

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA

TESE DEFENDIDA POR Gustavo Nucci

FRANCO E APROVADA PELA

COMISSÃO JULGADORA EM 7/08/98



ORIENTADOR

**A TEORIA DAS RESTRIÇÕES INTEGRADA A SIMULAÇÃO EM
COMPUTADOR PARA A ANÁLISE DE VIABILIDADE DE
MUDANÇAS EM SISTEMAS PRODUTIVOS**

Autor: Eng. Gustavo Nucci Franco

Orientador: Prof. Dr. Antonio Batocchio

F848t
35744/BC

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
Área de Materiais e Processos de Fabricação

**A TEORIA DAS RESTRIÇÕES INTEGRADA A SIMULAÇÃO EM
COMPUTADOR PARA A ANÁLISE DE VIABILIDADE DE
MUDANÇAS EM SISTEMAS PRODUTIVOS**

Autor: **Eng. Gustavo Nucci Franco**

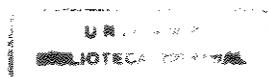
Orientador: **Prof. Dr. Antonio Batocchio**

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Fabricação

Dissertação de mestrado apresentada a comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

30 de junho de 1998
Campinas - SP - Brasil



98222403

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	F848t
V.	Ex.
COMBO BC/	35744
PROG	395/98
	<input type="checkbox"/>
PREL	98 11 00
DATA	05/11/98
N.º CPD	

CM-00118290-9

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

F848t Franco, Gustavo Nucci
A teoria das restrições integrada a simulação em computador para a análise de viabilidade de mudanças em sistemas produtivos. / Gustavo Nucci Franco.-- Campinas, SP: [s.n.], 1998.

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

1. Simulação (Computadores digitais). 2. Engenharia de produção. 3. Serviços (Economia). I. Batocchio, Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**A TEORIA DAS RESTRIÇÕES INTEGRADA A SIMULAÇÃO EM
COMPUTADOR PARA A ANÁLISE DE VIABILIDADE DE
MUDANÇAS EM SISTEMAS PRODUTIVOS**

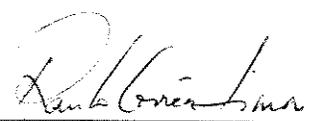
Autor: **Eng. Gustavo Nucci Franco**

Orientador: **Prof. Dr. Antonio Batocchio**



Prof. Dr. Antonio Batocchio

Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp



Prof. Dr. Paulo Corrêa Lima

Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp



Prof. Dr. Paulo Miyagi

Escola Politécnica da USP

Campinas, 30 de junho de 1998

A minha família.

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais, sem o apoio dos quais este trabalho não seria possível, e que suportaram com paciência meus momentos de mal humor sempre que algo saia errado;
- A minha irmã, que, embora não tão paciente, me acompanhava durante madrugadas de estudos;
- A minha avó Bra, pelo carinho nos momentos necessários;
- Aos meus amigos, que entenderam o motivo de minha ausência em várias ocasiões para nós especiais;
- A meu amigo Antonio Batocchio, por acreditar em mim e me ensinar como se relacionar no mundo acadêmico (valeu Prof.);
- Ao prof. Dr. Paulo Corrêa Lima por ter me iniciado no mundo da simulação.
- Ao Prof. Dr. Anselmo Eduardo Diniz, por me encaminhar no começo de minha pós-graduação, indicando meu orientador;
- Ao Prof. Dr. Geraldo Nonato Telles, por participar de minha banca de qualificação;
- Ao Prof. Dr. Olívio Novaski, por acreditar em meu potencial e por participar de minha banca de qualificação;
- Aos funcionários do DEF e meus colegas da UNICAMP, por darem o suporte necessário;
- A família Piccolotto, por me apoiar e fornecer dados para que este trabalho tivesse fundamento;

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

FRANCO, Gustavo Nucci. A Teoria das Restrições Integrada a Simulação em Computador para a Análise de Viabilidade de Mudanças em Sistemas Produtivos. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998, 160p. Dissertação (Mestrado).

As empresas dos mais diversos setores estão enfrentando um ambiente altamente competitivo nos dias atuais. Com isso, essas buscam cada vez mais a melhoria de produtividade, com a adoção de soluções novas e inovadoras. No entanto, a escolha dessas é algo complicado. As vantagens e desvantagens inerentes a cada mudança são função das características de cada sistema. Assim, uma análise se faz necessária antes que qualquer recurso seja despendido em uma implementação. Este trabalho propõe a utilização de um ambiente integrado formado pela aplicação dos conceitos da Teoria das Restrições e pelo uso de ferramentas de Simulação em Computador. Com isso, espera-se um meio eficiente de análise de viabilidade de mudanças em sistemas, diminuindo dúvidas e riscos desse processo. Assim, será possível se obter propostas de melhoria mais confiáveis, alcançando uma diferenciação competitiva.

Palavras-chave: Simulação (Computadores digitais), Engenharia de produção, Serviços (Economia)

ABSTRACT

FRANCO, Gustavo Nucci. *The Theory of Constraints Integrated to Computer Simulation to Analyze the Productive Systems' Viability*. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998, 160pp. Dissertação (Mestrado).

A vast number of enterprises are facing a high competitive environment nowadays. Thus, they are looking for productivity improvements, adopting new and innovative solutions. But the choice of those solutions is complicated. The advantages and disadvantages inherent to each change are function of each system's characteristics. Thus, an analysis is necessary before the use of each resource in an implementation. This work proposes the utilization of an integrated environment built with the application of Theory of Constraints concepts and the use of Computer Simulation tools. With that, we hope that an efficient method of analysis of the viability of system's changes is developed, diminishing the doubts and the risks in that process. Thus, it will be possible to get more reliable improvements, reaching a competitive differentiation

Key words: Simulation (Digital computers), Production Engineering, Services (Economy)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
SUMÁRIO	V
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
NOMENCLATURAS.....	XII
SÍMBOLOS UTILIZADOS.....	XIII
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO.....	3
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
CAPÍTULO 2 SISTEMAS DE MANUFATURA.....	6
2.1 INTRODUÇÃO.....	6
2.2 HISTÓRICO.....	7
2.3 DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....	9
2.3.1 <i>Sistemas de Manufatura</i>	9
2.3.2 <i>Eficiência, qualidade e flexibilidade</i>	11
2.3.3 <i>A relação variedade de produto e volume de produção</i>	14
2.3.4 <i>Manufatura de Classe Mundial</i>	16
2.3.5 <i>Manufatura Enxuta</i>	18
2.3.6 <i>Manufatura Ágil</i>	18
2.4 COMPONENTES E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS.....	20
2.4.1 <i>Máquinas-ferramentas</i>	20
2.4.1.1 <i>Máquinas de comando numérico</i>	21
2.4.2 <i>Sistemas de movimentação de materiais</i>	22
2.4.3 <i>Sistemas de inspeção</i>	23
2.4.4 <i>Sistemas de armazenagem e identificação</i>	24
2.4.5 <i>Robôs</i>	24
2.4.6 <i>Controle computacional</i>	25
2.5 INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE MANUFATURA.....	25

2.6	NOVAS TENDÊNCIAS - O CONSÓRCIO DOS PAÍSES RICOS PARA O SÉCULO XXI.....	27
2.6.1	<i>O Sistema Holônico de Manufatura</i>	28
2.7	COMENTÁRIOS.....	30
2.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
CAPÍTULO 3 SISTEMAS DE SERVIÇO		33
3.1	INTRODUÇÃO.....	33
3.2	A REVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS	34
3.3	DEFINIÇÕES E CONCEITOS	34
3.3.1	<i>Sistemas de Serviço</i>	34
3.3.1.1	Intangibilidade.....	37
3.3.1.2	Inseparabilidade.....	37
3.3.1.3	Variabilidade.....	38
3.3.1.4	Percibilidade.....	38
3.4	ADMINISTRAÇÃO DE UM SISTEMA DE SERVIÇO	39
3.4.1	<i>Administração da diferenciação competitiva</i>	40
3.4.2	<i>Administração da qualidade do serviço</i>	41
3.4.3	<i>Administração da produtividade</i>	44
3.5	MEDIDAS DE DESEMPENHO.....	45
3.6	DECISÕES EM PROJETOS DE SISTEMAS DE SERVIÇOS	46
3.6.1	<i>Layout</i>	46
3.6.2	<i>Automação</i>	46
3.6.3	<i>Política</i>	47
3.6.4	<i>Projeto de estações de trabalho</i>	47
3.6.5	<i>Suporte</i>	47
3.6.6	<i>Controle de fluxo</i>	47
3.7	COMENTÁRIOS.....	48
3.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CAPÍTULO 4 A TEORIA DAS RESTRIÇÕES		50
4.1	INTRODUÇÃO.....	50
4.2	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	51
4.2.1	<i>As obras de Eliyahu Goldratt</i>	53
4.3	DEFINIÇÕES E CONCEITOS	54
4.3.1	<i>Teoria das Restrições</i>	54
4.3.2	<i>Recursos gargalos e não gargalos, recursos de capacidade restritiva e restrições</i>	55
4.4	OS CINCO PASSOS	55
4.4.1	<i>Os processos de raciocínio da TOC</i>	57
4.5	A META E AS MEDIDAS DE DESEMPENHO.....	59
4.6	A TOC APLICADA A LOGÍSTICA DE PRODUÇÃO	61
4.6.1	<i>O OPT</i>	65
4.6.1.1	O cálculo do tamanho dos lotes.....	65
4.6.1.2	O método do OPT.....	66
4.6.1.3	Softwares de OPT.....	67
4.7	COMPARAÇÃO ENTRE O JIT E A TOC.....	67
4.8	CASOS DE ADOÇÃO DOS CONCEITOS DA TOC	69
4.9	COMENTÁRIOS.....	71
4.10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
CAPÍTULO 5 SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR		75
5.1	INTRODUÇÃO.....	75
5.2	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	76
5.3	DEFINIÇÕES E CONCEITOS	79
5.3.1	<i>Pesquisa Operacional</i>	79
5.3.2	<i>Modelagem de sistemas</i>	80
5.3.2.1	Modelos em escala.....	83
5.3.2.2	Modelos simbólicos.....	83
5.3.2.3	Modelos analíticos.....	84
5.3.2.4	Modelos de simulação.....	85
5.3.3	<i>Simulação contínua e Simulação de Eventos Discretos</i>	86
5.3.3.1	Termos usuais em Simulação de Eventos Discretos	87

5.10	COMENTÁRIOS.....	102
5.11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
CAPÍTULO 6	A TEORIA DAS RESTRIÇÕES INTEGRADA A SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR.....	106
6.1	INTRODUÇÃO.....	106
6.2	A SIMULAÇÃO APLICADA A TEORIA DAS RESTRIÇÕES	107
6.2.1	<i>A simulação no ensino</i>	108
6.2.2	<i>A simulação no treinamento</i>	110
6.2.3	<i>A simulação no projeto e na gestão de sistemas</i>	112
6.3	MODELAGEM PARA A TEORIA DAS RESTRIÇÕES	113
6.3.1	<i>As interações entre restrições e não restrições</i>	113
6.3.2	<i>Identificando as restrições do sistema</i>	116
6.3.3	<i>A dinâmica das restrições</i>	118
6.3.4	<i>Os nove princípios</i>	118
6.3.4.1	Não balancear a capacidade, e sim o fluxo.....	119
6.3.4.2	O nível de utilização de um recurso não restritivo é determinado por outra restrição	119
6.3.4.3	Utilização e ativação de um recurso não são a mesma coisa	120
6.3.4.4	Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema todo	120
6.3.4.5	Uma hora ganha em um recurso não restritivo não é nada, é miragem	121
6.3.4.6	Os recursos restritivos governam tanto o ganho quanto o inventário	121
6.3.4.7	Os lotes transferência não devem ser iguais aos lotes de processo	122
6.3.4.8	Um lote de processo pode variar	124
6.3.4.9	A programação das atividades deve ser estabelecida através da análise de todas as restrições	125
6.3.5	<i>Tambor Pulmão Corda e o OPT</i>	126
6.4	COMENTÁRIOS.....	129
6.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
CAPÍTULO 7	ESTUDO DE CASO.....	134
7.1	INTRODUÇÃO.....	134
7.2	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	135
7.2.1	<i>A unidade de negócios</i>	135
7.2.2	<i>A estrutura da loja</i>	136
7.2.3	<i>Objetivos do estudo</i>	137
7.2.4	<i>Medidas de desempenho</i>	138
7.2.5	<i>Abordagem escolhida</i>	138
7.2.6	<i>Análise inicial</i>	139
7.3	MODELAGEM DO SISTEMA.....	140
7.3.1	<i>Escopo e nível de detalhamento</i>	140
7.3.2	<i>Dados do sistema</i>	142
7.3.3	<i>Modelo esquemático</i>	143
7.3.4	<i>Modelo computacional</i>	144
7.3.4.1	Enfoque de modelagem	144
7.3.4.2	A lógica de programação dos recursos.....	147
7.3.4.3	Verificando o modelo	148
7.3.4.4	Animação do modelo.....	149
7.3.4.5	Validação do modelo.....	150
7.3.4.6	Tratamento e apresentação dos resultados	151
7.4	ANÁLISE DO SISTEMA ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR.....	153
7.4.1	<i>Primeiro passo</i>	153
7.4.2	<i>Segundo passo</i>	153
7.4.3	<i>Terceiro passo</i>	154
7.4.4	<i>Quarto e quinto passos</i>	154
7.5	ANÁLISE DO SISTEMA PROPOSTO	155
7.5.1	<i>Modelagem do sistema proposto</i>	155
7.5.2	<i>Comparação dos resultados e conclusão</i>	155
7.5.3	<i>Dinâmica das restrições</i>	157
7.6	COMENTÁRIOS.....	157
7.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
CAPÍTULO 8	CONCLUSÕES.....	159
APÊNDICE	MÓDULOS ARENA.....	162

7.5.1	<i>Modelagem do sistema proposto</i>	155
7.5.2	<i>Comparação dos resultados e conclusão</i>	155
7.5.3	<i>Dinâmica das restrições</i>	157
7.6	COMENTÁRIOS.....	157
7.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158
CAPÍTULO 8	CONCLUSÕES	159

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Por onde começar: escolhendo na sopa de letras (adaptado de GOLDRATT & FOX, 1986)	2
Figura 2.1 – Exigências do mercado (MALEKI, 1991)	11
Figura 2.2 – Relação variedade de produtos e volume de produção (MALEKI, 1991)	14
Figura 2.3 – Os Sistemas de Manufatura e sua flexibilidade (MALEKI, 1991)	16
Figura 2.4 – A evolução dos sistemas (GOULD, 1997)	20
Figura 2.5 – Necessidades de recursos para alguns sistemas (MALEKI, 1991)	27
Figura 3.1 – As categorias de oferta (adaptado de KOTLER, 1995)	35
Figura 3.2 – Elementos de interação de um serviço (KOTLER, 1995)	36
Figura 3.3 – Determinantes da qualidade de um serviço (adaptado de BERRY & PARASURAMAN, 1991)	42
Figura 4.1 – As interações possíveis entre os recursos (NARASIMHAN et al., 1995)	56
Figura 4.2 – Escoteiro mais lento a frente da tropa (NARASIMHAN et al., 1995)	62
Figura 4.3 – Escoteiros amarrados por uma corda (NARASIMHAN et al., 1995)	63
Figura 4.4 – Tambor na frente (NARASIMHAN et al., 1995)	63
Figura 4.5 – Tambor Pulmão Corda amarra o mais lento ao tambor (NARASIMHAN et al., 1995)	63
Figura 4.6 – Apresentação do software OPT21 (STG, 1997)	68
Figura 5.1 – Progressão de evento em evento durante simulação (HARRELL & TUMAY, 1995)	87
Figura 5.2 - Relação conceitual entre escopo e nível de detalhamento de um modelo com sua exatidão (ROBINSON, 1994)	93
Figura 5.3 - Classificação dos softwares de simulação (FRANCO, 1995)	95
Figura 5.4 - Lógica do funcionamento da Simulação de Eventos Discretos (HARREL & TUMAY, 1995)	97
Figura 5.5 - Estratégia para conduzir projetos de simulação (FRANCO, 1995)	99
Figura 5.6 - Sistemática para justificar o uso da simulação (MOTT & TUMAY, 1992)	102
Figura 6.1 – Proposta do JIT game computadorizado (RENTES et al. 1996)	109
Figura 6.2 – Simulação interativa de um Sistema Holônico de Manufatura (HMS HOME PAGE, 1998)	110
Figura 6.3 – O OPT Challenge game (STG HOME PAGE, 1997)	112
Figura 6.4 – Simbologia adotada para os modelos esquemáticos	114
Figura 6.5 – Modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos dos quatro primeiros casos de interação entre os recursos	114

Figura 6.6 - Modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos do caso 5 de interação dos recursos	115
Figura 6.7 – Modelo esquemático de um sistema exemplo	117
Figura 6.8 – Aplicação do método TPC em um Sistema de Manufatura	122
Figura 6.9 – Modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos para auxiliar na análise do tamanho dos lotes	124
Figura 6.10 – O TPC aplicado ao sistema exemplo	127
Figura 6.11 – Modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos do sistema exemplo	127
Figura 6.12 – Técnica para sinalização através do controle do inventário no sistema	128
Figura 6.13 - Técnica para sinalização através do controle do tamanho dos pulmões	128
Figura 6.14 – Lógica de checagem do tamanho do pulmão	129
Figura 7.1 – Layout da loja	136
Figura 7.2 – Modelo esquemático do sistema atual	143
Figura 7.3 – Enfoque de modelagem: chegada de clientes	145
Figura 7.4 – Enfoque de modelagem: atendimento inicial	145
Figura 7.5 – Enfoque de modelagem: provadores	146
Figura 7.6 – Enfoque de modelagem: atendimento final	146
Figura 7.7 – Lógica do turno de trabalho	148
Figura 7.8 – Lógica da refeição	148
Figura 7.9 – Animação do modelo computacional	150
Figura 7.10 – Medidas de desempenho para o sistema atual simulado	152
Figura 7.11 – Medidas de desempenho para o sistema proposto simulado	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Eras Históricas (BATOCCHIO & AGOSTINHO, 1997)	8
Tabela 4.1 – Comparação entre o JIT e a TOC (PLANTULLO, 1994)	69
Tabela 7.1 – Programação dos vendedores	137

NOMENCLATURAS

AGV	Veículos Guiados Automaticamente
APR	Árvore de Pré-requisitos
ARA	Árvore da Realidade Atual
AS/RS	Sistemas Automáticos de Estocagem e Retirada
AT	Árvore de Transição
CCR	Recurso de Capacidade Restritiva
CIM	Manufatura Integrada por Computador
CNC	Controle Numérico por Computador
DDN	Diagrama de Dispersão de Nuvem
DNC	Controle Numérico Direto
DVA	Demonstração do Valor Adicionado
HMS	Sistemas Holônicos de Manufatura
IMS	Sistemas Inteligentes de Manufatura
JIT	<i>Just in Time</i>
MRP II	<i>Manufacturing Resource Planning</i>
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
NC	Controle Numérico
OPT	<i>Optimized Production Technique</i>
QFD	Desdobramento da Função Qualidade
TOC	Teoria das Restrições
TPC	Tambor Pulmão Corda

SÍMBOLOS UTILIZADOS

λ	Taxa média de chegada de entidades
μ	Tempo de serviço do recurso
C	Custo assegurado
D	Demanda anual
DO	Despesa operacional
EOQ	Quantidade de Pedido Econômico
G	Ganho
H	Intervalo de confiança
I	Investimento
LL	Lucro líquido
MBQ	Quantidade de Lote Mínimo
N	Número esperado de entidades
n	Tamanho da amostra
n_a	Número de replicações da simulação a
Q	Quantidade
RSI	Retorno sobre investimentos
S	Custo de setup
s	Desvio padrão da amostra
SSL	Limite de Estoque da Estação
t	Coefficiente de t-Student
TC	Custo total
\bar{x}_m	Valor médio da amostra

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

As empresas vivem nos dias atuais em um ambiente altamente competitivo. Para sobreviver, novas e poderosas tecnologias devem ser pesquisadas. Essa busca se torna mais difícil a medida que os fatores tempo e risco estão envolvidos. Assim, métodos eficientes que levem a soluções mais precisas devem utilizados.

A busca constante pela melhoria da produtividade leva a tentativa de racionalização dos recursos investidos. Para isso, existem fatores externos e internos que provocam mudanças no perfil das empresas. De acordo com BATOCCHIO (1997), os fatores externos a serem tratados são as necessidades do mercado, a competição entre os concorrentes, as exigências do cliente e as ações da sociedade.

Esse perfil das empresas pode ser mudado através da adoção de novas técnicas de gerenciamento e através da busca por inovações tecnológicas. Consegue-se, com isso, respostas mais rápidas do sistema produtivo, barreiras eficientes a entrada de concorrentes e melhor produtividade. Devido aos fatores competitivos, o desafio de busca do melhor perfil para empresa deve ser feito de maneira rápida e efetiva.

Além disso, os períodos negativos não podem ser encarados como nuvens passageiras, durante os quais apenas posturas defensivas devem tomadas, como corte de despesas e dispensa de recursos humanos. Um meio que leve ao melhoramento contínuo nos bons e mal tempos deve ser buscado, conforme indicado por GOLDRATT & FOX (1986). As empresas que optarem pela diminuição para enfrentar as dificuldades simplesmente desaparecerão.

Assim, há a necessidade de ferramentas que auxiliem na escolha dessas tecnologias. A proposta deste trabalho é de que a integração da Teoria das Restrições com ferramentas de Simulação em Computador formem um ambiente poderoso para análises de viabilidade ao se efetuar mudanças.

No próximo item, os objetivos a serem atingidos por este trabalho são definidos, contribuindo para aplicação em Sistemas de Manufatura e Sistemas de Serviço.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são os seguintes:

1. Estudar, analisar e compreender os conceitos da Teoria das Restrições e das técnicas de Simulação em Computador, formando uma base de conhecimento para este trabalho.
2. Levantar as possibilidades de integração da Teoria das Restrições com as técnicas de Simulação em Computador.
3. Integrar a Teoria das Restrições a Simulação em Computador, formando um ambiente de apoio a análise de viabilidade antes de se implementar mudanças em sistemas produtivos.
4. Expandir conceitos tradicionais das áreas de manufatura para os Sistemas de Serviço, criando abordagens específicas a partir de técnicas já existentes.
5. Aplicar o ambiente desenvolvido em um Sistema de Serviço, mostrando a utilidade das abordagens desenvolvidas e buscando diferenciais competitivos para o sistema estudado.

1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO

Este trabalho será desenvolvido de acordo com a seguinte estrutura:

- **Capítulo 2 – Sistemas de Manufatura:** esse capítulo aborda os principais conceitos e características dos Sistemas de Manufatura. A evolução desses sistemas durante as diversas fases históricas é levantada, mostrando a complexidade desses. Seus diversos elementos são mostrados, e as formas como eles interagem são discutidas.
- **Capítulo 3 – Sistemas de Serviço:** esse capítulo aborda os principais conceitos e características dos Sistemas de Serviço. É mostrada a evolução desses sistemas, observando como as empresas desses setores vêm se desenvolvendo. A gestão desses é

discutida, mostrando suas necessidades específicas. O projeto dos Sistemas de Serviços também é discutido, sendo seus elementos discretizados e suas características levantadas.

- **Capítulo 4 – A Teoria das Restrições:** esse capítulo aborda os principais conceitos relativos a Teoria das Restrições. Um levantamento bibliográfico é feito, mostrando como esses conceitos surgiram a partir do trabalho do físico israelense Eliyahu Goldratt. A amplitude das aplicações é mostrada, sendo que para um caso específico, o de planejamento de produção, é mostrado o desenvolvimento de ferramentas administrativas. Casos onde a implantação desses conceitos foi bem sucedida também são apresentados.
- **Capítulo 5 – Simulação em Computador:** esse capítulo apresenta a Simulação em Computador como uma poderosa ferramenta das áreas de Pesquisa Operacional. Sua evolução histórica é mostrada, bem como seus principais conceitos e técnicas. A Simulação de Eventos Discretos é descrita como uma ferramenta capaz de suprir a necessidade de modelagem de sistemas flexíveis e complexos. É sugerida uma forma de conduzir projetos de simulação e as fases a serem seguidas.
- **Capítulo 6 – A Simulação em Computador Integrada a Teoria das Restrições:** esse capítulo desenvolve o trabalho de integração da Simulação em Computador a Teoria das Restrições. Os campos de aplicação da Simulação em Computador no projeto, gestão, ensino e treinamento de sistemas são mostrados. Algumas integrações da Simulação em Computador com a Teoria das Restrições são abordadas, mostrando os modelos necessários para uma implementação em alguns casos específicos.
- **Capítulo 7 – Estudo de Caso:** os conceitos desenvolvidos no capítulo 6 são aplicados em um caso prático nesse capítulo, dando uma noção de como as tecnologias e ferramentas abordadas podem se integrar. O sistema a ser estudado, um Sistema de Serviço, é apresentado. Modelos de Simulação em Computador são desenvolvidos a partir de enfoques específicos de modelagem. Sobre esses modelos são aplicados os conceitos da Teoria das Restrições. Mudanças são, então, propostas e modeladas, levando a conclusões sobre as vantagens na implantação dessas.
- **Apêndice – Módulos Arena:** os módulos utilizados para que os modelos desenvolvidos sejam implementados são apresentados. As caixas de diálogo, bem como uma explicação sucinta da utilização de cada módulo é realizada. Desse modo, a compreensão dos modelos desenvolvidos fica facilitada.

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATOCCHIO, A. *Sistemas de Fabricação e Tecnologia de Grupo*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação, 1997. (Notas de Aula)

GOLDRATT, E.M., FOX, R.E. *The Race*. North River Press Inc, 1986.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE MANUFATURA

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados aspectos relativos aos Sistemas de Manufatura, enquanto parte de um conjunto maior chamado neste trabalho de Sistema Produtivo. No próximo capítulo, outros dos sistemas que o compõe será estudado: os Sistemas de Serviço.

É mostrada, inicialmente, a complexidade que esses sistemas estão alcançando, o que dificulta cada vez mais sua gestão.

Inicialmente, é mostrada a evolução das formas de trabalho durante os tempos, indo desde o Sistema Feudal até as complexas relações atuais. Cada momento é caracterizado de acordo com sua fonte de riqueza, tipo de organização e princípios conceituais.

Então, os principais conceitos e definições, pertinentes ao contexto deste trabalho, são mostrados: o que é a manufatura e um Sistema de Manufatura, eficiência, qualidade e flexibilidade, Sistemas Integrados de Manufatura, além de Manufatura Enxuta, Manufatura Ágil e Manufatura de Classe Mundial.

Com uma base de fundamentos estabelecida, os Sistemas de Manufatura são discretizados. Os diversos elementos que os constituem são evidenciados e explicados. Ainda, a forma como eles interagem entre si e a questão da implantação deles enquanto um sistema são discutidas.

Por fim, com o objetivo de se abrir o horizonte de observação para onde os Sistemas de Manufatura caminham, uma nova tendência é apresentada: o Sistema Inteligente de

Tabela 2.1 – Eras Históricas (BATOCCHIO & AGOSTINHO, 1997)

Durante o Sistema Feudal, fase marcada por um profundas mudanças econômicas, sobretudo no que hoje é a Europa Ocidental, a terra era a única fonte de subsistência. A moeda era escassa e os contatos comerciais, nulos, devido a várias invasões que se sucederam naquela época. Configurava-se o ruralismo e a produção visava o consumo interno, já que o comércio era praticamente impossível. Essa situação somente foi transformada a partir do século XI, com o Renascimento Comercial, fase do desenvolvimento da vida urbana e do surgimento da burguesia. Esse novo sistema se desenvolveu até que, mais para frente, durante o século XIV, esse feudalismo se desintegrou totalmente. Surgiram as relações assalariadas e ocorreu a implantação do Capitalismo Comercial. Era a Revolução Comercial. A terra ainda era a principal riqueza.

Apenas no final do século XVIII essa imagem se modificou, com o surgimento da Revolução Industrial. Esse marco pode ser estabelecido a partir da invenção da máquina a vapor, em 1780. A partir daí, a riqueza se transferiu para o trabalho; a forma de organização, os proprietários.

A Revolução Industrial é comumente dividida em duas fases:

1. A fase do carvão e do ferro, quando houve a predominância inglesa. A força motriz era o vapor e sua aplicação determinava mudanças profundas quanto as atividades.
2. A fase do binômio eletricidade – aço, surgida por volta de 1880. O progresso tecnológico se acelerava e Revolução Industrial ganhava outros países (Bélgica, França, Alemanha, Rússia, Estados Unidos, Japão). O novo sistema se implantava num ritmo vertiginoso, e as conquistas tecnológicas (aplicação da química à indústria, utilização do petróleo, desenvolvimento da metalurgia) e as invenções (motor à explosão, dínamo, eletricidade) se sucediam.

Como consequência, começavam a surgir as grandes empresas. Eram hierarquias escalonadas, compostas por profissionais e especialistas, que substituíam os proprietários.

Hoje, ainda se vê a influência da Era Industrial, com conceitos que permanecerão por muito mais tempo. No entanto, alguns novos fatores possuem um caráter persuasivo na indústria contemporânea. A nível global, o mercado, a competição, o cliente e a sociedade são os ditadores das indústrias. A nível específico, é a necessidade de grande velocidade de mudança de produtos que leva ao grau de diversificação dos produtos, a redução do ciclo de

vida desses produtos e a redução dos lotes. Esses fatores levam a necessidades de racionalização, buscando uma maior produtividade.

Assim, no começo dos anos 90, presenciou-se o início da Era do Conhecimento. A organização, agora, é uma rede humana. Estão caindo as hierarquias, e os processos se integram. O trabalho se desenvolve a partir do diálogo.

Todas essas mudanças, que vieram das diversas necessidades surgidas durante os tempos, levaram ao surgimento de diversos Sistemas de Manufatura. Essas modificações nesses sistemas formam um processo contínuo de mudança que vêm ocorrendo até hoje. Em cada um desses sistemas, diferentes conceitos são priorizados, levando ao surgimento de diversas tecnologias. Para a compreensão dos Sistemas de Manufatura atuais, suas diversas classificações e características devem ser descritas, e as principais tecnologias que os integram, entendidas.

2.3 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

2.3.1 Sistemas de Manufatura

BATOCCHIO & AGOSTINHO (1997) definem manufatura como a transformação de matéria prima, em seus diversos estados, em produtos finais, para serem disponibilizados para o consumidor final. Os produtos são produzidos por uma combinação de trabalho manual, máquinas, ferramentas especiais e energia, sendo, então, disponibilizados para o consumidor final. O processo de transformação usualmente envolve uma seqüência de passos, com cada um levando o material mais perto de sua forma final. É um sistema que integra diferentes funções, podendo ser composto, segundo BATOCCHIO (1997), por atividades básicas de:

- Engenharia: é responsável pelo projeto dos produtos, desde sua concepção juntamente com o marketing, até sua aprovação final. Além disso, é responsável por prover os meios de fabricação através da geração dos meios de manufatura, atividade que engloba desde a definição dos roteiro de fabricação, passando pela definição das condições operacionais, indo até a comunicação com o chão de fábrica.
- Chão de fábrica: a produção é a responsável pela fabricação dos produtos nas quantidades determinadas. Utiliza para isso diversos recursos de equipamentos e mão de obra. Estão incluídas aqui, também, as atividades de planejamento e controle das atividades de produção.

- **Negócios:** engloba as áreas de vendas, marketing e suprimentos. A ordem de se produzir se origina normalmente das vendas e do marketing, através de um pedido do cliente ou uma previsão de mercado. A área de suprimentos fará a conexão entre o sistema de manufatura e o mercado fornecedor, sendo afetada pelas atividades das vendas, marketing e engenharia.
- **Suporte:** é responsável por manter sob controle as atividades de chão de fábrica, visando tanto a qualidade como o desempenho operacional dos equipamentos. É composta pelo suporte a qualidade, suporte a operação (manutenção), suporte a facilidades (suprimento de energia).

Esse complexo sistema deve estar organizado de uma forma estruturada. Segundo CERTO & PETER (1993), essa estrutura está diretamente ligada a estratégia da empresa. É a estrutura organizacional que limitará a ação de cada elemento do sistema, afetando a chance de um desses expressar suas idéias. Por exemplo, uma organização altamente descentralizada sugere a confiança na capacidade dos elementos subordinados.

Uma forma de se classificar os sistemas de manufatura é com base no tamanho do lote, obtendo-se [BATOCCHIO & AGOSTINHO, 1997]:

- **Manufatura individual:** quando são manufaturados produtos com o propósito de servirem de protótipos, ou quando esses são produzidos de forma unitária, como turbinas geradoras de energia, navios ou máquinas-ferramentas de grande porte.
- **Manufatura em lotes:** quando são produzidos produtos em séries ou lotes, como máquinas-ferramentas, computadores de médio porte ou mesmo certos aviões.
- **Manufatura em massa:** quando se tem uma grande quantidade de produtos de um tipo semelhante, pressupondo a produção de uma grande quantidade desses por um longo período, como eletrodomésticos ou automóveis.

Outra classificação dos sistemas de manufatura é quanto ao fluxo do chão de fábrica, podendo ser [BATOCCHIO & AGOSTINHO, 1997]:

- **Fluxo Contínuo:** os componentes são produzidos obedecendo a ordem de operações definidas no roteiro de fabricação. As máquinas são alocadas de acordo com a seqüência previamente definida. Os equipamentos são, normalmente, posicionados em linha, na ordem das operações, vindo daí o nome produção em linha. Quando esse sistema é

específico para um único produto, diz-se que se trata de uma linha dedicada. Esse sistema é aplicado a produção em lotes ou para produção em massa.

- **Fluxo descontínuo:** os componentes são produzidos em lotes de operação, com as máquinas alocadas em grupos. Esses grupos de máquinas podem ser formados de acordo com a função, sendo um layout funcional ou tradicional, ou de acordo com as famílias de peças, Células de Manufatura.

O Sistema de Manufatura, bem como os métodos de operação e equipamentos utilizados, vai depender do tipo, das quantidades, da complexidade, da variedade, do ciclo de vida e do custo relativos ao produto desejado.

2.3.2 *Eficiência, qualidade e flexibilidade*

O mercado atual é determinado pelos consumidores. Para existirem indústrias, elas devem buscar e produzir aquilo que os consumidores potencialmente desejam. A figura 2.1 mostra um resumo dessas exigências.

Esse tipo de frase contradiz todos os conceitos que foram estabelecidos na virada do século quando Henry Ford disse (WOMACK et al. 1990): “as pessoas podem pedir qualquer cor de carro, desde que essa seja preta”. Obviamente ele podia fazer tal afirmação, já que naquele tempo as indústrias eram capazes de vender praticamente tudo aquilo que produziam. Os mercados eram nacionalizados, não havendo competição com concorrentes estrangeiros.

60's	70's	80's
<i>Eficiência</i>	<i>Eficiência</i>	<i>Eficiência</i>
	+	+
	<i>Qualidade</i>	<i>Qualidade</i>
		+
		<i>Flexibilidade</i>

Figura 2.1 – Exigências do mercado (MALEKI, 1991)

O sucesso de Ford foi resultado da transição de um sistema flexível e praticamente artesanal para a produção de automóveis numa linha de produção de massa e inflexível. Assim, ele reduziu custos e mudou a natureza do mercado de automóveis. Do mesmo modo, a empresa de fast food McDonald's alcançou o sucesso, conforme descrito por NAHMIA (1997).

No entanto, o mundo está mudando rapidamente. Embora Ford tenha crescido bastante até 1925, ele quase foi obrigado a abandonar os negócios cinco anos mais tarde. O mercado estava cansado de seu Modelo T e estava pronto para novos produtos. A inflexibilidade de Henry Ford quase destruiu a companhia. Embora o McDonald's continue como um sucesso no mundo, concorrentes, como a rede Burger King, estão ganhando mais mercado a cada dia por serem mais flexíveis, atendendo, assim, melhor os desejos dos clientes.

A Segunda Grande Guerra trouxe uma nova era para os negócios internacionais, que começaram a se expandir enormemente após seu final. Países industrializados perceberam que podiam aumentar sua economia descobrindo novos materiais e técnicas de produção para aumentar sua produtividade, o que resultaria em um preço mais baixo para os seus produtos. Essa necessidade de preços baixos fez com que eles produzissem grandes lotes da maneira mais eficiente possível. Por essa razão, a eficiência se tornou o fator mais importante no projeto e operação de sistemas produtivos.

Duas décadas após a Segunda Guerra, a competição internacional se tornou mais intensa. Preços caíram e, como resultado, o poder de compra dos consumidores aumentou. Isso fez com que o foco do mercado mudasse do fabricante para o consumidor. Como não havia como abaixar mais os preços, os compradores exigiam melhor qualidade. Qualidade sempre foi uma determinação das indústrias, mas foi no final da década de 60 que ela começou a ser encarada como uma nova fórmula de sucesso. Tanto a eficiência como a qualidade se tornaram importantes para as indústrias de manufatura. Os grandes lotes de produtos continuavam sendo o método mais importante para se alcançar os níveis desejados de eficiência.

Desde o final dos anos 70, os fabricantes se deparam com um outro problema: a mudança constante das necessidades e desejos dos consumidores. Assim, grandes lotes não eram mais cabíveis. Um outro fator tinha que ser levado em conta: a flexibilidade.

Flexibilidade significa diversas coisas para várias pessoas. No entanto, quando se fala em processos de manufatura, MALEKI (1991) diz que todos os significados devem possuir a característica de oferecer caminhos alternativos para que uma peça seja executada. Esses caminhos se relacionam com a seqüência de equipamentos que serão utilizados nesse processo.

Pode-se, ainda, estabelecer que flexibilidade é a velocidade de um sistema para reagir a mudanças. Para um sistema ser verdadeiramente flexível, deve haver flexibilidade durante

todo seu ciclo de vida, desde a concepção e projeto, passando pela sua implantação, chegando até sua utilização. Sistemas flexíveis podem prover fabricantes de uma flexibilidade desejável a fim de ir ao encontro das mudanças de mercado.

O grau e nível de flexibilidade de um sistema são limitados pelas barreiras tecnológicas. Assim, sistemas flexíveis não são a solução para todos os problemas de manufatura, e as expectativas em cima deles devem estar estabelecidas de acordo com a capacidade do sistema.

Para ilustrar, pode-se imaginar um carpinteiro, o qual possui apenas ferramentas básicas como martelos e serrotes. Ele é um sistema bastante flexível, já que não existem máquinas capazes de realizar suas atividades artesanais. No entanto, existe um número limitado de itens que podem ser feitos. Quando esse limite é alcançado, não há mais possibilidade de se aumentar a sua capacidade produtiva.

