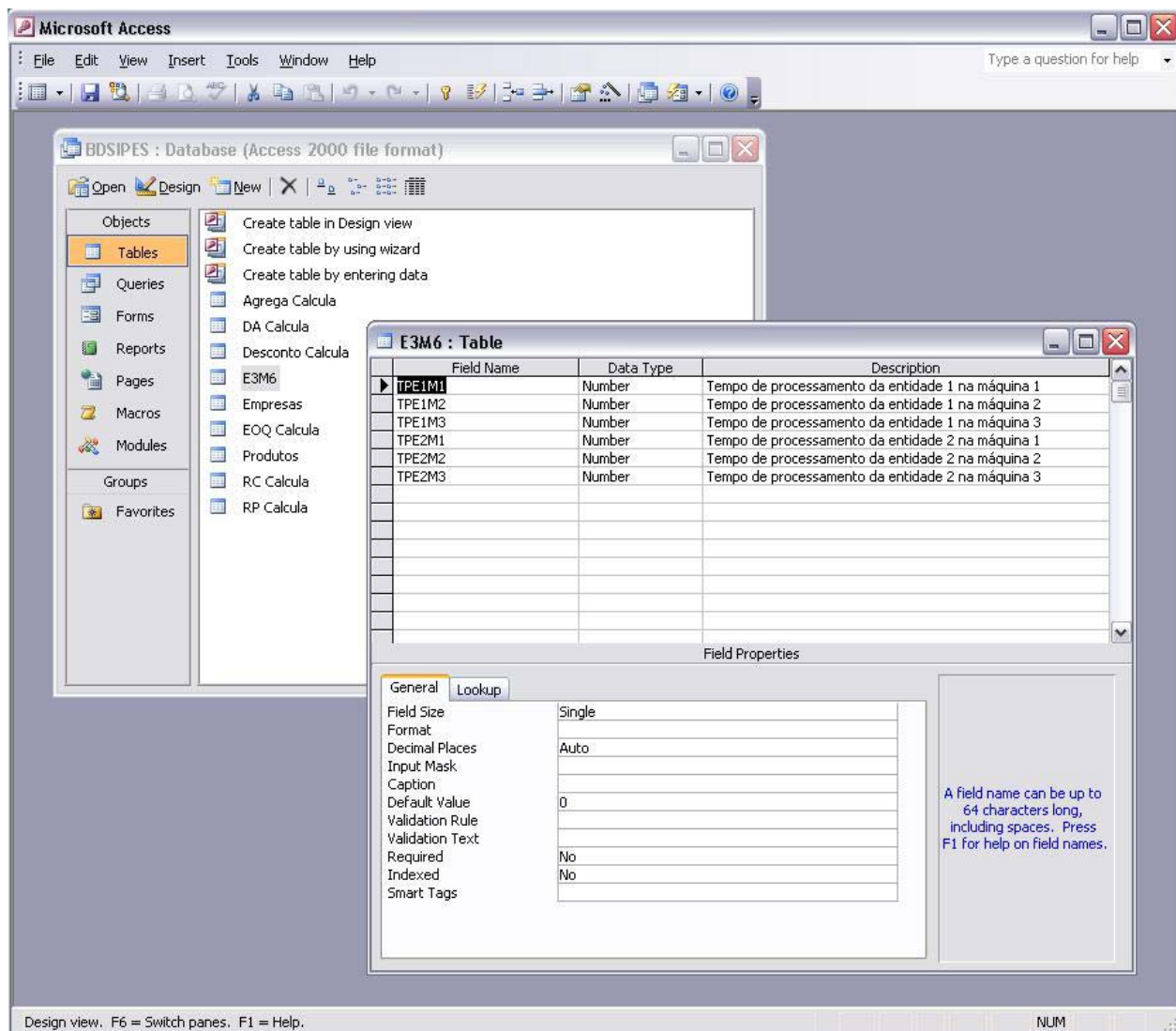


Figura A2.9: Base de dados BDSIPES com a tabela E3M6 no modo estrutura.

Para que o servidor de *scripts* (IISTM) saiba qual fonte de dados deve utilizar em suas transações, deve-se criar, como no caso do diretório virtual, um *alias* para a base em questão por meio do aplicativo de configuração ODBCTM (Capítulo 4, seção 4.5), que pode ser encontrado em *Start* → *Acessories* → *Administrative Tools* → *Data Sources (ODBC)* ou por meio do ícone *Administrative Tools* do *Painel de Controle*.

Seja qual o modo de chamada utilizado, a seguinte janela será apresentada ao usuário (Figura A2.10):

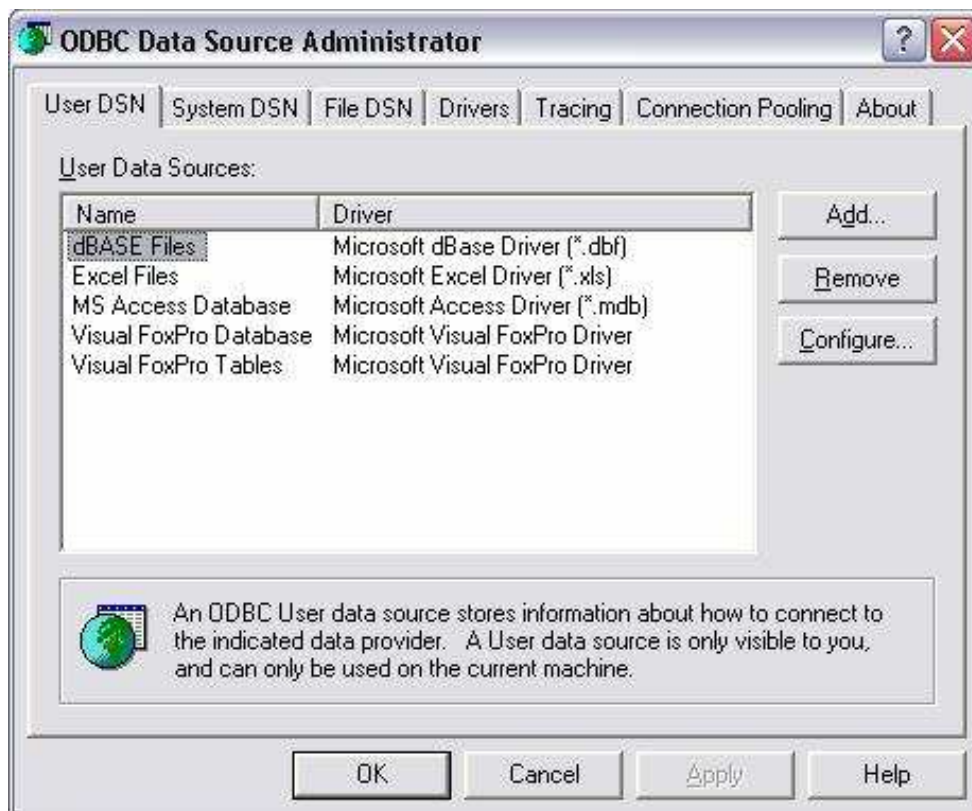


Figura A2.10: Janela inicial do aplicativo de configuração de bancos de dados ODBC.