Produtividade é um elemento essencial em qualquer atividade, seja ela de manufatura ou não, e para se manter competitivo, o aumento na produtividade deve ser perseguido. Assim, um sistema deve prover o usuário não apenas de flexibilidade, mas também de aumento de produtividade. A questão desafiadora de um aumento proporcional de flexibilidade, qualidade e produtividade é colocado sobre a tecnologia de produção.

Sistemas de Manufatura cobrem uma ampla variedade de atividades de manufatura: usinagem, soldagem, montagem, e inúmeras outras. Esses sistemas podem ter diferentes graus de flexibilidade, alguns mais, outros menos, dependendo das partes que compõem o sistema. Devido a esses diferentes graus de flexibilidade, todos os sistemas possuem as seguintes características próprias [MALEKI, 1991]:

- **integração:** interdependência dos componentes do sistema, de modo que eles trabalhem juntos e em harmonia.;
- **inteligência:** habilidade de interpretar entradas e produzir respostas baseadas nas expectativas do usuário;
- **agilidade:** velocidade com que um sistema pode reagir a mudanças.

A flexibilidade desses sistemas é diretamente dependente desses três parâmetros.

2.3.3 A relação variedade de produto e volume de produção

As técnicas tradicionais de produção apresentam dois mundos diferentes de produção: o de grande volume com baixa variedade de produtos e o de pequeno volume com alta variedade de produtos. Essa relação pode ser vista na figura 2.2.

Um exemplo de grande volume com uma baixa variedade de produtos produzidos pode ser encontrado nas tradicionais linhas de produção, as quais usam equipamentos dedicados e específicos tanto para o processamento como para o transporte dos materiais e produtos específicos. Devido ao uso de equipamentos altamente especializados, essas linhas são caras, bastante inflexíveis e capazes de processar um ou alguns poucos produtos bastante similares. Para mudar o produto a ser processado, grandes modificações devem ser efetuadas, o que leva a um alto custo e gasto de tempo. No entanto, devido a especialização dos equipamentos dedicados, a linha tem um alto volume de produção, com um baixo custo por unidade produzida, se comparada com outros métodos de produção de produtos similares.

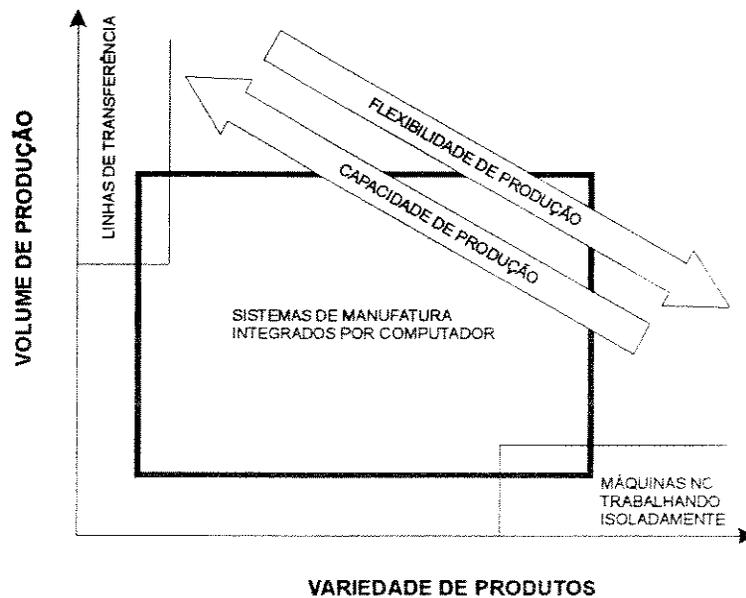


Figura 2.2 – Relação variedade de produtos e volume de produção (MALEKI, 1991)

Do outro lado, existem as máquinas de comando numérico (NC) trabalhando isoladamente, as quais caracterizam a produção com pequeno volume e alta variedade de produtos. As máquinas NC dão ao usuário a flexibilidade necessária para efetuar uma vasta quantidade de operações em uma família de peças. Para mudar o tipo de peça a ser processada não há a necessidade de mudanças de equipamento, havendo apenas a necessidade de se

alterar o programa dentro da unidade de comando numérico do equipamento. Devido a flexibilidade desses equipamentos, o volume de produção é bastante baixo, levando a um maior custo por unidade produzida.

Um problema que existiu por muito tempo foi o de encontrar um ponto intermediário entre essas duas técnicas, o qual podemos classificar como volume médio/variedade média. Com a intenção de descobrir técnicas de produção que levem a esse ponto, construtores de máquinas e usuários se esforçaram na utilização de diversas tecnologias de produção. MALEKI (1991) aponta que a falta de uma tecnologia e métodos de manufatura mais apropriados geram alguns problemas como:

- subutilização das máquinas;
- aumento do lead time;
- aumento dos inventários em processo;
- subutilização das ferramentas;
- utilização ineficiente do espaço físico.

Descobertas substanciais que integravam meios de movimentação de materiais, aplicações de computadores e projetos de máquinas, combinados com a necessidade de um método de produção com um custo efetivo, levaram aos sistemas de Manufatura Integrada por Computador (CIM), os quais cobriam as necessidades de uma técnica com a qual se conseguisse um volume médio com uma variedade média de produção [MALEKI, 1991]. O CIM integra o computador, os equipamentos de movimentação de material e a flexibilidade das máquinas NC em um único sistema.

Segundo MALEKI (1991), um CIM pode possuir a flexibilidade de uma máquina NC trabalhando isoladamente enquanto consegue alcançar o objetivo de um alto volume de produção. Pode ser observado que há uma relação diversa entre a flexibilidade e os níveis de produção. Ele se difere dos outros Sistemas de Manufatura porque seus equipamentos estão integrados de modo a produzir uma ou mais famílias de peças de maneira mais eficiente. O avanço nos computadores e na tecnologia de comando numérico fizeram tal organização possível.

Dependendo das necessidades e aplicações, as diversas tecnologias disponíveis podem prover diferentes níveis de flexibilidade. A taxa de produção e a flexibilidade são a maior

diferença entre os diversos sistemas. Na figura 2.3 podem ser vistos alguns tipos de sistemas e seu escopo de utilização.

2.3.4 Manufatura de Classe Mundial

Boa parte das economias foram fundadas sobre o capital, a tecnologia, os recursos naturais e a informação, formando mercados relativamente cativos. No entanto, esse cenário mudou. A competição estrangeira tem submetido as empresas a desafios muitos maiores, sendo criadas novas formas de competição. Em resposta às pressões competitivas, muitas empresas trabalham na busca pela melhoria nos processos, qualidade, automação e sistemas de informação, tentando levá-las a uma categoria de empresa de alta performance. A pressão está na busca por nada aquém do melhor.

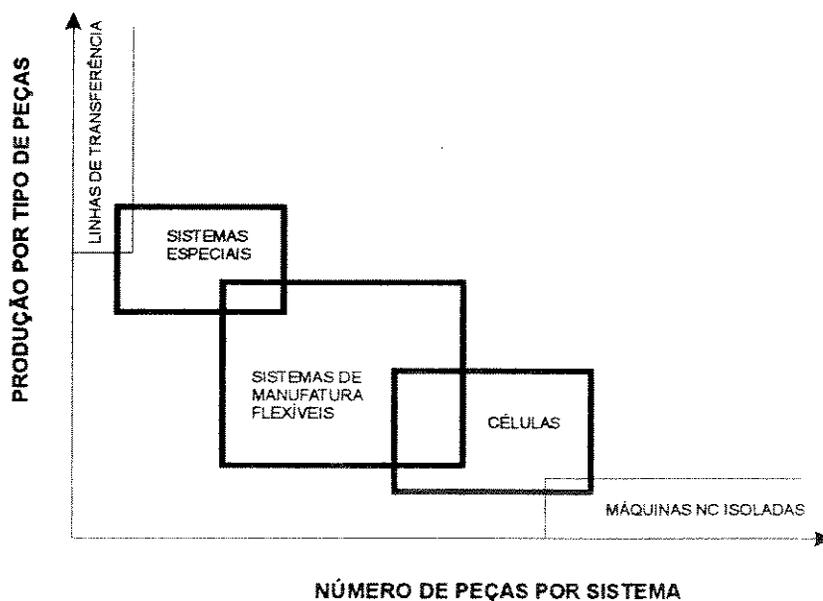


Figura 2.3 – Os Sistemas de Manufatura e sua relação variedade x quantidade produzida (MALEKI, 1991)

O mundo inteiro observa a perda de mercados locais para concorrentes estrangeiros. No Brasil, a abertura dos mercados, com a queda de leis protecionistas, pode ser observada com a entrada de produtos estrangeiros em todos os setores da economia. Essa é uma tendência que vem ocorrendo em todo mundo, não estando nenhum país imune a ela. Com isso, novos mercados e parcerias em escala global vêm se formando.

Diante desse novo cenário, algumas empresas se destacam mais do que outras, mostrando-se mais aptas. SCHONBERGER (1986) classificou essas como empresas de Manufatura de Classe Mundial. Essas possuem algumas características comuns:

- Buscam a excelência.
- Adotam técnicas de produção Just in Time.
- Procuram mudanças no enfoque dado para as forças de trabalho.
- Possuem um enfoque flexível para atender as necessidades dos clientes.

O resultado é uma nova empresa capaz de realizar mudanças e produzir produtos com alta velocidade. É a melhor na sua área, crescendo rapidamente e tendo uma maior lucratividade que seus concorrentes. Empresas como essa serão os competidores de classe mundial, organizados para responder a dinâmica do mercado com precisão e velocidade. Serão capazes de alcançar qualidade de classe mundial, sem o acréscimo de custos em seus produtos.

Para se alcançar esse nível, várias mudanças são necessárias. Para se tornar um empresa de classe mundial, a inércia organizacional deve ser transposta. Para isso, seis pontos devem ser balanceados [SCHONBERGER, 1986]:

- estratégia;
- processo;
- estrutura;
- suporte;
- cultura;
- sistemas organizacionais.

Muitas empresas trabalham intensivamente em um ou dois desses pontos, mas se esquecem dos outros. Um modelo de integração deve ser adotado para essa mudança, utilizando ferramentas que enfatizem um processo de melhoramento contínuo. A administração de mudanças de larga escala necessitam de um planejamento, alcançando os objetivos almejados.

Para se avaliar o quanto a empresa se aproxima de seus objetivo, alguns índices devem ser monitorados, de modo a direcionar as ações a serem tomadas. Os princípios da

Manufatura de Classe Mundial leva a busca de medidas de desempenho que indicam a situação atual de cada empresa. Ainda segundo SHONBERGER (1996), essas medidas não precisam ser inovadoras, mas devem prover meios de monitorar o desempenho e direcionar as ações visando o melhoramento contínuo.

2.3.5 Manufatura Enxuta

Uma das formas de se enfrentar as atuais solicitações de um mercado competitivo é através da busca da Manufatura Enxuta. De acordo com a filosofia japonesa, *muda* significa desperdício. A busca e eliminação dos desperdícios é a base dos conceitos por trás da Manufatura Enxuta.

Especificamente, qualquer atividade humana que absorve recursos mas não cria valor, de acordo com WOMACK & JONES (1998), significa desperdício. Exemplos são encontrados nos erros que exigem uma retificação, na produção de itens que ninguém deseja e no acúmulo de materiais ou produtos em estoque final ou em processo.

O pensamento enxuto combate o desperdício. Isso se faz através de ações como especificar de valor, alinhar as ações que criam valor na melhor seqüência, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que essas são solicitadas por alguém e tornar essas cada vez mais eficazes.

Assim, o ponto inicial de partida é o valor, o qual deve ser estabelecido pelo cliente. Em seguida, a cadeia de valor, o conjunto de ações específicas necessárias para se levar a um produto específico [WOMACK & JONES, 1998], deve ser identificada. As fronteiras tradicionais devem, então, ser alteradas, eliminando os obstáculos do fluxo contínuo do produto. Em seguida, as práticas e ferramentas de trabalho específicas para eliminar os refluxos, sucatas e paralisações devem ser repensadas.

Com isso, os esforços envolvidos no processo de redução de esforços, tempo, espaço, custos e erros levam a aproximação dos desejos dos clientes.

2.3.6 Manufatura Ágil

Com a chegada do final do século 20, já se pensa nas necessidades para o início do próximo milênio. Essas necessidades fazem com que surjam alguns requisitos para os futuros Sistemas de Manufatura. ESMAIL & SAGGU (1996) apresentam as mudanças de paradigmas

necessários para as empresas de manufatura enfrentarem o futuro. Segundo eles, essas empresas deverão:

- Disponibilizar novos produtos de forma rápida.
- Assimilar facilmente experiência e inovações tecnológicas.
- Desenvolver projetos de produtos.
- Utilizar sistemas de produção reprogramáveis e reconfiguráveis, que mudem constantemente.
- Produzir sob encomenda e não para estoque ou venda.
- Produzir uma unidade com o mesmo custo de grandes lotes.
- Focar preferencialmente ganhos a longo prazo.

Esse cenário lança novos desafios aos Sistemas de Manufatura, que deverão atender aos consumidores de diferentes mercados, sem o prejuízo do custo e do lead time. Em um futuro próximo, as empresas que não atenderem a essas exigências fatalmente perderão seu lugar no mercado.

Como resposta, surge o conceito de Manufatura Ágil. OWEN & KRUSE (1997) definem a Manufatura Ágil como aquela com habilidade de administrar a mudança, no imprevisível mundo do comércio e da indústria e, sobreviver no mercado que demanda uma rápida resposta às inesperadas mudanças nas demandas do consumidor, nos desafios competitivos e nas rupturas tecnológicas.

Ainda, segundo ESMAIL & SAGGU (1996), uma empresa ágil irá requerer processos de manufatura capacitados para explorar as oportunidades em um clima de incerteza, imprevisão e turbulência. A empresa ágil deverá ter capacidade para reagir rapidamente às mudanças de ambiente.

Os Sistemas de Manufatura vêm evoluindo em direção a Manufatura Ágil, conforme visto na figura 2.4. Em vista dessa evolução, GOULD (1997) diferenciou essa da Manufatura Enxuta. Os conceitos são diferentes e a Manufatura Ágil requer uma estrutura organizacional e uma operação diferenciadas.

Para atingir a Manufatura Ágil, a empresa deve focar em suas funções e inter-relações para os três recursos primários. Assim, deve-se ter:

- **Mão de obra:** qualificada, com pessoas com habilidade, conhecimento e *empowerment*.

- **Organização:** com uma estrutura de organização inovadora.
- **Tecnologia:** flexível e inteligente, adaptada em função das pessoas.

Para que uma empresa se torne ágil, ela deverá realizar mudanças em sua cultura, sua prática de negócio e suas relações com as demais empresas. Ocorrerá uma transformação do modelo tradicional para um modelo que está emergindo. Esse modelo irá variar para cada tipo de organização, mas provavelmente conterá um número genérico de elementos.

	Artesanal	Massa	Enxuta	Ágil
Reconfigurável				
Flexível				
Fixa				
Abrangente				

Figura 2.4 – A evolução dos sistemas (GOULD, 1997)

No item 2.6 deste trabalho, será apresentada uma tentativa contemporânea de busca pela Manufatura Ágil.

2.4 COMPONENTES E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS

Segundo MALEKI (1991), a questão de racionalização a fim de reduzir o trabalho leva a controles por computadores, totalmente automatizados e sem a necessidade de supervisão por um longo período durante a operação de alguns sistemas de manufatura. Isso leva a necessidade não apenas de um alto nível de inteligência e flexibilidade em todos os componentes desse sistema, mas também de equipamentos e periféricos de excelente confiança e praticidade, de modo a evitar paradas por falhas e quebras. As máquinas-ferramentas e os sistemas de movimentação e estocagem, bem como equipamentos de operações, inspeção e controle, têm sofrido grande avanço desde os últimos anos, embora alguns problemas devam ainda ser superados.

2.4.1 Máquinas-ferramentas

Máquinas-ferramentas são os blocos construtivos dos Sistemas de Manufatura, e a flexibilidade do sistema depende da flexibilidade dessas máquinas. Assim, uma restrição para as máquinas-ferramentas a serem incorporadas em um sistema é sua flexibilidade, de modo que o escopo desejado de peças processadas possa ser alcançado.

Um aspecto para o projeto dessas máquinas está no grande número de ferramentas algumas vezes necessário. Elas devem ter flexibilidade para executar diferentes tipos de operação, que podem ir desde um simples furo até a usinagem de um contorno tridimensional complexo. Com isso, surgem os centros de usinagem com dezenas de ferramentas, onde existem complexos sistemas de magazines e trocas automáticas das ferramentas.

As ferramentas são presas por porta ferramentas, os quais possibilitam uma maneira padronizada de movimentação e fixação das ferramentas. As ferramentas podem ser automaticamente retiradas de magazines e colocadas em operação por sistemas especiais. A identificação e troca dessas ferramentas são fatores importantes de flexibilidade de sistemas, de modo a aumentar a eficiência do processo.

2.4.1.1 Máquinas com comando numérico

Em usinagem, o comando numérico permite que a máquina desempenhe suas operações automaticamente. Instruções para os diversos passos da operação são programadas no controlador da máquina, a qual, seguindo essas instruções, desempenhará as operações de fabricação. Essas instruções podem ser facilmente modificadas. Essa forma de automação é conhecida como automação programável.

Segundo MALEKI (1991), o comando numérico surgiu da necessidade de uma maneira mais eficiente e econômica de se obter produtos. Isso foi verdade sobretudo nas indústrias aeronáuticas onde as peças muitas vezes tinham de ser produzidas em lotes muito pequenos, chegando a ser unitários. Nesses ambientes, os métodos convencionais de manufatura não preenchiam a necessidade de mudanças de projetos, as quais eram inevitáveis, não se adaptando, assim, a linhas dedicadas de produtos. A introdução do comando numérico em 1952 abriu uma nova era na automação.

As primeiras máquinas NC eram bastante primitivas, utilizando tubos a vácuo, relés eletromecânicos, e complicadas interfaces de controle. Os atuais sistemas NC são formados por circuitos lógicos e processadores eletrônicos.

Os avanços nas tecnologias de informática, levaram aos Comandos Numéricos por Computador (CNC), que são sistemas NCs onde programas de computador realizam algumas ou todas as funções básicas dos NCs, sendo esses programas armazenados em memórias de computador.

Quando um certo número de máquinas NC são interligadas por um computador, formando uma rede, elas formam um sistema de Comando Numérico Direto (DNC), onde o computador pode coletar informações de produção diretamente das máquinas NC. Um programa de instruções pode ser descarregado diretamente sobre as máquinas.

Quando um NC é programado, ele recebe as instruções que definirão o movimento relativo da peça em relação a ferramenta de corte, ou da ferramenta em relação a peça. A unidade de controle gera, então, sinais digitais que são enviados aos servomecanismos da máquina. Um servomecanismo é um grupo de elementos que convertem os sinais gerados pelo NC em deslocamentos mecânicos mais precisos. Por outro lado, existem sensores que têm a função de monitorar o comportamento da máquina em relação aos sinais emitidos. Esses sensores enviam sinais de realimentação ao controlador, de forma a efetuar o controle de forma precisa.

2.4.2 Sistemas de movimentação de materiais

Os sistemas de movimentação de materiais têm a responsabilidade de pegar e entregar os materiais para todas as partes dentro de um Sistema de Manufatura. De acordo com TANCHOCO (1994) os sistemas de movimentação de materiais são responsáveis por grande parte dos *lead times* dos processos. Assim, a escolha pela configuração mais eficiente é muito importante.

Segundo MALEKI (1991), existem duas classes de sistemas com relação a movimentação: os endereçáveis e os não endereçáveis.

Na classe dos não endereçáveis, tem-se:

- Transportadores livres: esteiras onde as peças são colocadas e movimentadas para a próxima estação. Todas as peças se movem no mesmo sentido e com a mesma velocidade, sendo que o transportador, no entanto, é independente das estações de trabalho, sendo, assim, a seqüência de operação das peças diferente.
- Transportadores sincronizados: esses se diferenciam dos transportadores livres pelo fato de estarem dependentes às estações de trabalho, fazendo com que as seqüências de operações das peças sejam iguais. Nessa aplicação, quando a operação com o maior ciclo se completa, todas as peças avançam para a próxima estação.

Para garantir a qualidade, os Sistemas de Manufatura se utilizam de estações de inspeção. A inspeção pode se realizar de maneira visual por simples operários ou mesmo por complexos equipamentos de inspeção, como as Máquinas de Medir por Coordenadas. A inspeção pode, ainda, ser feita em todas as peças que passam pela estação ou em apenas uma amostragem dessas.

2.4.4 Sistemas de armazenagem e identificação

Segundo MALEKI (1991), as máquinas ferramenta representam os maiores investimentos de capital nos Sistemas de Manufatura. Não se pode correr o risco da falta de materiais e ferramentas que venham a parar o processo. Assim, um sistema logístico de estocagem e retirada de materiais eficiente deve ser implantado, de modo que sempre que necessitado qualquer elemento físico esteja a disposição da operação a ser realizada.

Segundo MALEKI (1991), um dos métodos utilizados para suprir essas necessidades são os Sistemas Automáticos de Estocagem e Recuperação (AS/RS), os quais são controlados por computadores. O trabalho manual foi diminuído e trocado por componentes automáticos que executam a movimentação do material dentro das áreas de estocagem. Esses sistemas são capazes de registrar a entrada dos materiais e suas quantidades, efetuando sua localização de modo a prover um controle preciso do inventário em estoque.

Esses sistemas podem ser utilizados não apenas nos estoques, mas também na movimentação do material dentro da fábrica, o que irá depender de disciplina e controle, protegendo a integridade de funções como recebimento, entrega, estocagem, processamento, expedição. Assim, um mecanismo de identificação é necessário para materiais em fila, em processo, estocados, além de peças acabadas, ferramentas, paletes, etc.

2.4.5 Robôs

Devido as diversas naturezas dos robôs e sua flexibilidade de movimentação, eles possuem várias aplicações em Sistemas de Manufatura. Entre elas, podem ser citadas [MALEKI, 1991]:

- Operações de pegar e colocar: é a aplicação mais comum dos robôs nos sistemas de manufatura, incluindo as trocas de ferramentas, carga e descarga de peças, movimentação de materiais.

- Operações de contornar: incluem as operações de soldar, usinar, inspecionar. No entanto, os robôs possuem uma precisão menor do que as máquinas ferramentas, sendo assim, restrita sua aplicação em certas áreas.
- Montagem e desmontagem: os robôs são muito úteis nas operações de montagem e desmontagem, sendo bastante efetivos na manipulação de pequenas peças, como por exemplo, para a montagem de circuitos impressos. Em geral, eles são os componentes centrais em qualquer sistema de montagem flexível.

2.4.6 Controle computacional

A utilização de computadores na manufatura para controlar desde máquinas individuais (NC's, robôs, AGV's, etc.) até sistemas completos tem aumentado a flexibilidade dos Sistemas de Manufatura. Grandes avanços vêm sendo realizados em certas tecnologias e o controle de Sistemas de Manufatura tem sido assunto de várias pesquisas.

Algumas necessidades são críticas para que sistemas computacionais de controle de Sistemas de Manufatura possam ser utilizados nos setores atuais, podendo ser inumeradas [MALEKI, 1991]:

1. redução nos custos dos sistemas;
2. aumento da flexibilidade e habilidade;
3. melhoria na capacidade de integração;
4. serem reutilizáveis.

2.5 INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE MANUFATURA

A decisão de se “comprar” um Sistema de Manufatura é baseada em um projeto que produza um nível de produção desejado. A decisão de qual sistema adotar é normalmente feita sobre um projeto conceitual que foi resolvido sobre hipóteses e expectativas. Isso não pode ser ignorado a medida que os detalhes do projeto se tornem conhecidos.

O monitoramento do projeto detalhado é um meio de reduzir os riscos do sistema. A transição das hipóteses para a vida real requer habilidade. Como os detalhes do projeto estão descobertos, cada um deve ser identificado como “em conformidade” ou “violando” as

hipóteses do modelo conceitual, de forma a manter um nível uniforme de expectativas para a implantação do sistema.

A instalação de um sistema é algo complicado e que consome tempo, o que contribui para o aumento dos riscos. Dividir a instalação em fases pode reduzir alguns riscos, mas a interrupção dessa operação pode aumentar os custos.

A instalação em si começa com as obras de fundação do sistema. Essa etapa necessita de muito planejamento, já que uma quantidade grande de serviços subterrâneos muitas vezes se faz necessária. Uma das tarefas mais importantes é o arranjo físico adequado dos equipamentos e sua orientação apropriada.

Quando da necessidade de integração de um sistema controla por computador, essa é realizada em três passos [MALEKI, 1991]:

1. integrar cada componente com seu próprio controle;
2. estabelecer uma rede de comunicação entre os computadores de controle e supervisão;
3. utilizar os computadores de supervisão para receber informação do status da fábrica, tomar decisões e comunicar as decisões aos devidos componentes.

O *runoff* e a aceitação da qualidade do sistema são as tarefas que iniciarão a transferência entre engenharia e produção. Devem incluir cálculos de capacidades de máquinas e os efeitos decorrentes da integração que ocorrerão no período de *runoff*. Não se pode basear essas tarefas apenas em medições do número de peças produzidas por minuto.

Em seguida, a responsabilidade muda da engenharia para a administração da produção e para o controle operacional. Isso envolve seleção de operadores, atividades e descrição de atividades, treinamento. Muitos sistemas têm utilizado um conceito de equipe, onde operadores se revezam entre uma gama de responsabilidades, levando a solução de alguns problemas como a subutilização do conhecimento do operador.

A participação e o envolvimento de diferentes pessoas de vários departamentos, durante todas as fases do processo de implantação se fazem necessários. Ainda que esse sistema seja automatizado, pessoas são necessárias para se manter o sistema. Muitas das operações de produção são executadas por pessoas. Na figura 2.5 essas operações podem ser identificadas. Assim, todo um processo de treinamento intensivo deve estar relacionado com a implantação.

Procedimentos efetivos são necessários para detecção e correção de erros. Devido a altos graus de integração e a muitos níveis de controle computacionais exigidos por alguns sistemas, nem todos os problemas podem ser monitorados. Os operadores devem ser capazes de reconhecer situações que levam a erros e ter suficiente inteligência para identificar a causa específica do erro.

Enfim, a operação de um Sistema de Manufatura é complicada pela presença de efeitos dos diversos níveis de integração. No entanto, um vez que esses efeitos sejam entendidos e quantificados, surgem parâmetros ajustáveis dos Sistema de Manufatura.

PASSO	MÉTODO DE PRODUÇÃO			
	convencional	máquina NC isolada	centro de usinagem	CIM
1. Mover peça para máquina				
2. Carregar e fixar peça na máquina				
3. Selecionar e inserir ferramenta				
4. Estabelecer e setar velocidades				
5. Controlar corte				
6. Sequência de ferramentas e movimentos				
7. Descarregar peças da máquina				

Figura 2.5 – Necessidades de recursos para alguns sistemas (MALEKI, 1991)

2.6 NOVAS TENDÊNCIAS - O CONSÓRCIO DOS PAÍSES RICOS PARA O SÉCULO XXI

Os aspectos competitivos previstos para o século 21 têm provocado algumas iniciativas por parte, principalmente, dos países denominados de primeiro mundo.

Uma dessas iniciativas, cujos reflexos serão sentidos em um futuro próximo, é o denominado Consórcio dos Países Ricos para o Século XXI, que pretende levantar novos caminhos do que se fazer para a busca da competitividade para o século 21. Em 1995, de acordo com a IMS HOME PAGE (1998), os governos da Austrália, Canadá, Japão e Estados Unidos da América acordaram o Consórcio Internacional de Sistemas Inteligentes de Manufatura (Intelligent Manufacturing Systems – IMS), com a função de captar recursos dos participante para as pesquisas. O governo da Suíça também se uniu a esse seletto grupo e, em 1996, o Parlamento Europeu aprovou o acordo de participação.

Até o presente momento, o Comitê Diretor do grupo já aprovou sete grandes projetos, envolvendo 260 companhias e grupos de pesquisa e compreendendo 200 milhões de dólares.

Um dos aspectos principais das pesquisas realizadas a partir desse grupo é no tocante a proteção das informações. Segundo o acordo assinado, as informações serão de propriedade exclusiva dos grupos participantes. Algumas informações serão disseminadas através de publicações específicas, mas muitas das tecnologias geradas ficarão restritas ao seletto grupo. Claramente, os resultados advindos desse consórcio beneficiarão tremendamente os países, as empresas e os grupos de pesquisa inseridos nesse projeto, o que marcará o poder desses no próximo século.

BATOCCHIO & ACEVEDO (1998) lançam a questão de qual será o papel a ser desempenhado por aqueles que não participarem desse processo. A resposta parece clara. No entanto, o processo está apenas sendo iniciado. Há tempo para que outros governos, empresas e grupos de pesquisa periféricos reflitam sobre o assunto e busquem alternativas para enfrentarem os desafios do século 21.

2.6.1 O Sistema Holônico de Manufatura

Uma das iniciativas tomadas pelo Consórcio dos Países Ricos para o Século XXI foi a montagem de um grupo responsável pelo desenvolvimento dos Sistemas Holônicos de Manufatura (HMS). Atualmente, de acordo com KRIZ (1995), os investimentos chegam a ordem de 5 milhões de dólares. Apenas cerca de 40% desses investimentos têm sido pagos pelos governos dos países envolvidos. O restante, vêm sendo captado pela participação de grandes e pequenas empresas preocupadas com as mudanças em questão, além de grupos de pesquisa como universidades e laboratórios

A palavra holônico é utilizada para caracterizar as relações existentes entre os elementos de um sistema. Essas relações são caracterizadas pela autonomia e cooperação. Elementos que apresentam essas características são referidos como holons, já que se comportam simultaneamente como conjuntos autônomos e partes dependentes.

O HMS busca ser o caminho para atender as necessidades de processos de manufatura do século 21, capaz de produzir de maneira rápida e contínua lotes de pequenas produções a preços baixos. Acredita-se que a melhor maneira de se atender a essas necessidades é através de um sistema aberto, distribuído, inteligente, autônomo e cooperativo (holônico). Esse sistema consiste de unidades modulares de alta flexibilidade, capazes, ainda, de serem reutilizáveis. Essas unidades serão capazes de se reconfigurarem fácil e rapidamente, produzindo vários produtos. Elas serão capazes de se organizarem de acordo com as necessidades, respondendo, ainda, de maneira inteligente a distúrbios não previsíveis do ambiente externo, mantendo uma produção suave e contínua.

Segundo VAN LEEUWEN & NORRIE (1997), um HMS é formado por holons (elementos cooperativos e autônomos), pessoas, redes de comunicação e métodos que visem a cooperação, incluindo procedimentos para negociações e divisão de recursos. Inclui hardware, software, arquitetura de sistema, arquitetura de informação, o papel dos recursos humanos e a organização do trabalho. Seu conceito combina as vantagens de sistemas hierárquicos e horizontalmente distribuídos.

Os principais aspectos que diferenciam um HMS são:

- Os elementos são autônomos e cooperativos.
- Os elementos são reutilizáveis.
- Os elementos são auto configuráveis.
- Os elementos são recursivos.
- Reconhece a importância do ser humano.
- Não há um controle central da manufatura.
- As Células de Manufatura integram o trabalho humano.

Ainda segundo VAN LEEUWEN & NORRIE (1997), o projeto HMS pretende estabelecer as bases tecnológicas e organizacionais para serem alcançadas, com as seguintes metas globais:

- Desenvolvimento, marketing e suporte do HMS compatível (equipamentos e dispositivos, componentes, subsistemas e ferramentas de suporte).
- Projeto, implementação, desdobramento e suporte ao HMS em aplicações para o usuário final.
- Aumento na compreensão, sistematização e aceitação dos conceitos do HMS.
- Suporte ao desenvolvimento de padrões internacionais para contribuir no alcance dessas metas.

Em vista de tudo o que está sendo apresentado pelo consórcio sobre o projeto HMS, além de outros em andamento, nota-se a necessidade de uma bagagem tecnológica inovadora. O desenvolvimento dessa, demandará tempos e recursos, mas o resultado esperado é altamente promissor.

2.7 COMENTÁRIOS

Desde meados do século passado, os Sistemas de Manufatura sofreram enormes transformações. As necessidades dos diversos períodos históricos levaram ao desenvolvimento de diversas técnicas. Com essas transformações, mudou também as fontes de riquezas enfocadas em cada era, chegando ao que hoje vemos: a Era do Conhecimento.

Os Sistemas de Manufatura estão ficando cada vez mais complexos, envolvendo vários elementos. Estão organizados estruturalmente, estrutura essa que envolve desde áreas de negócios e engenharia, até chegar a produção em si: o chão de fábrica. Os sistemas podem ter diversas configurações, levando a várias classificações diferentes.

Esses sistemas podem se diferenciar por aspectos como o tamanho dos lotes de produção e o fluxo de materiais. Uma característica importante dos diversos Sistemas de Manufatura é a flexibilidade. Os sistemas podem apresentar diferentes níveis de flexibilidade, o que pode ser sentido através da análise dos parâmetros: integração, inteligência e agilidade. Flexibilidades diferentes levam a relações de volume de produção e variedade de produtos diferentes.

No ambiente externo, há o mercado consumidor ávido por produtos inovadores e individualizados. As fábricas devem buscar respostas rápidas às necessidades do mercado, além de colocar seus produtos a preços competitivos. Para atingir esses objetivos, surge a Manufatura Ágil. Segundo ela, novos conceitos, que mudam as relações entre os recursos de

mão de obra, a organização e a tecnologia, devem ser procurados. Isso leva a uma mudança de paradigma dentro das empresas.

Outro aspecto externo importante é a abertura dos mercados, que aumenta a concorrência dos diversos setores. As indústrias devem, assim, se empenhar na busca pela excelência, novas técnicas e maior eficiência. Isso muda o enfoque nas forças de trabalho e na flexibilidade para atender os clientes.

Esse ambiente ao qual os Sistemas de Manufatura estão expostos, faz com que tomadas de decisões devam ser feitas rapidamente, mesmo que diante da complexidade desses sistemas. Eles são formados cada vez mais por um número grande de variáveis inter-relacionadas, o que dificulta mais e mais a gestão dos Sistemas de Manufatura.

Uma forma de facilitar esse trabalho, buscando uma melhor competitividade, é através da utilização de ferramentas que facilitem o trabalho de análise dos sistemas. Ambientes de análise de mudança se fazem necessários.

2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATOCCHIO, A. *Sistemas de Fabricação e Tecnologia de Grupo*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação, 1997. (Notas de Aula).
- BATOCCHIO, A., ACEVEDO, O.M.D. Uma Proposta para Enfretar os Desafios do Século 21: Plano Estratégico de Competitividade. *Máquinas e Metais*. 1998. (Trabalho submetido).
- BATOCCHIO, A., AGOSTINHO, O.L. *Sistema de Manufatura*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação. 1997. (Notas de aula).
- CERTO, S.C., PETER, J.P. *Administração Estratégica – Planejamento e Implantação da Estratégia*. Trad. Flavio Deni Steffen. 469pp. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1993.
- ESMAIL, K.K., SAGGU, J. A Changing Paradigm. *Manufacturing Engineer*. p.285-288. Dec. 1996.
- GOULD, P. What is Agility? *Manufacturing Engineer*. p.28-31. Feb. 1997.
- IMS HOME PAGE. IMS Intelligent Manufacturing Systems. In <http://www.ims.org>. 1998.

- KRIZ, D. Holonic Manufacturing Systems: Case Study of na IMS Consortium. In http://hms.ifw.uni-hannover.de/public/dk_hms.html. 1998.
- MALEKI, E.A. *Flexible Manufacturing Systems – The Technology and Management*. 277pp. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1991.
- NAHMIAS, S. *Production and Operations Analysis*. Third Edition. 858pp. New York: McGraw-Hill, 1997.
- OWEN, D., KRUSE, G. Follow the Customer. *Manufacturing Engineer*. p.10-11. Feb. 1997.
- SCHONBERGER, R.J. *World Class Manufacturing – The Lessons of Simplicity Applied*. 1986.
- TANCHOCO, J.M.A. *Material Flow Systems in Manufacturing*. Chapman & Hall, 1994.
- VAN LEEUWEN, E.H., NORRIE, D. Holons and Holarchies. *Manufacturing Engineer*. p.86-88. Apr. 1997.
- WOMACK, J.P., JONES, D.T., ROOS, D. *A Máquina que Mudou o Mundo*. 347pp. Campus, 1990.
- WOMACK, J.P., JONES, D.T. *A Mentalidade Enxuta nas Empresas*. Campus, 1998.

CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE SERVIÇO

3.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é o de focar os Sistemas de Serviços, mostrando seus conceitos e características. A fim de apresentar as dificuldades encontradas em sua gestão, serão mostradas as necessidades de técnicas próprias e complexas de análise. Com isso, se pretende elucidá-los, facilitando seu tratamento com os métodos a serem desenvolvidos posteriormente neste trabalho.

Inicialmente, a revolução dos serviços será descrita, mostrando como vêm se desenvolvendo as empresas desses setores. Com isso, a importância desses sistemas pode ser sentida e as tendências futuras, determinadas.

A seguir, os conceitos e definições necessários para a compreensão desses sistemas são mostrados, como a prestação de serviços em si e a diferença entre bem tangível e intangível. As características gerais de intangibilidade, inseparabilidade, variabilidade e perecibilidade são apresentadas.

Somente então, a administração dos Sistemas de Serviços é discutida. A necessidade de diferenciação, qualidade e produtividade é mostrada, bem como meios para alcançar essas metas. Um levantamento dos meios de medir o sucesso desses sistemas é feito. Assim, algumas medidas de desempenho de Sistemas de Serviços são definidas e analisadas. A importância delas em relação a análise do sistema como um todo é, então, esclarecida.

Por fim, o projeto desses sistemas é discutido. Os elementos que compõe os Sistemas de Serviços são discriminados e suas características levantadas.

3.2 A REVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS

A revolução dos serviços na economia está em andamento e vai ganhando força. Muitas empresas vêm adotando o modelo de administração de serviços como seu modelo básico de competição no mercado. Muitas outras estão procurando outras maneiras de melhorar seu desempenho, tornando-se mais eficazes. Assim, a necessidade de treinamento e informações sobre a administração de serviços aumenta rapidamente.