O ODBCTM é uma ferramenta padrão do sistema operacional e tem por finalidade básica permitir que aplicações desenvolvidas em qualquer linguagem de programação possam se conectar a bases de dados, caso as utilizem.

O ODBCTM pode ser visto como um gerenciador de *drivers* de bancos de dados. Assim como um *driver* de dispositivo (*hardware*) tradicional permite ao computador reconhecer e operá-lo, também um *driver* de banco de dados fará com que o sistema operacional o reconheça e permita que aplicações executem operações sobre registros das tabelas nele criadas.

Assim sendo, será construído um meio de o sistema reconhecer a base em uso neste exemplo e acessá-la corretamente sempre que os *scripts* de servidor (ativados pelos *scripts* de cliente) necessitarem consultar, acrescentar, remover ou alterar informações da tabela E3M6 do arquivo BDSIPES.MDB.

As guias *User DSN* (DSN de usuário) e *System DSN* (DSN de Sistema)⁴ possuem a mesma função: criar uma referência para um banco de dados que se deseja usar nos aplicativos em desenvolvimento. Entretanto, as referências criadas pela guia *User DSN* são locais e visíveis apenas para o usuário que as criou; deste modo, não é a mais apropriada ao propósito deste roteiro.

Por meio da guia *System DSN*, entretanto, criam-se referências globais e visíveis inclusive a usuários remotos. Deste modo, esta é a que será usada (Figura A2.11):

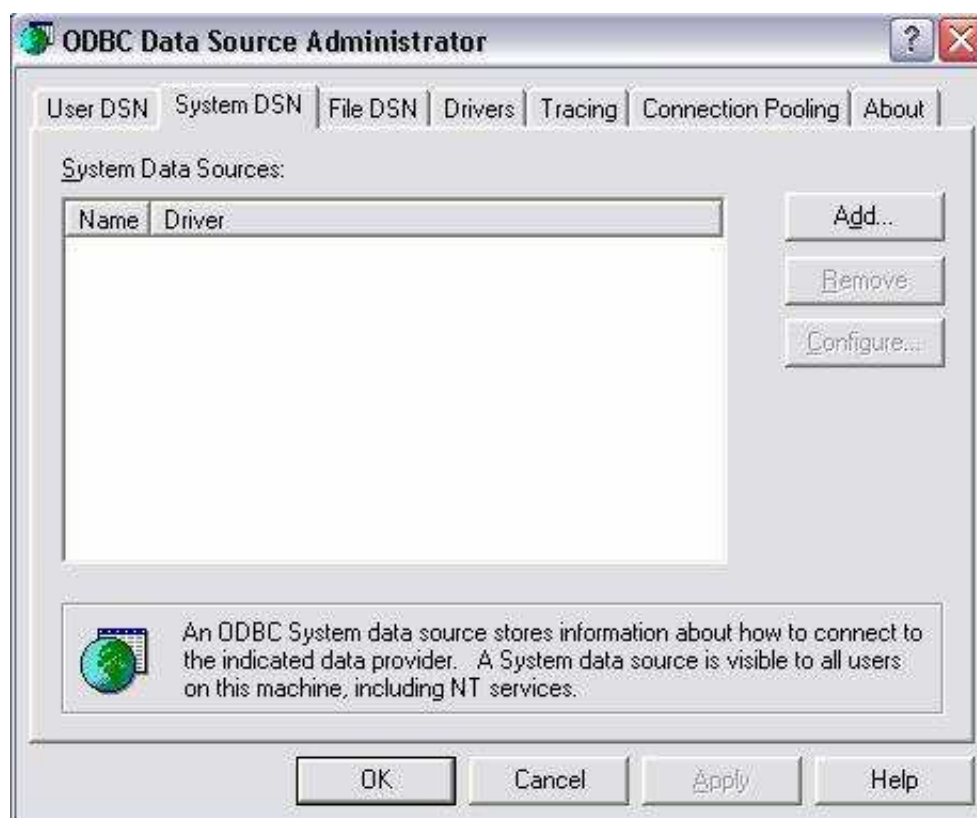


Figura A2.11: Criação de um DSN de sistema (início do processo).

Clicando-se no botão *Add...* será aberta a janela para escolha do *driver* do banco de dados que será utilizado. Foi escolhido o *Driver do Microsoft Access (*.mdb)* (Figura A2.12).

⁴ DSN é a sigla de *Data Source Name* (Nome de Fonte de Dados).



Figura A2.12: Escolha do *driver* de banco de dados adequado.

A seguir (pela ativação do botão *Finish*), será aberta a janela de configurações específicas do tipo de banco de dados selecionado (Figura A2.13).

No campo *Data Source Name* deve-se escolher e digitar o *alias* propriamente dito (o nome que identificará a base em todo o ambiente do sistema operacional).

No campo *Description* pode ser digitado um comentário a respeito da finalidade desta base para o sistema (esta é uma informação opcional).

A escolha do arquivo é feito por meio do botão *Select...* Ao pressioná-lo, deve-se escolher a base de dados (no caso, o arquivo BDSIPES.MDB) pela caixa de diálogo que surgirá.

No final do processo, o botão *OK* é habilitado e, ao ativá-lo, terá sido criada e concluída a referência global à base, sendo exibida na lista de DSN's de sistema (Figura A2.14).



Figura A2.13: Base de dados selecionada e *alias* (Base) atribuído.