Uma prova da revolução dos serviços é a tentativa dos administradores de tratarem a prestação de serviços como uma categoria industrial claramente diferenciada. A revista Fortune publica periodicamente as 500 maiores empresas nesse setor [BERNARDI & VASSALLO, 1997]. Mais de três quartos de todos os empregos criados nos Estados Unidos na década de 80 foram nos ramos de prestação de serviços. O sucesso das empresas prestadoras de serviços nesse período se deve à redução das taxas de juros, aos baixos índices de inflação e a queda dos preços do petróleo.

Dizer que está havendo uma revolução dos serviços, não significa que todas as empresas prestadoras de serviços estão engajadas nela. Enquanto algumas lideram a revolução, outras ficam inertes enquanto ela ocorre.

É evidente que a revolução dos serviços prossegue, à medida que a mudança da base industrial passa cada vez mais para uma economia apoiada na prestação de serviços. Essa é uma tendência que vem ocorrendo em todo mundo, mesmo que em intensidades diferentes e em estágios diversos.

3.3 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

3.3.1 Sistemas de Serviço

Segundo KOTLER (1995), um serviço é qualquer ato ou desempenho que uma parte pode oferecer a outra e que seja essencialmente intangível e não resulte na propriedade de nada. Sua produção pode ou não estar vinculada a um produto físico.

Os setores de serviços são bastante variados. O setor governamental, com seus tribunais, serviços de empregos, correios, escolas, polícia, etc., faz parte do setor de serviços. O setor privado que não visa o lucro, formado pelos museus, hospitais, instituições de caridade, igrejas, fundações, faz parte do setor de serviços. Boa parte do setor comercial, como bancos, linhas aéreas, hotéis, serviços médicos, restaurantes, faz parte do setor de serviços. Muitos trabalhadores do setor de produção são reais fornecedores de serviços, constituindo fábricas de serviços que prestam serviços às fábricas de produtos.

Geralmente, uma oferta de uma empresa ao mercado inclui alguns serviços. O componente serviço pode ser ou não parte importante dessa oferta. De fato, a oferta pode variar de apenas um bem físico em um extremo, a um serviço totalmente intangível em outro, conforme a figura 3.1. Segundo essa figura, cinco categorias de oferta podem ser distinguidas [KOTLER, 1995]:

1. bem tangível;
2. bem tangível acompanhado de serviços;
3. híbrido;
4. serviço principal acompanhado de bens e serviços secundários e;
5. serviço (puro).

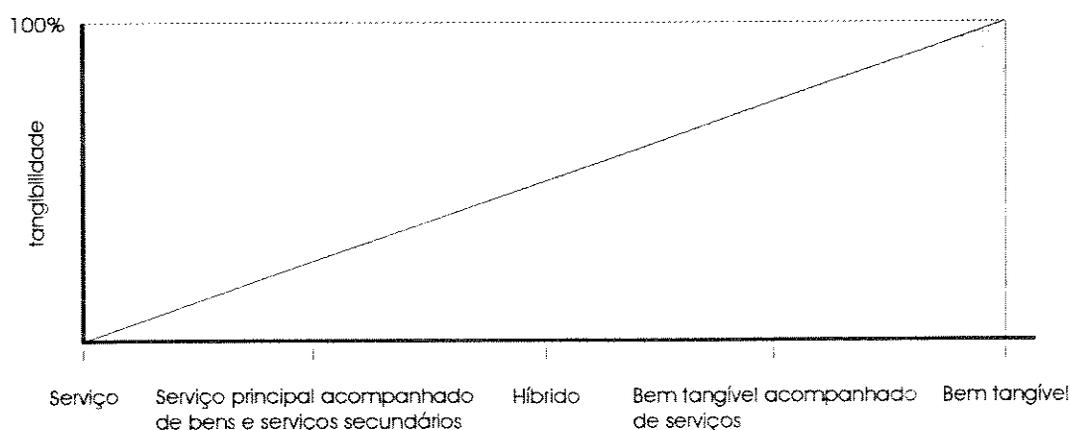


Figura 3.1 – As categorias de oferta (adaptado de KOTLER, 1995)

Outra distinção entre os serviços é que eles variam a medida que são baseados em equipamentos ou baseados em pessoas. Os serviços baseados em pessoas também se diferem se são prestados por trabalhadores experientes ou não, ou por profissionais especializados.

Podem ainda diferir quanto ao atendimento das necessidades pessoais (serviços pessoais), ou de necessidades administrativas (serviços empresariais). Finalmente, os prestadores de serviços diferem em seus objetivos (visam ou não lucro) e propriedade (privada ou pública).

A administração de empresas de serviços necessita de abordagens específicas para sua administração. Assim, a abordagem de marketing tradicional não alcança a eficiência necessária. Em um negócio que envolve produtos, esses ficam nas prateleiras, a vista dos consumidores, prontos para serem comprados e levados. Em um negócio puramente de serviços, há mais elementos, conforme explicado por KOTLER (1995) e visto na figura 3.2. Em um banco, por exemplo, um consumidor entra e procura de um financiamento (serviço X). Ele vê outros consumidores esperando por este e outros serviços. Além disso, faz contato pessoal com um funcionário que cuida de empréstimos. Tudo isso é visível para o consumidor. Não é visível, o processo de produção e o sistema organizacional que está por trás do serviço visível. Assim, o resultado do serviço é influenciado por um conjunto de elementos variáveis.

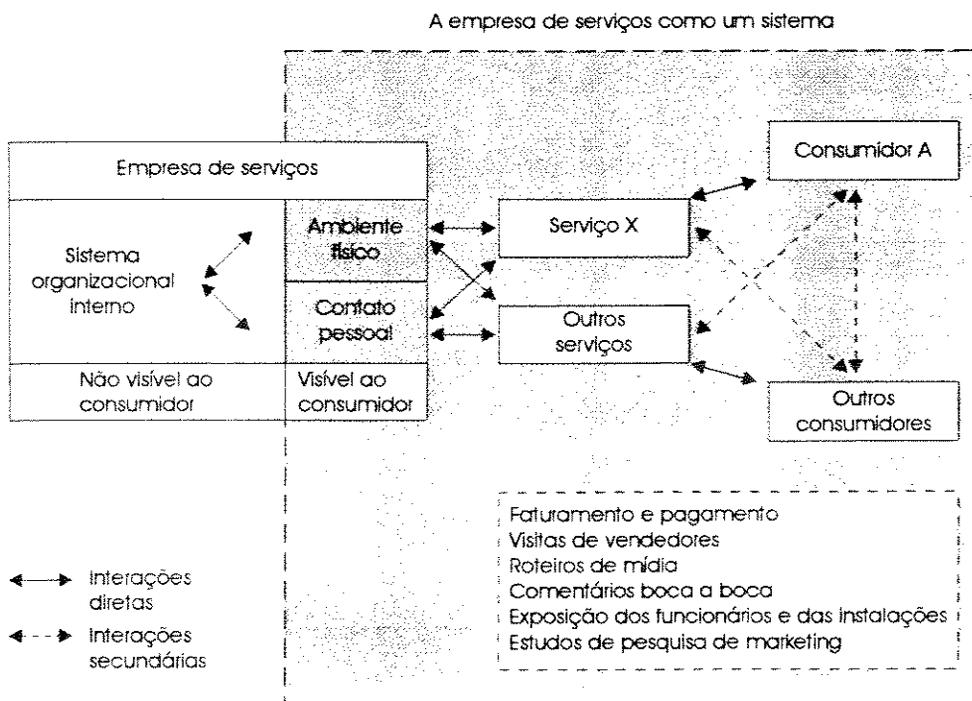


Figura 3.2 – Elementos de interação de um serviço (KOTLER, 1995)

Existem ainda outras distinções que tornam os negócios de serviços diferenciados. Segundo SASSER et al. (1978), os Sistemas de Serviço apresentam características únicas, não encontradas em Sistemas de Manufatura. São elas:

1. Serviços são intangíveis (não são objetos concretos).
2. Serviços envolvem a produção e o consumo de forma não separada.
3. Serviços proporcionam saídas variadas.
4. Serviços são perecíveis (não podem ser armazenados).

Essas distinções impõem grandes desafios no projeto e gerenciamento de Sistemas de Serviço, particularmente em áreas como layout, projeto de processo, seleção de equipamentos, e suporte. Devido a importância dessas distinções, as características de intangibilidade, Inseparabilidade, variabilidade e perecibilidade devem ser analisadas individualmente [KOTLER, 1995].

3.3.1.1 Intangibilidade

Os serviços são intangíveis. Ao contrário dos produtos, eles não podem ser vistos, sentidos ou provados antes de ser comprados. Para reduzir a incerteza, os compradores procurarão sinais ou evidências que mostrem a qualidade dos serviços prestados. Para isso, analisarão a localização, os funcionários, os equipamentos, o material de comunicação, os símbolos e o preço.

Assim, a administração de um Sistema de Serviços está relacionada a administração das evidências, tornando os serviços tangíveis. As empresas de serviços são desafiadas a colocar evidências físicas e imaginárias a suas ofertas abstratas.

3.3.1.2 Inseparabilidade

Normalmente, os serviços são produzidos e consumidos simultaneamente. Como o cliente está presente enquanto o serviço é produzido, a interação fornecedor – cliente é uma característica especial da administração de serviços. Ambos afetam o resultado do serviço.

No caso de serviços de entretenimento e de serviços pessoais, os compradores estão altamente interessados em um fornecedor específico. Quando os clientes possuem forte preferência por algum fornecedor, o preço é elevado em função de seu tempo limitado.

Diversas estratégias existem para superar essa limitação:

1. fornecedor de serviços pode aprender a trabalhar com um grupo maior de clientes.
2. fornecedor de serviços pode aprender a trabalhar com maior rapidez.
3. A organização de serviços pode treinar mais fornecedores e desenvolver a confiança dos clientes.

3.3.1.3 Variabilidade

Os serviços são altamente variáveis, uma vez que dependem de quem os executa e de onde são prestados. Os compradores de serviços estão conscientes dessa alta variabilidade e, freqüentemente, conversarão com outras pessoas antes de selecionar um fornecedor.

As empresas de serviços podem tomar três providências em direção ao controle de qualidade:

1. Investir em seleção e treinamento de pessoal.
2. Padronizar o processo de prestação do serviço por toda organização.
3. Monitorar a satisfação do consumidor através de sistemas de sugestões, reclamações e comparação de compra, possibilitando que os serviços fracos sejam detectados e corrigidos.

3.3.1.4 Perecibilidade

Serviços não podem ser estocados, o que se torna um problema quando a demanda não é estável. Quando a demanda é flutuante, as empresas de serviços enfrentam problemas difíceis não apenas nos momentos de demanda baixa como também nos momentos de pico.

SASSER (1976) descreveu diversas estratégias para estabelecer melhor o equilíbrio entre a demanda e a oferta de uma empresa de serviços.

a) Demanda:

1. A prática de preços diferenciados transferirá alguma demanda dos períodos de pico.
2. Aumentar a demanda nos períodos mais fracos.
3. Serviços complementares podem ser desenvolvidos durante o horário de pico para fornecer alternativas enquanto os consumidores esperam.

4. Sistemas de reserva são uma forma de administrar o nível de demanda.

b) Oferta:

1. Funcionários em tempo parcial podem ser contratados nos períodos de pico.
2. Rotinas de eficiência podem ser introduzidas em períodos de pico.
3. Aumentar a participação do consumidor nas tarefas.
4. Serviços compartilhados podem ser desenvolvidos.
5. Instalações para futuras expansões podem ser desenvolvidas.

3.4 ADMINISTRAÇÃO DE UM SISTEMA DE SERVIÇO

Em geral, as empresas de serviços utilizam muitas técnicas administrativas desenvolvidas para empresas tipicamente de produtos. Muitas daquelas empresas são pequenas e não utilizam técnicas formais de administração.

Dessa forma, a administração de serviços se tornou um termo popular. É um ponto de referência para a filosofia de gestão que está por trás da excelência integral do serviço. É um enfoque organizacional global que faz da qualidade do serviço, tal qual sentida pelo cliente, a principal força motriz do funcionamento da empresa.

Essa definição possui várias implicações imediatas que tornam a administração de serviços muito distinta dos enfoques tradicionais. É um conceito transformacional que vai muito além das práticas convencionais que as empresas tipicamente adotam.

De acordo com KOTLER (1995), a filosofia da administração de serviços sugere que todos têm um papel a desempenhar no esforço de garantir que as coisas funcionem bem para o cliente. Procura construir uma cultura de serviço que faz da excelência dos serviços prestados ao cliente uma missão reconhecida por todos os membros da organização, inclusive os administradores.

A medida que a concorrência entre serviços se intensifica, é necessária uma maior sofisticação da administração dos serviços. Ainda segundo KOTLER (1995), essas empresas apresentam três desafios que interagem em alguma extensão. São eles:

1. diferenciação competitiva;
2. qualidade de serviços e;

3. produtividade.

3.4.1 Administração da diferenciação competitiva

A abertura de mercado para diversos setores de serviços causa a intensa concorrência de preço. Os consumidores, a medida que estão mais interessados na questão custo do que no fornecedor em si, formam a homogeneidade da prestação de serviços. Resta para as empresas, a fim de manter sua sobrevivência, se diferenciarem.

Segundo KOTLER (1995), para desenvolver a diferenciação, devem trabalhar com os fatores oferta, entrega e imagem. A oferta pode incluir características inovadoras, acrescentando ao serviço principal, serviços secundários. Formas inovadoras de entrega podem ser desenvolvidas. A imagem pode ser trabalhada através do uso de símbolos e marcas.

As empresas de serviços podem diferenciar a prestação de serviços de três maneiras diferentes: através de funcionários, ambiente físico e processo. Esses são os chamados 3Ps do marketing de serviços: *people, physical environment* e *process* [KOTLER, 1995]. As empresas podem distinguir-se apresentando aos clientes funcionários mais hábeis que o dos concorrentes. Podem trabalhar o ambiente físico, tornando-o mais atrativo. Finalmente, podem desenvolver um processo superior de prestação de serviço.

Existe, ainda, a questão de que as empresas podem ser copiadas. Poucas delas são copiadas a longo prazo. Assim, a empresa que analisa freqüentemente os concorrentes e introduz inovações em serviços obterá uma sucessão de vantagens temporárias sobre seus concorrentes.

JÚLIO (1996) prega o aumento do valor de uma empresa como uma meta no planejamento de futuros negócios, assim como fora outrora. Segundo ele, aumentar o valor da empresa passou a ser tão importante quanto manter a fidelidade dos clientes. No entanto, esse valor vai além da somatória dos recursos físicos investidos.

EDVINSSON & MALONE (1997) pregam que o conhecimento é o principal ingrediente do que se produz, faz, compra e vende. Os ativos capitais necessários para a atual criação de valor (riqueza) não são a terra nem o trabalho físico, tampouco as ferramentas mecânicas e fábricas. Ao contrário, são os ativos baseados no conhecimento. A inteligência tomou o lugar da matéria e da energia. Surge, então, um novo conceito: o Capital Intelectual.

O Capital Intelectual é a soma de tudo que as pessoas da companhia sabem que fornece uma vantagem competitiva no mercado. Assim, o valor de mercado de uma empresa pode ser obtido somando-se seu capital financeiro ao capital intelectual, que pode ser dividido em capital humano, capital de clientes, capital de inovação e capital de processo. O capital intelectual pode ser incrementado através de:

- expansão da inteligência;
- encorajamento a inovação e;
- exercício da integridade.

VASSALLO (1998) coloca a filantropia como outro fator de diferenciação, transformando-se em uma poderosa vantagem competitiva. De um lado, as corporações transmitem conceitos como avaliação de resultados, estabelecimento de metas, foco, parcerias estratégicas. De outro, creches, orfanatos e asilos podem dar uma idéia de motivação, foco e trabalho em grupo. Tudo isso pode estar ligado a algo que vai além da benesse do mercado. A função social da empresa, o quanto ela é importante para a sociedade, também agrega valor, se tornando um fator de diferenciação.

Para medir esse novo valor das empresas DOS SANTOS & CARVALHO (1997) apresentam a Demonstração do Valor Adicionado (DVA). Esse índice tem como objetivo informar o valor da riqueza criada pela empresa e a forma de sua distribuição. A empresa, conforme sua função social, cria riquezas em montantes muito superiores aos lucros que são de propriedade dos sócios e acionistas. O que o DVA faz é identificar as riquezas criadas pelas empresas e a forma como elas são distribuídas para funcionários, governo, financiadores externos, além dos respectivos proprietários.

Assim, muitas formas de diferenciação podem ser buscadas, indo desde o visual até a soma de valor da empresa junto a sociedade e a seus próprios funcionários.

3.4.2 Administração da qualidade do serviço

Uma empresa de serviços pode se diferenciar dos concorrentes através da qualidade de seus serviços prestados. O segredo é o atendimento das expectativas de qualidade do consumidor, excedendo-as, sempre que possível. As expectativas dos clientes são formadas a partir de experiências passadas, divulgação boca a boca e propaganda da empresa. Nessa base, os clientes escolhem seus fornecedores de serviços, e comparam o serviço recebido com o

esperado. Caso aquele fique abaixo da expectativa, os clientes perdem o interesse pelo fornecedor. Caso fique acima, procurarão novamente o fornecedor.

DEMING (1990), diz que a satisfação do cliente com relação a qualquer serviço ou item fabricado, medida por qualquer critério que seja, mostrará uma distribuição que varia desde a extrema insatisfação até os altamente satisfeitos e exultantes.

BERRY & PARASURAMAN (1991) constataram que há cinco determinantes da qualidade de um serviço. Estes são apresentados na figura 3.3 de acordo com a pontuação obtida a partir de uma alocação de 100 pontos. Na ordem, são eles:

1. **Confiabilidade:** habilidade de desempenhar o serviço prometido com segurança e precisão.
2. **Atenção:** disposição em ajudar os consumidores e em fornecer serviços rápidos.
3. **Segurança:** conhecimento e cortesia dos funcionários e sua habilidade em inspirar confiança e responsabilidade.
4. **Empatia:** oferecimento de cuidado e atenção individualizada aos consumidores.
5. **Tangibilidade:** aparência das instalações físicas, equipamentos, funcionários e materiais de comunicação.

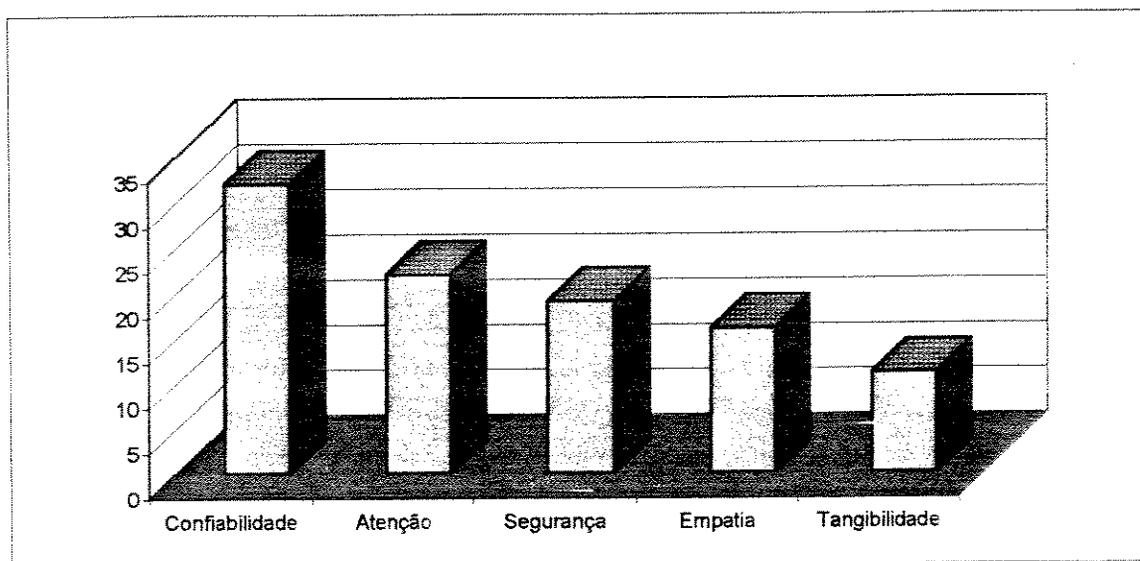


Figura 3.3 – Determinantes da qualidade de um serviço (adaptado de BERRY & PARASURAMAN, 1991)

Vários estudos mostram que as empresas que administram serviços com excelência compartilham de inúmeras práticas em comum. Segundo KOTLER (1995), algumas delas são:

1. **Conceito estratégico:** essas empresas colocam o consumidor no todo de sua estratégia. A satisfação de suas necessidades se torna uma busca constante, sendo desenvolvidas estratégias exclusivas para alcançar essa meta.
2. **Uma história da alta administração comprometida com a qualidade:** as empresas dessa categoria buscam a qualidade continuamente. Estabelecem medidas de desempenho de qualidade e as monitoram da mesma forma que aquelas relativas ao desempenho financeiro.
3. **Estabelecimento de altos padrões:** os melhores prestadores de serviços estabelecem padrões de qualidade elevados. Os padrões devem ser fixados altos propositadamente. As empresas podem ser classificadas segundo aquelas que oferecem serviços meramente bons e aquelas que oferecem serviços ótimos, pretendendo atingir 100% de qualidade.
4. **Sistemas para monitorar o desempenho dos serviços:** as empresas de serviços de alta categoria fazem auditorias de desempenho regularmente. Usam medidas de desempenho que realmente reflitam seu desempenho e os compara com seus concorrentes. Sempre que seu desempenho fica abaixo de um nível estabelecido, medidas corretivas são aplicadas.
5. **Sistemas para atender às reclamações dos consumidores:** as empresas de serviços ágeis atendem rápida e generosamente às reclamações de seus clientes. Em cima delas, medidas corretivas são tomadas.
6. **Satisfação tanto dos funcionários como dos clientes:** essas empresas acreditam que as relações com os funcionários se refletirão nas relações com os consumidores. Elas criam um ambiente de apoio ao funcionários, que é recompensado pelo seu bom desempenho. Auditam regularmente a satisfação dos funcionários em relação a suas tarefas.

Para o auxílio na busca pela qualidade, existem algumas ferramentas. Uma delas é o Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment - QFD*). Segundo TERMINKO (1997), o QFD é uma metodologia utilizada para projetar e melhorar produtos e serviços que prioriza as necessidades dos clientes na definição de suas características. Desenvolve a inovação para atender a tais necessidades e garante a implementação do projeto através do envolvimento de todos os departamentos - Marketing, Projetos, Manufatura,

Garantia da Qualidade, Engenharia de Processos, Compras, Vendas, etc. podem ser consideradas 4 fases no QFD:

1. **Organização:** Fase em que define-se o produto a ser projetado ou melhorado, a equipe interdepartamental que irá trabalhar no projeto e o enfoque a ser dado no desenvolvimento do QFD.
2. **Fase Descritiva:** O produto é definido sob diversos aspectos: exigências dos consumidores, funções, partes, confiabilidades, etc.
3. **Fase do Desenvolvimento:** Após definidas as características a serem melhoradas, a equipe busca meios para melhorá-las através de novas tecnologias, identificação de materiais adequados e redução de custo
4. **Fase da Implementação:** A equipe define o novo produto e os procedimentos operacionais para a fabricação do mesmo.

O QFD é um processo estruturado, um idioma visual e um jogo de criar. Estabelece valor ao cliente usando-o para projetar. O resultado é um sistema que prioriza e une o processo de desenvolvimento de produto e serviços às necessidades do cliente.

3.4.3 Administração da produtividade

As empresas de serviços sofrem grande pressão para aumentos constantes da produtividade. As constantes exigências do mercado, cada vez mais apertadas, exigem trabalhos mais intensivos e tendem a aumentos cada vez maiores nos custos dessas empresas. KOTLER (1995) aponta seis abordagens para melhorar a produtividade dos serviços.

1. Ter funcionários que trabalhem muito ou que possuam grande habilidade. Trabalhar muito não é uma provável solução, mas trabalhar com mais habilidade pode ser possível através de melhores procedimentos de seleção e treinamento.
2. Aumentar a quantidade dos serviços em prejuízo a alguma qualidade.
3. Industrializar o serviço, acrescentando equipamentos e padronizando a produção. As empresas devem adotar uma atitude de manufatura para produzirem serviços.
4. Reduzir ou tornar obsoleta a necessidade de um serviço pela invenção de um produto.

5. Desenvolver um serviço mais eficaz. Por exemplo, a contratação e treinamento de funcionários especializados pode reduzir a necessidade de assistência de profissionais liberais.
6. Apresentar aos consumidores alguns incentivos para que façam algum trabalho normalmente de responsabilidade da empresa.

A busca pela produtividade deve ser realizada de maneira racional. A produtividade em sacrifício da qualidade deve ser, sempre que possível, evitada. Algumas etapas da busca de produtividade podem levar a uma maior satisfação dos clientes; outras não. A padronização excessiva pode causar o afastamento do cliente.

3.5 MEDIDAS DE DESEMPENHO

Segundo HARRELL & TUMAY (1995), os objetivos de Sistemas de Serviços incluem a maximização dos lucros e a satisfação dos clientes. No entanto, os índices para avaliar o sucesso são considerados critérios externos, já que não são totalmente determinados por simples atividades. Exemplos de medidas de performance para Sistemas de Serviços podem ser:

Tempo total de serviço do cliente: tempo total em que o cliente ficou dentro do sistema, indo desde sua entrada até sua saída. Esse tempo inclui o tempo de serviço, o tempo de movimentação e o tempo de espera.

Tempo de espera do cliente: tempo que o cliente espera antes que um serviço seja providenciado. A redução desse tempo influi bastante no tempo total de serviço, além de afetar a satisfação do cliente.

Número de clientes esperando: o número de clientes em um dado momento esperando por um serviço. Também conhecido como número de clientes em fila. Altos índices de número de clientes esperando, levam a aumentos no tempo de espera e no tempo total de serviço.

Utilização de recurso: a porcentagem de tempo que um recurso (pessoa ou equipamento) está ocupado ou sendo utilizado em relação ao tempo total programado. Um alto índice de utilização significa eficiência, mas pode indicar uma restrição.

Tempo de processamento de pedido: tempo entre a colocação de um pedido por um cliente até a entrega do produto ou serviço. Esse índice é importante para sistemas onde o cliente

coloca a ordem e sai para esperar pelo serviço. O tempo de processamento de pedido se difere do tempo total de serviço pois não inclui o tempo que o cliente pode gastar dentro do sistema para propósitos como escolha de um serviço ou produto ou a colocação do pedido em si. O aumento do tempo de processamento de pedido pode causar o cancelamento desse pelo cliente, causando até a perda do cliente.

Taxa de abandono: a porcentagem de clientes que abandonam filas, deixando o sistema, ou desistem de entrar. Altos valores de taxa de abandono indicam falta de capacidade do sistema.

3.6 DECISÕES EM PROJETOS DE SISTEMAS DE SERVIÇOS

Ao se trabalhar com o projeto de Sistemas de Serviços, alguns parâmetros devem ser dimensionados. Da decisão de escolha desses, dependerá o sucesso do sistema. Esses parâmetros podem ser divididos em alguns grupos: layout, automação, política, estações de trabalho, suporte e fluxo de controle [KOTLER, 1995].

3.6.1 Layout

O layout é um dos pontos mais importantes no projeto de Sistemas de Serviço. Ele deverá prover um fluxo de trabalho conveniente, além de facilitar o fluxo de clientes. Existe uma relação crítica entre layout e fluxo. Muitas vezes, ao se sobrepor o fluxo do processo de um sistema sobre o layout, observa-se um emaranhado. Um bom layout deve ser projetado simultaneamente com o processo do Sistema de Serviço.

Outra característica importante do layout é quanto a passar uma imagem ao cliente. A análise do cliente de objetos tangíveis dentro do sistema, como a disposição de equipamentos e produtos disponíveis de forma harmoniosa, deve dar uma impressão de qualidade do serviço prestado.

3.6.2 Automação

A automação de processos de serviços se apresenta como uma grande oportunidade para a redução do tempo de espera. No entanto, a automação deve prover melhorias não em um processo em si, mas no sistema como um todo. Se a automação de um processo aumentar a velocidade do processo, mas não diminuir o tempo total de processo, ela não é efetiva e

pode criar filas no sistema. A automação nos Sistemas de Serviço pode ser aplicada tanto em processos relacionados diretamente com o cliente como em processos de suporte, como o fluxo de informação.

3.6.3 Política

A administração de Sistemas de Serviços está sempre envolvida com o problema de alocação de recursos e adaptação a mudanças de políticas. A agilidade desses sistemas pode ser considerada uma vantagem estratégica em situações de competição. Algumas decisões políticas necessitam da manutenção da qualidade enquanto se opera sobre condições atípicas.

3.6.4 Projeto de estações de trabalho

A maneira como as estações de trabalho são projetadas pode ter um impacto significativo na satisfação de clientes e na eficiência do sistema. As vezes, recursos múltiplos com filas individuais podem causar o desgosto dos clientes ao perceberem que a ordem de chegada no sistema não é igual a ordem no atendimento pelo recurso. No entanto, fila única para recursos múltiplos pode causar descontentamento pelo tamanho da fila gerada, independentemente da maior eficiência no atendimento.

Um fluxo eficaz pode significar um grande aumento da eficiência. Evitar que uma operação seja realizada mais que uma vez dentro de um processo, ou simplesmente eliminá-la, pode prover uma utilização mais racional dos recursos do sistema.

3.6.5 Suporte

O nível de suporte necessário para que o sistema alcance seus objetivos é outro ponto importante no projeto de Sistemas de Serviço. Trabalhando-se com níveis de suporte abaixo do necessário pode causar o aumento de tempos de espera e a perda da satisfação dos clientes. Com níveis acima, custos desnecessários são gerados para recursos que são mal utilizados. Um exemplo de serviço de suporte são os balcões de informações, que diminuem as dúvidas dos clientes, diminuindo as operações realizadas sem necessidade.

3.6.6 Controle de fluxo

O controle de fluxo está para os Sistemas de Serviços assim como o controle de produção está para os Sistemas de Manufatura. O projeto de um Sistema de Serviços deve

conter informações sobre como será o fluxo dentro do sistema. Assim como na manufatura, os clientes ou as informações devem ser empurradas ou puxadas pelo sistema. Limitando a capacidade das filas, um sistema que puxa o fluxo pode ser obtido, reduzindo o número total de elementos no sistema. O tempo médio de espera também será reduzido. Um número elevado de elementos em um Sistema de Serviço é tão ruim como inventários altos em Sistemas de Manufatura.

3.7 COMENTÁRIOS

O crescimento dos setores de prestação de serviços pode claramente ser sentido. O desenvolvimento desses desde a revolução dos serviços até os dias de hoje pode ser observada pela sua representatividade nas economias mundiais. A mudança da base industrial para uma economia de serviços é visível.

Os Sistemas de Serviços puros podem ser caracterizados por gerarem bens intangíveis. Assim, eles se diferenciam dos sistemas que tratam com produtos, os Sistemas de Manufatura. Isso implica numa mudança de atitude dos consumidores, que não vêem o bem a ser consumido nas prateleiras, prontos para serem adquiridos. Com isso, os Sistemas de Serviço elevam o cliente ao topo de suas metas. Seu grande objetivo é o de atrair os clientes.

Com isso, abordagens específicas para a gestão das empresas prestadoras de serviços são necessárias. Nessas abordagens, aspectos de diferenciação, qualidade e produtividade são levados em conta.

Os projetos de Sistemas de Serviço também são diferenciados. Embora muitos de seus elementos sejam os mesmo encontrados em outros sistemas, o diferencial da intangibilidade também afeta nesse ponto. Como exemplo, no lugar do fluxo de materiais pode existir o fluxo de informações. Assim, esses sistemas possuem muitos elementos abstratos, que necessitam de técnicas diferenciadas de análise.

Observando-se de maneira geral as abordagens existentes para a gestão dos Sistemas de Serviço, nota-se que essas ficam muito aquém daquelas existentes para Sistemas de Manufatura. Vê-se, com isso, uma grande lacuna que gera oportunidades. Alguns conceitos utilizados em Sistemas de Manufatura podem ser modificados, adaptando-os aos Sistemas de Serviço.

3.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRY, L., PARASURAMAN, A. *Marketing services: competing through quality*. p.16. New York: Free Press. 1991.
- BERNARDI, M.A., VASSALLO, C. As queridinhas do mundo dos negócios. *Revista Exame*. ed.650. 03 de dezembro de 1997.
- DEMING, W.E. *Qualidade: A Revolução da Administração*. 367pp. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.
- DOS SANTOS, A., CARVALHO, L.N. DVA, uma forma de avaliar a criação de riqueza. *Revista Exame*. ed.645. 24 de setembro de 1997.
- EDVINSSON, L., MALONE, M.L. *Intellectual Capital : Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Roots*. 240pp. Harperbusiness, Mar. 1997.
- HARRELL, C., TUMAY, K. *Simulation Made Easy – A manager's guide*. Norcross, Georgia: Engineering & Management Press. 1995.
- JÚLIO, C.A. Olha o acionista aí outra vez. *Revista Exame*. ed.623. 20 de novembro de 1996.
- KOTLER, P. *Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle*. 4ª edição, p.402-423. São Paulo: Editora Atlas S.A. 1995.
- SASSER, W.E. Match supply and demand in service industries. *Harvard Business Review*. p.133-140. Nov/Dec, 1976.
- SASSER, W.E., OLSEN, R.P., WYCKOFF, D.D. *Management of Service Operations*. Boston: Allyn & Bacon. 1978.
- TERMINKO, J. *Step-by-step QFD: Customer-Driven Product Design*. 240pp. 2ed. St. Lucie Press, Mar 1997.
- VASSALLO, C. Fazer o bem compensa? *Revista Exame*. n.9, ed.660. 22 de abril de 1998.

CAPÍTULO 4

A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

4.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais conceitos relativos a Teoria das Restrições (TOC), no âmbito deste trabalho. Será mostrado que a TOC não se trata de um conjunto de métodos a serem aplicados, levando a um processo de melhoria, mas sim, de toda uma filosofia a ser adotada.

Um estudo histórico é feito inicialmente, mostrando a preocupação por soluções de programação de produção levando a descoberta de um sistema baseado em restrições. Um levantamento bibliográfico da obra do físico israelense Eliyahu Goldratt é feita, com a finalidade de mostrar a ampla utilização da TOC.

As definições necessárias, bem como os principais conceitos, são apresentadas, principalmente sobre gargalos, recursos restritivos e restrições.

Os Processos de Raciocínio da TOC e os cinco passos do processo são explanados. O processo de mudança, com suas barreiras e soluções, é estudado, levando-se a um estudo do método Socrático. A meta a ser alcançada e as medidas de desempenho para monitorar o andamento em relação a meta são mostradas. Os nove princípios a serem seguidos, levando ao alcance da meta, são, então, apresentados.

Os conceitos da TOC são então implantados num ambiente de planejamento de produção, levando ao *Optimized Production Technique* (OPT). Seus conceitos são apresentados, bem como a teoria por trás deles.

Por fim, são mostrados casos onde se testemunhou o sucesso da aplicação da TOC. Nesses, melhorias substanciais foram alcançadas.

4.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

O número de dados e variáveis que devem ser tratados para a solução de problemas de programação de produção aumenta ao longo do tempo. Segundo NARASIMHAN et al. (1995), desde a década de 50 esse número já era elevado, culminando com a introdução do computador na indústria ainda naquela década.

O problema em questão é o de suprir as necessidades de materiais de toda produção. Um produto pode conter inúmeras peças e submontagens, sendo que cada uma dessas requer uma certa quantidade de tempo e matéria prima para serem produzidas. O problema trata, então, da determinação do tamanho e da frequência dos pedidos de peças, submontagens e matérias-primas.

Pesquisas nesse campo se iniciaram ainda na década de 50. No primeiro periódico especializado nessa área, Management Science, VASZONYI (1954) descreveu esse problema e apresentou um método algébrico para resolvê-lo. Na década de 60, ORLICK (1975) começou a popularizar, através da IBM, um processo de solução conhecido como Material Requirements Planning (MRP). Esse tipo de solução possuía vantagens e desvantagens que o tornaram extremamente atrativo. A IBM liderou o mercado de sistemas MRP através de seus pacotes MAPICS® e COPICS® [MORTON & PERTICO, 1993].

Ainda na década de 60, na então Alemanha Ocidental, surgiu um método de solução que levava em conta a capacidade finita dos recursos, conhecido como programação finita. Era um método muito mais ambicioso, que tentava aumentar a exploração da capacidade dos computadores utilizados nas indústrias. Novamente, a IBM dominou o mercado, com seu sistema CLASS® para programação finita [MORTON & PERTICO, 1993].

As décadas de 70 e 80 viram a ampla aplicação e aceitação do MRP na maioria das indústrias, sobretudo as norte americanas. Surgiu então uma evolução do tradicional MRP, o Manufacturing Resource Planning (MRP II), popularizado por WIGHT (1981). Esse método também levava em conta a capacidade finita dos recursos utilizados.

Ainda no final da década de 70, surgiu uma metodologia conhecida como Optimized Production Technique (OPT), que se tratava basicamente de um kanban automatizado. Eram

pacotes computacionais, apresentados como verdadeiras caixas pretas, que calculavam para cada estação o lote de transferência chamado de Quantidade de Lote Mínimo (*Minimum Batch Quantity* - MBQ) e o lote de processo, Limite de Estoque da Estação (*Station Stock Limitation* - SSL). A maneira como o software funcionava somente foi apresentada por um de seus idealizadores GOLDRATT (1980), ao mostrar os parâmetros utilizados para o cálculo do MBQ e do SSL. Mais tarde, FOX (1983), outro dos criadores, apresentou uma descrição detalhada do funcionamento do software de OPT, descrevendo seus dois módulos, o *Brain*, que realizava uma programação dos gargalos através de um método de programação finita para frente, e o *Server*, que faz o seqüenciamento do recursos não gargalos através de um método programação infinita para trás.

Desde o sucesso das idéias de Just in Time (JIT), desenvolvido no Japão a partir do método criado pelas indústrias Toyota [MONDEN, 1983], pequenos lotes não mais indicaram resistência e o conceito de realizar mais setups para alcançar um fluxo suave parecia natural. Ainda assim, o OPT em suas primeiras versões encontrou as mesmas limitações dos tradicionais kanbans. Para sistemas onde a manufatura é altamente repetitiva, formavam-se pulmões cheios entre algumas estações. As únicas estações que não ficavam cheias eram aquelas alimentadas por gargalos, pois possuíam um excesso de capacidade em relação a demanda média do sistema. Para resolver esse problema, surgiu então uma versão do OPT que possuía um recurso conhecido com *halt* [GOLDRATT, 1988]. Através dele, toda vez que um pulmão se enchia, havia uma parada na produção de cada operação que alimentava caminhos onde mais que um pulmão estava cheio. Assim, ficava estabelecida uma diminuição de inventários sem riscos ao ganho.