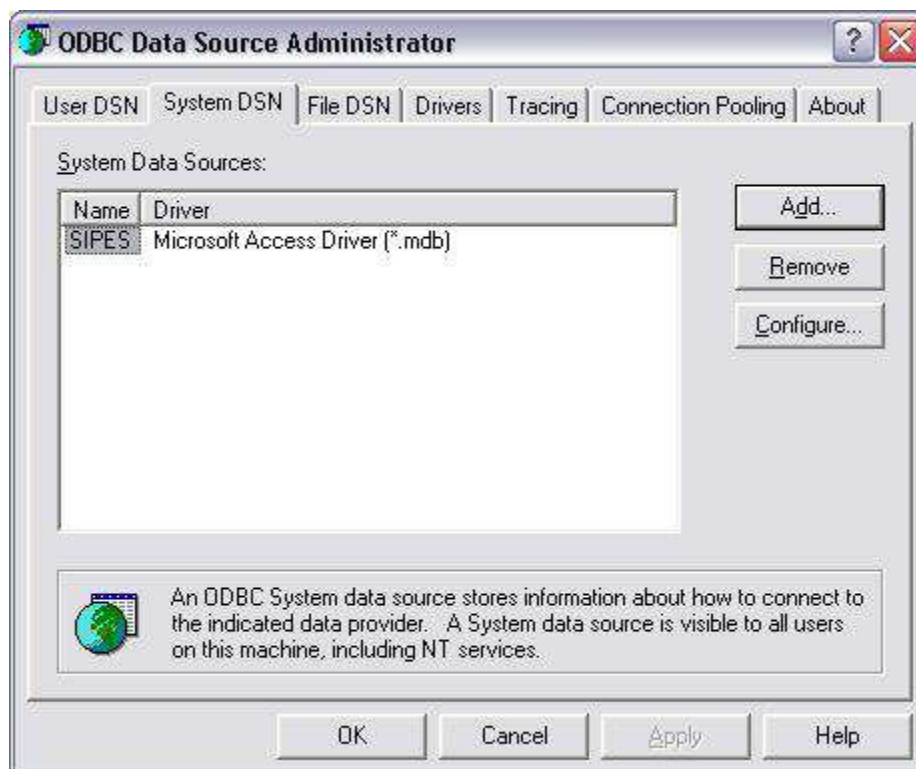


Figura A2.14: Processo concluído: referência global e remota à base BDSIPES.MDB criada.

Segue-se agora a última parte do processo, que é a construção das aplicações que farão uso deste ambiente recém-configurado. Serão apresentados os comandos básicos para a criação da interação usuário/banco de dados, bem como os comandos HTML clássicos utilizados na elaboração de formulários, páginas especialmente desenvolvidas para captação de dados e envio dos mesmos aos servidores.

A2.4 – Construção do formulário HTML e código ASP iniciais

A página ilustrada pela Figura A2.16 é uma das utilizadas na integração do SIPES com a internet. É uma alternativa à introdução de parâmetros a serem passados para o modelo de simulação de sistemas que pode ser usada por qualquer integrante da cadeia de suprimentos.

A geração automática de código HTML baseado em parâmetros advindos de outros sistemas de informação é uma prática comum. Como se trata de uma sublinguagem⁵ de formatação de texto, o próprio SIPES gera os códigos que formarão as páginas com que o usuário interagirá, a partir dos dados obtidos na base sobre o modelo de simulação em questão (Figura A2.15).

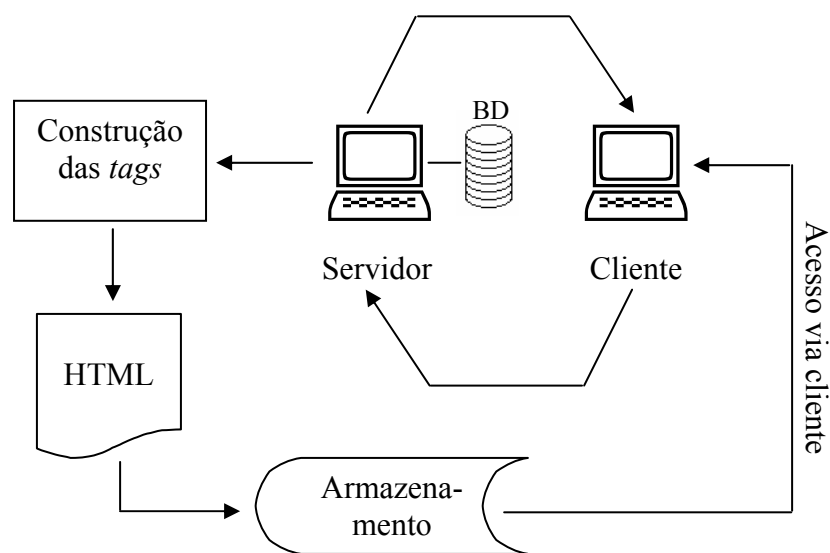


Figura A2.15: Mecanismo de criação de páginas por meio do SIPES.

⁵ O HTML, em verdade, não é uma linguagem de programação formal pois não apresenta certas estruturas como controle de fluxo, repetição e mecanismos de decisão.

SIPES - Entrada de parâmetros para o Modelo 6 - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Reload Home Search Favorites Print Mail News RSS Feeds

Address D:\UNICAMP\Doutorado\Sistema\SIPES\Páginas Internet\Entrada.HTML Go Links

SIPES

Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em Simulação

Empresa selecionada: *Empresa 3*

Modelo selecionado: *Modelo 6*

Entrada de parâmetros:

Entidade 1 (Polia):

Tempo de processo (Máquina 1):

Tempo de processo (Máquina 3):

Tempo de processo (Máquina 4):

Entidade 2 (Engrenagem):

Tempo de processo (Máquina 2):

Tempo de processo (Máquina 4):

Tempo de processo (Máquina 5):

Salvar dados

Done My Computer

Figura A2.16: Formulário do SIPES criado pelo Código 1.

O código-fonte associado a este formulário (e gerado pelo SIPES após leitura dos parâmetros de simulação a partir da base de dados) é o seguinte (Código 1)⁶:

```
<html>
  <head>
    <title>SIPES - Entrada de parâmetros para o Modelo 6</title>
  </head>

  <form method="post" action="http://localhost/Parametros.asp">
    <h1>S I P E S</h1>
    <h3><i>Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em
Simulação</i></h3><hr><br>
      <b>Empresa selecionada: <i>Empresa 3</i></b><br><br>
      <b>Modelo selecionado: <i>Modelo 6</i></b><br><br><hr>
      <b><u>Entrada de parâmetros:</u></b><br><br>
      <u><b><i>Entidade 1 (Polia):</i></b></u><br>
      <b><i>Tempo de processo (Máquina 1):</i></b></u>
      <input name="E1M1" type="text"><br>
      <b><i>Tempo de processo (Máquina 3):</i></b></u>
      <input name="E1M2" type="text"><br>
      <b><i>Tempo de processo (Máquina 4):</i></b></u>
      <input name="E1M3" type="text"><br>
      <br>
      <u><b><i>Entidade 2 (Engrenagem):</i></b></u><br>
      <b><i>Tempo de processo (Máquina 2):</i></b></u>
      <input name="E2M1" type="text"><br>
      <b><i>Tempo de processo (Máquina 4):</i></b></u>
      <input name="E2M2" type="text"><br>
      <b><i>Tempo de processo (Máquina 5):</i></b></u>
      <input name="E2M3" type="text"><br>
      <br>
      <input type="submit" value="Salvar dados">
    </form>
  </html>
```

Código 1: A página de entrada de parâmetros.

⁶ Os códigos serão apresentados em fonte *Courier*, pois é uma fonte *monoespaçada* (i.e., os caracteres se alinham perfeitamente a cada linha), usada geralmente para a apresentação de códigos.

Não existe um programa mais indicado para a digitação e gravação deste código. Entretanto, o *Bloco de Notas* (ou *Notepad*) é o mais utilizado pois além de ser um componente padrão do sistema operacional WindowsTM, é de uso extremamente fácil uma vez que só trabalha com o formato de texto *txt* (texto em caracteres ASCII⁷). As extensões com que estes arquivos devem ser gravados é .HTML (ou .HTM).

Este código é a parte do *cliente*, a página que um usuário usará para digitar seus dados. O envio será feito por meio desta página para o servidor, que o processará e o armazenará no banco de dados BDSIPES.mdb.

O próximo código (Código 2) é um modelo de *script* de servidor e que deve ser gravado na pasta de instalação do IISTM (a saber: *C:\Inetpub\wwwroot*) com o nome de *Parametros.asp*. O motivo de ser necessário gravar este arquivo neste diretório será explicado mais adiante.

```
<%
V1 = request.form("E1M1")
V2 = request.form("E1M2")
V3 = request.form("E1M3")
V4 = request.form("E2M1")
V5 = request.form("E2M2")
V6 = request.form("E2M3")

Set Inserer = Server.CreateObject("ADODB.Connection")
Inserer.Open "dsn=SIPES;"
LinhaSQL = "INSERT INTO PRE3M6 (TPE1M1, TPE1M2, TPE1M3, TPE2M1, TPE2M2,
TPE2M3) VALUES"
LinhaDados = "(" & V1 & "," & V2 & "," & V3 & "," & V4 & "," & V5 & "," & V6 & ")"
LinhaFinal = LinhaSQL & LinhaDados
Set Resultado = Inserer.Execute(LinhaFinal)
Inserer.Close
Set Inserer = nothing
%>
<html>
```

⁷ ASCII (*American Standard Code for Interchange Information*) é um padrão de codificação de caracteres que a cada símbolo (letras maiúsculas e minúsculas, números e sinais de pontuação) associa um valor entre 0 e 255 de modo a

```

<head>
  <title>Concluído!!</title>
</head>

<body>
  <h1>S I P E S</h1>
  <h3><i>Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em
Simulação</i></h3><hr><br>
  <b>Empresa selecionada: <i>Empresa 3</i></b><br><br>
  <b>Modelo selecionado: <i>Modelo 6</i></b><br><br><hr>
  <h1>Parâmetros de simulação gravados com sucesso!</h1>
</body>
</html>

```

Código 2: Modelo básico de *script* de servidor.

O uso da extensão do SIPES na internet é feito por meio da invocação das páginas de passagem de parâmetros para a simulação. No exemplo, a página gerada pelo *Código 1* permite que se digitem os dados do *Modelo 6* aplicado à *Empresa 3*.

Após a ativação do botão *Salvar dados* (Figura A2.16), as digitações feitas nos campos correspondentes devem ser enviadas para o banco de dados BDSIPES.MDB, sendo armazenadas na tabela PRE3M6. Esta é uma das tabelas variáveis do sistema (Capítulo 4, seção 4.5) que devem ser criadas previamente para acomodar os dados provenientes da simulação.

A Figura A2.17 exibe a tela correspondente ao sucesso na gravação das informações passadas.

A2.5 – Mecanismo de funcionamento dos programas

Ambos os códigos apresentados (Código 1 e Código 2) foram construídos sob a concepção da arquitetura cliente/servidor (Seção 2.11, Capítulo 2). Assim, a análise das ações tomadas em cada lado é fundamental para a compreensão global deste subsistema do SIPES.