Através do conceito de *halt*, notou-se que poucos recursos passavam a trabalhar próximo do 100% de sua capacidade. Foi então que GOLDRATT (1981) reconheceu a diferença entre balancear o fluxo e balancear a capacidade. A importância de se identificar os gargalos ia se tornando clara.

GOLDRATT & FOX (1984) encontraram uma maneira de difundir seus conceitos, através de um livro escrito na forma de um romance que já vendeu mais de 800 000 cópias em todo mundo. Nesse, são explanados não apenas os conceitos de OPT mas toda uma metodologia de Processos de Raciocínio baseado no método Socrático. Uma extensão é GOLDRATT & FOX (1986), onde a teoria desenvolvida por Goldratt e Fox era explicada de maneira simples e clara. Todo esse conjunto de conceitos ficou conhecido como Teoria da Restrições (*Theory of Constraints* - TOC). Uma exploração ampla é encontrada em

GOLDRATT (1990), uma leitura pesada, muitas vezes filosófica, mas necessária para a compreensão da TOC.

4.2.1 As obras de Eliyahu Goldratt

Para se compreender melhor o vasto campo de aplicação dos conceitos da TOC, é importante se conhecer a obra do físico israelense Eliyahu Goldratt. Através dela, ficam claras algumas das soluções inovadoras desenvolvidas a partir dos conceitos da TOC. CORBETT (1997) faz uma revisão bibliográfica de suas obras mais importantes.

Em GOLDRATT & FOX (1984), a estória de um gerente de fábrica que consegue salvar sua empresa utilizando os conceitos da TOC é contada. Foi o livro que mais divulgou a TOC, tonando-se uma leitura essencial para quem busca esse conhecimento. GOLDRATT (1994) segue a estória do mesmo gerente de fábrica, só que agora promovido e responsável por lidar com problemas estratégicos de 3 fábricas. Mostra os princípios da TOC para estratégias de marketing. Seguindo ainda a mesma linha, GOLDRATT (1997) adapta a mesma estória aplicando a TOC ao gerenciamento de projetos.

A fim de descrever melhor a metodologia da TOC para a logística da produção, é lançado GOLDRATT & FOX (1986). Esse descreve de forma simples os princípios básicos do Tambor Pulmão Corda (TPC). Mostra que os métodos tradicionais de administração da produção não conseguem fazer um bom trabalho, causando aumento no estoque em processo, piorando a qualidade e aumentando custos. Compara, ainda, o TPC com o *Just in Time* (JIT).

GOLDRATT (1991) está dividido em três partes. A primeira trata de um sistema de contabilidade gerencial. Mostra os erros da contabilidade de custos e qual a solução da TOC para esses erros. A segunda e terceira tratam da metodologia do TPC e de um sistema de informação para auxiliar na administração da produção.

GOLDRATT (1994) mostra os princípios básicos que norteiam a TOC. Trata dos Processos de Raciocínio e de como implementar um processo de melhoramento contínuo nas organizações.

4.3 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

4.3.1 Teoria das Restrições

Segundo o GOLDRATT INSTITUTE (1998), a TOC é o resultado prático do trabalho do físico israelense Eliyahu Goldratt. Ele expandiu seus trabalhos aos Processos de Raciocínio, criando-se, assim, uma filosofia. Compreendendo-se como se pensa, pode-se melhor conhecer o mundo ao qual se está circundado; conhecendo-se melhor o mundo, pode-se melhorá-lo.

O centro do conceito de TOC é o princípio de causa efeito. Os Processos de Raciocínio da TOC apresentam uma série de passos que combinam causa efeito com a experiência e a intuição, de modo a gerar conhecimento. Tudo começa com a observação do mundo. A TOC provê novas ferramentas para se compreender o porquê das coisas acontecerem e, assim, criar um futuro melhor. Com conhecimento, pode-se melhorar.

Um benefício extraordinário dos Processo de Raciocínio é que eles provêem a habilidade de reconhecer a mudança de paradigmas que ocorrem quando os tempos mudam mas as hipóteses e as regras não. Não se pode monitorar todas hipóteses de modo a garantir que elas estejam sempre condizentes com a realidade. Assim, a habilidade de focalizar as mudanças pode ser uma vantagem real. Aqueles que continuam com seus padrões de operações, ao invés de se adaptarem a realidade, sofrerão quando o resultado de suas ações não forem os esperados.

No entanto, ela vai muito além dos Processos de Raciocínio. A TOC pode ser dividida em três partes [GOLDRATT, 1990]:

1. Um conjunto de ferramentas, chamadas de Processos de Raciocínio da TOC, baseadas no método Socrático, para através de um processo lógico e sistemático responder a três questões: “O que muda?”, “Para o que mudar?” e “Como causar a mudança?”.
2. Um conjunto de ferramentas administrativas diárias, retiradas dos Processos de Raciocínio da TOC, que podem ser utilizadas para melhorar significativamente as habilidades de administração.
3. Soluções inovadoras criadas através da aplicação dos Processos de Raciocínio em áreas específicas como produção, distribuição, marketing, projetos entre outras.

4.3.2 Recursos gargalos e não gargalos, recursos de capacidade restritiva e restrições

Um recurso gargalo é aquele cuja capacidade é igual ou menor que sua demanda. Um não gargalo é aquele cuja capacidade é maior que sua demanda.

Um recurso de capacidade restritiva (CCR) é um recurso que, se não for propriamente programado e administrado, inibi o fluxo de produtos de alcançar o fluxo desejado. Um gargalo pode ser um CCR. Mas um sistema pode não possuir gargalos reais, devida a sua baixa demanda. Para esses casos o CCR será o recurso de menor capacidade, o qual limita o fluxo do sistema.

Um CCR não é o único tipo de restrição que pode atrapalhar a performance de um sistema. Restrições de mercado podem inibir a utilização de toda a capacidade disponível. Restrições de materiais podem impedir a utilização de um recurso. Restrições logísticas podem ocasionar em aumento dos tempos de processo. Restrições gerenciais, formada pelas estratégias e políticas das empresas, podem impedir a melhoria de performance do sistema. Assim também ocorre com as restrições ambientais, as quais são as mais difíceis de serem tratadas.

Nas relações entre restrições e não restrições, existem cinco interações possíveis [NARASIMHAN et al., 1995]. Pode-se representar, por exemplo, os recursos gargalos como X e os recursos não gargalos como Y , conforme visto na figura 4.1. As cinco interações possíveis são as seguintes:

Caso 1- de Y para X : fluxo de um não gargalo (Y) para um gargalo (X).

Caso 2- de X para Y : fluxo de um gargalo (X) para um não gargalo (Y).

Caso 3- de $Y1$ para $Y2$: fluxo de um não gargalo ($Y1$) para outro não gargalo ($Y2$).

Caso 4- de $X1$ para $X2$: fluxo de um gargalo ($X1$) para outro gargalo ($X2$).

Caso 5- de X e Y para uma operação em comum: um gargalo (X) e um não gargalo (Y) alimentam uma operação em comum, por exemplo, uma montagem.

4.4 OS CINCO PASSOS

Todo sistema é criado para um propósito. Toda ação tomada por um órgão, parte desse sistema, deve ser julgada por seu impacto no propósito global. Assim, antes de mais nada,

deve-se definir quais são as metas globais do sistema e as medições que possibilitem o julgamento do impacto de um subsistema e cada divisão local na meta global.

A base da Teoria das Restrições é que toda organização possui restrições que as impedem de alcançar altos índices de performance, de acordo com suas metas. Essas restrições devem ser identificadas e administradas de modo a melhorar a performance. Normalmente, existe apenas um número limitado de restrições, as quais não são necessariamente restrições de capacidade. Quando uma restrição foi identificada e quebrada, deve-se identificar a próxima restrição e melhorá-la, continuando o processo de melhoramento.

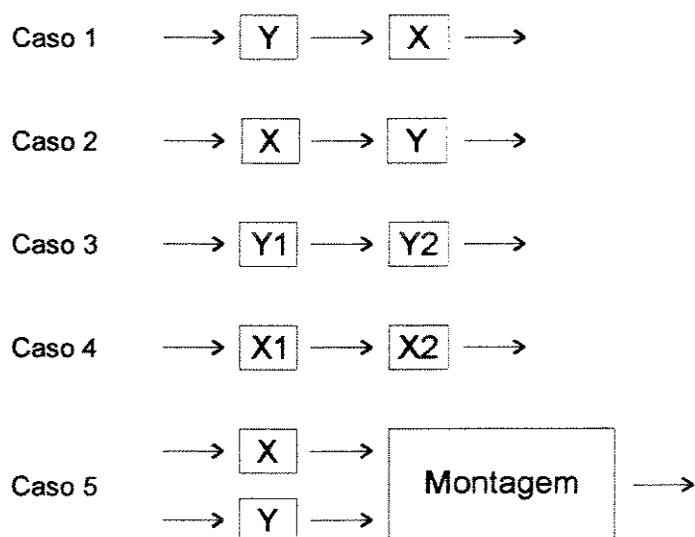


Figura 4.1 – As interações possíveis entres os recursos (NARASIMHAN et al., 1995)

Na realidade, qualquer sistema possui poucas restrições, conforme é provado em GOLDRATT & FOX (1984), e, ao mesmo tempo, qualquer sistema real possui pelo menos uma restrição. Essa analogia será vista neste trabalho no item 4.6. O processo dos cinco passos apresenta-se como um método que trata de uma restrição por vez.

1. Identificar as restrições do sistema (identificá-las e priorizá-las de acordo com seu impacto na meta).
2. Decidir como explorar as restrições do sistema.
3. Subordinar todo o resto à decisão acima (administrar os recursos de modo a que tudo aquilo que as restrições venham a consumir seja fornecido pelas não restrições).

4. Melhorar as restrições (melhorando uma restrição continuamente, há um ponto em que ela se quebra, não limitando mais o sistema).
5. Se no passo anterior uma restrição foi quebrada, voltar ao passo 1.

Muitas vezes, quando uma restrição é quebrada, não há a preocupação em se retornar e rever os passos. Assim, os sistemas são limitados principalmente por restrições de inércia.

Os cinco passos estão baseados em um processo de melhoramento contínuo. Eles sugerem que a maneira de se causar mudanças não está baseada em grandes mudanças, e sim em pequenas: mudanças incrementais para um conjunto limitado de problemas. Quando um problema é solucionado, surge outro, o qual deve ser solucionado. Esse processo contínuo não deve parar.

4.4.1 Os processos de raciocínio da TOC

Processos de mudança não podem vir seguidos de uma expectativa de curto prazo. Para se mudar uma organização, infelizmente, leva-se anos. Analisando-se os passos apresentados no item 4.4, pode-se notar a magnitude desse problema. GOLDRATT (1990) apresenta, assim, os Processos de Raciocínio da TOC. Sobre eles, há toda uma filosofia sobre o processo de mudança.

Qualquer processo de melhoramento é uma mudança, mas nem toda mudança é um melhoramento. Assim, não se pode melhorar algo a não ser modificando-o. Ainda, qualquer mudança é uma clara ameaça a segurança e qualquer ameaça a segurança leva a um aumento na resistência emocional. A única forma de se superar a resistência emocional é encontrando uma emoção mais forte.

Que tipo de emoção pode induzir a mudanças numa organização?

Quando se busca melhorias, mais que uma emoção está presente, e não apenas a emoção de resistência causada pela mudança. Há ainda a emoção do inventor. Essa última é tão forte que as vezes uma pessoa inspirada supera a emoção de muitas.

Como é possível induzir alguém a inventar uma solução para um problema específico pré determinado?

O Método Socrático é uma técnica de aprendizado pouco utilizada, que data a quase 2000 anos atrás. A partir dele, as pessoas são induzidas a inventar. Ele consiste principalmente em induzir as pessoas a deduzirem por si mesmas as respostas e soluções

procuradas, através do questionamento de suas realidades. Fazer perguntas Socráticas não é tão simples quanto parece. Necessita-se de uma metodologia especial, além de se saber de antemão as soluções de uma forma geral. Esse método dá ao interessado a oportunidade de descobrir suas soluções, embora não próprias. Desta forma, sua resistência natural a mudanças se transforma em interesse de inventor, o qual quer que suas invenções sejam implementadas e funcionem.

Ainda, quando se tenta induzir alguém a inventar uma solução para um problema que está sob seu controle, o primeiro passo é ter certeza de que o problema será tratado como se fosse seu maior problema. De outro modo, sequer se pode esperar que ele utilize o cérebro para tentar solucionar o problema.

CORBETT (1997) dá uma visão do método de mudança desenvolvido por Goldratt a partir dos Processos de Raciocínio da TOC, traduzindo os 5 passos da Teoria das Restrições para uma outra linguagem:

- 1) **O que Mudar? Descobrindo a doença do sistema, sua restrição:** essa primeira pergunta obriga a fazer um diagnóstico da situação, apontar os problemas vitais. O pressuposto por trás dessa análise é de que existem poucas causas comuns que explicam os muitos efeitos do sistema. Para responder a essa pergunta, GOLDRATT (1994) utiliza a Árvore da Realidade Atual (ARA). A ARA é um diagrama que através de conexões de causa efeito interliga todos os sintomas do sistema, permitindo encontrar a restrição.
- 2) **Para o que Mudar? O que está por trás da doença?** Após encontrar as restrições, normalmente políticas da empresa, precisa-se construir soluções simples e práticas. Para fazer isso, precisa-se entender o por quê dessas restrições existirem. Para resolver a política restritiva, GOLDRATT (1990) utiliza o Diagrama da Dispersão de Nuvem (DDN), ou simplesmente a Nuvem. Ela é um diagrama de relações de necessidade, composta por 5 entidades:
 - a) O objetivo, que é o oposto do Problema Raiz da ARA.
 - b) Uma condição necessária para o atendimento do objetivo.
 - c) Outra condição necessária para o atendimento do objetivo.
 - d) Um requisito essencial para se atingir a condição necessária b).
 - e) Um requisito essencial para se atingir a condição necessária c).

- f) *d*) e *e*) são entidades mutuamente excludentes, isto é, não se pode ter as duas ao mesmo tempo, mas na percepção representada pela Nuvem, as duas são necessárias para se atingir o objetivo. O problema em questão é o de encontrar um meio termo para as duas que seja uma solução, ou seja, quanto de *d*) e *e*) são necessários para eliminar o problema por completo. Para isso, a Nuvem fornece ajuda, obrigando a desafiar alguns dos pressupostos básicos sobre a realidade da empresa, e com isso, direcionando a possíveis soluções de se sair do conflito.
- 3) **Para o que Mudar? Construindo toda solução:** a Nuvem dá apenas a direção a ser seguida. Uma solução por completo deve ser tirada da Nuvem. Para isso, GOLDRATT (1994) apresenta a *Árvore da Realidade Futura (ARF)*. Nela procura-se os pontos negativos da solução almejada.
- 4) **Como Causar a Mudança? Dividindo a grande jornada em pequenos passos:** agora, deve-se definir o que será implementado. GOLDRATT (1994) utiliza a *Árvore de Pré-requisitos (APR)*. Nesse diagrama lógico, são construídos os passos necessários para a implementação da ARF, seqüenciando-os logicamente.
- 5) **Como Causar a Mudança? Definindo as ações e sua programação:** Na APR foram definidos os objetivos intermediários que devem ser alcançados para implementar a ARF. Deve-se agora construir a *Árvore de Transição (AT)*, que define as ações a serem tomadas e em que seqüência, de modo a atingir os objetivos da APR. Descobre-se, assim, quais ações são necessárias e suficientes para que a realidade seja mudada.

4.5 A META E AS MEDIDAS DE DESEMPENHO

GOLDRATT & FOX (1984) provocaram polêmica ao dizer que a meta de qualquer organização é ganhar dinheiro. As medidas de performance financeiras relevantes são, então, o lucro líquido (LL), o retorno sobre investimento (RSI) e o fluxo de caixa. As medidas operacionais são:

- **Ganho (G):** o índice pelo qual o sistema gera dinheiro através das vendas.
- **Investimento (I):** todo dinheiro que o sistema investe na compra de coisas que pretende vender.
- **Despesa operacional (DO):** todo dinheiro que o sistema gasta transformando investimento em ganho.

A TOC afirma que qualquer coisa pode ser classificada numa dessas três medidas, e que as três são suficientes para se fazer a ponte entre o lucro líquido e o retorno sobre investimento com ações administrativas diárias. Assim, se tem:

$$LL = G - DO \quad (4.1)$$

$$RSI = (G - DO) / I \quad (4.2)$$

Essas medidas são definidas dessa forma, levando a tomadas de decisões operacionais que conduzam a aumento no lucro. Devido ao grande impacto no lucro líquido e retorno sobre investimento, o ganho é a medida mais importante. Assim, na TOC criou-se nove princípios a serem seguidos, contribuindo para o aumento do ganho:

- 1) **Não balancear a capacidade, e sim o fluxo:** a idéia por trás desse princípio é de focar na maximização do fluxo total pelo sistema ao invés de tentar balancear as cargas de trabalho. O usual é balancear a capacidade dos recursos para então estabelecer um fluxo de materiais suave, se possível contínuo. A TOC prega o balanceamento do fluxo e não a capacidade dos recursos. Isso só é possível quando são identificadas as restrições que limitam o fluxo.
- 2) **Nível de utilização de um recurso não restritivo é determinado por outra restrição:** a utilização de um recurso não restritivo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema. Os recursos não restritivos devem ser utilizados segundo a ocupação dos recursos restritivos, mantendo um fluxo suave.
- 3) **Utilização e ativação de um recurso não são a mesma coisa:** a ativação de um recurso não significa uma utilização inteligente desse. Não há benefício em ativar um recurso não restritivo mais do que a capacidade de absorção do sistema. Segundo a TOC, os recursos devem ser utilizados conforme o ritmo de trabalho das restrições do sistema.
- 4) **Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema todo:** se variações em um sistema levam a parada de um recurso restritivo, deixando-o indisponível, ou se há uma quebra em um recurso gargalo, a perda desse tempo não poderá ser recuperada pelo sistema, diminuindo o ganho. Assim, deve-se buscar toda economia de tempo possível nos recursos restritivos, como diminuição de setup, diminuição das manutenções corretivas, o equivale a economia de tempo no sistema como um todo.

- 5) **Uma hora ganha em um recurso não restritivo não é nada, é miragem:** ganhar tempo ou aumentar a produção em um recurso não restritivo não surtirá nenhum efeito no ganho do sistema.
- 6) **Os recursos restritivos governam tanto o ganho quanto o inventário:** os recursos restritivos determinam o fluxo do sistema porque são seus limitantes, além de determinarem os estoques intermediários. Esses estoques são colocados antes das restrições, mantendo os recursos restritivos ocupados e evitando a falta de materiais nesses. O uso indevido desse inventário pode afetar o fluxo do sistema e, conseqüentemente, o ganho desse.
- 7) **Os lotes de transferência não devem ser iguais aos lotes de processo:** os lotes de transferência são o número de unidades transportadas de uma estação para outra, e os lotes de processo, as unidades a serem processadas. Como os custos de setup, de transporte e de processo são diferentes, o tamanho dos lotes também deve ser. A idéia desse princípio é o da quebra dos lotes, o que é particularmente difícil quando a programação é feita pelo MRP.
- 8) **Um lote de processo pode variar:** o tamanho do lote de processo pode variar de acordo com a operação, a programação e a demanda do sistema.
- 9) **A programação das atividades deve ser estabelecida através da análise de todas as restrições:** o lead time do sistema não é uma quantidade fixa, podendo variar de acordo com o seqüenciamento. Assim, de acordo com a TOC, o lead time não pode ser assumido a priori, conforme determinado pelo MRP, já que os recursos restritivos não são fixos, o que muda o seqüenciamento.

4.6 A TOC APLICADA A LOGÍSTICA DE PRODUÇÃO

Conforme pode ser visto pela amplitude da obra de Goldratt, os conceitos da TOC podem ser aplicados em várias áreas. Assim, a TOC compreende um conjunto de ferramentas inovadoras, aplicadas em áreas como produção, marketing, projetos, entre outras. Uma dessas áreas, apresentada em GOLDRATT & FOX (1984) é a logística de produção.

Para ilustrar o principal conceito do sistema logístico da TOC, a sincronização, foi utilizada uma tropa de escoteiros em uma caminhada. Assim, foi feita uma analogia entre uma tropa marchando em linha com o fluxo de um processo. Durante a caminhada, alguns

escoteiros podem marchar mais lentamente do que outros. Se cada um deles resolve-se marchar a uma velocidade própria, a tropa se dispersaria. O objetivo é de manter a tropa unida, já que a pessoa mais lenta será aquela que determinará o momento em que o grupo chegará ao seu destino. Assim, o gargalo será o recurso que determinará o ganho do sistema.

Para alcançar o objetivo, uma das possibilidades é colocar os escoteiros mais lentos na frente da tropa, conforme a figura 4.2. Assim, o processo irá seguir a velocidade do primeiro recurso, o mais lento. Isso é possível em sistemas onde se consiga colocar os recursos de menor capacidade no começo da malha e os de maior capacidade no final. Isso, no entanto não é possível na maioria dos sistemas.

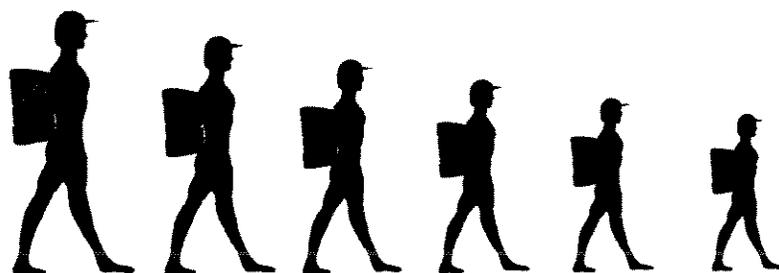


Figura 4.2 – Escoteiro mais lento a frente da tropa (NARASIMHAN et al., 1995)

Uma segunda possibilidade é deixar a tropa na sua formação original, amarrando todos os escoteiros com uma corda, garantido que eles não se dispersem, de acordo com a figura 4.3. Essa estratégia é mais viável em sistemas em forma de linha, dificultando sua implementação em sistemas em forma de uma complexa malha.

Uma terceira possibilidade é de colocar um tambor com o escoteiro que vem a frente da tropa, fazendo com que todos os outros marchem de acordo com o passo ditado por esse, conforme a figura 4.4. No entanto, se o escoteiro mais lento não conseguir seguir o passo, ele e todos os outros que vêm atrás se distanciarão do resto da tropa.

A TOC apresenta uma outra possibilidade para manter a tropa sincronizada, que é através da combinação de uma corda com um tambor. Se o escoteiro mais lento for amarrado com uma corda ao que vai a frente da tropa, e o passo do mais lento fosse marcado por um tambor, todos os escoteiros seriam obrigados a marchar no mesmo passo. O primeiro da tropa seria obrigado a marchar no passo do mais lento por estar amarrado a este pela corda. Os que vêm atrás do primeiro, serão obrigados a marchar no mesmo passo, seguindo o tambor. Se houver alguma variação na velocidade da parte frontal da tropa, então uma certa frouxidão

deve ser dada a corda de modo a não influir no mais lento. A TOC chama esse de método Tambor Pulmão Corda (TPC). Uma representação pode ser vista na figura 4.5.

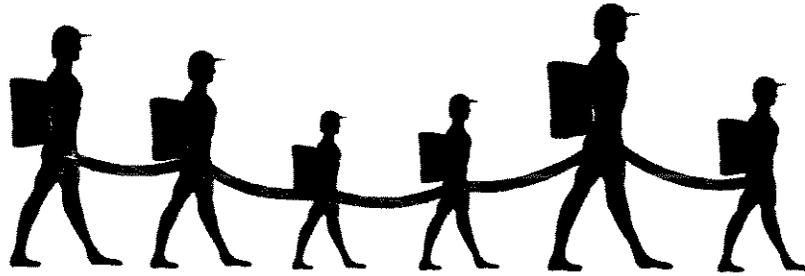


Figura 4.3 – Escoteiros amarrados por uma corda (NARASIMHAN et al., 1995)



Figura 4.4 – Tambor na frente (NARASIMHAN et al., 1995)

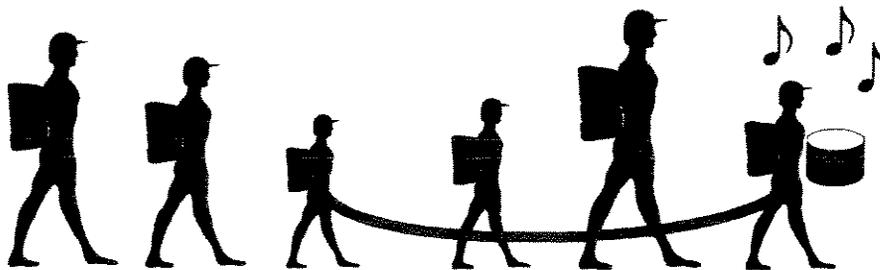


Figura 4.5 – Tambor Pulmão Corda amarra o mais lento ao tambor (NARASIMHAN et al., 1995)

De acordo com a TOC, todo sistema possui um ou mais recursos que limitarão o desempenho de todo sistema. Para uma empresa vender tudo o que ela é capaz de produzir, ela deverá enfrentar a restrição do mercado. No entanto, se a demanda do mercado é maior que sua capacidade de produção, essa última é a restrição.

Através dos processos de raciocínio da TOC, expressos sobre a forma dos cinco passos, as restrições do sistema são identificadas. Uma vez que serão elas que limitarão a

capacidade do sistema, a terminologia da TOC as definem como Tambor; uma apologia a batida de um tambor marcando os passos em uma marcha. O Tambor é, portanto, a programação de atividades, ou seja, a lista de tarefas que deverão ser executadas no recurso restritivo, de acordo com o total de demanda de trabalho a ser processado nele, com o objetivo final de atingir o máximo ganho.

Uma vez que a exploração de uma restrição significa também impedir que o recursos restritivos parem por falta de material, um Pulmão deve ser criado antes desse recurso. O recurso restritivo fica assim protegido contra flutuações estatísticas ou incertezas dos eventos anteriores a ele. As flutuações estatísticas podem ocorrer por fatores como frequência e duração de quebra de recursos, confiabilidade de equipamentos e variabilidade do desempenho de recursos.

Ainda de acordo com os cinco passos, deve-se subordinar todo o resto ao recurso restritivo, fazendo com que todos os recursos do sistema operem de acordo com o recurso restritivo. Surge aqui um novo conceito criado pela TOC, a Corda, com a função de ligar a restrição a primeira operação da malha, fazendo a sincronização do sistema. Assim, o fluxo em cada recurso irá seguir a taxa de consumo das restrições, mas com uma antecipação equivalente ao Pulmão do recurso.

O método TPC permite que se obtenha a programação de todos os recursos do sistema. Os recursos situados antes de um CCR deverão processar tudo aquilo que foi processado pela primeira operação. Uma vez que esses recursos possuem um excesso de capacidade em relação ao CCR, eles não terão dificuldade em cumprir o programa de produção. Os recursos localizados após um CCR serão controlados pela restrição conforme o processamento e liberação no CCR. Da mesma forma, como eles também possuem um excesso de capacidade, cumprirão o programa sem dificuldade.

Esse conceito pode ser expandido para um sistema produtivo. Os recursos de capacidade restritiva determinarão o ganho; eles serão o Tambor de todo sistema. Todas operações atrás de um recurso de capacidade restritiva seguirão sua programação. Uma Corda é amarrada a operação inicial, controlando o fornecimento de matéria-prima. O quarto princípio da TOC diz que uma perda de tempo num gargalo significa tempo perdido em todo sistema. Assim, para evitar essa perda de tempo de produção, deve haver um Pulmão antes de cada recurso de capacidade restritiva. Será o Pulmão que limitará através da Corda a capacidade do início do sistema.

Havendo um ramo da malha produtiva que não tenha uma restrição e, conseqüentemente, um Pulmão, esse deve ser protegido. Para isso, deve-se colocar um Pulmão ao final do ramo, antes da operação final. Esse Pulmão irá, ainda, controlar a capacidade do início desse ramo, através de Cordas. Assim, o ramo será programado de acordo com as necessidades da operação final, e a operação final ficará protegida contra possíveis interrupções no ramo.

4.6.1 O OPT

O resultado prático da TOC aplicada a logística de produção, com seus conceitos de TPC, é um software comercial chamado *Optimized Production Technology* (OPT). Trata-se de um sistema de programação que até pouco tempo se mostrava como uma caixa preta. Com a popularização da TOC, seus conceitos foram sendo aos poucos revelados, conforme mostrado em GOLDRATT (1988).

4.6.1.1 O cálculo do tamanho dos lotes

Segundo os princípios de que os lotes transferência não devem ser iguais aos lotes de processo e um lote de processo pode variar, a busca do lote econômico não é a solução mais viável para a redução de custos. O lote econômico ainda é um dos assuntos mais discutidos na literatura técnica. O objetivo dessa técnica é encontrar um tamanho de lote que minimize os custos de produção através do equilíbrio entre o custo de setup por unidade e o custo de carregamento por unidade, o que dá um custo total. De um lado, deseja-se aumentar o tamanho do lote para diminuir o custo de setup, por outro, diminuir o tamanho do lote, diminuindo o custo de carregamento. Dessa forma, o que a técnica de lote econômico faz é determinar o tamanho de lote que minimize o custo total por unidade, levando em conta a diminuição dos custos setup e carregamento [CORBETT, 1997].

A idéia de lotes variáveis, e a necessidade de gastar mais setup em recursos não gargalos de modo a alcançar um fluxo mais suave, tratava-se de um absurdo quando foi lançada. Hoje, devido ao sucesso do JIT, lotes menores não criam mais resistência e parece natural o conceito de realizar mais setup em recursos não gargalos para alcançar um fluxo suave.

Em retrospecto, a lógica de seqüenciamento do OPT utilizada em seus primeiros estágios (1978) foi basicamente um Kanban computadorizado. Para cada estação

(peça/operação) a quantidade equivalente do tamanho do container era calculado segundo alguns parâmetros gerais. Essa quantidade era chamada de Quantidade de Lote Mínimo (MBQ), hoje conhecido como lote de transferência. Ao contrário do Kanban, os MBQs podiam variar de uma estação para outra [FOX, 1983].

Para cada estação, um outro número também era calculado pelo software de acordo com outros parâmetros gerais. Esse era igual ao número de containers cheios permitidos após a operação. Em Kanban, esse número é determinado pelos cartões disponíveis entre as estações, e é determinado pelo usuário. No OPT, ele é chamado de Limite de Estoque da Estação (SSL). A lógica de seqüenciamento é que sempre que um inventário for criado pelo seqüenciamento entre duas estações, o qual é igual ou maior que o SSL, então nenhuma produção deve ser gerada nas operações anteriores, através do conceito de *halt*, até que o seqüenciamento das operações seguintes absorva o excesso de inventário para níveis abaixo do SSL.

A quantidade de considerações a serem tratadas por essa técnica leva a técnicas sofisticadas que consideram o fluxo total antes de programar uma máquina para uma operação para processar cada container. Uma descrição mais detalhada dos parâmetros globais utilizados no cálculo dos MBQs e dos SSLs pode ser encontrada em GOLDRATT (1980).

4.6.1.2 O método do OPT

FOX (1983) descreve detalhadamente o processo de seqüenciamento do OPT. Se os gargalos devem produzir todo tempo, de acordo com o princípio de que uma hora perdida em um recurso restritivo é uma hora perdida no sistema todo, eles devem ser seqüenciados para frente, ignorando a capacidade dos não gargalos. Uma vez determinada a programação dos gargalos, todas as outras operações não gargalos devem ser programadas para trás, de modo a suportar a programação dos gargalos.

Assim, o OPT envolve 4 estágios básicos:

1. Determinar o recurso gargalo.
2. Programar o uso do gargalo da maneira mais efetiva.
3. Programar o restante atrás do gargalo.
4. Programar o restante a frente do gargalo.

O OPT faz isso através de seus módulos BRAIN e SERVER. No módulo BRAIN, os recursos gargalos são seqüenciados de acordo com uma programação finita para frente. No módulo SERVER, as operações não gargalos são seqüenciadas com uma programação infinita para trás, conforme feito no MRP tradicional.

4.6.1.3 Softwares de OPT

Uma versão atualizada de softwares que utilizam os conceitos do OPT pode ser encontrada em STG (1997). O OPT21 é um software que aplica os conceitos do OPT de gerenciamento das restrições através do modelamento de uma programação de manufatura. OPT21 produz as programações de produção para qualquer indústria de manufatura, utilizando a técnica da programação finita e infinita.

Esse sistema foi desenvolvido para um servidor UNIX com micros da linha PC como terminais. Sua última versão é para Windows 95, conforme visto na figura 4.6.

Além disso, o OPT21 provê recursos de simulação para a solução de cursos alternativos para ações operacionais, táticas e estratégicas no planejamento de processos. Os benefícios financeiros podem ser otimizados através da determinação da melhor configuração de data de entrega, ganho, redução de lead time e níveis de inventário. Contém recursos de priorização dinâmica (ao se determinar uma prioridade, o sistema atualiza o impacto no tamanho de lotes, *lead time*, tempo de setup e eventos específicos). Ou seja, o OPT21 possibilita um controle e monitoramento compreensivos.

4.7 COMPARAÇÃO ENTRE O JIT E A TOC

Segundo RENTES & SOUZA (1996), tanto JIT como a TOC são confundidos como ferramentas relacionadas ao chão de fábrica. Trata-se, no entanto, de duas filosofias que vão muito além disso. O JIT é sempre confundido com o kanban, e a TOC com seu software de programação de atividades, o OPT. Ainda assim, existem profundas diferenças entre as duas abordagens.

Inicialmente, e mais evidente, o JIT considera igualmente importantes todos os elementos de seu sistema, buscando a melhoria contínua de seus processos e procedimentos através da busca e eliminação constante de todos os desperdícios. Com um enfoque diferente, a TOC busca priorizar as ações de melhoria aos pontos restritivos do sistema, já que eles é

que limitam o desempenho do sistema como um todo. Desta forma, a TOC focaliza suas ações naquilo que realmente tem relevância para o aumento da performance de todo sistema.

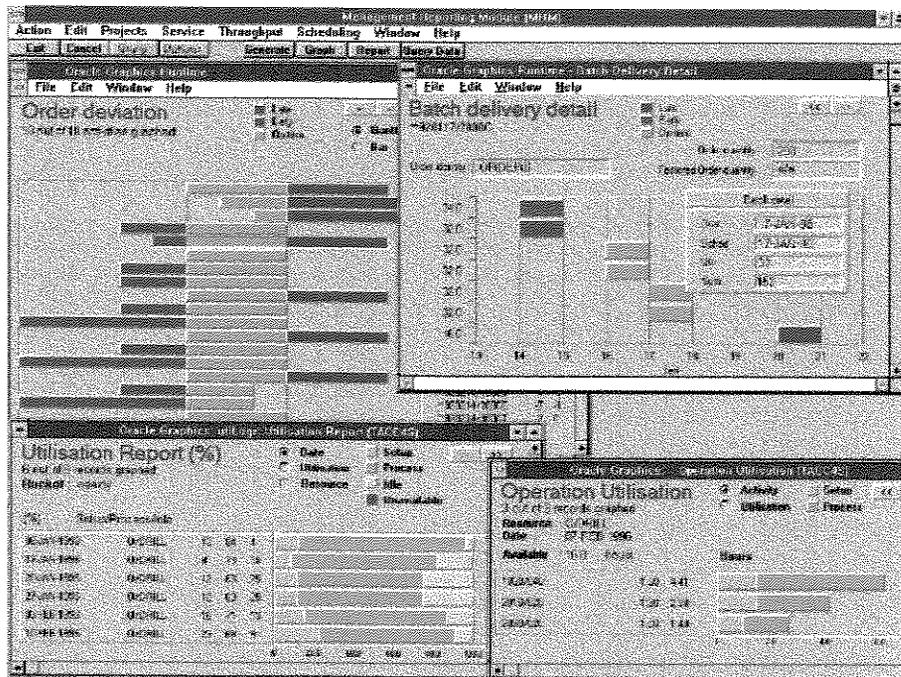


Figura 4.6 – Apresentação do software OPT21 (STG, 1997)

Como reflexo disso, o JIT atribui pequenos estoques de materiais antes de qualquer processo, os quais correspondem aos *kanbans*. Ficam, assim, os processos protegidos contra as incertezas e flutuações estatísticas do sistema. Já a TOC considera que apenas as restrições necessitam de tal proteção. Os outros recursos possuem capacidade em excesso para se recuperarem de eventuais incertezas e flutuações. Assim, a quantidade total de estoque em processo é menor na TOC do que no JIT, levando a menores lead times.

Ainda, segundo os conceitos de TOC, os maiores níveis de inventário do JIT não produzem uma segurança efetiva às oscilações do fluxo de produção. Assim, a colocação de pequenos estoques na frente de cada processo, põe em risco o ganho de todo o sistema sempre que ocorrer uma interrupção significativa no processo produtivo. Do ponto de vista da TOC, já que apenas uma diminuição na produção dos recursos restritivos leva a uma diminuição no ganho, e como ele está protegido com um nível de certeza de cerca de 90%, de acordo com GARDINER et al. (1993), ele garante uma melhor proteção ao valor agregado de suas vendas.

O processo de identificação de problemas também difere nas duas abordagens. Enquanto o JIT busca os problemas abaixando o nível dos inventários, o que pode prejudicar

a produção, a TOC ataca os problemas já classificados como restritivos. Como essas restrições estão protegidas, não há risco de se afetar os níveis de produção.

Segundo GARDINER et al. (1993), a abordagem do OPT é mais apropriada que o uso de cartões kanban em fábricas que trabalham com muitos produtos manufaturados na mesma linha (linhas mais diversificadas), pois o OPT faz uso de pulmões de tempo e, portanto, não requer estoques de cada tipo de material ou peça na frente de cada processo.

PLANTULLO (1994) apresenta uma comparação entre o JIT e o TOC a nível prático. Ela pode ser observada na tabela 4.1.