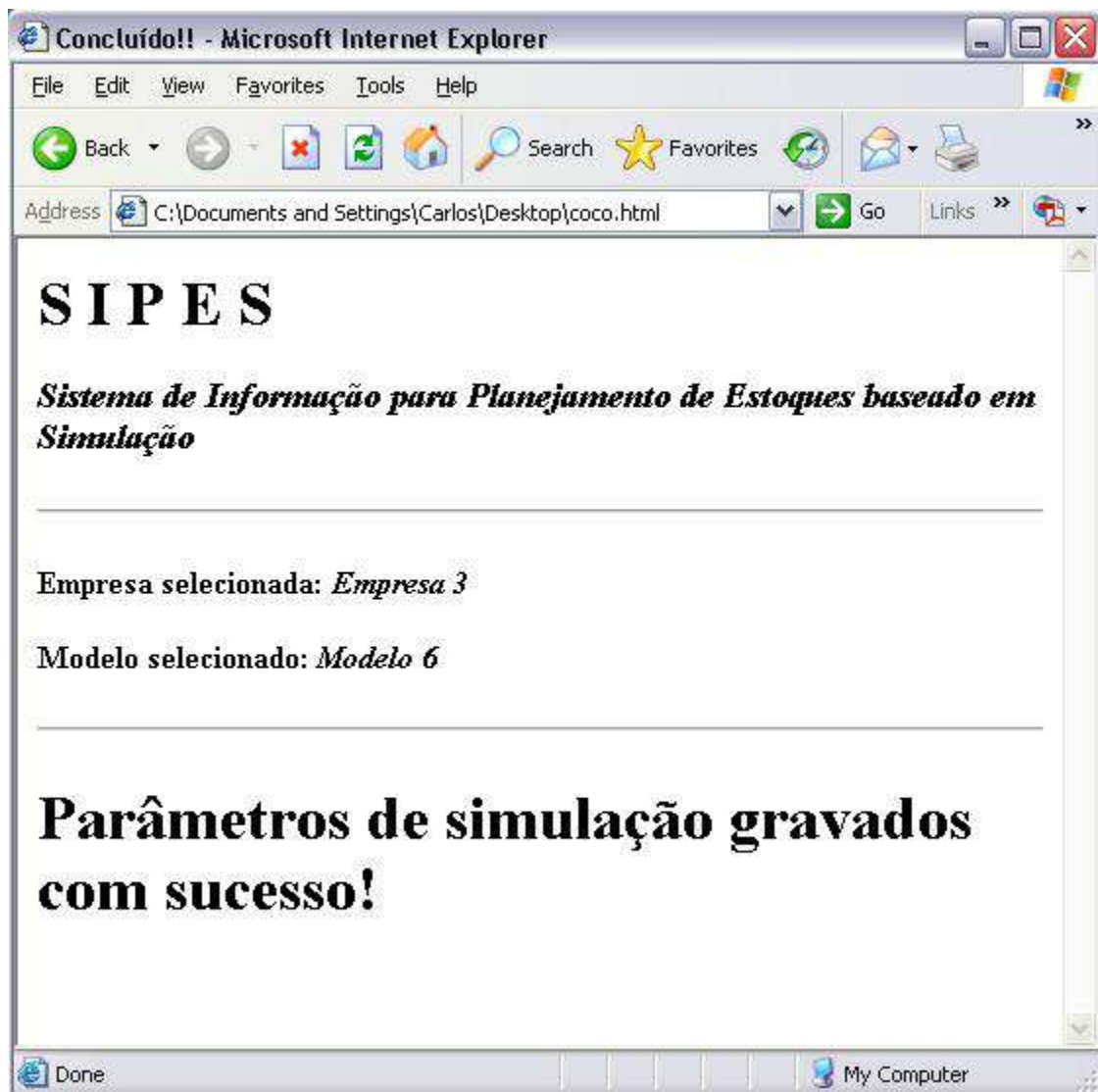


Figura A2.17: Resultado da passagem de parâmetros ao modelo de simulação.

A2.5.1 – A aplicação cliente

Na construção da aplicação cliente foi utilizada a capacidade da HTML de criar e manipular *formulários*, páginas cuja finalidade é receber dados por meio de vários mecanismos de entrada já conhecidos nos sistemas operacionais visuais, como caixas de texto, de lista e de lista suspensa, botões de rádio, caixas de verificação, dentre outros.

Uma página *web* que use formulários deve ter uma estrutura semelhante ao código abaixo (Código 3):

```
<html>

  <Tags de formatação prévia da página (opcional)>

  <form [parâmetros]>
    <Tags de construção de elementos de formulário>
  </form>

</html>
```

Código 3: Estrutura de montagem de formulário por meio das tags *form* e */form*.

É o par de *tags* (marcadores) `<form>` e `</form>` que deve ser utilizado como delimitador do código que formará o formulário. No caso de uso conjunto com envio de informações para um banco de dados (como o presente exemplo), os seguintes *[parâmetros]* devem ser empregados:

- *name*: nome do formulário que está sendo criado;
- *method*: como os dados digitados no formulário serão enviados (*get* ou *post*);
- *action*: especifica a que *URL*⁸ serão submetidos os dados enviados.

No *Código 1* está sendo usado o método *post*. A diferença entre *post* e *get* é que quando este é usado, o conteúdo dos campos de dados do formulário é anexado como uma *string* de consulta ao endereço especificado por *action*, enquanto que o método *post* envia estes dados junto com todo o código do cliente para o servidor via variáveis internas do navegador utilizado.

O método *post* é especialmente indicado para os casos em que informações confidenciais são enviadas e que, obviamente, não podem ser visualizadas, embora outras precauções devam ser tomadas (*e.g.* o uso de servidores seguros – **https**)

⁸ **URL** é a sigla de *Universal Resource Locator* (Localizador Universal de Recursos), mais conhecido como simplesmente *página de internet* ou *endereço de internet* (*e.g.* <http://www.unifebe.edu.br>).

A vantagem de uso do método *post* é que como não serão agregados ao texto da URL os campos e seus respectivos valores, pode-se enviar quaisquer quantidades de dados pois não haverá limitação de caracteres na *string* da URL. Além disto, o método *post* também permite ao desenvolvedor criar páginas capazes de realizar *upload* por meio do uso de um parâmetro especial da tag `<form>` denominado **ENCTYPE** (cuja utilização não será coberta neste anexo).

O parâmetro `action`, por sua vez, possui o valor `http://localhost/Parametros.asp`. O *localhost* é a máquina local na qual estão armazenados todos os *scripts* de servidor. O IISTM necessita que estes estejam armazenados no diretório *wwwroot* que se encontra dentro do diretório *Inetpub*, criado quando da instalação do *Internet Information Services*TM.

A pasta *wwwroot* possui um nome que já sugere sua função: ser raiz dos *scripts* que serão executados sob solicitação dos clientes remotos. Justifica-se desta maneira o motivo pelo qual o *Código 2* (*Parametros.asp*) deveria ser lá armazenado.

A construção dos demais elementos do formulário empregou a tag `<input>` responsável pela criação de diversos tipos de entrada de informações. Sua sintaxe básica é:

```
<input type=[tipo de controle] [parâmetros adicionais]>
```

Os controles que podem ser criados por meio de `<input>` (parâmetro `type`) são:

- `text`: permite a criação de caixas de texto simples.
- `password`: permite a criação de caixas de texto para digitação de senhas.
- `checkbox`: permite a criação de caixas de verificação.
- `radio`: permite a criação de botões de radio (radio buttons).
- `submit`: cria um botão para enviar dados digitados e/ou selecionados.
- `reset`: cria um botão para limpar o formulário apagando o conteúdo das caixas de texto e voltando os demais controles a seus valores originais.