	JIT	TOC
Capacidade de produção	<i>Limitada, efetuando o controle através de kanban.</i>	<i>Limitada, com o controle através dos lotes MQB e SSL, definidos a partir das restrições do sistema.</i>
Tamanho dos lotes	<i>Trabalha com baixas quantidades e tamanhos de lotes fixos.</i>	<i>Lotes com tamanho variáveis, com MQB e SSL diferentes.</i>
Sincronização da produção	<i>Seqüência de produção deve ser toda sincronizada, com o uso de kanbans para absorver as flutuações. Busca o nivelamento da produção.</i>	<i>Flutuações decorrentes do uso da capacidade disponível e de um planejamento de produção rígido, com ênfase no fluxo contínuo.</i>
Planejamento	<i>Menos completo, com menor velocidade de resposta.</i>	<i>Mais completo, com maior velocidade de resposta.</i>
Flexibilidade	<i>Menos flexível. Para isso, deve utilizar maiores estoques.</i>	<i>Mais flexível, mesmo utilizando menos estoques.</i>

Tabela 4.1 – Comparação entre o JIT e a TOC (PLANTULLO, 1994)

4.8 CASOS DE ADOÇÃO DOS CONCEITOS DA TOC

A literatura apresenta relatos sobre empresas que obtiveram o sucesso após seguirem as idéias lançadas por Goldratt. Embora se trate de uma forma de propaganda, muitas delas são interessantes de serem analisadas.

A Ford Motor Company, conforme relatado em GOLDRATT INSTITUTE (1998), em sua divisão eletrônica possuía um tempo médio de melhoria de projeto de 10,6 dias. Após dois anos implementando o JIT, esse tempo passou para 8,5 dias. Após um ano adotando os conceitos da TOC, esse período passou para 2,2 dias, chegando aos atuais menos de 2 dias. A satisfação dos clientes aumentou mais de 75%, mesmo com uma diminuição de 25% nos investimentos em recursos.

GOLDRATT INSTITUTE (1998) mostra como a *Dixie Iron Works*, uma empresa de usinagem no Texas especializada em atender às indústrias do petróleo, aumentou seu lucro em 300% através de uma consultoria com a *Galt Management Services* e a utilização do *Resonance*, um software de programação finita. Eles institucionalizaram os conceitos da TOC. Conseguiram, com isso, utilizar melhor os recursos e identificar recursos novos necessários, dobrando o giro de inventário para 12 vezes ao ano.

A BOS (*Better On-line Solutions*) é uma fornecedora de soluções de conectividade para a IBM. Como muitas outras empresas desenvolvedoras de softwares, eles possuíam problemas para se cumprirem prazos em projetos de desenvolvimento, de acordo com GOLDRATT INSTITUTE (1998). O mercado a que eles fazem parte é dinâmico e muda a todo tempo. As soluções precisavam, assim, ser colocadas o mais rápido possível, antes que ficassem obsoletas. A solução foi implantar a TOC na gerência de projetos, realizando o treinamento do pessoal envolvido. Decidiram, então, aplicar os conceitos no maior e mais importante projeto a se iniciar naquele momento. O projeto era para ser concluído em agosto de 1997. Aplicando os conceitos da TOC o projeto foi planejado para acabar em abril de 1997, cinco meses antes.

LUCAS VARIETY'S (1998), testemunha a utilização da TOC nos esforços de melhorar a linha de usinagem de seu produto CT120. A melhoria em alguns índices foi conseguida, como um aumento de 15% na utilização de restrições, aumento de 76% no ganho (de 105 para 185 produtos por hora) e redução de 24% no *cycle time*. Ainda, na fábrica de sistemas de freio ABS, conseguiram um aumento de 135% no ganho da produção de válvulas (de 70 para 165 produtos por hora) e redução de 68% nos custos de refugo.

STG (1997) mostra o resultado da compra do software OPT21 pela empresa Skelmersdale da Alliedsignal, após a identificação da necessidade de redução de 3,5% no custo de seus produtos. Eles conseguiram uma redução no inventário de 50%, além de melhorarem a produção como um todo. Eles citam: "*Concentrando na administração dos gargalos, nos tornamos capazes de aumentar a produção, alcançando a demanda e vendo o inventário cair pela metade.*"

A Sandvik, identificando problemas em seus *lead times*, também adotou o OPT21. Segundo STG (1997), eles conseguiram aumentar em 60% o volume de produção em 3 anos, além de diminuir os *lead times* e inventários a metade. Citam, ainda: "*OPT tem sido o maior responsável por essas melhorias, não apenas através da programação mas por apontar as áreas que necessitam de mais atenção.*"

KOZIOL (1988) testemunhou as melhorias obtidas pela Valmont/ALS. Eles possuíam um problema com relação a programação das entregas, o qual se acentuava, sobre tudo, no final dos meses. Eles o classificavam como *"the month end syndrome"*. Com a aplicação dos conceitos da TOC, eles conseguiram uma diminuição 17% nas despesas operacionais, um aumento de 164% no faturamento, e um aumento de 39% no número de giros de inventário. O índices de entregas alcançaram níveis recordes na empresa.

Assim como esses, muitos outros casos de sucesso na implantação dos conceitos da TOC podem ser encontrados. Da mesma forma, alguns casos de fracasso também podem ser. A adaptação incorreta dos conceitos ao sistema em questão é uma das causas desse fracasso. Assim, uma análise prévia das conseqüências de mudanças efetuadas deve ser feita, levando a necessidade de ferramentas de previsão.

4.9 COMENTÁRIOS

A Teoria das Restrições, desenvolvida a partir dos estudos de programação da produção, se mostrou como algo mais que um conjunto de técnicas. Ela é uma filosofia, cuja amplitude pode ser observada analisando-se seus conceitos.

A base da TOC é um processo de melhoramento contínuo através da identificação das restrições do sistema, exploração dessas restrições, subordinação de todo resto às restrições e análise das novas restrições, reiniciando o processo. A partir daí surgem os Processos de Raciocínio, que provêem ferramentas para ajudar a análise do processo de melhoramento. Eles podem ser identificados como o método das árvores, por exemplo.

Por se tratar de uma nova abordagem, mudanças são sempre necessárias, havendo, com isso, a quebra de paradigmas. Assim, a TOC defende a utilização do método Socrático para superar a resistência emocional às mudanças.

Segundo a TOC, a meta das empresas é ganhar dinheiro. Para isso, ela prega uma mudança no foco, até então voltado para custos individuais de elementos de um sistema, para o ganho, o investimento e as despesas operacionais do sistema como um todo. Ainda, para aumentar o ganho, ela introduz nove princípios a serem seguidos: não balancear a capacidade, e sim o fluxo; o nível de utilização de um recurso não restritivo é determinado por outra restrição; utilização e ativação de um recurso não são a mesma coisa; uma hora perdida em gargalo é uma hora perdida no sistema todo; uma hora ganha em um recurso não restritivo não é nada, é miragem; os recursos restritivos governam tanto o ganho quanto o inventário; os

lotes de transferência não devem ser iguais aos lotes de processo; um lote de processo pode variar; a programação das atividades deve ser estabelecida através da análise de todas as restrições.

Outro aspecto importante na TOC é a amplitude de seu campo de aplicação. A obra de Goldratt mostra essa amplitude, através de obras sobre produção, marketing, projetos, entre outras áreas. São as soluções inovadoras para áreas específicas.

Uma das aplicações está voltada para a logística de produção, a qual se dá através do método do Tambor Pulmão Corda, a base do software OPT. Com a utilização da TPC, busca-se uma maior eficiência com o aumento do ganho, através de uma diminuição do *lead time* e maior proteção dos recursos restritivos, além de uma diminuição do inventário e das despesas operacionais. Esses conceitos já são a base de vários softwares de programação encontrados no mercado.

Em relação ao JIT, o TPC apresenta algumas vantagens, como maior simplicidade, maior flexibilidade e maior foco nas áreas críticas, as restrições.

Alguns cuidados devem ser tomados na adoção da TOC. Ela está associada a uma mudança de cultura na empresa, o que é uma barreira por muitas vezes difícil de ser transposta. O estilo gerencial deve ser alterado e o sistemas tradicionais de contabilidade de custos revistos. As pessoas devem ser treinadas, em todos os níveis hierárquicos.

4.10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORBETT, T. Teoria das Restrições (TOC). In <http://www.corbett-toe.com>. 1997.

FOX, R.E. OPT - An answer for America - Part IV. *Inventories and Production Magazine*. v.3, n.2, 1983.

GARDINER, S.C., BALCKSTONE, J.H., GARDINER, L.R. Drum-Buffer-Rope and Buffer Management: Impact on Production Management Study and Practices. *International Journal of Operations & Production Management*. v.13, n.6, p.68-78. 1993.

GOLDRATT INSTITUTE. Avraham Y. Goldratt Institute. In <http://www.goldrat.com>. 1998.

GOLDRATT, E.M. Optimized production timetable: Beyond MRP: something better is finally here. *APICS 23rd Annual International Conference Proceedings*. 1980.

- GOLDRATT, E.M. The unbalanced plant. *APICS 24th Annual International Conference Proceedings*. 1981.
- GOLDRATT, E.M., FOX, R.E. *The Goal*. North River Press Inc. 1984.
- GOLDRATT, E.M., FOX, R.E. *The Race*. North River Press Inc. 1986.
- GOLDRATT, E. M. Computerizes shop floor scheduling. *Int. J. Prod. Res.* v.26, n.3, p.443-455. Mar., 1988.
- GOLDRATT, E.M. *What is this thing called Theory of Constraints and how should be implemented?* North River Press, 1990.
- GOLDRATT, E.M. *The Haystack Syndrome : Sifting Information Out of the Data Ocean*. North RiverPress. 1991.
- GOLDRATT, E.M. *It's not Luck*. North River Press. 1994.
- GOLDRATT, E.M. *The Critical Chain*. North RiverPress. 1997.
- KOZIOL, D.S. How the Constraint Theory Improved a Job-Shop Operation. *Management Accounting*. v.69, n.11, p.44-49. May 1988.
- LUCAS VARIETY. Lucas Varity – Production Application. *Best Practice*. v.6, n.2. Feb 1998.
- MONDEN, Y. *Toyota Production System*. 247pp. Norcross: Industrial Engineering and Management Press, 1983.
- MORTON, T.E., PENTICO, D.W. *Heuristic Scheduling Systems - with applications to production systems and project management*. 695 p. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1993.
- NARASIMHAN, S., McLEAVEY, D.W., BILLINGTON, P. *Production Planning and Inventory Control*. Second Edition, Prentice Hall. 1995.
- ORLICK, J. *Material Requirements Planning*. New York: McGraw-Hill. 1975.
- PLANTULLO, V.L. Um pouco além do Just in Time: uma abordagem à Teoria das Restrições. *Administração de Empresas*. v.34, n.5, p.32-39. Set/Out 1994.
- RENTES, A.F., SOUZA, F.B. O Sistema Logístico de Produção da Teoria das Restrições: um Paralelo com o Just in Time. *Anais ENEGEP 96*. Piracicaba, SP. 1996.
- STG. The OPT21 On-Line Brochure. In <http://www.stg.com.uk/Products/opt21broch.htm>. 1997.

VASZONYI, A. The Use of Mathematics in Production and Inventory Control. *Management Science*. v.1, n.1. Oct. 1954.

WIGHT, O. *MRP II: Unlocking America's Productivity Potential*. Essex Junction, VT: Oliver Wight Limited Publications. 1981.

CAPÍTULO 5

SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar a Simulação em Computador, inserindo-a como uma poderosa ferramenta das áreas de Pesquisa Operacional. Uma análise histórica da simulação é feita, mostrando-a desde o início com os simuladores de estratégias militares, os jogos de guerra, até a popularidade das décadas de 80 e 90. A evolução das técnicas de modelagem é mostrada, seguindo a necessidade de se modelar sistemas cada vez mais flexíveis e complexos.

Os principais conceitos são apresentados, classificando as diversas técnicas de modelagem, bem como os tipos de modelos. A técnica de Simulação de Eventos Discretos é, então, descrita como uma ferramenta capaz de suprir a necessidade de modelagem de sistemas flexíveis e complexos.

Uma maneira para se conduzir projetos de simulação é sugerida. As fases e passos a serem seguidos, desde a definição do sistema, passando pela seleção da ferramenta de simulação, chegando até a apresentação e implementação dos resultados, são descritos e priorizados. Ainda, os pontos importantes para se justificar a introdução de projetos de simulação são levantados.

Assim, serão apresentados os pontos mais importantes relativos a simulação, relevantes ao escopo deste trabalho.

5.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Conforme escrito por HARRELL & TUMAY (1995), o início da ênfase a simulação se deu na década de 50, com sua utilização como ferramenta de auxílio no planejamento de estratégias militares. Ainda naquela década, indústrias aeroespaciais começaram a aplicar a simulação, mas foi apenas nas últimas duas décadas que a simulação assumiu um posto de popularidade em indústrias de manufatura e serviços. Isso se deveu, sobretudo, ao uso de ferramentas de simulação pelas indústrias aeronáuticas durante a década de 70. Então, ela se tornou uma prática comum sempre que um novo sistema fosse desenvolvido ou uma mudança fosse efetuada.

SHANNON et al. (1980) indica a simulação como a principal ferramenta da Pesquisa Operacional em termos de utilidade e popularidade. Alguns fatores contribuíram para isso:

- aumento da compreensão e discernimento dessa tecnologia;
- aumento da disponibilidade, capacidade e facilidade de utilização de softwares de simulação;
- aumento de memória e velocidade de processamento dos computadores;
- queda no preço de equipamentos;
- difusão da adoção de computadores.

A simulação deixou de ser uma técnica de “última alternativa”. A disponibilidade de softwares de fácil utilização e de computadores poderosos tornaram a simulação não apenas mais aceitável como também mais acessível, principalmente aos projetistas e planejadores que não possuem nem tempo nem interesse em aprenderem novas e complicadas técnicas de análise.

BANKS & CARSON (1996) mostram que a utilização da Simulação em Computador pode ir além das formas tradicionais. Existem outras utilidades que podem levar a benefícios inesperados. Assim, é apresentado um conjunto de aplicações não tradicionais e seus benefícios.

Técnicas de simulação vêm sendo empregadas por uma variedade grande de empresas de manufatura e serviços. REEDY (1993) descreveu a utilização da simulação como uma ferramenta de auxílio em um estudo de otimização da programação de manutenção de avião do U.S. Air Force Material Command's Sacramento Air Logistics Center (SM-ALC). De

acordo com as horas de vôo completadas por cada aeronave, a manutenção poderia compreender desde lavagem e reabastecimento, até modificações no sistema elétrico e troca de peças mecânicas, além de passarem por todo um check-up periódico. Para esse estudo, modelos foram montados, a fim de que os recursos restritivos, a nível de processos e equipamentos, fossem identificados. Modelos menores e específicos para cada recurso restritivo encontrado foram então desenvolvidos, de modo a mostrarem possíveis melhorias.

MAUER & SCHELASIN (1993) descreveram a utilização da simulação na tomada de decisão de compra de um equipamento para fabricação de semicondutores pela IBM Microelectronics. O preço estimado desse equipamento foi de US\$3 milhões. A dúvida era quanto a sua compra ou reforma de um equipamento já existente. Um modelo de simulação foi então desenvolvido para que varias variáveis fossem testadas. A decisão pela reforma do equipamento já existente, rendeu a IBM Microelectronics uma economia de US\$ 2,8 milhões (diferença entre o equipamento novo e o custo de reforma do existente), sem que o desempenho necessário fosse prejudicado.

Já na área de serviços, NIXON (1994) descreve como o Canadian Imperial Bank of Commerce (CIBC), o segundo maior banco canadense, em Toronto, Ontário, utilizou ferramentas de simulação para avaliar seus serviços de postagem de correspondências, medindo sua capacidade de produção e opções de seqüenciamento. O modelo foi desenvolvido de modo a submeter o sistema a uma variação no volume de correspondências, proveniente da introdução de novos produtos e serviços, além de avaliar a introdução de novos equipamentos de postagem.

Ferramentas de simulação podem ser utilizadas em todo ciclo de vida de um sistema: planejamento, projeto, implementação e operação. A simulação já é uma tecnologia bastante consolidada quando aplicada durante as fases de planejamento e projeto. THOMPSON (1994) discute em seu trabalho a importância da simulação também para as fases de implementação e operação, evidenciando as necessidades de algoritmos mais rápidos e computadores mais velozes, capazes de acompanharem o sistema de maneira on-line. O modelo passa a ter a função de monitorar o sistema, sendo alimentado por eventos reais, como, por exemplo, a chegada de um pedido numa linha de produção, e não mais por distribuições estatísticas. Quando da necessidade de uma tomada de decisão, o modelo é então alimentado com os dados necessários e seu comportamento previsto através da simulação.

A aplicação da simulação antes da implementação de um sistema, ou mesmo uma idéia, dá respostas preditivas de seu comportamento. Ela é uma técnica poderosa para o

tratamento de problemas complexos. Segundo DEMING (1989), “administração de um sistema é a ação baseada em previsão. Previsão racional necessita de aprendizado sistemático e comparações de previsões de resultados de curto e longo prazo de possíveis ações alternativas a serem tomadas”.

O aumento na popularidade da simulação, pode ser melhor identificada, quando o avanço nos softwares e hardwares é analisado. A utilização cada vez mais difundida de computadores, intensificou a ênfase da Simulação em Computador. Surgem, assim, pacotes de softwares capazes de interagir cada vez mais amigavelmente com o usuário. Mas nem sempre foi assim.

No início, os primeiros simuladores para fins militares eram computadores construídos especificamente para esse fim, com toda uma linguagem e lógica específicas. Nas indústrias passou-se a utilizar linguagens genéricas, como Cobol ou mesmo linguagem de máquina, para a implementação dos modelos. Havia, ainda, a necessidade de programadores especialistas para implementação desses modelos. A partir de 1980 começaram a surgir linguagens específicas de simulação, que foram sendo aprimoradas cada vez mais, chegando ao que existe hoje [HARRELL & TUMAY, 1995].

Hoje, existem pacotes computacionais capazes de eliminar a figura do programador. As rotinas mais utilizadas já estão implementadas. Ao usuário, basta associar essas rotinas de maneira lógica de modo a criar o modelo. Essa associação, pode ser feita através de ambientes gráficos, o que acaba com a necessidade da escrita e programação de códigos. Existem, ainda, aplicativos associados que servem para ajustes de dados em distribuições estatísticas que melhor os representem, criação e análise de cenários, análise de influência de parâmetros, entre outras funções.

Técnicas de modelagem por Simulação em Computador são ferramentas de análise de sistemas extremamente poderosas. Elas devem, no entanto, ser utilizadas inteligentemente, assegurando projetos bem sucedidos que culminem no reconhecimento e implementação dos melhoramentos desejados. DIETZ (1992), em seu trabalho sobre os requisitos para projetos de simulação bem sucedidos, disse: *“não há nenhum método que garantirá sucesso em todo projeto. Junto com metodologia, projetos bem sucedidos requerem alguém com alto grau de conhecimento do sistema, treinamento adequado e experiência”*.

5.3 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

5.3.1 Pesquisa Operacional

As origens dos campos da Pesquisa Operacional na busca por métodos científicos para auxiliarem no gerenciamento de empresa podem ser encontradas há muitas décadas. No entanto, segundo HILLIER & LIEBERMAN (1995), o início da atividade chamada Pesquisa Operacional deve ser atribuído às operações militares durante a II Grande Guerra. Havia naquele tempo uma necessidade urgente de se designar recursos para várias operações militares. Para isso, os estrategistas militares britânicos, e em seguida os norte-americanos, chamaram um número grande de cientistas, para que métodos científicos fossem desenvolvidos para a solução desse e de outros problemas estratégicos e táticos. Eles foram induzidos a realizarem um trabalho de pesquisa sobre as operações militares. Esses foram os primeiros times de Pesquisa Operacional. Através do desenvolvimento de métodos efetivos, e com a utilização dos novos instrumentos chamados radares, eles foram responsáveis pela vitória na Batalha Aérea da Inglaterra. Com suas pesquisas em como melhor administrar operações de escolta e anti-submarino, eles desempenharam um papel fundamental na vitória da Batalha do Atlântico Norte. Esforços similares também foram fundamentais na Campanha das Ilhas do Pacífico.

Ao final da guerra, o sucesso da Pesquisa Operacional despertou interesse para ser aplicado em outras áreas. Com o *boom* das indústrias no período pós-guerra, o trabalho de administração de empresas se tornou cada vez mais complexo. Muitos daqueles que participaram dos times de Pesquisa Operacional durante a guerra, começaram a aplicar seus conceitos nas indústrias. A partir da década de 50, esses passaram a introduzir a utilização da Pesquisa Operacional em negócios, indústrias, e mesmo governo, sucedendo-se uma rápida difusão dessas técnicas.

A Pesquisa Operacional pode ser aplicada a problemas que visam a condução e organização de operações ou atividades dentro de uma organização. Numa extensão de seu significado, métodos científicos são utilizados na investigação dos problemas de interesse.

Outra característica da Pesquisa Operacional é seu ponto de vista organizacional. Assim, ela busca soluções de conflitos de interesse entre os componentes da organização, visando sempre o melhor para o sistema como um todo. Isso não implica que o estudo de cada

problema deva considerar todos os aspectos da organização; e sim, os objetivos a serem alcançados devem ser coerentes com aqueles da organização como um todo.

A Pesquisa Operacional possui ainda a característica de buscar uma melhor solução (solução ótima) para o problema em consideração. Ao invés de apenas melhorar o status quo do sistema, o objetivo de um estudo de Pesquisa Operacional é de identificar uma melhor ação a ser tomada. Embora deva ser interpretada cuidadosamente em termos práticos, a busca pela solução ótima é um ponto importante na Pesquisa Operacional.

Tudo isso, leva a outro ponto importante para a Pesquisa Operacional. É evidente que nenhum indivíduo por si só é especialista em todos os aspectos da Pesquisa Operacional e do sistema a ser estudado. Assim, estudos de Pesquisa Operacional, em geral, são fundados em equipes formadas por indivíduos de diversas áreas, de acordo com o interesse do estudo. Tais times podem ser compostos por matemáticos, economistas, engenheiros, estatísticos, administradores de empresas, analistas de sistemas, programadores, entre outros.

HILLIER & LIEBERMAN (1995) propõem uma maneira de resumir um estudo de Pesquisa Operacional, dividindo-o nas seguintes fases que se sobrepõem:

1. Definição do problema e coleta de dados;
2. Formulação de um modelo matemático que represente o problema;
3. Desenvolvimento de procedimentos computacionais que derivem as soluções do problema;
4. Teste e refinamento das soluções conforme necessidade;
5. Preparação e implementação das soluções.

5.3.2 Modelagem de sistemas

Modelos, ou representações idealizadas, são parte integrante da vida cotidiana. Alguns exemplos incluem modelos de aviões, da terra, de pessoas, etc. Similarmente, modelos desempenham um papel importante no mundo da ciência e dos negócios, como pode ser ilustrado através de modelos do átomo e de estruturas genéticas, equações matemáticas que representem reações químicas, gráficos e diagramas organizacionais, sistemas de contabilidade industriais. Tais modelos foram desenvolvidos para representarem a essência de um objeto de interesse, mostrando inter-relações, de modo a facilitar análises.

Modelos matemáticos também são representações idealizadas, mas expressos em termos de expressões e símbolos matemáticos. Algumas leis da física, como $F=m.a$ e $E=m.c^2$, são exemplos bastante familiares. Analogamente, problemas administrativos também podem ser representados por sistemas de equações e expressões matemáticas que descrevam sua essência.

Modelos matemáticos possuem muitas vantagens sobre descrições verbais de um sistema. Uma vantagem óbvia é que os modelos matemáticos descrevem o sistema de uma maneira muito mais concisa, tornando a estrutura do sistema muito mais compreensiva, e ajudando a evidenciar importantes relações de causa efeito. Os modelos matemáticos formam uma ponte para a análise de problemas através de poderosas expressões matemáticas e computadores.

Com a crescente necessidade de análises quantitativas e detalhadas de sistemas, várias técnicas de modelagem foram e vem sendo desenvolvidas. Essas técnicas são baseadas em duas idéias fundamentais [BANKS & CARSON, 1984]:

1. um modelo representa um sistema ou ambiente. Sua precisão e complexidade dependem dos fatores considerados e das hipóteses assumidas;
2. um modelo é construído para encontrar uma solução.

Muitos exemplos de modelos matemáticos podem ser encontrados, os quais se utilizam de diversas técnicas. Uma técnica, de particular importância, é a programação linear. Nela, o problema é formulado através de expressões lineares que representem o objetivo a ser alcançado e as restrições do sistema. Seu descobrimento foi dado como um dos maiores avanços científico da metade deste século. Seu impacto durante a década de 50 foi extraordinário. Hoje, trata-se de uma ferramenta simples, cuja aplicação nas empresas teve como resultado a economia de alguns milhões de dólares.

Existem várias formas de se classificar os modelos. Ao se trabalhar com modelos de sistemas dinâmicos, que possuem movimentações de acordo com certas lógicas, pode-se classificar as diversas técnicas de modelagem, levando as seguintes categorias de modelos [BANKS & CARSON, 1984]:

1. Modelos em escala
2. Modelos simbólicos;
3. Modelos analíticos;

4. Modelos de simulação.

A evolução das técnicas de simulação está diretamente ligada a tecnologia dos recursos de suporte disponível. LOBÃO & PORTO (1996) apresentam uma classificação dessas técnicas de acordo com o desenvolvimento da tecnologia de suporte.

As primeiras técnicas de modelagem empregadas em simulação utilizavam técnicas de modelagem em escala e modelagem matemática. No entanto, a diversidade de parâmetros e suas interdependências inviabilizavam a implementação dos modelos de alguns sistemas. As interações dinâmicas dentro desses sistemas não possibilitam formulações simples em modelagem analítica. Flutuações causadas, por exemplo, pela quebra de recursos, são difíceis de serem modeladas matematicamente.

Com essa necessidade de modelos mais complexos, surgem então os modelos de Simulação de Eventos Discretos. No começo, esses modelos eram implementados em linguagens genéricas de programação, como Basic, C e Fortran, o que demandava um grande esforço para construção, dependendo, ainda, de profissionais com grande conhecimento em programação. Surgem, então, as linguagens de simulação, como o GPSS, SIMAN e SLAM [SYSTEMS MODELING HOME PAGE], que nada mais são que bibliotecas compostas por conjuntos de rotinas em uma linguagem genérica.

Houve então um aumento no número de usuários das técnicas de simulação, causada pelo aumento da compreensão e discernimento das novas tecnologias, além dos avanços tecnológicos em hardware e software. Com isso, surgem técnicas que buscam uma maior facilidade de utilização, como os simuladores de interface gráfica e orientados ao objeto. Vários pacotes comerciais foram colocados no mercado, como o Arena [SYSTEMS MODELING HOME PAGE, 1998], Promodel [PROMODEL HOME PAGE, 1998] e Automod [AUTOSIMULATIONS HOME PAGE, 1998].

O processo evolutivo dessas técnicas continua. As novas tendências indicam futuros sistemas interativos e inteligentes, nos quais técnicas de sistemas especialistas, realidade virtual e inteligência artificial serão empregadas. Através dessas futuras gerações de sistemas de simulação, os conhecimentos de alguns especialistas poderão ser compartilhados por um grupo de usuários, o usuário poderá interagir com o sistema através de um ambiente virtual, e a análise e interpretação dos resultados será auxiliada por módulos inteligentes.

5.3.2.1 Modelos em escala

Os modelos físicos são reproduções do sistema real, construídos para que as mesmas características físicas e estruturais do sistema sejam obtidas. Quando da condução de um projeto de estudo sobre esses modelos, a utilização de protótipos em tamanho real é por muitas vezes impossível ou dispendiosamente proibitiva. Utiliza-se, assim, modelos em escala reduzida.

Com os avanços tecnológicos da eletrônica, pode-se acrescentar a esses modelos recursos de coleta de dados e processamento, através da utilização de microprocessadores e sensores. RANKY (1983) descreve a utilização de modelos em escala capazes de simularem linhas de manufatura.

A modelagem física em escala possuem a desvantagem de seu custo, complexidade e inflexibilidade. Em geral, a construção desses modelos requer a utilização de materiais especiais, além de dependerem de uma mão-de-obra especializada, por se tratar de um trabalho muitas vezes artesanal, elevando, assim, o custo. A inflexibilidade desses modelos, leva a uma difícil adaptação desses a outros sistemas ou configurações.

5.3.2.2 Modelos simbólicos

Um modelo simbólico consiste de símbolos gráficos como setas e retângulos, utilizados para representar seqüências de atividades e outras relações do sistema. Exemplos de diagramas simbólicos são aqueles que representam fluxos de materiais e informações e layout de equipamentos. A modelagem simbólica é sem dúvida o principal método de documentação em projetos de sistemas e processos de reengenharia.

O motivo para a grande utilização desses modelos é sua facilidade de implementação, se comparados com outros modelos. Esses modelos estáticos são úteis para a concepção geral de sistemas e documentação, mas não provêem muitas informações para uma análise quantitativa do modelo.

Diagramas de fluxo são uma maneira comum de se modelar sistemas simbolicamente. Como são geralmente utilizados principalmente para comunicação e documentação, não existe regras restritas que devam ser seguidas desde que as informações necessárias sejam passadas de forma clara e concisa.

Um benefício importante dos modelos simbólicos é que eles ajudam a direcionar atenção ao processo de um sistema sem que haja uma tentativa prematura de se resolver problemas com recursos e problemas operacionais. As desvantagens são a falta de detalhes, falta de medidas quantitativas da performance do sistema, não representação da dinâmica do sistema.

5.3.2.3 Modelos analíticos

Modelos analíticos são formulações matemáticas que provêm soluções quantitativas. Podem ser simples cálculos aritméticos ou complexos algoritmos de programação linear que dão soluções ótimas para um dado problema.

Um exemplo de modelo analítico pode ser encontrado ao se tentar obter uma expressão para calcular o número esperado de entidades N em um sistema composto por um recurso e uma fila, onde as entidades chegam de acordo com uma distribuição de Poisson a uma taxa média λ . O tempo de serviço do recurso é assumido como sendo uma distribuição exponencial de média μ . Assim, utilizando a Teoria das Filas, descrita por HILLIER & LIEBERMAN (1995), chega-se a:

$$N = \lambda / (\mu - \lambda) \quad (5.1)$$

Modelos analíticos fornecem respostas rápidas, sendo alguns capazes de fornecerem soluções otimizadas sem a necessidade de técnicas de tentativa e erro.

Uma das maiores desvantagens dos modelos analíticos é a necessidade de que várias hipóteses sejam feitas sobre o sistemas. Algumas dessas hipóteses, normalmente empregadas são [BANKS & CARSON, 1984]:

- Tempos de trabalho são governados por expressões exponenciais;
- Recursos possuem uma confiabilidade perfeita, não sendo consideradas eventuais falhas;
- Tempos de transporte são fixos;
- Sistemas são supostos como auto reguláveis (um número fixo de entidades é inicialmente imposto ao sistema e cada entidade que deixa o sistema é substituída por outra que entra nesse);
- Filas seguem modelos matemáticos rígidos com relação à política de prioridade, sendo que suas capacidades são ilimitadas.

Os modelos analíticos são em geral estáticos, determinísticos e probabilísticos. Em muitos casos, a diversidade de parâmetros do sistema e suas relações complicam a implementação de modelos analíticos. Muitas interações dinâmicas dentro do sistema envolvem formulações analíticas bastante complexas. Existem, ainda, flutuações causadas, por exemplo, por quebra de recursos, as quais são difíceis de serem modeladas analiticamente.

Muitos livros foram escritos para descreverem métodos analíticos para solucionar problemas de sistemas, como HILLIER & LIEBERMAN (1995), NARASIMHAN et al. (1995), NAHMIAS (1997).

5.3.2.4 Modelos de simulação

De acordo com GOTTFRIED (1984), em um senso amplo, simulação pode ser definida como *“uma atividade da qual se pode extrair conclusões sobre o comportamento de um dado sistema através do estudo do comportamento de um modelo correspondente cujas relações de causa efeito são as mesmas (ou similares) daquele original.”* Simulação utiliza-se de programas de computador para imitar eventos casuais e conseqüentes ações no sistema. Estatísticas são armazenadas durante a simulação, seguindo medidas de interesse, as quais são sintetizadas e apresentadas ao final da simulação. Conforme descrito por BANKS & CARSON (1984): “Simulação envolve a geração de uma estória artificial do sistema, e a observação dessa história artificial para a obtenção de conclusões relativas às características operacionais do sistema real”.

A simulação pode ainda ser entendida como a criação do modelo de um sistema real ou proposto, com o propósito de avaliar o comportamento desse sistema sob várias condições. Permite que conclusões sobre novos sistemas sejam tiradas antes de sua construção ou antes que alterações sejam implementadas. Possibilita, ainda, que uma análise de interações entre sistemas seja feita, entendendo como os vários componentes interagem e como o sistema global será afetado.

A simulação por si só não resolve problemas. Muitos pensam que, ao definir o problema, a simulação irá gerar uma solução. Na verdade, a simulação é uma técnica de avaliação de soluções e não de geração de soluções. Ela não produz uma solução teórica ótima mas direciona para a solução mais viável.

5.3.3 Simulação Contínua e Simulação de Eventos Discretos

Segundo HARRELL & TUMAY (1995), o fluxo de tempo em um modelo de simulação pode ser administrado de diferentes maneiras, dependendo da natureza do sistema que está sendo modelado. Esse é um tópico fundamental no processo de simulação.

Na vida real, o tempo flui continuamente a uma taxa constante. Num computador digital é impossível se obter uma variação contínua em uma variável. Pode-se, no entanto, utilizar-se uma variação discreta tão pequena que seja quase imperceptível. Pode-se realizar uma analogia com a mudança de *frames* em desenhos animados; neles a velocidade de mudança dos *frames* é tão rápida que se torna quase imperceptível. Essa é a técnica utilizada para se transformar sistemas contínuos em sistemas discretos, podendo inseri-los em computadores.

Simulação Contínua é utilizada para modelar sistemas onde as mudanças de estado ocorrem continuamente no tempo, como temperaturas em um forno ou o volume de líquido em um tanque. Simulações contínuas utilizam equações diferenciais para o cálculo das mudanças nas variáveis de estado durante o tempo. Essas equações são normalmente resolvidas para pequenos intervalos de tempo de modo a determinar o valor corrente das variáveis.

Simulação de Eventos Discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam de estado em pontos discretos no tempo, como resultados de eventos específicos, de acordo com a figura 5.1. Muitos dos sistemas de manufatura e de serviços são sistemas de eventos discretos.

Em Simulações de Eventos Discretos, o modelo muda de estado apenas em pontos discretos de tempo. Entre esses instantes de tempo, nenhuma ação lógica é realizada. Surge, assim, duas maneiras de se gerenciar o fluxo de tempo. Numa, o relógio é incrementado em pequenos passos, ou pedaços de tempo, checando-se a cada passo se alguma mudança deve ocorrer no sistema. Esse método é conhecido como *time slice*. Esse é um método ineficiente de controle do tempo, já que as mudanças são necessárias apenas em intervalos determinados.

Outro método é a manutenção de uma lista que contenha os eventos que estão por ocorrer, criando-se uma fila de tempo. Assim, identifica-se qual evento será o próximo a ocorrer, incrementando-se o relógio até esse momento, em um único passo. Esse é o método de *next event*. Nesse, a manutenção da lista de eventos é muito importante. Mudanças no

modelo normalmente envolvem a adição de novos eventos a lista. Deve-se ter a certeza de que, por exemplo, nada irá ocorrer nos próximos 11 minutos.

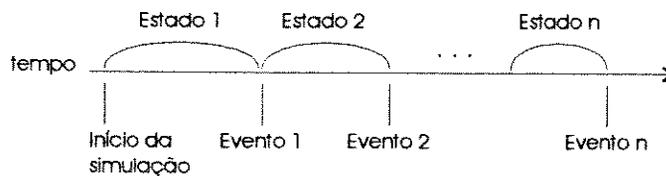


Figura 5.1 – Progressão de evento em evento durante simulação (HARRELL & TUMAY, 1995)

Alguns softwares de simulação possuem a capacidade de modelagem contínua ou por evento discreto. Isso facilita a modelagem de sistemas que possuem tanto características contínuas como discretas.

5.3.3.1 Termos usuais em Simulação de Eventos Discretos

Ao se trabalhar com projetos de simulação de sistemas, alguns termos são comumente empregados. Eles se referem aos diversos elementos, partes que formam um modelo. Alguns deles são [BANKS & CARSON, 1984], [HARRELL & TUMAY, 1995], [KELTON et al., 1998]:

- **Entidades:** componentes do modelo que representam pessoas ou objetos, reais ou imaginários, que se movimentam pelo sistema alterando seu status. Podem ser permanentes ou temporárias. São os objetos dinâmicos da simulação, sendo normalmente criados, circulados pelo sistema e, então, retirados, deixando o sistema.
- **Atributos:** características das entidades. Um atributo é uma característica de todas as entidades, porém com um valor específico que difere de uma entidade para outra. O mais importante em um atributo, é que seu valor está amarrado a uma entidade específica. Por exemplo, uma entidade pode estar associada a um tempo de processo dela enquanto peça, um número de operações necessárias em um trabalho, um valor para indicar prioridades.
- **Variáveis:** características do sistema como um todo, e não individuais de uma entidade específica. É um tipo de informação que reflete algumas características do sistema, independente das entidades a sua volta.

- **Acumuladores estatísticos:** definidos para fornecerem as medidas de desempenho do sistema como resposta. Quando ocorre algo na simulação, os acumuladores estatísticos são atualizados, realizando um rastreamento de uma determinada medida.
- **Recursos:** as entidades competem entre si para serem servidas pelos recursos, que representam coisas como pessoas, equipamentos, ou espaço em uma área de armazenamento de tamanho limitado. Um entidade ocupa um recurso quando esse está liberado, e o deixa quando acaba o serviço.
- **Atividades:** ações tomadas pelas entidades. Em simulação, as ações são os verbos.
- **Eventos:** algo que acontece em determinado instante de tempo e pode alterar atributos, variáveis ou acumuladores estatísticos.
- **Filas:** áreas de espera de entidades cuja movimentação através do sistema foi suspensa enquanto aguardam por condições para serem processadas.
- **Rotas:** executam o movimento de entidades de um recurso para outro.
- **Set:** conceito geral em simulação para representar conjuntos. Pode existir um *set* de trabalhos em uma fila, um *set* de recursos.
- **Estados:** condições de um modelo ou de entidades. Entidades podem estar em estado ativo ou passivo, dependendo se estão sendo processadas ou em uma fila.

5.3.4 Simulação estocástica e simulação determinística

Uma das características mais importantes da simulação é sua habilidade de modelar comportamentos ou variações aleatórias (tempo de processo, taxas de rejeição, intervalos de chegada).

Modelos que são baseados em uma ou mais variáveis de natureza aleatória são chamados de modelos estocásticos. Modelos que não possuem nenhum componente de entrada que seja aleatória são chamados de modelos determinísticos. Segundo HARRELL & TUMAY (1995), um modelo determinístico é aquele cujo comportamento é determinado uma vez que os dados de entrada sejam definidos. Ações em um modelo determinístico são sempre iguais e resultam sempre na mesma saída.

Modelos de simulação determinísticos são modelados da mesma maneira que modelos estocásticos, diferenciando-se apenas pelo comportamento aleatório. A diferença básica está

no método de análise de ambos os modelos. Em modelos determinísticos, o resultado de uma única simulação já dá uma medida exata da performance do modelo. Para modelos estocásticos, várias iterações são necessárias, para que se possa obter um resultado médio que dê uma estimativa da performance do modelo.

Dizer que uma variável de um modelo é aleatória não significa dizer que ela é indefinida nem sequer imprevisível, mas sim que o fenômeno que está sendo modelado tende a variar estatisticamente. Um fenômeno que varia estatisticamente é probabilisticamente previsível. A descrição de um fenômeno aleatório em um modelo pode ser feita através da especificação de uma expressão de probabilidade ou através de uma distribuição estatística.

5.3.5 Sistemas terminais e sistemas não terminais

De acordo com KELTON et al. (1998), sistemas terminais são aqueles que sempre retornam para uma condição inicial fixa. Como exemplo, pode-se tomar um banco onde o começo do expediente bancário possui sempre a mesma condição inicial: a abertura dos caixas e a formação de filas pelos clientes que aguardavam a abertura do banco. O final da simulação pode se dar por eventos como chegada a um determinado tempo de simulação, término de tantas entidades processadas, ou mesmo ao se satisfazer alguma condição lógica.

Já os sistemas não terminais não possuem uma posição inicial fixa e nem um ponto natural de término. Como exemplo, um sistema formado por um forno que é alimentado continuamente, é um sistema não terminal. Outro exemplo, são as salas de emergência em hospitais.

Do ponto de vista da simulação, muitos sistemas parecem ser terminais, mas não são. Um exemplo, é quando há a mudança de turnos de trabalho. A mudança de turnos quando se trabalha com três turnos de trabalho pode ser representada pela parada de alguns recursos por alguns instantes, não sendo, dessa forma, possível se determinar um ponto natural de término da simulação.

A escolha por modelar um sistema como terminal ou não terminal será uma determinante na análise desse sistema. A influência do período em que o modelo está em regime transiente deve ser observada. Todo sistema passa por um período de “acomodação” até que esse entre em regime permanente; é o período chamado de transiente. Em geral, os sistemas começam com os recursos disponíveis. Conforme as entidades vão entrando no sistema, seguindo seu fluxo lógico, os recursos vão sendo ocupados e as filas, se formando.

Mesmo que o sistema seja estocástico, e desde que ele seja um sistema capaz, ele chegará a um ponto em que entrará em regime permanente. Isso pode ser observado aumentando-se o tempo de análise.

Na análise de sistemas terminais, o comportamento do sistema durante o regime transiente deve ser observado. Como esses sistemas sempre retornam a uma condição inicial, esse regime será uma constante nesses. Muitos projetos que envolvem sistemas terminais se concentram apenas nesse período, tentando melhorar o tempo de resposta do sistema ao seu início.

Já nos sistemas não terminais, a análise deve descartar o período transiente. A análise se concentra apenas no comportamento em regime permanente do sistema.

5.4 APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

As técnicas de simulação vêm sendo utilizadas numa grande variedade de indústrias do ramo de manufatura e serviços. Sistemas de manufatura tendem a possuir as relações e procedimentos mais formalizados, facilitando a análise por técnicas de modelagem.

Com a tendência de formalizar e sistematizar os processos administrativos, através de técnicas de normalização, a simulação se tornou uma poderosa ferramenta na análise dessas áreas. De acordo com HARRINGTON (1991), 80% dos processos administrativos são repetitivos e podem ser beneficiados por técnicas de análise predominantemente utilizadas nos sistemas de manufatura. Assim, ferramentas específicas de simulação para processos administrativos vem sendo desenvolvidas e introduzidas no mercado.

A aplicação da simulação vem se mostrando importante na vida de sistemas, sendo utilizada em todo seu ciclo, conforme mostrado em HARRELL & TUMAY (1995):

Fase 1 - Planejamento;

Fase 2 - Projeto;

Fase 3 - Implementação;

Fase 4 - Operação.

As fases 3 e 4, implementação e operação, segundo THOMPSON (1994), se apresentam como as áreas de maior potencial a serem exploradas dentro da simulação. Historicamente, as fases 1 e 2, planejamento e projeto, são aquelas onde a simulação vem

sendo mais utilizada. No entanto, esses modelos são descartados logo após o término do projeto.

Com o aumento de complexidade e flexibilidade dos sistemas, através do aumento da automação desses, aumenta também a necessidade de ferramentas interativas de auxílio de tomada de decisões. Para isso, os modelos de simulação vem sendo integrados aos níveis de operação dos sistemas. Para isso, as ferramentas de simulação devem ter recursos para:

- Controle em tempo real de sistemas;
- Visualização em tempo real;
- Previsão em tempo real;
- Seqüenciamento.

Outra tendência que está sendo seguida pelos simuladores são os sistemas interativos e inteligentes, conforme apresentado em LOBÃO & PORTO (1996). Nesses sistemas serão largamente empregadas técnicas de realidade virtual, inteligência artificial e sistemas especialistas. Através desses novos sistemas, o usuário será capaz de interagir com os componentes do sistema durante seu funcionamento, imergindo virtualmente no interior do modelo, conforme já descrito por NORMAN (1992). O sistema será capaz, ainda, de transferir os conhecimentos que poucos especialistas possuem a um vasto grupo de usuários.

5.5 SELECIONANDO O MODELO ADEQUADO

Não existe uma melhor técnica de modelagem a qual possa ser sempre utilizada. Cada técnica possui sua aplicabilidade e deficiências próprias, proporcionando maneiras diferentes para buscar soluções para um dado sistema. O modelo apropriado para um determinado problema deve ser encontrado, analisando-se os objetivos a serem alcançados em relação as capacidades e limitações de cada metodologia.

Além disso, não há sempre a necessidade de se escolher apenas um método, de modo a excluir os outros existentes. Muitas vezes, várias técnicas devem ser conjugadas para que um melhor resultado seja obtido. Por exemplo, um projetista pode iniciar seu trabalho definindo um modelo simbólico do sistema de modo a ajudá-lo na concepção do projeto. A partir desse, modelos analíticos podem ser utilizados para realizar os cálculos iniciais dos requisitos do sistema. Finalmente, modelos de simulação podem ser construídos para que haja um

refinamento do sistema, auxiliando na tomada de decisões. A utilização de mais de um modelo também é importante para a fase de validação dos resultados.

Outra questão ao selecionar a melhor metodologia de modelagem a ser empregada é não se utilizar uma técnica complicada para resolver problemas simples. A ferramenta deve se adequar a tarefa a ser executada. Se o objetivo é entender como se dá o fluxo de materiais dentro de uma linha de produção, não há a necessidade de se utilizar ferramentas de simulação quando diagramas de fluxos forem suficientes para estudar o sistema. Para se calcular a capacidade de um recurso, ou a quantidade acumulada de refugo, simples formulações analíticas podem ser suficientes.

Geralmente, a complexidade do sistema pode ser suficiente para determinar a escolha da simulação. Por exemplo, a simples adição de um segundo recurso para que uma operação seja realizada pode indicar a necessidade de uma ferramenta de simulação.

Em geral, simulação é uma ferramenta apropriada se [BANKS & CARSON, 1984]:

- O desenvolvimento de um modelo analítico é muito difícil ou mesmo impossível.
- O sistema possui variáveis aleatórias.
- A dinâmica do sistema é complexa.
- O objetivo é a observação do comportamento do sistema durante um certo período de tempo.
- A animação do sistema é importante.

Outro ponto bastante importante a se decidir antes de iniciar a modelagem, é a escolha do escopo e nível de detalhamento adequados. O escopo é encontrado quando se responde a pergunta: “O que modelar?”. Ele é o campo do modelo, ou seja, os elementos que devem ser incluídos no modelo. Já o nível de detalhamento é obtido quando se responde a: “Como modelar?”. Ele é a profundidade do modelo, ou seja, a quantidade de detalhes a serem modelados. Deve-se definir para cada elemento do escopo o seu nível de detalhamento adequado.

Para se definir o escopo e o nível de detalhamento do modelo, uma regra básica deve ser seguida: modelar a mínima quantidade de elementos da maneira mais simples possível. Conforme visto na figura 5.2, a confiabilidade do modelo aumenta conforme o modelo vai se tornando mais complexo. No entanto, chega-se a um ponto de saturação, onde os erros

acumulados do modelo crescem, diminuindo a exatidão dos resultados. Essa decisão deve levar em conta:

- o objetivo do projeto;
- a escala de tempo do projeto;
- a velocidade de implementação e os efeitos visuais necessários;
- os fatores experimentais e relatórios e;
- a confiabilidade dos dados.

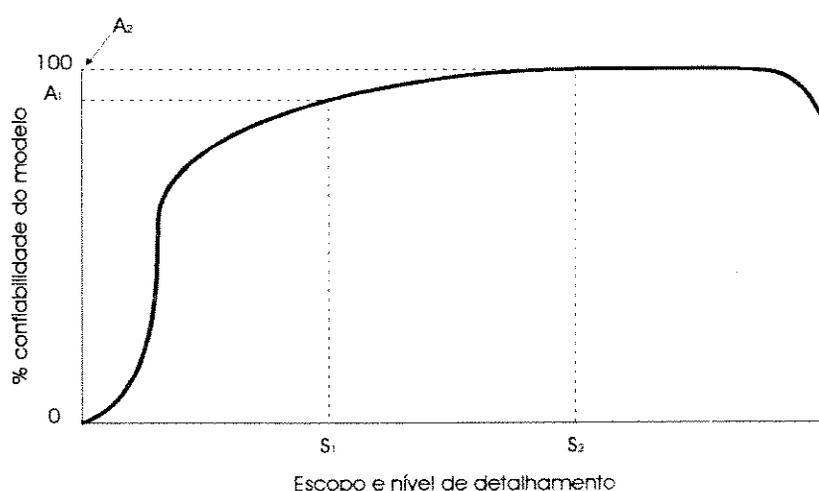


Figura 5.2 - Relação conceitual entre escopo e nível de detalhamento de um modelo com sua exatidão (ROBINSON, 1994)

Um estudo sobre escopo e nível de detalhamento para modelos que visam o estudo de sistemas AGV (*Automated Guided Vehicles*) pode ser encontrado em BATOCCHIO & FRANCO (1997). Nesse trabalho é realizado uma comparação entre modelos simples e complexos para a escolha da topologia AGV mais adequada para um sistema de manufatura.

Modelar envolve, ainda, a escolha do ambiente para o modelo. Quando da utilização de um modelo em computador, deve-se escolher o software a ser utilizado. Para se obter o modelo, existem algumas possibilidades:

- Escrever um programa próprio, em uma linguagem genérica;
- Adquirir um pacote de programas e escrever o modelo nessa linguagem;
- Adquirir e utilizar um modelo genérico já existente;

- Contratar um consultor para desenvolver um projeto de simulação.

Para a implementação do modelo em um computador, um pacote para propósitos especiais não é essencial. É possível criar um modelo de um sistema utilizando uma linguagem de alto nível para propósitos gerais, como Fortran, C e Basic. No entanto, elas demandam uma grande quantidade de empenho pois os componentes do modelo devem ser programados explicitamente.

Para modelos onde será empregada a Simulação de Eventos Discretos, três grupos distintos de ferramentas computacionais podem ser identificadas. Essa divisão se dá devido a diferentes níveis de “amigabilidade” e flexibilidade. Uma característica do desenvolvimento de pacotes cada vez mais específicos é a busca por ferramentas mais amigáveis, embora menos flexíveis.

Por trás desses três grupos, existem centenas de pacotes desenvolvidos para serem utilizados especificamente para a modelagem de sistemas. A figura 5.3 mostra as diferenças entre as diversas maneiras de obter um modelo, através do uso de diversos softwares. A escolha do ambiente é um passo fundamental para o projeto de modelagem, já que essa decisão irá resultar em um investimento.

De um lado, há as linguagens genéricas com uma alta flexibilidade mas uma dificuldade de modelar relativamente grande. Do outro, os pacotes de simulação, ambientes gráficos, que facilitam a interação entre o usuário e o código de programação, levando a uma grande facilidade, porém, menor flexibilidade.

5.6 SIMULANDO VALORES QUE VARIAM ESTATISTICAMENTE

Para resultados de decisões que seja probabilísticas, cada vez que uma decisão seja tomada durante uma simulação, uma amostra de valores é aleatoriamente gerada a partir de uma distribuição uniforme e contínua entre 0 e 1 (cada valor possui a mesma chance de ocorrer). A fórmula para gerar um número aleatório entre 0 e 1 é chamada de gerador de números aleatórios. O valor gerado determina o resultado da decisão. Se, por exemplo, um fenômeno possui 35% de probabilidade de ocorrer, se o número x gerado for $0 \leq x < 0,35$, simula-se sua ocorrência.

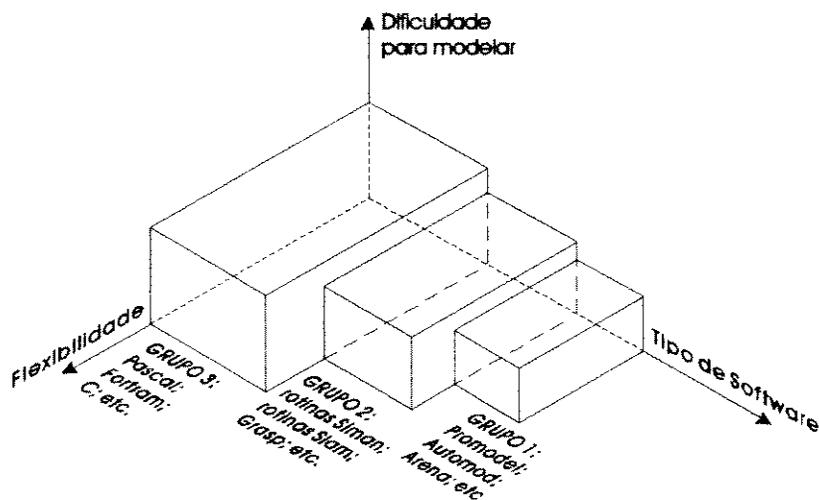


Figura 5.3 - Classificação dos softwares de simulação (FRANCO, 1995)

Sistemas estocásticos possuem tempos ou valores de quantidades que variam estatisticamente de ocorrência para ocorrência. Distribuições estatísticas expressam a probabilidade, ou forma, e um conjunto de valores. Essas distribuições são úteis para a previsão do próximo instante, distância, quantidade, etc., a ser utilizado por uma variável de um modelo de simulação que expressa, por exemplo, o tempo entre as falhas de uma máquina.

Distribuições estatísticas se diferem de simples expressões probabilísticas na medida em que necessitam de mais de um parâmetro para definirem a forma e a gama da distribuição. Por exemplo, podemos descrever o tempo de preparação de uma operação normalmente distribuída através de sua média e seu desvio padrão. Durante a simulação, uma amostra para essa distribuição é gerada toda vez que o momento da próxima operação deva ser determinado.

O computador é uma máquina determinística. No entanto, através da utilização de alguns recursos, ele pode gerar números pseudo aleatórios. Um exemplo de números pseudo aleatórios são os números aleatórios uniformes. Pode-se ilustrar o princípio de obtenção desses números considerando-se números em uma lista telefônica. Nela, haverá muitos números que são a combinação de um código de 3 dígitos que nos dá o tronco, seguido por outros 4 dígitos que indicam a linha. Pode-se notar que alguns códigos de tronco são mais comuns que outros, ou seja, não estão distribuídos uniformemente. Observando-se os outros 4 dígitos, nota-se que um modelo mais uniforme é encontrado. Agora, olhando-se apenas o último dígito, nota-se que as 10 possibilidades aparecem com a mesma frequência.

Similarmente, ao se observar tabelas matemáticas, como as logarítmicas, nota-se que o último dígito possui uma certa distribuição uniforme.

Existem vários métodos para a obtenção de distribuições estatística em computadores, sendo algumas mais bem elaboradas que as outras. Alguns desses métodos foram apresentados por BANKS & CARSON (1991). Como exemplo, um pacote de simulação chamado ECSL, utiliza a função que gera um número aleatório X_n a partir de um número anterior X_{n-1} :

$$X_n = 3125 \cdot X_{n-1} \cdot \text{módulo } 2^m \quad (5.2)$$

Onde m é 1 menos o número de bits do computador utilizado. A periodicidade desse método, ou seja, o tempo em que seus valores se repetem, pode ser obtida por $2^{(m-2)}$, o que é suficientemente grande para algumas simulações.

5.7 COMO FUNCIONA A SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Para entender como a Simulação de Eventos Discretos funciona, é importante entender o conceito de eventos de simulação. A Simulação de Eventos Discretos é essencialmente uma tradução da lógica do modelo em relações de causa efeito. Determina-se, assim, para cada tempo, quando o próximo evento de simulação ocorrerá, causando o processo de uma lógica e a ocorrência de outro evento, conforme figura 5.4.

Eventos típicos de uma Simulação de Eventos Discretos podem ser:

- chegada de uma peça a um recurso;
- falha de um recurso;
- término de uma atividade, ou;
- espera por um setup.

Eventos de simulação podem ser de dois tipos:

1. *Schedules events*: ocorrem nos instantes em que foram seqüenciados (término de um processo ou falha de um recurso). São geralmente determinados por amostras aleatórias a partir de distribuições estatísticas que descrevem a ocorrência da atividade. Eles são seqüenciados a partir do momento em que podem ser previstos.

2. **Conditional events:** ocorrem quando uma ou mais condições foram satisfeitas ou quando outros eventos ocorreram (a entrada de uma entidade em um recurso quando este se torna disponível).

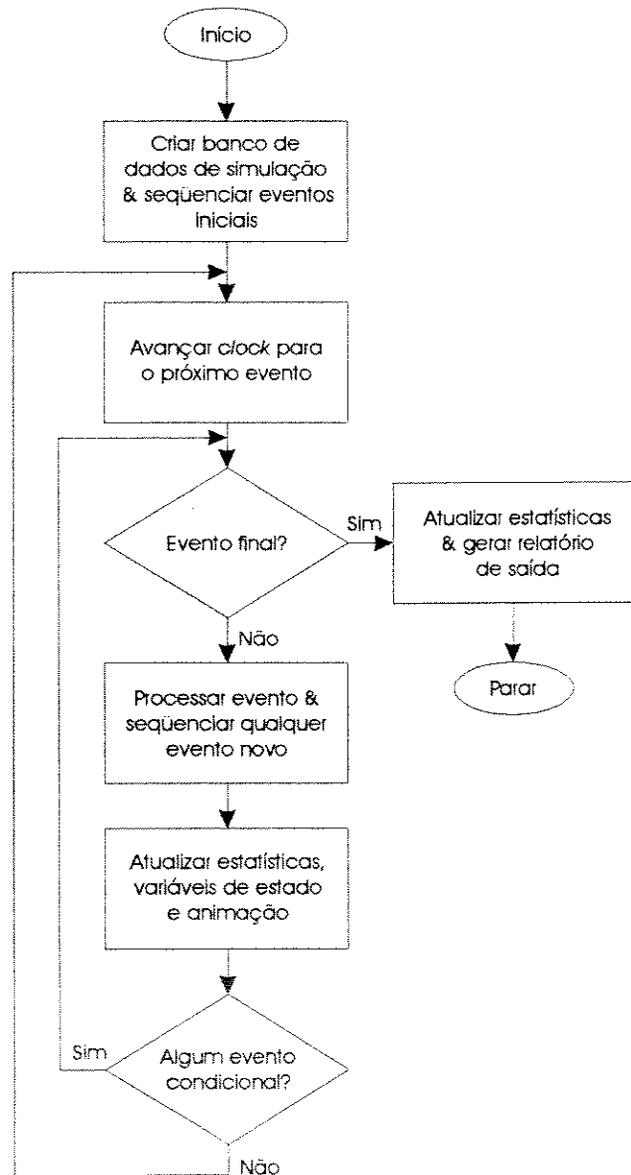


Figura 5.4 - Lógica do funcionamento da simulação de eventos discretos (HARREL & TUMAY, 1995)

A simulação trabalha essencialmente a partir de um arranjo inicial de *scheduled events* em uma lista de eventos. O relógio é então incrementado para o primeiro evento da lista e a lógica associada a esse evento é então processada. O processamento de um evento qualquer consiste na atualização das variáveis de estado do sistema, coleta de estatísticas e, se há animação, atualização da tela. Qualquer evento conseqüente desse processo é então colocado

na fila de eventos. *Conditional events* resultados do processo, são ainda colocados em listas de espera.

Após o processamento de um *scheduled event*, qualquer *conditional event* cujas condições estejam satisfeitas é então processado. Quando nenhum outro *conditional event* possa ser processado, o relógio é então incrementado até o próximo *scheduled event*.

Ao final da simulação, relatórios estatísticos, a partir dos dados coletados durante a simulação, são gerados.

A atualização do relógio para o evento eminente, o processamento de lógicas e mudanças de estados associados a cada evento, e a coleta de dados estatísticos constituem a base para a Simulação de Eventos Discretos. Muitos livros expõem esses conceitos através de exemplos práticos. Entre eles podemos citar HARREL & TUMAY (1995), que mostram um exemplo com simulação manual de um sistema simples de uma estação de empacotamento com fila de espera.

5.8 PASSOS PARA UMA SIMULAÇÃO

Não há nenhuma metodologia de simulação que garanta o sucesso de todo projeto. Metodologia, experiência e conhecimento do sistema são importantes para um projeto bem sucedido. Ainda assim, alguns passos fundamentais podem ser seguidos, visando o sucesso do trabalho.

Pensa-se muito em um projeto de simulação como uma simples atividade de programação. No entanto, grande importância deve ser dada a etapas como de definição do projeto, definição das configurações, coleta de dados, conclusão do projeto. Apenas assim pode-se garantir que uma decisão correta será tomada. Outras, ainda, devem ser observadas com atenção, como desenvolvimento de um modelo adequado, planejamento geral do projeto, apresentação dos resultados.

Observa-se, desse modo, que todo projeto é formado por várias etapas, as quais podem ser seguidas de acordo com alguns critérios. Inicialmente, pode-se dividi-las em três fases, conforme a figura 5.5 [FRANCO, 1995]:

1. Fase de definição;
2. Fase de comunicação;
3. Fase de construção do modelo.

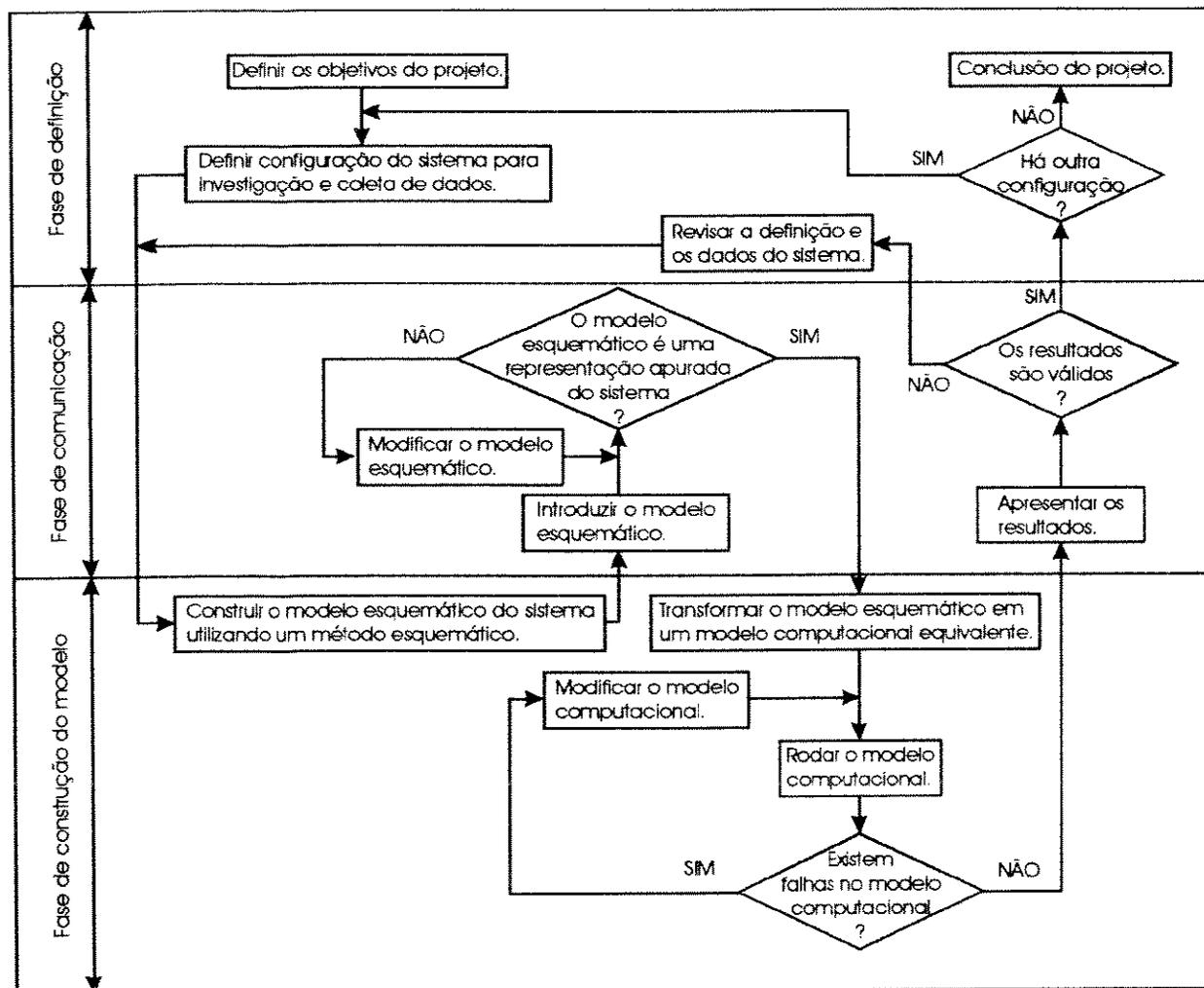


Figura 5.5 - Estratégia para conduzir projetos de simulação (FRANCO, 1995)

O projeto começa pela fase de definição. Definindo um objetivo a ser alcançado, devem ser estabelecidos a natureza da decisão a ser tomada e os níveis de performance que serão aceitáveis para o sistema. Uma configuração inicial, ou um conjunto de configurações, deve ser proposta como uma solução inicial. O escopo e nível de detalhamento adequados devem estabelecidos.

Entra-se então na etapa de coleta de dados. Uma especial atenção deve ser tomada nessa etapa, já que ela será a base de todo o projeto, já que qualquer modelo pode apenas ser tão bom quanto seus dados. Embora essa seja uma etapa consumidora de tempo e cara, pode-se minimizar esses efeitos através de um planejamento prévio e coletando os dados inteligentemente. Um método de documentação eficiente deve ainda ser utilizado, de modo que dados importantes não sejam esquecidos ou mal interpretados.

Em seguida, entra-se na fase de construção do modelo. Como a utilização de várias metodologias de modelagem em conjunto melhora os resultados obtidos nos, pode-se criar inicialmente um modelo simbólico do sistema. Um diagrama conceitual do modelo é então montado, o qual deve ser de fácil interpretação. A utilização desse diagrama serve para a descrição do sistema, guiando o processo de montagem do modelo, ajudando, ainda, na compreensão desse. Pode-se, assim, verificar se o escopo e o nível de detalhamento utilizados realmente representam o sistema.

Na fase de comunicação, checa-se a compatibilidade de todas as partes com a descrição do sistema, discutindo-se e alterando-se o modelo simbólico.

Volta-se, então, a fase de construção do modelo. Agora, o modelo simbólico é convertido em um modelo computacional. Uma vez pronto, o modelo deve ser verificado, checando-se sua consistência. É a etapa de depuração do modelo, que garantirá uma lógica correta e a validade de sua aplicação. Para isso, realiza-se a validação do modelo.

O projeto retorna, então, a fase de comunicação, apresentando-se os resultados obtidos. O formato correto de apresentação desses resultados deve ser buscado. Para isso, utiliza-se tabelas, gráficos, diagramas, além de uma animação do modelo.

De posse das soluções para as várias configurações propostas para o sistema, compara-se as performances obtidas. Analisando esses resultados, determina-se se algumas das configurações atende de maneira mais adequada às necessidades previamente estabelecidas.

5.9 JUSTIFICANDO A UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO

A relutância em se utilizar a simulação está sobretudo na idéia errada de que a simulação é cara e consumidora de tempo. A introdução de todo um sistema de simulação, ou mesmo de um simples projeto, envolve a necessidade de investimentos financeiros. Os custos da simulação consistem de um investimento inicial, além de custos individuais de modelagem de um dado sistema.

A aprovação de novos investimentos é uma das decisões mais importantes a nível gerencial. Erros ao se investir o capital não afeta apenas o fluxo de caixa imediato mas também a operação do negócio e o fluxo de caixa futuros.

O melhoramento de um sistema, envolve mudanças. Não se pode melhorar algo a não ser modificando-o. As melhorias são alcançadas pela implementação de ações alternativas em

relação aos padrões atuais, sendo que há sempre uma incerteza associada ao retorno esperado. Essas incertezas são riscos. Os riscos podem ser tratados de duas maneiras: evitá-los ou calculá-los. Qualquer que seja o tratamento adotados, uma coisa pode ser feita: adquirir segurança através de um investimento em simulação.

Dependendo do valor do investimento em relação ao capital e a estratégia de orçamento da empresa, há normalmente a necessidade de se preparar um documento requerendo o capital necessário. Esse documento deverá analisar o investimento em potencial com relação a outras alternativas, mostrando que se trata de uma boa decisão.

Para conseguir os benefícios de um investimento em simulação, fatores objetivos e subjetivos devem ser analisados. Os benefícios podem ser tangíveis ou não, sendo necessária a análise de cada um desses. Para isso, uma metodologia deve ser estabelecida. MOTT & TUMAY (1992) propuseram alguns passos a serem seguidos, de modo a justificar um investimento em simulação, conforme visto na figura 5.6.

Para preparar um relatório das economias geradas pela simulação, inicialmente devem ser identificadas as tarefas e áreas afetadas pelo projeto em questão. Apenas essas devem ser incluídas na análise. O objetivo da análise será a visualização dos efeitos da simulação no custo e na qualidade do problema a ser solucionado. Os impactos da simulação podem ser classificados em mão de obra e operações. Essas duas áreas podem, ainda, ser divididas em: tarefas existentes sujeitas a melhoramentos, tarefas existentes evitadas pela simulação e tarefas ou custos novos ou adicionais requeridos pela simulação.

Um método de avaliação consistente será necessário para analisar o impacto da simulação. Fatores tangíveis e intangíveis devem ser levados em conta quando da montagem da justificativa. Para os benefícios tangíveis, muitas empresas ainda adotam medidas econômicas tradicionais como retorno sobre investimento e análise de fluxo de caixa. Mas os não tangíveis podem influenciar na decisão quando a análise de valores der respostas equivalentes. Alguns deles são: educação, comunicação e trabalho em equipe, além de uma melhor compreensão do trabalho executado e maior eficiência na solução de problemas.

Após a estruturação da justificativa, a proposta tem que ser apresentada. É um trabalho de venda que se assemelha a venda de qualquer outro produto. A simulação enquanto tecnologia não se vende sozinha, sendo que um investimento em simulação não se difere de um investimento em um novo empregado ou uma nova máquina. O objetivo da análise é apresentar os resultados em um formato claro e conciso, de modo a expressar a mensagem desejada.

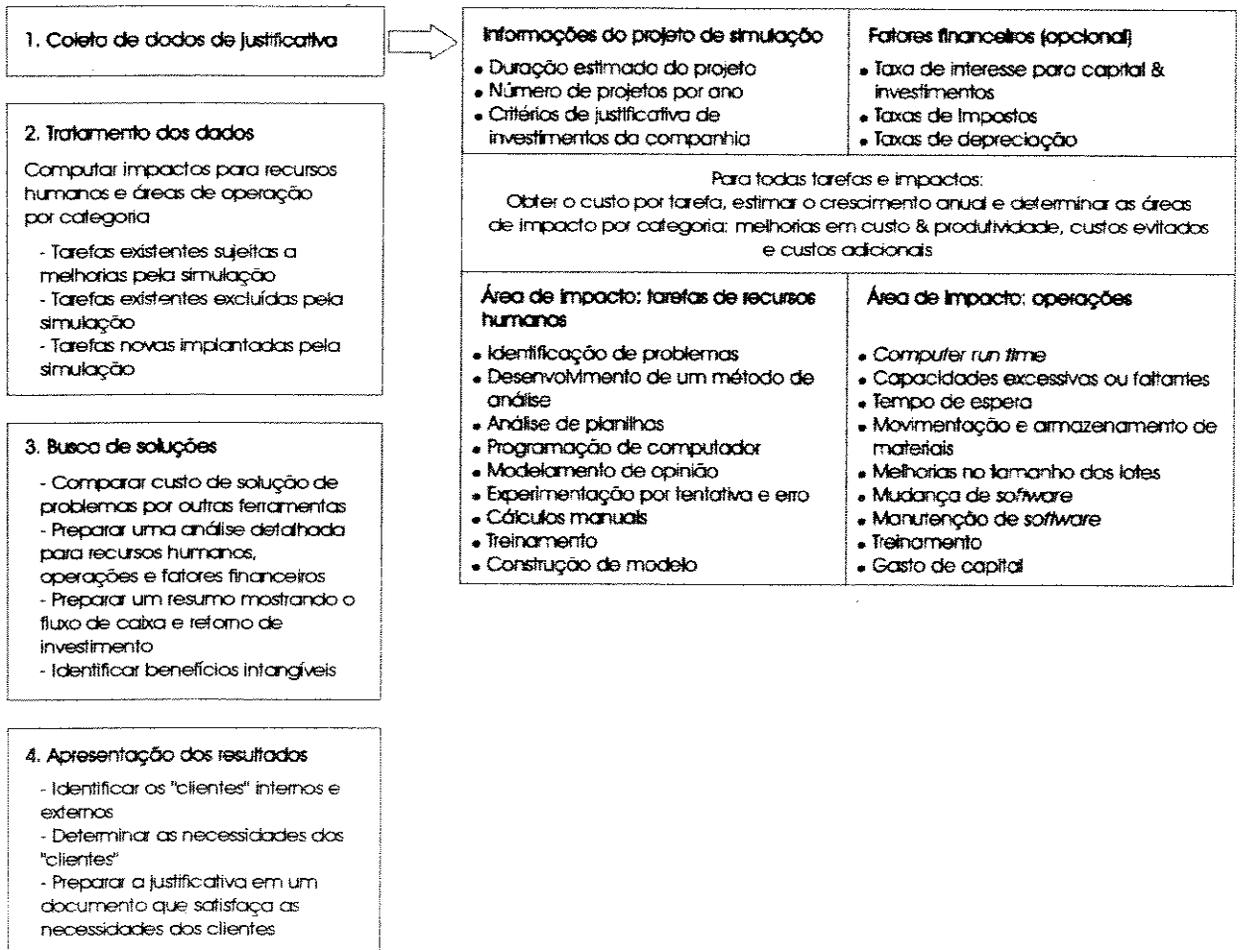


Figura 5.6 - Sistemática para justificar o uso da simulação (MOTT & TUMAY, 1992)

5.10 COMENTÁRIOS

A aplicação do computador para o auxílio de tarefas cotidianas vem aumentando dia a dia em várias áreas. Algumas dessas aplicações estão relacionadas a tarefas de tomada de decisões. Nas fábricas, esse processo vem se desenvolvendo desde a década de 50. A partir da

década de 70, esse processo se acelerou, sendo seu desenvolvimento, hoje, exponencial. Surgiram, assim, novas técnicas, como a modelagem de sistemas para previsão do seu comportamento diante de várias solicitações. Os modelos matemáticos se mostraram muito mais eficientes que simples descrições verbais dos sistemas no auxílio a tomada de decisões. As áreas de Pesquisa Operacional das empresas ganharam uma maior importância, sendo responsáveis por várias economias de recursos, inclusive financeiros.

Ao mesmo tempo, os sistemas se tornaram cada vez mais complexos, com vários elementos interdependentes. Como solução para a modelagem desses sistemas, surge a Simulação de Eventos Discretos, que permite que modelos mais complexos sejam criados, além de aceitarem que dados estocásticos sejam inseridos.

A Simulação de Eventos Discretos pode ser utilizada tanto para modelar Sistemas de Manufatura como Sistemas de Serviços. No entanto, sua aplicação neste ainda é pequena, embora apresente um aumento considerável de aplicações realizadas. Ela pode, ainda, ser utilizada em toda a vida útil de um sistema: planejamento, projeto, implantação e operação. Pode ser usada como ferramenta de apoio para o ensino e treinamento de pessoas.

A escolha de um escopo e um nível de detalhamento adequado para o sistema, ou seja, o que vai ser modelado e como modelar, é uma decisão importante para a obtenção de resultados precisos. Mesmo que a Simulação de Eventos Discretos possa ser uma solução para vários problemas de uma vasta gama de sistemas, sua escolha deve ser feita juntamente com a análise de outras técnicas mais simples, já que um projeto de simulação pode muitas vezes ser caro e despende bastante tempo. O software de modelagem utilizado também deve ser escolhido com cuidado, já que cada um possui suas vantagens e desvantagens diante de diversas necessidades.

Juntamente com a definição de como o sistema será modelado, o desenvolvimento de um planejamento do projeto de simulação deve ser feita, evitando que recursos desnecessários sejam despendidos ou pontos importantes, ignorados.

Analisando-se os conceitos e características da Simulação em Computador, encontra-se uma solução para muitos dos problemas levantados nos capítulos anteriores. A análise de Sistemas de Manufatura, ou mesmo de Sistemas de Serviços, pode ser feita antes que mudanças sejam impostas. Assim, quando da aplicação dos conceitos da Teoria das Restrições, um estudo com a simulação pode ser feito em conjunto, diminuindo o risco de conclusões equivocadas.