Os `[parâmetros adicionais]` especificam de modo mais preciso os controles criados, a saber:

- `name`: atribui ao controle um nome para que seja possível recuperar seu valor posteriormente.
- `size`: é o espaço físico ocupado pelo controle na tela (aplicável a caixas de texto simples e de senha).
- `maxlength`: é a quantidade máxima de caracteres que podem ser digitados em controles apropriados.
- `value`: é o valor padrão que o controle terá. Em objetos como botões de envio (*submit*) e limpeza (*reset*), define seu rótulo.
- `checked`: em botões de rádio (*radio*) e caixas de verificação (*checkbox*), determina se o controle aparecerá já marcado.

O *Código 1*, responsável pela aplicação cliente, utiliza apenas caixas de texto simples. É importante notar seus nomes (parâmetro `name`): *E1M1*, *E1M2*, *E1M3*, *E2M1*, *E2M2* e *E2M3* para as caixas de tempos de processamento das entidades 1 e 2 nas máquinas 1, 2 e 3 respectivamente (as denominações 1, 2 e 3 para as máquinas são genéricas; não correspondem à numeração real das máquinas de cada roteiro). Tais nomes serão referenciados mais tarde na aplicação servidora.

Existem outros controles que valem ser mencionados:

- Caixa de lista suspensa (*combo box*): criada pelas *tags* `<select>` e `</select>` entre as quais se alinham as opções da lista delimitadas pelas *tags* `<option>` e `</option>`.
- Caixa de texto de múltiplas linhas: criada pelas *tags* `<textarea>` e `</textarea>`, para a digitação de textos maiores.

A2.5.2 – A aplicação servidora

O código da aplicação servidora (Código 2), embora de organização aparentemente complexa, é de fácil compreensão.

Em primeiro lugar, deve-se notar que ao final do código existe uma porção em HTML. Isto significa que trechos em ASP podem residir no mesmo código-fonte que trechos de formatação de página.

O código ASP aparece envolvido pelos símbolos `<%` e `%>`. Estes símbolos devem obrigatoriamente englobar qualquer código diferente do HTML no arquivo e são chamados *delimitadores*.

O que o programa faz, basicamente, é ler os valores digitados nas caixas de texto e enviá-los ao banco de dados que criamos e que o sistema operacional reconhece sob o *alias* de **SIPES** (após conveniente configuração do ODBC – seção A2.3).

Para isto, os valores são lidos e atribuídos a variáveis correspondentes nas quatro primeiras linhas:

```
V1 = request.form("E1M1")
V2 = request.form("E1M2")
V3 = request.form("E1M3")
V4 = request.form("E2M1")
V5 = request.form("E2M2")
V6 = request.form("E2M3")
```

Embora tais variáveis não tenham sido declaradas explicitamente, é possível fazê-lo por meio da declaração `ASP Option Explicit` logo no início do programa.

O comando utilizado para efetuar a leitura dos conteúdos das caixas de texto é o `request.form`. O parâmetro deste comando é exatamente o nome do controle, atribuído por meio do parâmetro `name`, em sua definição pela *tag* `<input>` (Código 1).

A variável `V1` receberá o valor do tempo de processamento da entidade 1 na máquina 1 (digitado na caixa `E1M1`), `V2` receberá o valor do tempo de processamento da entidade 1 na máquina 2 (digitado na caixa `E1M2`), e assim sucessivamente.

Se tivesse sido usado o método *get* para o envio dos dados (parâmetro *method*, no *Código 1*), o comando para recuperação dos valores digitados nas caixas não seria o `request.form`, e sim o `request.querystring`. Neste caso, as linhas ficariam com o seguinte aspecto:

```
V1 = request.querystring("E1M1")
V2 = request.querystring("E1M2")
V3 = request.querystring("E1M3")
V4 = request.querystring("E2M1")
V5 = request.querystring("E2M2")
V6 = request.querystring("E2M3")
```

A seguir, vêm as linhas em que o cadastro é efetivamente feito. A primeira providência a ser tomada é criar um objeto de conexão a um banco de dados. Isto é feito pela linha

```
Set Insere = Server.CreateObject("ADODB.Connection")
```

O comando *set* determina que um objeto chamado *Insere* será criado e que este será uma conexão **ADO** (*ActiveX Data Object*) no servidor (por meio da declaração `Server.CreateObject(<tipo de objeto de servidor criado>)`).

Depois que o objeto é criado como uma conexão a um banco de dados, deve-se explicitar a que arquivo de SGBD ele será ligado e abri-lo. Isto é feito por meio da linha

```
Insere.Open "dsn=SIPES;"
```

Como o objeto *Insere* já é reconhecido pelo ASP, ele passa a dispôr de todas as propriedades e métodos inerentes à classe a partir da qual foi criado. Aqui, *Insere* abre a base de dados referenciada pelo *alias* *SIPES*, criado no item A2.3. Embora esta *string* (denominada *string de abertura*, ou *de conexão*) possa conter outros parâmetros (como senha de acesso e nome de usuário, em caso de ligações remotas que necessitem destas informações), será utilizada apenas a palavra-chave *dsn*, que indica o caminho da base propriamente dita.

Neste ponto, a tabela já se encontra à disposição do aplicativo. Deve-se escrever, portanto, na tabela *PRE3M6*, os dados lidos nas caixas de texto do formulário HTML em seus respectivos

campos. Isto é feito em duas etapas: a primeira constrói a *string* SQL equivalente à inserção desejada e a segunda efetiva esta adição. As quatro linhas seguintes são as correspondentes ao exposto:

```
LinhaSQL = "INSERT INTO PRE3M6 (TPE1M1, TPE1M2, TPE1M3,
TPE2M1, TPE2M2, TPE2M3) VALUES"
LinhaDados = "(" & V1 & "," & V2 & "," & V3 & "," & V4
& "," & V5 & "," & V6 & ")"
LinhaFinal = LinhaSQL & LinhaDados
Set Resultado = Insere.Execute(LinhaFinal)
```

LinhaSQL é a parte fixa da *string* SQL que inserirá os dados na tabela *PRE3M6*. Assumem-se conhecidos os princípios básicos da linguagem SQL para a compreensão desta parte do processo. Como os dados podem variar a cada cadastro, então deve-se ter outra *string* responsável por colocar no formato da sintaxe SQL as informações digitadas, cabendo à variável *LinhaDados* cuidar deste aspecto.