5.11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTOSIMULATIONS HOME PAGE. Automode. In <http://www.autosim.com>. 1998.
- BANKS, J., CARSON, J.S. *Discrete Event System Simulation*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1984.
- BANKS, J., NORMAN, V. Non-traditional uses can yield unexpected benefits. *ORMS Today*. Aug. 1996.
- BATOCCHIO, A., FRANCO, G.N. A Influência do Modelo do Sistema de Produção na Simulação de Rotas para AGVS. In *COBEM 97 – 14th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*. Bauru, SP. Dez. 1997.
- DEMING, W.E. Foundation For Management of Quality in the Western World. *Paper read at a meeting of the Institute of Management Sciences*, Osaka, Japan, 24 July, 1989.
- DIETZ, M. Outline of a Successful Simulation Project. *Industrial Engineering*. p.50-53. Nov. 1994.
- FRANCO, G.N. *Simulação de Sistemas de Manufatura: Uma abordagem sobre a logística de transporte interno*. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 48pp. Monografia (Graduação). 1995.
- GOTTFRIED, B.S. *Elements of Stochastic Process Simulation*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1984.
- HARRELL, C., TUMAY, K. *Simulation Made Easy – A manager's Guide*. Norcross, Georgia: Engineering & Management Press. 1995.
- HARRINGTON, J.H. *Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity and Competitiveness*. New York: McGraw-Hill. 1991.
- HILLIER, F.S., LIEBERMAN, G.J. *Introduction to Operations Research*. Sixth Edition. McGraw-Hill, 1995.
- KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI, D.A. *Simulation with Arena*. WCB/McGraw-Hill, 1998.
- LAW, A.M., McCOMAS, M.G., VINCENT, S.G. The Crucial Pole of Input Modeling in Successful Simulation Studies. *Industrial Engineering*. p.55-58. Jul. 1992.

- LOBÃO, E.C., PORTO, A.J.V. Evolução das Técnicas de Simulação em Acordo com a Tecnologia. *Anais ENEGEP 96*. Piracicaba, SP. Out. 1996.
- MAUER, J.L., SCHELASIN, R.E. The Simulation of Integrated Tool Performance in Semiconductor Manufacturing. *Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference*. G. Evans, M. Mollaghasemi, E. Russell, and W Biles eds. 1993.
- MOTT, J., TUMAY, K. Developing a Strategy for Justifying Simulation. *Industrial Engineering*. p.38-42. Jul. 1992.
- NAHMIAS, S. *Production and Operations Analysis*. Third edition. McGraw-Hill, 1997.
- NARASIMHAN, S., et al. *Production Planning and Inventory Control*. Second edition. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1995.
- NIXON, E. Mass Production: Financial Services. *Proceedings of the February 1994 PROMODEL Midwest Users Conference*. 1994.
- NORMAN, V.B. Future Directions in Manufacturing Simulation. *Industrial Engineering*. p.36-37. Jul. 1992.
- PROMODEL HOME PAGE. Promodel. In <http://www.promodel.com>. 1998.
- RANKY, P. *The design and operation of FMS*. 343pp. North Holland Publishing Company. 1983.
- REEDY, W. Quantification and Improvement of Throughput Capabilities for Aircraft Maintenance Using Simulation Modeling. *Proceedings of August 1993 PROMODEL Users Conference*. 1993.
- SHANNON, R. et al. Operations Research methodologies in industrial engineering: A Survey. *AIIE Transactions*. n.12, v.4, 1980.
- SYSTEMS MODELING HOME PAGE. Arena. In <http://www.sm.com>. 1998.
- THOMPSON, M.B. Expanding Simulation Beyond Panning and Design. *Industrial Engineering*. p.64-67. Oct. 1994.

CAPÍTULO 6

A TEORIA DAS RESTRIÇÕES INTEGRADA A SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é realizada a aplicação da simulação à TOC. O objetivo é de integrar a simulação, enquanto ferramenta de apoio, no auxílio de uma análise através dos conceitos da TOC. Forma-se, assim, um ambiente para análise de mudanças em Sistemas Produtivos. As principais técnicas são abordadas, mostrando para casos específicos os modelos necessários para uma implementação. As conclusões do comportamento desses sistemas quando aplicados conceitos da TOC também são apresentadas.

Inicialmente, é feita uma explanação das possíveis aplicações da simulação em Sistemas Produtivos. Os campos de atuação são expandidos para além das áreas de projeto e gestão dos sistemas produtivo: o auxílio ao ensino e treinamento de suas técnicas e conceitos. Assim, ela supre uma necessidade de formação de uma mão de obra mais qualificada.

É mostrada a importância do desenvolvimento de novas técnicas que aumentem a compreensão dos conceitos apresentados. A maior exploração de todos os sentidos humanos provê meios para aumentar a fixação daquilo que foi aprendido. As técnicas computacionais são apontadas como poderosas ferramentas para esse fim. A modelagem e a animação de sistemas em computador são apresentados como meios de aumentar a interação entre os alunos e os conceitos, o que estimula o senso da abstração, e ilustrar melhor o processo, provendo respostas mais rápidas que os sistemas reais.

Em seguida, é mostrado como a modelagem pode auxiliar na compreensão e aplicação de alguns conceitos da TOC. Para isso, modelos são apresentados, abrangendo várias técnicas

de simulação, entre eles modelos de Simulação de Eventos Discretos para serem implementados em eventuais necessidades. Vários conceitos são abordados, indo desde a identificação das restrições do sistema até a sincronização do sistema e administração dos inventários.

Para isso, cada um dos nove princípios vistos no item 4.5 é analisado. Alguns modelos são propostos e suas características analisadas.

Com isso, espera-se abranger as utilidades que a simulação pode ter quando da aplicação dos conceitos da TOC em Sistemas Produtivos. Essas devem auxiliar no desenvolvimento de soluções não apenas para Sistemas de Manufatura, como também para Sistemas de Serviços.

6.2 A SIMULAÇÃO APLICADA A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Conforme visto no capítulo 5, a Simulação em Computador é uma ferramenta essencial para a análise de Sistemas Produtivos. Além de ser uma ferramenta de previsão, que pode mostrar o comportamento do sistema mediante várias situações, ela ainda auxilia na interpretação dos conceitos por trás da TOC. Assim, ela pode ser utilizada em todas as etapas e níveis de aplicação da TOC.

Tradicionalmente, a Simulação em Computador é aplicada no auxílio de projeto e administração de sistemas, sempre com uma conotação operacional. A simulação é, assim, utilizada pela necessidade de se interagir em um ambiente real, existente ou proposto. Utiliza-se a simulação para avaliar o impacto que mudanças causariam em um dado sistema.

A TOC defende um processo de melhoramento contínuo. Assim, ela permite, quando da implantação de seus conceitos, um amplo campo para a utilização de modelos de Simulação em Computador. Uma análise prévia do comportamento do sistema pode ser feita, avaliando-se os impactos e determinando a viabilidade de se implantar os conceitos.

Recentemente, com as novas necessidades de uma mão de obra mais qualificada, a Simulação em Computador vem sendo utilizada também nas áreas de ensino e treinamento. Os modelos de sistemas e as animações dos resultados são ferramentas que aceleram o processo de aprendizagem.

A simulação pode ser uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento de técnicas específicas para a aplicação dos conceitos da TOC em Sistemas de Serviços, área até aqui

pouco explorada. Pode ser criada uma experiência a partir de sistemas virtuais, sem a necessidade de submeter o sistema real a riscos, habilitando essas novas técnicas.

6.2.1 A simulação no ensino

O cenário atual, de aumento constante da competitividade entre as empresas, requer desenvolvimento em todas as áreas de uma organização. Uma das que merece uma atenção especial é a área de recursos humanos.

A introdução de novas tecnologias vem alterando a forma de executar as tarefas nas empresas, além da própria forma de entender e organizar o trabalho. Os novos processos de trabalho têm permitido um nível de qualidade, produtividade e agilidade que sequer poderiam ser imaginados em outros tempos. Essa nova organização está requerendo uma nova ordem social, onde apenas os trabalhadores qualificados terão lugar.

As formas de ensino tradicionais precisam de ferramentas de apoio, de modo a atenderem as novas necessidades do mercado de trabalho. O volume de informações a serem passadas, a fim de formar profissionais bem qualificados, é muito elevada. Ao mesmo tempo, a alta rotatividade e a diversidade da mão de obra requer novas abordagens para essa capacitação.

SANTOS et al. (1997) fala da importância de se explorar todas as formas de absorção de informações presentes nos seres humanos, como a visão, audição, tato e capacidade de abstração. Para isso, o uso de ferramentas para o auxílio didático deve ser buscado. Uma das mais poderosas dessas ferramentas é o computador.

O ensino dos conceitos da Teoria das Restrições também pode ser ajudado com o emprego de técnicas computacionais. Muitos desses conceitos envolvidos não são tão óbvios, merecendo tratamentos diferentes que se acrescentem às descrições verbais.

Técnicas de modelagem associadas com a animação dos modelos provêm meios de melhor ilustrar processos complexos. Os modelos irão representar os sistemas reais a serem estudados, podendo esclarecer as complexas interações que podem existir em um sistema. A animação irá mostrar a dinâmica desses sistemas, fazendo com que a lógica seja compreendida mais facilmente. Assim, uma interação visual auxiliará no aprendizado dos conceitos.

Resultados numéricos do desempenho desses podem ser rapidamente apresentados. Ao contrário dos sistemas reais, onde a obtenção de dados de amostragem está ligada diretamente a escala real de tempo, os modelos podem ser acelerados, mostrando rapidamente valores numéricos para os parâmetros de interesse. Ainda, modelos interativos podem ser desenvolvidos, fazendo com que os alunos possam propor novas configurações e imediatamente ver seus resultados. Esses farão com que o raciocínio seja constantemente aguçado e testado num processo contínuo. Com a interação do aluno com vários modelos de sistemas, pode ser conseguida uma maior compreensão da estrutura e das entradas por trás de vários sistemas, experiência que levaria anos para se conseguir em sistemas reais.

RENTES et al. (1996) descrevem a utilização de jogos de empreendimento e simulação de computador para auxiliar os estudantes a compreenderem as novas técnicas de administração de produção. Para isso, um jogo de computador simulando uma ambiente fabril compara MRP e JIT, conforme visto na figura 6.1. Tradicionalmente, esse jogo é aplicado nos cursos de gestão de produção, utilizando-se os alunos para simularem a linha de produção de canetas como produtos. Com a introdução de modelos em computador algumas vantagens podem ser observadas, como a diminuição do tempo efetivo do jogo e a obtenção imediata das medidas de desempenho do sistema, apresentadas em forma de gráficos e estatísticas.

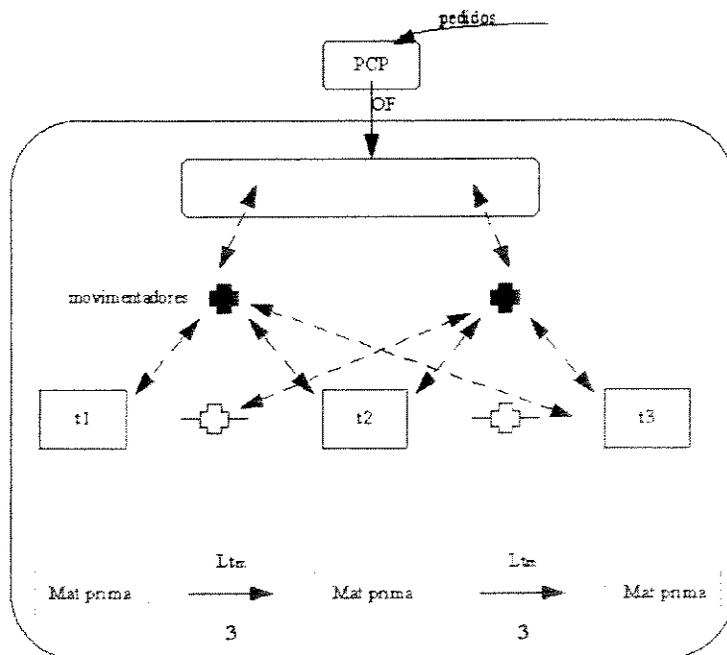


Figura 6.1 – Proposta do JIT game computadorizado (RENTES et al. 1996)

Outro exemplo de aplicação de técnicas computacionais que envolvem a modelagem de sistemas, juntamente com recursos de animação, pode ser visto em HMS HOME PAGE (1998), onde uma simulação interativa de um Sistema Holônico de Manufatura (HMS) mostra seu fluxo de material, conforme pode ser visto na figura 6.2. É um exemplo simples de produção automatizada onde o fluxo material é executado por AGVs. A simulação foi desenvolvida no projeto internacional HMS, dentro do programa de pesquisa do Consórcio Internacional de IMS pelo Fraunhofer IPA com a colaboração da VTT Automation da Finlândia. Além das técnicas tradicionais de simulação ele usa, ainda, conceitos de interatividade via Internet. Através do software Viscap (SUPERSCAPE HOME PAGE, 1998), o usuário pode interagir com o modelo que esse se encontra no servidor da home page da HMS. Assim, os conceitos por trás dos Sistemas Holônicos são melhor compreendidos.

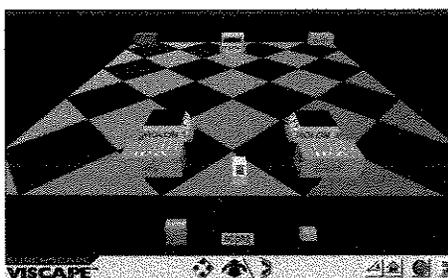


Figura 6.2 – Simulação interativa de um Sistema Holônico de Manufatura (HMS HOME PAGE, 1998)

6.2.2 A simulação no treinamento

Com os rápidos avanços tecnológicos, as técnicas vão se desatualizando cada vez mais rapidamente. Isso está relacionado com aspectos desde a troca de equipamentos obsoletos até a necessidade de formação de uma mão de obra qualificada. Segundo LOBÃO & PORTO (1997), esses dois fatores estão diretamente relacionados, já que os equipamentos são cada vez mais complexos e necessitam da manipulação de um número crescente de variáveis para sua operação, com um menor tempo de resposta do operador. Da mesma forma, a gestão dos sistemas também se torna cada vez mais complexa. Tudo isso requer novas formas de treinamento da mão de obra.

Uma solução para a necessidade de constante treinamento é a implementação de laboratórios abastecidos de equipamentos cuja operação seja necessária. Esses laboratórios serviriam de um campo de teste para o funcionário, capacitando-o para prática, para depois

enviá-lo ao sistema real. No entanto, essa opção traz uma série de inconvenientes, como [LOBÃO & PORTO, 1997]:

- Dispendio de tempo, já que o processo de treinamento deve seguir a escala de tempo real para realização de suas tarefas.
- Envolvimento de riscos ligados a utilização de equipamentos reais para as atividades de treinamento, podendo envolver não apenas os riscos para com a integridade dos equipamentos como a dos próprios operadores.
- Demanda de mão de obra especializada para a instrução da operação dos equipamentos.
- Emprego de recursos materiais como equipamentos, energia, matéria prima.
- Custos para a alocação e manutenção dos equipamento.

Outra opção é a utilização de simuladores, que, assim como no ensino, permitem a transmissão dos conhecimentos de uma maneira mais rica e interativa do que com a utilização de sistemas reais. Além disso, há uma clara redução dos custos envolvidos, além da diminuição dos riscos de operação.

A simulação pode auxiliar operadores, supervisores ou até mesmo administradores a aprenderem o funcionamento de sistemas e o que acontece se operações ou decisões diferentes forem implementadas. Isso prepara os responsáveis pela operação para serem mais efetivos quando trabalharem nos sistemas reais.

STG HOME PAGE (1997) lançou um jogo em computador, o OPT Challenge, onde uma pequena linha de produção é simulada. A figura 6.3 fornece uma visão geral do jogo. O objetivo desse jogo é produzir o maior lucro possível através da venda de 1 produto formado por 2 peças, as quais também podem ser vendidas separadamente. A interação do usuário com o sistema é em relação ao controle das ordens de produção, movimentação de material e determinação do mix de produção. Na verdade, o objetivo principal deste software é de vender o produto de programação de produção da *Software Technologies Group* (STG), o OPT21. No entanto, através dele é possível observar as vantagens de se aplicar os conceitos da TOC, adotando o método do Tambor Pulmão Corda. Assim, pode-se notar uma aplicação de simuladores para o treinamento de planejadores de produção, aguçando suas habilidades nas tomadas de decisões.

6.2.3 A simulação no projeto e na gestão de sistemas

Quando do projeto de sistemas, alguns experimentos devem ser realizados. Alguns desses experimentos somente podem ser efetuados sobre modelos virtuais, já que o sistema real ainda não está implementado. Uma vez que o sistema é instalado, a simulação pode reduzir o tempo necessário para sua depuração e calibração, já que muitos parâmetros já foram testados anteriormente.

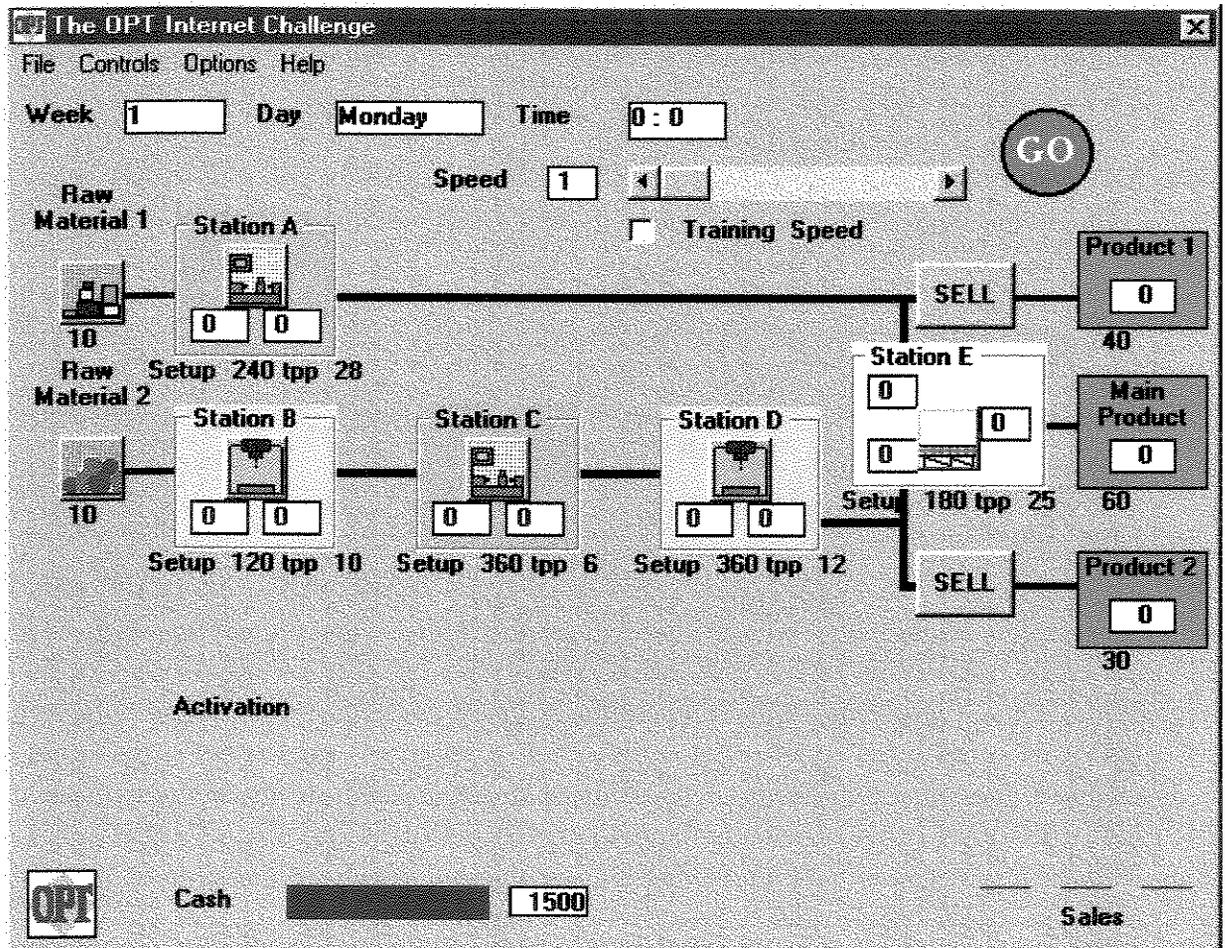


Figura 6.3 – O OPT Challenge game (STG HOME PAGE, 1997)

O mesmo pode ser feito sobre sistemas já em operação. Eventuais modificações podem ser testadas em modelos, evitando-se que haja perturbações no sistema real. Trabalhando com objetos e recursos virtuais, uma maior flexibilidade pode ser conseguida, isso a um custo menor.

Quando utilizada tanto para projetar quanto para efetuar mudanças em um dado sistema, a simulação pode auxiliar na seleção de métodos e tecnologias, na otimização de parâmetros e na análise de capacidades.

Assim, ela é uma ferramenta de teste que deve ser aplicada o mais rápido possível, evitando o surgimento de problemas que podem significar custos. A idéia é realizar o maior número possível de mudanças durante o processo de concepção e projeto, onde o custo dessas ainda é mínimo.

Mesmo que nenhum problema seja descoberto pela simulação, há, ainda, o benefício de se ter obtido um método sistemático e estruturado para garantir que os elementos do sistema foram corretamente desenvolvidos. Além disso, o modelo de simulação dá uma maior compreensão da dinâmica do sistema.

6.3 MODELAGEM PARA A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Durante este trabalho, foram mostrados vários indícios da importância que a modelagem de sistemas têm para o ensino, treinamento e análise de diversos sistemas. Isso se estende para as aplicações dos conceitos da TOC.

Pensando nessa importância, foram desenvolvidos neste trabalho modelos específicos para serem aplicados em estudos que envolvam a TOC. Para cada conceito, foram analisadas as necessidades que as técnicas de modelagem poderiam suprir, além de realizar um estudo das características de cada modelo envolvido.

Com isso, forma-se a base para a integração da TOC com ferramentas de simulação, utilizando-a, posteriormente, para formar um ambiente de análise.

Para auxiliar na apresentação e interpretação dos modelos esquemáticos para os modelos de simulação, foi desenvolvida uma simbologia própria para este trabalho. Na figura 6.4, pode ser observada essa simbologia.

Os modelos foram implementado no Arena 3.0 [SYSTEMS MODELING HOME PAGE, 1998].

6.3.1 As interações entre restrições e não restrições

Conforme visto no item 4.3.2, nas relações entre restrições e não restrições, existem cinco interações possíveis. Para analisar essas interações, e suas conseqüências na capacidade de um sistema, diagramas de fluxo podem ser utilizados. No entanto, eles não mostram as interações dinâmicas entre os recursos, como as formações de fila e variações no níveis de ocupação. Para isso, modelos de Simulação em Computador podem ser utilizados.

Nas figura 6.5, pode ser visto um modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos que auxilie na análise dos casos 1, 2, 3 e 4, onde existem dois recursos, um alimentando o outro. Alterando-se as capacidades dos recursos e a demanda do sistema, os casos podem ser simulados. Filas são colocadas antes dos recursos, de modo a mostrar o que acontece se esses são alimentados a uma frequência maior que sua capacidade.

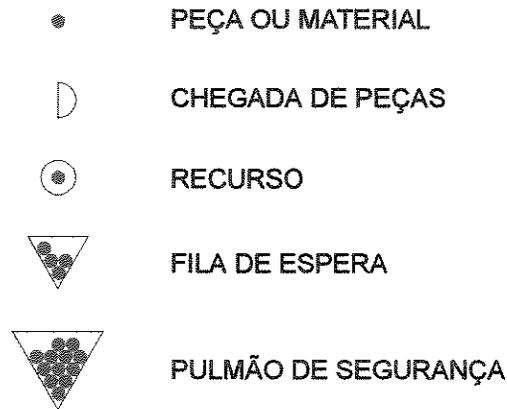


Figura 6.4 – Simbologia adotada para os modelos esquemáticos

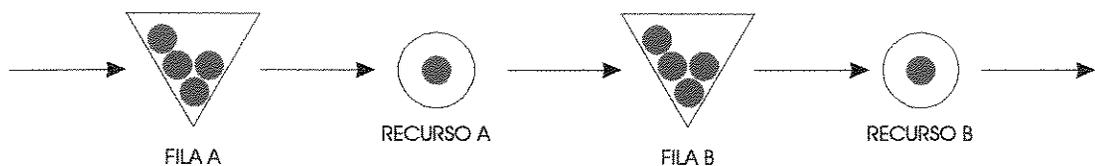


Figura 6.5 – Modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos dos quatro primeiros casos de interação entre os recursos

- **Caso 1:** o recurso A possui uma capacidade acima da demanda do sistema, enquanto que o recurso B possui uma capacidade abaixo. O recurso B é um gargalo. Dessa forma, haverá um aumento de inventário antes do recurso B toda vez que o recurso A liberar peças para B a uma frequência maior que a capacidade de B. Assim, não adianta aumentar a demanda do sistema acima da capacidade do gargalo. A capacidade do sistema será igual a capacidade do gargalo. Há, desse modo, a necessidade de sincronizar o recurso não restritivo com o gargalo.
- **Caso 2:** o gargalo é o recurso A, enquanto que o recurso B possui uma capacidade acima da demanda. Enquanto houver material disponível, o recurso A deve manter seu processamento, atingindo o máximo ganho possível. Naturalmente, o recurso B vai produzir apenas o que o gargalo libera, não havendo excessos de produção.

- **Caso 3:** configuração onde os dois recursos possuem capacidade maior que a demanda, não sendo gargalos. Nesse caso, os dois recursos devem ser sincronizados com a demanda, não produzindo excessos, o que aumentaria o inventário de produtos acabados.
- **Caso 4:** ambos os recursos são gargalos. Mesmo que o recurso A tenha uma capacidade diferente do recurso B, ambos possuem capacidade inferior a demanda. Nesse caso, a capacidade do sistema será no máximo igual ao gargalo de menor capacidade, sendo que todo o resto, inclusive o outro gargalo, deve estar sincronizado com ele.

Para a análise do caso 5, onde existem dois recursos, um gargalo e um não gargalo, alimentando uma mesma operação de montagem, por exemplo, um novo modelo deve ser utilizado. A figura 6.6 mostra o modelo esquemático de uma proposta para Simulação de Eventos Discretos que auxilie no estudo desse caso. Um detalhe desse modelo é a estação de montagem. Como abordagem adotada, ambas as peças entram nessa estação no mesmo ponto e são separadas em duas filas diferentes, de acordo com seu tipo. Elas são então agrupadas duas a duas (uma de cada tipo) e então entram em um recurso que simula a montagem. Em seguida, elas são liberadas, saindo da estação.

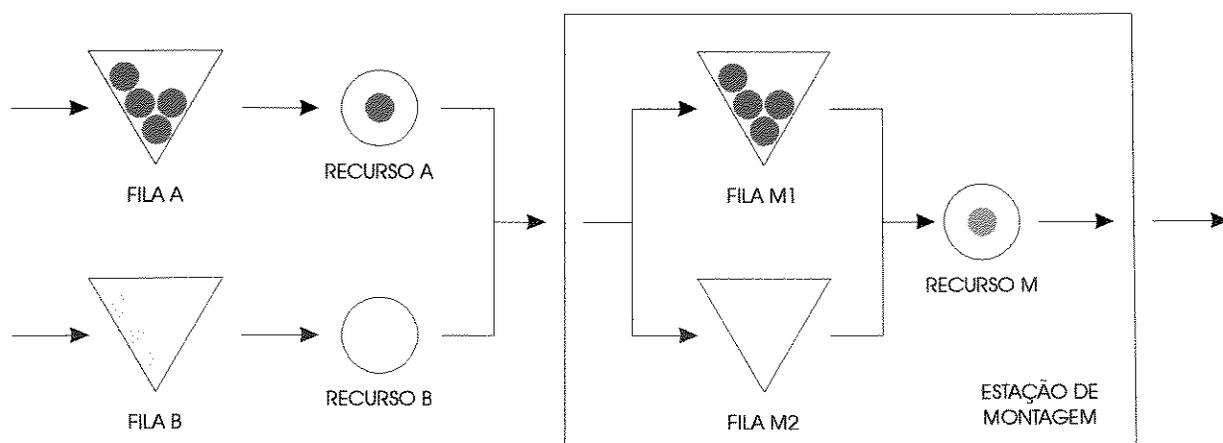


Figura 6.6 - Modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos do caso 5 de interação dos recursos

- **Caso 5:** o recurso A é um gargalo, e o recurso B, um não gargalo, o que foi obtido alterando-se suas capacidades. Supondo que ambos os recursos produzem no máximo de suas capacidades, haverá na estação de montagem uma falta de peças alimentadas pelo gargalo. Haverá, dessa forma, um aumento de inventário de peças vindas do recurso não

restritivo. Assim, há a necessidade, também nesse caso, de sincronizar os recursos, fazendo com que o recurso B não produza mais que o recurso A.

6.3.2 Identificando as restrições do sistema

Os conceitos da TOC giram em torno das restrições do sistema. A TOC pressupõe que toda organização possui restrições que a impedem de alcançar sua meta. Essas restrições devem ser identificadas e exploradas, de modo a melhorar o desempenho do sistema.

Quando uma restrição se torna um gargalo, ou seja, quando a capacidade da restrição é menor que a demanda, sua identificação fica mais fácil. Para os gargalos, muitas vezes é nítida a formação de excesso de inventário, além de uma dificuldade de cumprir as tarefas necessárias. No entanto, quanto uma restrição não está relacionada a falta de capacidade, sua identificação se torna mais difícil.

MORTON & PERTICO (1993) sugere três métodos analíticos para a determinação de gargalos. O mais simples, seria a escolha do recurso com o maior tempo de processo total, ou seja, aquele com maior utilização. Uma outra seria para cada recurso candidato a gargalo resolver o problema de programação de um recurso simples acoplado. A terceira seria uma solução heurística, que envolve a duplicação e o relaxamento das tarefas dos recursos candidatos.

No entanto, podem existir falsas restrições. Muitas vezes um recurso problemático não é uma restrição. Pode haver um problema de planejamento de processo, ou seja, uma peça está sendo produzido de forma pouco eficiente ou inadequada. Assim, a restrição é o planejamento em si, e não o recurso. Pode, ainda, ocorrer de uma restrição surgir apenas quando do aumento de demanda de um determinado produto, ficando explícita e não identificável o resto do tempo.

Além disso, as dificuldades aumentam quando aumenta a complexidade dos sistemas. Os sistemas podem ser formados pela combinação das várias interações mostradas entre os recursos. Outro fator que aumenta essa complexidade é a existência de recursos multitarefa, onde o trabalho de vários tipos diferentes de peça ocorre. Assim, com a complexidade do fluxo de materiais, se torna difícil a aplicação de alguns métodos de estudo de tempos, conforme mostrado em BATOCCHIO (1997).

Um exemplo de como essas interações e os recursos multitarefas podem complicar a análise do sistema, pode ser visto na figura 6.7. Nela, é mostrado o modelo esquemático de

um sistema que possui várias interações entre os recursos, além de recursos sendo utilizados para várias tarefas. É um exemplo tipicamente encontrado em Células de Manufaturas. Nessas células, os recursos, inclusive humanos, são habilitados para desempenhar várias tarefas. Uma mesma máquina pode ser usada para processar várias peças diferentes.

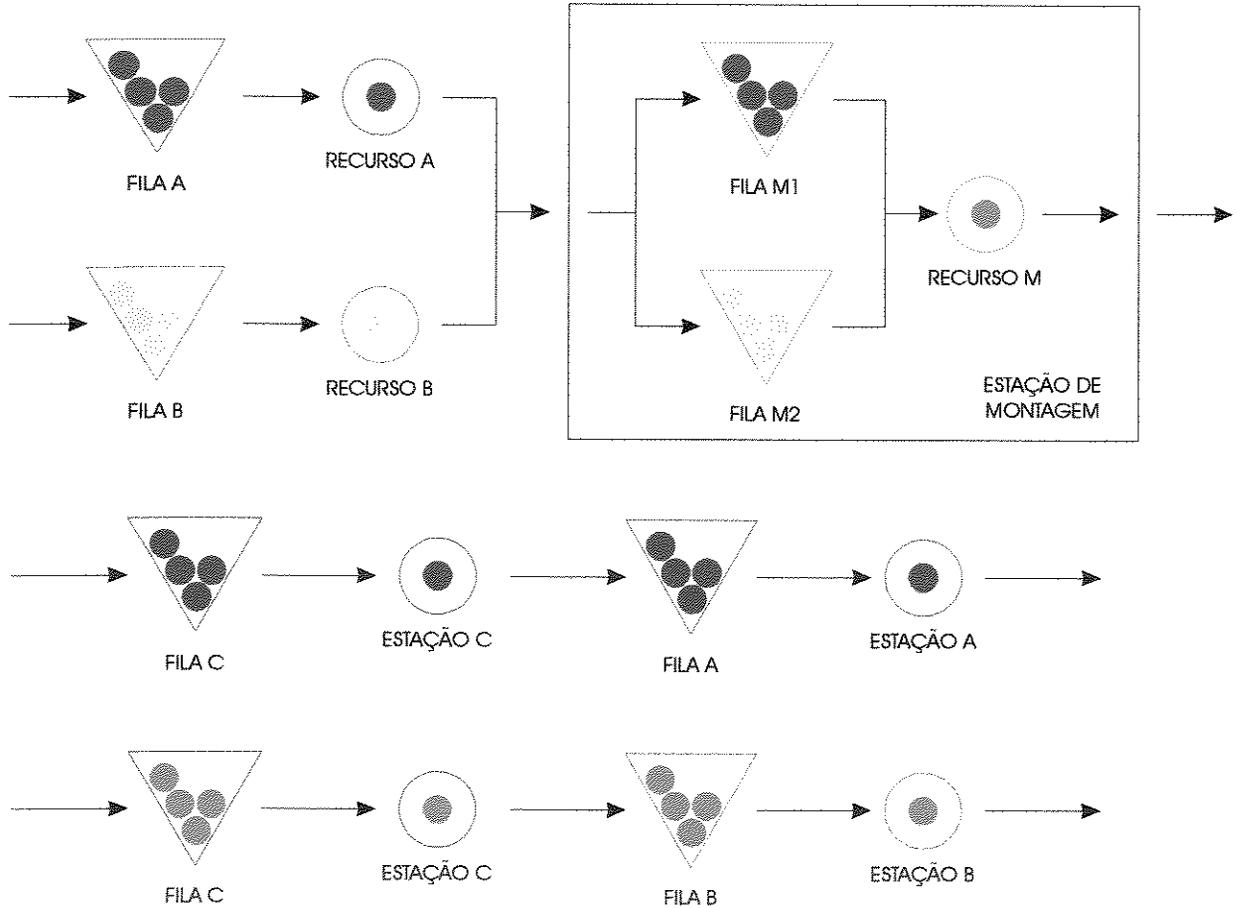


Figura 6.7 – Modelo esquemático de um sistema exemplo

Para ajudar na determinação das restrições, a utilização de modelos de simulação pode ser muito útil. Analisando o modelo simbólico apresentado no exemplo anterior, é nítida a facilidade de modelá-lo por Simulação de Eventos Discretos. Executando esse modelo de Simulação em Computador, as restrições poderiam ser identificadas pela formação de fila, pelo alto nível de utilização ou mesmo através da animação do modelo. Se necessário, a demanda do sistema pode ser aumentada, transformando recursos restritivos em gargalos, o que facilita a análise.

6.3.3 A dinâmica das restrições

A aplicação dos 5 passos é semelhante a muitos processos de melhoramento contínuo, uma vez que vai contra a inércia do sistema. Sempre que uma restrição for quebrada, ou seja, elevada a uma condição de não mais restrição, outra restrição surge, a qual deve ser encontrada. Assim, o processo se torna uma busca e exploração constante das restrições.

Um modelo de Simulação de Eventos Discretos pode novamente ser utilizado para determinar as novas restrições do sistema.

Outra aplicação da simulação é a de previsão das novas restrições antes da quebra das atuais. Para isso, uma quebra virtual é efetuada, aumentando-se, por exemplo, a capacidade dos recursos restritivos. Uma vez identificados os próximos pontos a serem focados, as futuras restrições, tratamentos preditivos podem ser efetuados, levando-se à economia dos efeitos danosos que poderiam ocorrer.

Além disso, a melhor forma de explorar as restrições pode ser estudada, evitando-se que esforços inúteis sejam aplicados.

6.3.4 Os nove princípios

A fim de melhorar o desempenho dos índices de performance impostos pela TOC, são estabelecidos nove princípios, que devem ser tomados como regras, conforme mostrado no item 4.5 deste trabalho. O principal conceito por trás desses princípios é que a somatória dos ótimos locais não é igual ao ótimo global. A TOC prega a busca pelo aumento do lucro, o que só é conseguido com melhorias que levem a melhores performances globais.

Estabelecer qual será a influência de uma mudança no sistema como um todo, e não apenas localmente, pode ser algo complicado. O que muitas vezes parece uma ótima solução, que gerará aumentos significativos no ganho, com diminuições bruscas nos inventários e redução da despesas operacionais, quando somado ao sistema global pode não significar nada.

É por isso que os princípios exploram o desenvolvimento das restrições, pois são elas que determinam o desempenho de todo o sistema.

Para o auxílio dessa análise de influência, modelos de Simulação em Computador podem ser utilizados. Eles podem, ainda, auxiliar na compreensão e aplicação dos princípios, conforme será mostrado no itens seguintes.

6.3.4.1 Não balancear a capacidade, e sim o fluxo

Tradicionalmente, a capacidade dos recursos é balanceada de modo a estabelecer o equilíbrio do sistema. No entanto, isso pode levar a uma produção em excesso, não absorvida pelo sistema.

A idéia proposta pela TOC é de balancear o fluxo de produção, e não a capacidade. A capacidade do sistema é dada pelas restrições e tudo que for produzido acima dessa capacidade, não será absorvido pelo sistema. Isso pode ser facilmente observado com a utilização de diagramas de fluxo. Pode ser notado que, assim como no caso 1 das interações entre recursos, item 6.3.1 deste trabalho, produções em excesso nos recursos não restritivos levam apenas a aumentos de inventários.

Em sistemas reais mais complexos, podem ser utilizados modelos de Simulação em Computador para o auxílio no balanço da produção. As restrições podem ser encontradas e a capacidade do sistema determinada. Assim, os recursos devem ser trabalhados de modo a evitar que passe por eles um fluxo maior que o fluxo do sistema, o que pode ser feito utilizando-se os modelos para TPC a serem propostos mais adiante neste trabalho.