O símbolo & (chamado “*e’ comercial*” ou *ampersand*) é utilizado para concatenar *strings*. *LinhaDados*, portanto conterà a segunda parte da *string*, que são os dados a serem gravados. A variável *LinhaFinal*, por fim, agrupará essas duas *strings*, resultando na *string* SQL completa que será executada pela linha

```
Set Resultado = Insere.Execute(LinhaFinal)
```

Aqui, *Resultado* é uma variável utilizada apenas para ativar o processo de execução do comando SQL armazenado em *LinhaFinal*, por meio do método *Execute*, disponível para o objeto *Insere*.

Finalizado o processo de entrada de dados, o banco de dados deve ser fechado:

```
Insere.Close
```

Finalmente, o objeto *Insere* é descartado:

Set Insere = nothing

E, assim, conclui-se o processo básico de entrada de dados via formulário HTML.

O exemplo abaixo ilustra o uso das *strings* LinhaSQL, LinhaDados e LinhaFinal. Sejam as digitações feitas nos campos do formulário-cliente da Figura A2.16:

Entidade 1 (Polia):

Tempo de processo (Máquina 1):

Tempo de processo (Máquina 3):

Tempo de processo (Máquina 4):

Entidade 2 (Engrenagem):

Tempo de processo (Máquina 2):

Tempo de processo (Máquina 4):

Tempo de processo (Máquina 5):

A execução de *Parametros.asp* gerará:

```
LinhaSQL = "INSERT INTO PRE3M6 (TPE1M1, TPE1M2, TPE1M3,  
TPE2M1, TPE2M2, TPE2M3) VALUES"
```

```
LinhaDados = "('3', '2', '4.5', '1', '1.3', '2.2')"
```

```
LinhaFinal = "INSERT INTO PRE3M6 (TPE1M1, TPE1M2, TPE1M3,  
TPE2M1, TPE2M2, TPE2M3) VALUES ('3', '2', '4.5', '1', '1.3',  
'2.2')"
```

A2.5.3 – Extensão do programa básico: consulta a dados

O SIPES permite a consulta aos dados de uma simulação já ocorrida para verificação, por exemplo, da necessidade de uma nova rodada de simulação.

A partir das escolhas feitas pelos botões de rádio (Capítulo 4, Figura 4.18) e pela caixa de lista suspensa (Capítulo 4, Figura 4.19), um novo código ASP efetua a busca no banco de dados e exibe os dados (Capítulo 4, Figura 4.20).

Um exemplo de código para efetuar a busca pode ser o que segue (Código 4), gerado pelo SIPES após a devida recuperação dos dados primários da base:

```
<%  
VE = request.form("Empresa")  
VM = request.form("Modelo")  
Tabela = "PRE" & VE & "M" & VM  
  
Set Conexao = Server.CreateObject("ADODB.Connection")  
Conexao.Open "dsn=SIPES;"  
  
Set Procura = Server.CreateObject("ADODB.Recordset")  
Set Procura.ActiveConnection = Conexao  
  
LinhaSQL = "SELECT * FROM " & Tabela  
  
Procura.Open LinhaSQL  
%>  
  
<html>  
  <head>  
    <title>SIPES - Exibição dos dados do Modelo <%=VM%></title>  
  </head>  
  
  <body>  
    <h1>S I P E S</h1>  
    <h3><i>Sistema de Informação para Planejamento de Estoques baseado em  
Simulação</i></h3><hr><br>
```

```

<%
If Not Procura.EOF Then
    Procura.MoveFirst
    Response.Write "<b>Empresa selecionada: <i>Empresa " &
Procura(Empresa) & "</i></b><br><br>"
    Response.Write "<b>Modelo selecionado: <i>Modelo " & Procura(Modelo) &
"</i></b><br><br><hr>"
    Response.Write"<b><u>Dados da última execução:</b></u><br><br>"
    Response.Write"<b><i>Data:</b></i>: " & Procura(Data) & "<br>"
    Response.Write"<b><i>Simuladas:</b></i>: " & Procura(Horas) &
"horas<br><br>"
    Response.Write "<b><i><u>Entidade 1 (Polia)</u></i></b><br>"
    Response.Write "<b><i>Roteiro:</i></b><br> " & Procura(RE1) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Tempo médio (min) de processo (Máquina
1):</i></b> " & Procura(TPE1M1) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Tempo médio (min) de processo (Máquina
3):</i></b> " & Procura(TPE1M2) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Tempo médio (min) de processo (Máquina
4):</i></b> " & Procura(TPE1M3) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Estoque intermediário:</i></u>" & Procura(CE1) &
"<br><br>"
    Response.Write "<b><i><u>Entidade 1 (Engrenagem)</u></i></b><br>"
    Response.Write "<b><i>Roteiro:</i></b><br> " & Procura(RE2) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Tempo médio (min) de processo (Máquina
2):</i></b> " & Procura(TPE2M1) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Tempo médio (min) de processo (Máquina
4):</i></b> " & Procura(TPE2M2) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Tempo médio (min) de processo (Máquina
5):</i></b> " & Procura(TPE2M3) & "<br>"
    Response.Write "<b><i>Estoque intermediário:</i></u>" & Procura(CE2) &
"<br><br>"
Else
    Response.Write "<b>Não foi encontrado nenhum registro que atenda à
solicitação!<br>"
    Response.Write "Favor verificar os dados de entrada e tentar
novamente!</b><br><br>"
End If
%>

```

```

<%
Procura.Close
Conexao.Close
Set Conexao = nothing
Set Procura = nothing
%>

<a href="http://localhost/Empresa.HTML">Escolher nova empresa</a> |
<a href="http://localhost/Parametros.HTML">Entrar parâmetros para nova
simulação deste modelo</a>
</body>

</html>

```

Código 4: Exemplo de código para recuperação de informações no SIPES.

As três primeiras linhas atribuem às variáveis VE, VM e Tabela seus valores iniciais. A variável Conexao possui a mesma função da variável Insere, do *Código 2*: criar uma conexão com a base de dados apontada pelo *alias* SIPES, o que é feito pelas linhas 4 e 5:

```

Set Conexao = Server.CreateObject("ADODB.Connection")
Conexao.Open "dsn=SIPES;"

```

A diferença neste código é o novo objeto de servidor que está sendo usado, o **ADODB.Recordset**. Um *recordset* é um subconjunto de registros de uma ou mais tabelas que atendem a uma cláusula (linha) SQL específica. As linhas

```

Set Procura = Server.CreateObject("ADODB.Recordset")
Set Procura.ActiveConnection = Conexao

```

criam um objeto chamado Procura que será do tipo **ADODB.Recordset**. Em seguida, este objeto é ligado à base de dados apontada por SIPES por meio do objeto Conexao.

Na sequência, é montada a *string* de consulta, cujos princípios seguem os mesmos já discutidos para o *Código 2*:

```
LinhaSQL = "SELECT * FROM " & Tabela
```

Após isto, é efetuada a consulta propriamente dita:

```
Procura.Open LinhaSQL
```

Deve-se observar que a estratégia neste código distingue-se da do código anterior (Código 2). Naquele exemplo, o método `Execute` estava sendo acionado sobre um objeto do tipo **ADODB.Connection** (`Insere`). Neste, o método `Execute` está sendo acionado sobre um objeto do tipo **ADODB.Recordset** (`Procura`).

Ambos os métodos são válidos. A única diferença é que nesta abordagem fez-se necessário construir um objeto que armazenasse todos os resultados da consulta, e esta é função dos objetos do tipo *recordset*. No caso anterior, só era preciso executar uma única operação de inserção em uma tabela e, assim, não havia motivos para criar um *recordset*.

Após a execução deste trecho de código, dois eventos podem ter tomado lugar: ou foram encontradas ocorrências da pesquisa pedida ou não. No primeiro caso, `Procura` será um conjunto de registros que contém os resultados desejados e, no segundo caso, será um conjunto vazio.

O trecho a partir da *tag* `<html>` contém comandos importantes que manipulam os resultados armazenados em `Procura`.

Em pesquisas, deve-se indicar ao usuário se houve sucesso em sua busca ou não. É o que fazem as linhas a seguir (extraídas do Código 4):

```
If Not Procura.EOF Then  
    ... (código) ...  
Else  
    ... (código) ...  
End If
```

Os objetos do tipo **ADODB.Recordset** dispõem de duas propriedades denominadas **EOF** (*End Of File* – fim de arquivo) e **BOF** (*Beginning of File* – começo de arquivo). Dentro de um *recordset* existe uma variável que aponta para o registro atualmente em uso (seja para exibição, edição ou outra alteração qualquer) e cujo valor é comparado com a quantidade total de registros no objeto, a partir de seu início. Esta variável tem por função impedir que se ultrapassem os limites inferior e superior do objeto, o que gera erros em tempo de execução (*runtime errors*) por acesso a posições inválidas do *recordset*.

Se um *recordset* possui dados (e neste caso diz-se que um *recordset* está *populado*), o apontador de posição se situa no primeiro registro disponível. Caso esteja vazio, o apontador se direciona diretamente para o final do objeto.

A comparação:

```
If Not Procura.EOF Then
```

indica, literalmente, o seguinte: “se não estiver no final do objeto Procura, então...”, o que significa que, caso esta condição seja verdadeira, haverá registros no *recordset* e, portanto, deverão ser mostrados, pois a pesquisa foi bem sucedida (*i.e.*, houve registros que coincidiram com a *string* de busca fornecida).

O que ocorrerá a seguir é que o apontador será levado ao primeiro registro:

```
Procura.MoveFirst
```

e então imprimir-se-ão os detalhes da simulação recuperados. As sintaxes dos comandos de impressão serão em breve comentadas.

Caso a pesquisa não seja bem sucedida, isto é avisado ao usuário a partir do Else:

```
Response.Write "<b>Não foi encontrado nenhum registro que  
atenda à solicitação!<br>"
```

```
Response.Write "Favor verificar os dados de entrada e  
tentar novamente!</b><br><br>"
```

Em qualquer situação, após a consulta, os objetos utilizados no processo são fechados e descartados:

```
Procura.Close  
Conexao.Close  
Set Conexao = nothing  
Set Procura = nothing
```

assemelhando-se este processo ao já observado no Código 2.

A2.5.4 – Exibição de dados

Os dados foram exibidos na página por meio do comando `Response.Write`. Este comando é utilizado para mostrar qualquer texto dentro de um bloco ASP. Sua sintaxe é:

```
Response.Write <texto>
```

Como pode ser notado, foram usados diversos meios de mostrar os resultados da pesquisa para o usuário, incluindo o emprego do concatenador de *strings* (&). O mais interessante é que *tags* HTML podem ser adicionadas ao texto caso se deseje formatá-lo de maneira mais atraente, uma vez que o navegador se encarregará de interpretá-los.

Para exibir os conteúdos dos campos de cada registro, utilizou-se a seguinte sintaxe:

```
Objeto_ADODB.Recordset("Campo")
```

A2.5.5 – Exemplos de códigos HTML para formulários

Os códigos a seguir mostram a criação de diversos elementos visuais de interação em páginas HTML.

a) Criação de caixas de lista suspensa (*combo boxes*):

```
<form>  
  <select name="Opcoes">
```

```

        <option value=1 selected>Modelo 1</option>
        <option value=2 selected>Modelo 2</option>
        <option value=3 selected>Modelo 3</option>
        <option value=4 selected>Modelo 4</option>
    </select>
</form>

```

b) Criação de caixas de texto com múltiplas linhas:

```

<form>
    <textarea name="Comentários" cols=80 rows=20>
    </textarea>
</form>

```

Observações: o parâmetro `cols` serve para definir o número de colunas da caixa. O parâmetro `rows`, por sua vez, define o número de linhas.

c) Criação de botões de rádio:

```

<form>
    <input type="radio" name="M" value=1 checked> Modelo 1
    <input type="radio" name="M" value=2> Modelo 2
    <input type="radio" name="M" value=3> Modelo 3
    <input type="radio" name="M" value=4> Modelo 4
    </select>
</form>

```

d) Criação de caixas de verificação:

```

<form>
    <input type="checkbox" name="M1" value="sim"
checked>Modelo 1
    <input type="checkbox" name="M2" value="sim">Modelo 2
    <input type="checkbox" name="M3" value="sim">Modelo 3

```

```
<input type="checkbox" name="M4" value="sim">Modelo 4  
</select>  
</form>
```

Observações: note-se a diferença fundamental entre o uso de botões de rádio e de caixas de verificação. Enquanto que botão de rádio permite apenas UMA escolha dentre várias possíveis (daí os nomes dos vários botões do exemplo serem os mesmos), as caixas de verificação permitem várias escolhas simultâneas, motivo pelo qual elas devem ter nomes diferentes e ser avaliadas por meio de um valor (value) geralmente booleano, indicando, por exemplo, se ela foi selecionada (true – verdadeiro) ou não (false – falso).