6.3.4.2 O nível de utilização de um recurso não restritivo é determinado por outra restrição

A sabedoria tradicional estabelece que as estações de trabalho devem ser plenamente utilizadas a fim de manter a força de trabalho ocupada. No entanto, se essas estações não são gargalos, sua produção irá apenas aumentar o inventário, já que não poderá ser completamente absorvida por outros recursos de menor capacidade.

Assim, a utilização de um recurso não restritivo deve ser estabelecida pelas restrições do sistema, de acordo com o conceito de sincronização, evitando produção em excesso e aumento de inventário.

Novamente, os modelos de Simulação em Computador podem ajudar no levantamento desses níveis. Excessos de capacidade podem ser descobertos antes mesmo que os sistemas sejam colocados em operação, o que pode levar ao descarte de equipamentos. Por outro lado, pontos de capacidade muito baixa também podem ser previamente descobertos, levando-se a busca de soluções preditivas. Assim, a modelagem e simulação do sistema real pode levar a grandes economias de investimentos.

6.3.4.3 Utilização e ativação de um recurso não são a mesma coisa

Ativar um recurso acima da utilização imposta pelas restrições do sistema apenas gera excesso de inventário. Deixar um recurso parado, sempre que estabelecido pela sincronização, não prejudica a eficiência do sistema. Pelo contrário, abaixa o nível de inventário e racionaliza as despesas operacionais, aumentando o ganho.

Esse é um princípio que vai contra muitos dos princípios tradicionais de algumas empresas. Máquina parada dá impressão de falta de produtividade. Para conseguir combater esses paradigmas, melhorando a aceitação dos princípios de ativação apenas quando necessário, podem ser utilizados modelos de simulação. Com eles, é possível medir a eficiência do sistema como um todo, e não apenas localmente, ou seja, quando uma melhoria local pode levar a um aumento de produtividade global

6.3.4.4 Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema todo

Os gargalos limitam a capacidade dos sistemas. Um sistema não pode ter uma capacidade superior a capacidade de seus gargalos, podendo-se dizer que a capacidade do sistema é no máximo igual a capacidade dos gargalos. Parar um gargalo, por motivos imprevistos como quebras, falta de material, excesso de setup, leva a uma diminuição no ganho do gargalo e a conseqüente diminuição de sua capacidade. Diminuindo a capacidade dos gargalos, diminui-se, também, a capacidade do sistema e, conseqüentemente, ocorre uma diminuição de seu ganho global.

Assim, uma atenção especial deve ser dedicada aos recursos gargalos. Problemas eventuais que venham a comprometer a disponibilidade desses recursos devem ser evitados.

As perdas de ganho que ocorrem no sistema por problemas com os gargalos não significam um mero adiamento. É perda mesmo. Irreversível. O recurso gargalo afetado, como já trabalha no limite de sua capacidade, não terá como recuperar a perda de produção.

Assim, técnicas que auxiliem na previsão dessas falhas de processo são muito importantes. Modelos de simulação podem ajudar a prever tais fatos. Uma vez identificada uma potencial falha, medidas preditivas podem ser impostas para evitar seu aparecimento.

Para auxiliar ainda mais nessa análise, é sugerido que as restrições dos sistemas sejam destacadas no modelo, aumentando o foco na análise.

6.3.4.5 Uma hora ganha em um recurso não restritivo não é nada, é miragem

Ao contrário do que ocorre nos gargalos, aumentos de ganhos locais em recursos não restritivos não surtem efeitos no sistema como um todo. Não se deve ter, assim, a preocupação com o ganho desses recursos. Trabalhos de otimização de tamanho de lote, diminuição de setup, além de investimentos para o aumento de desempenho, não possuem grande influência no sistema global se forem realizados em recursos não restritivos. Pelo contrário, podem ser prejudiciais, por causarem despesas desnecessárias e tirarem o foco das restrições.

Esse princípio está altamente ligado a questão da contabilidade de ganhos superar a contabilidade de custos, conforme provado por GOLDRATT (1997). Isso pode, ainda, ser provado através de modelos de Simulação em Computador.

O único cuidado que se deve ter é em relação ao suprimento dos recursos restritivos. Assim, os recursos restritivos devem estar protegidos por pulmões que evitem a falta de materiais causadas por problemas em recursos não restritivos.

6.3.4.6 Os recursos restritivos governam tanto o ganho quanto o inventário

Os recursos restritivos determinam o ganho máximo de um sistema. Suas capacidades são limitantes, ou seja, um sistema não consegue ter uma capacidade superior a capacidade de suas restrições. Por isso, medidas de segurança devem ser tomadas para se evitar a parada dos recursos restritivos, o que pode vir a prejudicar o ganho do sistema.

Uma das técnicas utilizadas para garantir essa segurança é a alocação de pulmões antes de cada restrição e antes de cada operação que alimenta outra também alimentada por um processo que tenha uma restrição. Isso pode ser visto na figura 6.8.

Os recursos não restritivos devem sempre trabalhar com níveis baixo de inventário, o que diminui o inventário do sistema e reduz os investimentos necessários.

O tamanho dos pulmões deve ser estabelecido em relação ao tempo, e não a quantidade. Eles devem suprir as restrições mesmo que haja, por exemplo, dois dias de parada no resto do sistema. Esse deve, ainda, garantir a liberação de material pela Corda com uma antecipação suficiente para que esse chegue a tempo na restrição.

Os modelos de simulação são ferramentas úteis para uma determinação confiável do tamanho dos pulmões. As eventuais paradas do sistema podem ser simuladas, analisando-se o comportamento das restrições. Assim, tempos seguros são estabelecidos, garantindo a eficiência do sistema.

Os modelos de TPC serão apresentados logo a seguir neste trabalho.

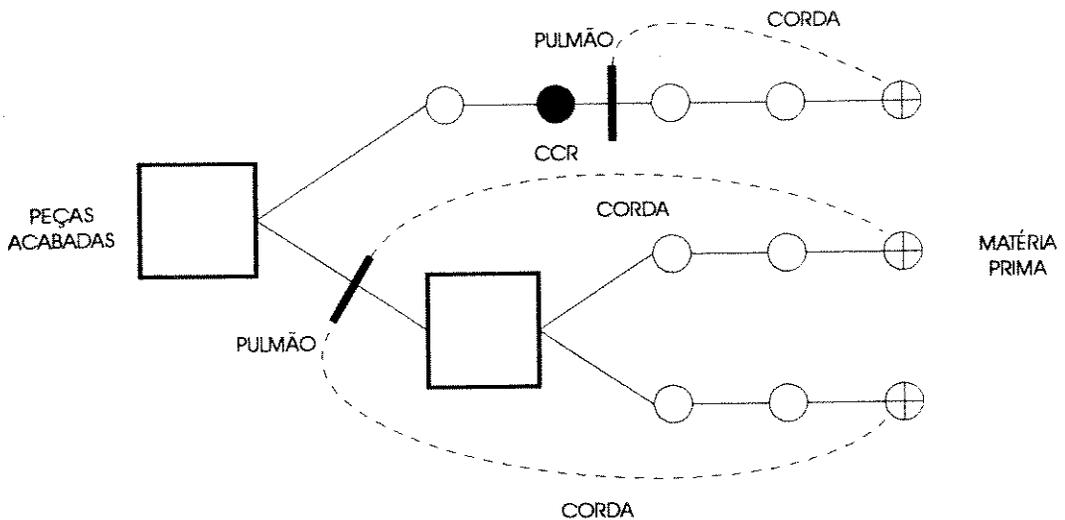


Figura 6.8 – Aplicação do método TPC em um Sistema de Manufatura

6.3.4.7 Os lotes transferência não devem ser iguais aos lotes de processo

Para ilustrar os conceitos de lote de transferência e lote de processo, pode ser tomada a interação entre recursos onde um gargalo alimenta um recurso não restritivo. Definindo o lote de processo como sendo igual a capacidade de processo do gargalo em uma semana, se o lote de transferência for o mesmo, ou seja, após uma semana de produção no gargalo é que as peças serão liberadas para o próximo recurso, o lead time total do processo será igual a uma semana mais o tempo de processo no recurso não gargalo.

Supondo que o gargalo produza 240 peças por semana e o outro recurso, 400 peças por semana, sendo a semana igual a 40 horas de trabalho, segundo a definição acima, tanto o lote de processo como o de transferência seriam iguais a 240 peças. Dessa forma, o lead time seria de 64 horas, 40 no gargalo e 24 no outro recurso.

O lote de transferência é, portanto, a quantidade a ser transferida para a próxima operação. Assumindo, agora, que esse lote seja de 10 peças para o mesmo exemplo, as primeiras 10 peças levariam 100 minutos para serem processadas no gargalo e movimentadas

para o próximo recurso. A operação seguinte, levaria mais 60 minutos. Continuando essa análise, que é uma Simulação de Eventos Discretos manual, descobre-se que as 240 peças estariam prontas em 40 horas mais 60 minutos, ou seja, apenas 41 horas!

Nota-se que, diminuindo-se o lote de transferência, diminui-se o lead time. No entanto, há um limite inferior para o lote de transferência, o qual deve ser determinado por fatores como o custo de transporte. Quanto maior o lote de transferência, menor o custo de transporte.

Já o lote de processo é o número de peças a serem processadas. Conforme foi visto no item 4.7.1.1, é um parâmetro definido a partir da demanda do sistema e dos custos de processo e custos de setup.

Em sistemas mais complexos, essa análise pode ser feita em modelos de simulação por computador, facilitando a escolha dos tamanhos dos lotes de processo e transferência. O modelo pode prover meios de variar o tamanho dos lotes, verificando-se, com isso, o comportamento de medidas de desempenho como o lead time total e o custo total de fabricação. Na figura 6.9, pode ser visto um modelo esquemático proposto como uma solução por Simulação de Eventos Discretos para o auxílio da análise do tamanho dos lotes de processo e de transferência.

Para isso, ao final de cada operação deve haver uma fila cuja finalidade é de agrupar o lote de transferência a ser enviado a operação seguinte. O tamanho desse lote pode ainda variar para cada tipo de peça.

Na entrada de cada operação, deve haver filas para o agrupamento das peças de acordo com o tamanho do lote de processo. Somente então, elas entrarão na fila do recurso. Em seguida elas serão processadas de acordo com uma programação previamente estabelecida. Em GOLDRATT (1997), é proposta a utilização da data de entrega do produto como um critério para determinar as prioridades de produção.

O recurso da estação pode, ainda, checar o tipo da peça que está entrando e, se esse for diferente do lote anteriormente processado, ele cria um tempo de espera para simular a operação de setup. Com isso, consegue-se otimizar o tamanho do lote de processo, minimizando o tempo total.

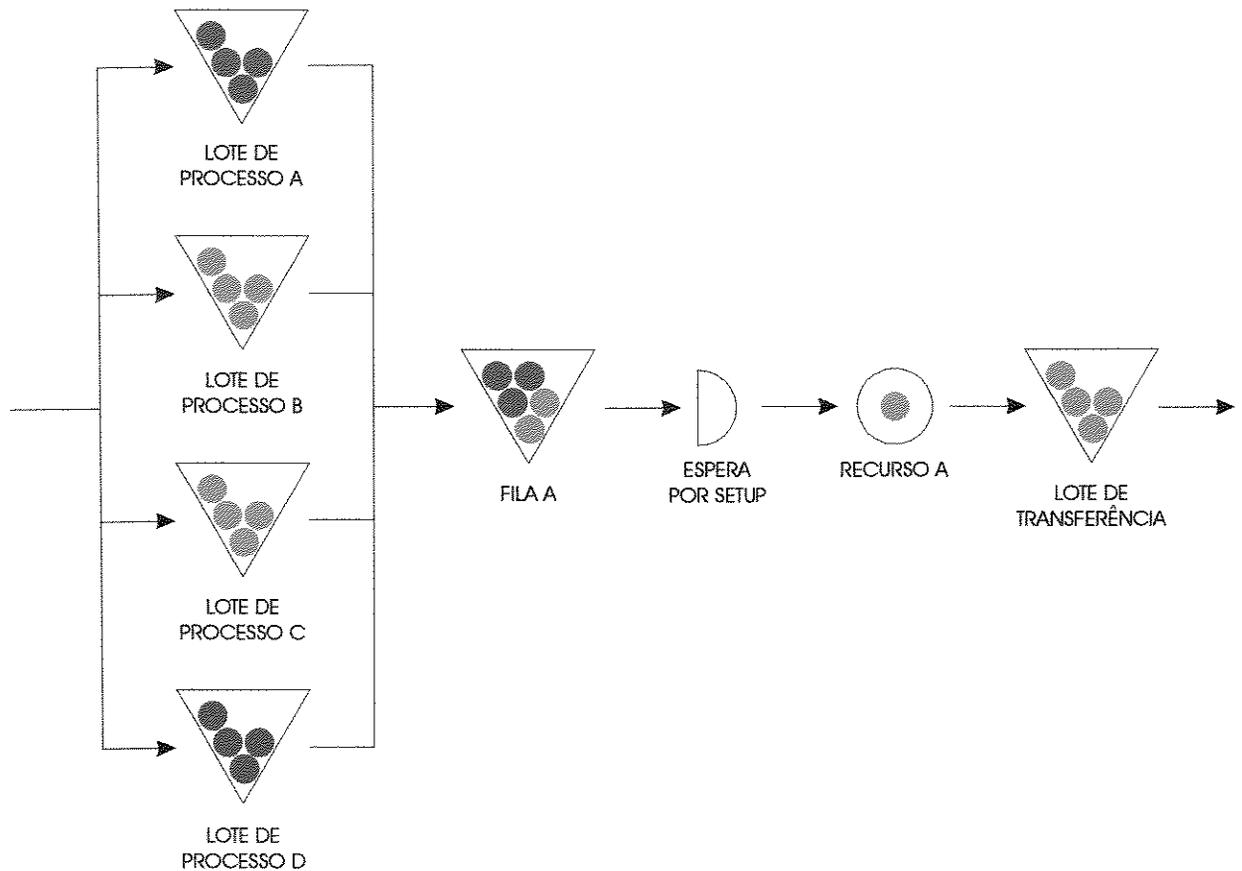


Figura 6.9 – Modelo esquemático para Simulação de Eventos Discretos para auxiliar na análise do tamanho dos lotes

6.3.4.8 Um lote de processo pode variar

O tamanho do lote de processo é função da demanda do sistema, dos custos de processo e dos custos de setup. Quanto menor o tamanho do lote processo, menor o lead time da operação, diminuindo, com isso o custo por unidade produzida. No entanto, quanto menor seu tamanho, maior o custo de setup por unidade produzida. Assim, para a determinação do tamanho dos lotes de processo, deve-se buscar um ponto de custo mínimo.

Até aí, podem ser utilizados modelos matemáticos para se minimizar os custos de produção. Para o cálculo de tamanho de lote, vários modelos já foram sugeridos, como pode ser visto em NARASIMHAN et al. (1995), que propõe um modelo para o cálculo da Quantidade de Pedido Econômico (*Economic Order Quantity - EOQ*). Se o custo de setup for considerado como um substituto para o tempo de setup, então a redução no custo de setup resultará em menores valores para o EOQ. Assumindo um custo de setup por unidade S , uma

demanda anual em unidades D , e um custo assegurado por unidade por ano C , o EOQ será obtido quando o tamanho de lote Q for:

$$Q = \sqrt{2 D S/C} \quad (6.1)$$

O custo total TC , será:

$$TC = S D/Q + C Q/2 \quad (6.2)$$

No entanto, de acordo com os conceitos da TOC, o setup não influencia os custos da empresa, exceto quando esse é aplicado na restrição [GOLDRATT, 1997]. Nos recursos não restritivos o tamanho do lote é insignificante, pois a redução de tempo nesses não surtirá efeito no resultado da empresa. Assim, a busca por lotes econômicos somente deve ocorrer nos recursos restritivos. Nos outros, quanto menor o lote, menor o inventário em processo, o que leva a um melhor retorno sobre investimento e menores lead times.

Além disso, outro fator que determina o tamanho dos lotes é a demanda do mercado. No entanto, a demanda é variável, já que depende de fatores de mercado. Assim, o tamanho dos lotes também é variável, o que dificulta seu cálculo. Existe uma série de fatores que fazem com que haja uma variação na demanda. A variação da demanda pode ser classificada em tendência, variação sazonal, variação cíclica e variação aleatória. Como as mudanças da demanda influem no planejamento das empresas, elas normalmente decidem por uma demanda padrão. No entanto, nem sempre é possível balancear a demanda padrão a um plano de produção.

Assim, a Simulação em Computador se mostra uma ferramenta eficiente, já que, a partir dela, é possível testar o modelo submetendo-o a diversas demandas e analisando o tamanho dos lotes e seu comportamento global.

6.3.4.9 A programação das atividades deve ser estabelecida através da análise de todas as restrições

Conforme estabelecido pelos cinco passos da TOC, as restrições do sistema devem ser identificadas e todo resto deve ser subordinado a elas. É o que ocorre com a programação de atividades de todos os elementos de um sistema, que devem depender de uma análise das restrições.

Isso pode ser visto em todas as soluções inovadoras criadas por Goldratt, indo desde o planejamento de projetos até a logística de produção. Essa última, utiliza os conceitos de Tambor Pulmão Corda para levar ao método de programação de atividades OPT.

Em todos os casos, a Simulação em Computador pode ser utilizada para modelar esses sistemas, entendendo a lógica dos métodos estabelecidos por Goldratt e analisando o comportamento dos sistemas diante deles. Um exemplo de modelagem utilizando a logística de produção foi desenvolvido e será mostrado a seguir.

6.3.5 Tambor Pulmão Corda e o OPT

Uma maneira de realizar a programação do sistema, mantendo-o sincronizado e diminuindo o inventário, é através do método do Tambor Pulmão Corda, já explicado no item 4.6 deste trabalho. Através da criação de um modelo de Simulação de Eventos Discretos e observando sua animação, pode-se melhor compreender esse conceito.

Tomando como exemplo o sistema mostrado na figura 6.10, pode-se notar que o método do Tambor Pulmão Corda foi aplicado. Identificado o recurso restritivo do sistema, o recurso C, ele é protegido com um pulmão para evitar a perda de tempo por variações do sistema. O tamanho dos pulmões é determinado em tempo, e não em quantidade, ou seja quanto tempo deve ser protegido. Antes da operação de montagem também deve haver um pulmão, de modo a garantir que a montagem seja afetada por variações no outro ramo. Isso deve ocorrer em todo final de um ramo que se encontra com um ramo onde não há uma restrição.

Para evitar o aumento de inventário toda vez que a demanda for maior que a capacidade dos recursos restritivos, há ainda o conceito de *halt*. Para isso, os pulmões são ligados ao começo de cada ramo. Cada vez que a quantidade de um pulmão ultrapassar um certo nível de quantidade de peças, ele envia um sinal para o começo do ramo, que deve parar de alimentar o ramo. Essa parada se mantém até que o recurso restritivo consuma o excesso de material, fazendo com que o pulmão chegue a um nível de inventário admissível. O mesmo ocorre no pulmão do outro ramo. Se o ritmo da montagem for baixo por falta de material vindo do ramo restritivo, o inventário do pulmão do outro ramo aumenta, paralisando o início do ramo quando necessário.

Na figura 6.11, há o modelo esquemático de um modelo de simulação discreta que representa o exemplo anterior. Nesse esquema, podemos ver representados a restrição e o

final do ramo que alimenta a montagem. O modelo deve ser capaz de detectar aumentos nas filas que representam os pulmões e interromper o envio de material. Para isso, são propostas duas técnicas a serem implementadas entre cada começo de produção e os pulmões.

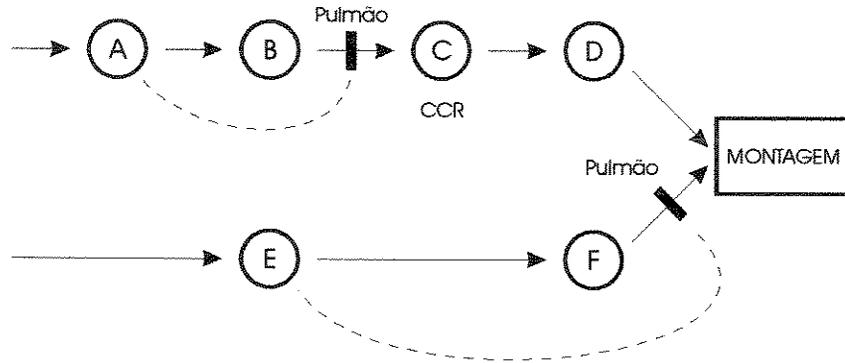


Figura 6.10 – O TPC aplicado ao sistema exemplo

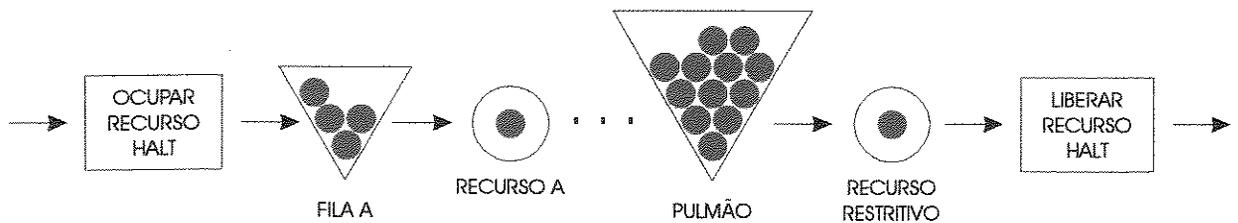


Figura 6.11 – Modelo esquemático para simulação de eventos discretos do sistema exemplo

Na figura 6.12, pode ser observado o modelo esquemático da primeira técnica de sinalização do aumento dos pulmões. Essa técnica utiliza um recurso de apoio que será chamado de recurso *halt*, e cuja capacidade é igual a quantidade aceitável de inventário, ou seja, ele deve ser capaz de suportar ao mesmo tempo um número de ocupações igual ao nível admissível de entidades entre o pulmão e os começos de produção. Deve haver um recurso *halt* associado ao início de cada ramo ou inícios de produção. Logo após ser criada, cada entidade que representa o material a ser processado deve ativar uma posição de ocupação do recurso *halt*. Por outro lado, cada vez que uma entidade deixa o recurso restritivo, ela deve liberar uma ocupação no recurso *halt*. Dessa forma, cada vez que as ocupações do recurso *halt* estão todas tomadas, esgotando sua capacidade, as entidades criadas ficam bloqueadas. Somente após a liberação de uma entidade pelo recurso restritivo é que uma nova posição do recurso *halt* será liberada, desbloqueando o sistema. Fica, assim, estabelecido um nível máximo de inventário no sistema.

As entidades bloqueadas podem simplesmente aguardar sua liberação em uma fila ou serem retiradas do sistema, dependendo de como se comporta o sistema real sendo modelado.

No entanto, essa técnica apresenta algumas limitações. A principal é que ela limita o inventário do sistema entre os inícios de produção e os pulmões e não apenas o tamanho dos pulmões. Outra, é que não é possível simular diferentes pontos de bloqueio e liberação, o que é desejável algumas vezes para escoar mais os materiais dos pulmões.

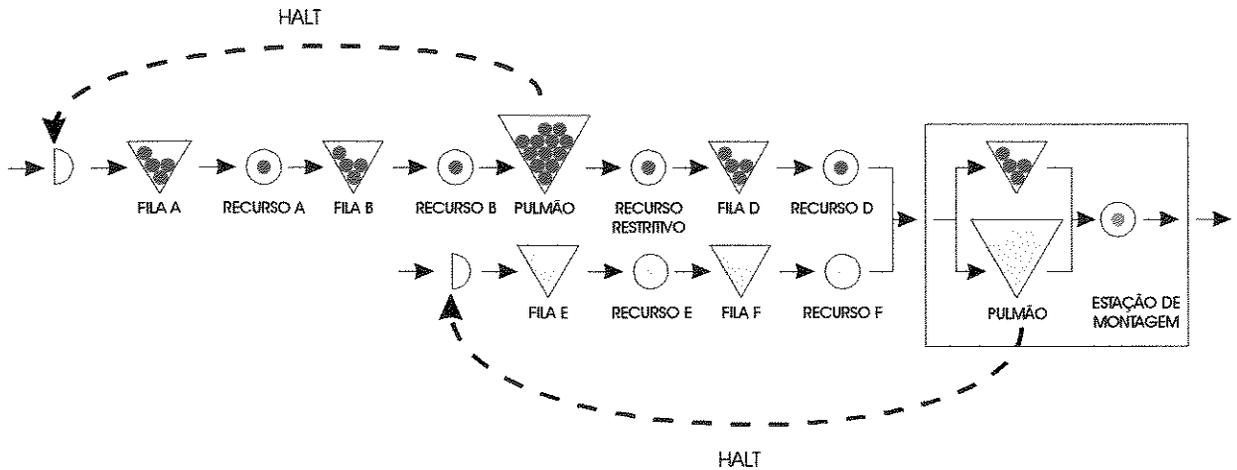


Figura 6.12 – Técnica para sinalização através do controle do inventário no sistema

Para isso, uma segunda técnica é proposta. Novamente é utilizado o recurso *halt* e toda entidade que representa material deve passar por ele ao ser criada. No entanto, nessa técnica esse recurso possui capacidade unitária. Outra diferença é que, conforme visto na figura 6.13, logo após ocupar o recurso, a entidade já o libera. Existe, ainda, uma lógica em paralelo com o sistema que freqüentemente verifica cada pulmão e ocupa os recursos *halt* necessários quando o nível está acima de um limite ou libera esses recursos se o nível está abaixo de outro nível. Os materiais ficam assim bloqueados ou liberados. Novamente, as entidades bloqueadas podem simplesmente aguardar sua liberação em uma fila ou serem retiradas do sistema.

Para a lógica de análise dos pulmões, alguns cuidados devem ser tomados. Deve-se atentar para que a lógica não tente liberar um recurso vazio ou ocupar um recurso já ocupado, o que levaria a um erro. Para isso, é proposta a lógica da figura 6.14.

Nessa técnica, fica limitado o inventário no pulmão, e não no sistema, o que é mais próximo do que é indicado pelos conceitos da TOC. Além disso, é possível estabelecer pontos diferentes de bloqueio e liberação dos materiais. Por exemplo, pode-se bloquear um ou mais

ramos cada vez que o inventário em um pulmão for maior que um valor x , e liberá-los quando o inventário for menor que y , sendo x maior que y .

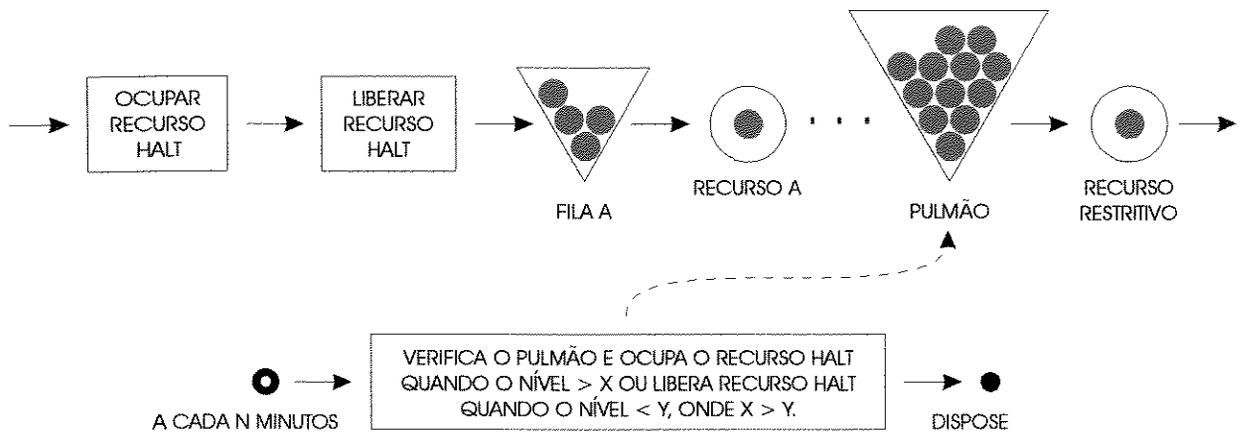


Figura 6.13 - Técnica para sinalização através do controle do tamanho dos pulmões

Esses modelos podem ser implementados não apenas para a compreensão dos conceitos da TOC, mas também para a análise de sistemas reais. Assim, eles podem ser úteis quando de um estudo de viabilidade na mudança de um sistema tradicional, onde se utiliza o MRP, para outro utilizando o TOC. Ainda, podem ajudar na determinação do tamanho dos pulmões, evitando eventuais paradas das restrições por falta de material.

6.4 COMENTÁRIOS

A Simulação em Computador é uma ferramenta útil no auxílio da compreensão e análise de diversos sistemas, como já foi visto anteriormente. Então, foi possível ver a prática dessa utilidade, o que pode até levá-la a categoria de indispensável em muitos estudos e projetos.

Essa se mostrou como uma poderosa ferramenta não apenas na análise, mas também no ensino e treinamento de novos conceitos e tecnologias. A compreensão e assimilação é feita com o uso mais racional dos sentidos humanos, além de possibilitar uma maior interação com o modelo, levando ao desenvolvimento de novas habilidades.

Os conceitos da TOC estabelecem que uma mudança para ser válida deve prover melhoria no desempenho do sistema como um todo, e não apenas localmente. Nos sistemas reais, essa análise é difícil, a não ser que se estabeleçam testes de campo, o que pode influir

negativamente no sistema. Através de modelos de simulação, as mudanças propostas podem ser inseridas em um ambiente virtual, facilitando a análise e diminuindo os riscos.

Para a aplicação da base dos conceitos da TOC, a identificação das restrições, os modelos de Simulação em Computador se mostrou bastante eficiente. Restrições implícitas no sistema, como aquelas que somente surgem quando de uma determinada combinação de demandas, através da simulação podem ser encontradas. Além disso, a dinâmica das restrições pode ser prevista, formando uma idéia de como se comportará a mudança de foco no processo de gestão dos sistemas.

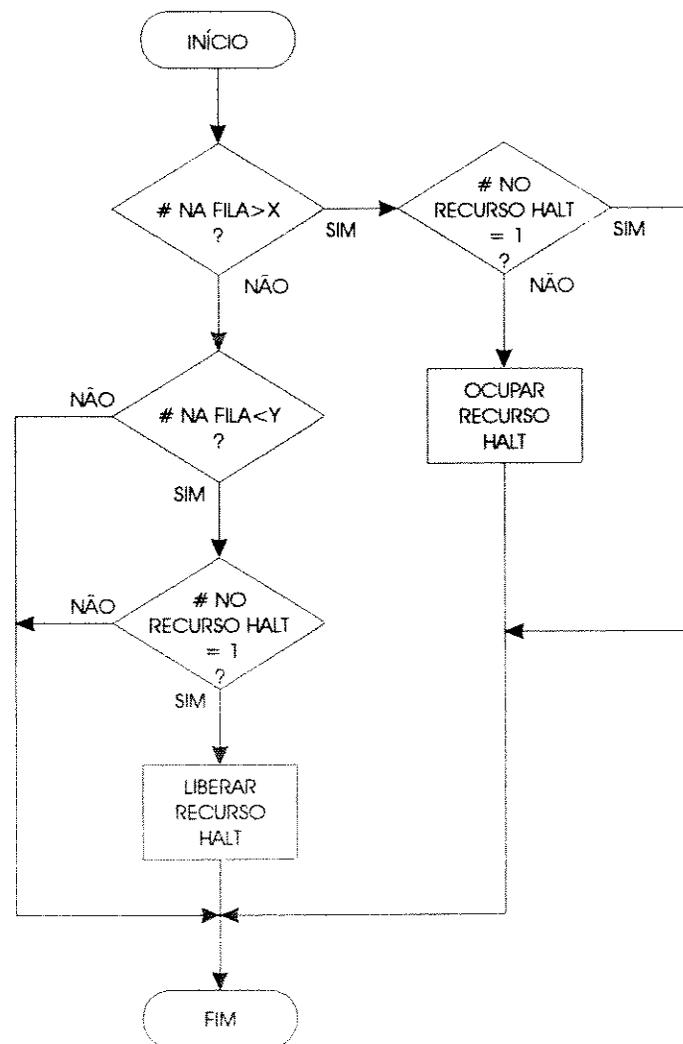


Figura 6.14 – Lógica de checagem do tamanho do pulmão

Tradicionalmente, costuma-se realizar o balanceamento das capacidades dos recursos para estabelecer o equilíbrio do sistema. Isso segue a idéia de que um recurso parado significa

má utilização da força de trabalho e improdutividade. Enquanto as máquinas estão trabalhando, a produtividade está garantida. No entanto, esses conceitos estão obsoletos!

Os princípios da TOC estabelecem que para alcançar o equilíbrio do sistema, deve-se balancear seu fluxo. A capacidade do sistema será sempre menor que a capacidade de suas restrições.

Assim, recursos não restritivos produzindo acima da capacidade dos gargalos conduz a um excesso de inventários, materiais que não conseguem ser absorvidos pelos gargalos. Desse modo, o nível de utilização de um recurso qualquer, não restritivo, deve ser função de um recurso restritivo. Esse é o conceito de sincronização do sistema.

No entanto, mesmo que estabelecidas as vantagens do sistema tradicional, a quebra dele enquanto paradigma é algo complicado. Para isso, modelos de Simulação em Computador podem ser utilizados, facilitando a comparação dos conceitos a partir da observação da aplicação de ambos em um mesmo sistema virtual. Isso ajuda na mudança de paradigma.

Esses modelos ajudam, ainda, na determinação do nível de utilização correto para cada recurso. Equipamentos com excesso de capacidade podem ser identificados mesmo antes de sua instalação. Previsões desse tipo resultam em grandes economias de investimentos.

Como a capacidade dos sistemas será sempre menor que a capacidade de suas restrições, diminuir a utilização de gargalos implicará sempre na diminuição da capacidade do sistema, o que leva a menores ganhos. Esse é um processo irreversível, que não pode ser recuperado devido a natureza dos gargalos de excesso de trabalho. Assim, uma especial atenção deve ser dada aos gargalos, inclusive nos modelos. Para isso, aconselha-se destacar sempre esses recursos.

Os modelos de Simulação em Computador ajudam no foco das restrições. Eles podem prever falhas no sistema que possam afetar as restrições, causando dados irreversíveis, levando a aplicação imediata de solução preditivas.

Já os recursos não restritivos devem apenas ser administrados para suprirem as restrições do sistema. Buscas por melhorias nesses não surtem efeitos globais no sistema. Assim, esses se tornam esforços inúteis, que levam a despesas operacionais desnecessárias.

Devem, ainda, ser estabelecidos os pulmões que irão garantir a proteção das restrições e auxiliarão a sincronização do sistema. Com isso, fica estabelecida uma garantia de que as

restrições terão sempre material, mesmo quando da parada do resto do sistema. Além disso, o tempo de início da produção se dá em um momento apropriado, chegando peças aos recursos restritivos com boa margem de segurança.

Os modelos de Simulação em Computador ajudam na determinação desses níveis de inventário com segurança. Os pontos de liberação e bloqueio de materiais podem ser estabelecidos com uma análise nos modelos. Tempos seguros devem ser determinados para uma boa confiabilidade do sistema.

A sincronização da produção é conseguida através da corda, que estabelecerá a comunicação entre os pulmões e os inícios de produção. Para isso ocorrer em um modelo de Simulação em Computador, algumas técnicas se fazem necessárias, conforme mostrado e desenvolvido neste capítulo.

Outros parâmetros também podem ser obtidos através dos modelos de Simulação em Computador. O tamanho dos lotes de transferência e de processo, que influem enormemente no lead time do processo, ficam mais claros quando ilustrados por esses modelos. A influência desses valores no ganho do sistema leva a busca constante de valores ótimos para eles, sobretudo quando há uma variação grande na demanda.

Analisando os modelos propostos, pode-se concluir que aqueles que mais expressam as necessidades das análises para implantação dos conceitos da TOC são os modelos de Simulação de Eventos Discretos. Eles possuem uma melhor capacidade de representar os sistemas e, além disso, eles se mostram mais ilustrativos.

Quanto ao campo de utilização desses modelos, vê-se na bibliografia uma grande variedade de sistemas de manufatura analisados, contra poucos Sistemas de Serviços. Isso se deve muito ao fato de que as soluções inovadoras propostas a partir dos conceitos da TOC pouco falam sobre esses últimos sistemas. Assim, abre-se um campo de atuação, onde novas soluções devem ser buscadas, aplicando a TOC aos Sistemas de Serviço.

A integração dos modelos de Simulação em Computador, sobretudo os de Simulação de Eventos Discretos, com a Teoria das Restrições formam um ambiente para a análise de Sistemas Produtivos. No próximo capítulo, esse ambiente será utilizado para o levantamento de pontos críticos e para a análise de viabilidade de mudanças em um Sistema de Serviço.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATOCCHIO, A. *Sistemas de Fabricação e Tecnologia de Grupo*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação, 1997. (Notas de Aula)
- GOLDRATT, E.M. *The Critical Chain*. North RiverPress. 1997.
- HMS HOME PAGE. WP 7 Holomobiles - Holonic Control Systems driving AGVs. In . 1998.
- LOBÃO, E.C., PORTO, A.J.V. Uso da Simulação do Ensino da Engenharia. . In *COBEM 97 – 14th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*. Bauru, SP. Dez. 1997.
- MORTON, T.E., PENTICO, D.W. *Heuristic Scheduling Systems - with applications to production systems and project management*. 695 p. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1993.
- NARASIMHAN, S., et al. *Production Planning and Inventory Control*. Second edition. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1995.
- RENTES, A.F., et al. Proposta de um JIT-game Computadorizado para Utilização em Cursos de Administração da Produção. . In *ENEGEP 96 – 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Piracicaba, SP. Out. 1996.
- SANTOS, I.F., FERRETTI, A.P., DE CARVALHO, R. Metodologia para Análise da Dinâmica não-Linear de Sistemas de Múltiplos Corpos – Aplicação a Satélites. In *COBEM 97 – 14th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*. Bauru, SP. Dez. 1997.
- STG HOME PAGE. Scheduling Technology Group. In . 1997.
- SUPERSCAPE HOME PAGE. Viscape 5.11 for Microsoft's Internet Explorer and Netscape Navigator or Communicator. In . 1998.
- SYSTEMS MODELING HOME PAGE. Arena. In . 1998.

CAPÍTULO 7

ESTUDO DE CASO

7.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é de aplicar os conceitos desenvolvidos no capítulo 6 deste trabalho em um caso prático. Com isso, se pretende dar uma noção de como as tecnologias e ferramentas abordadas podem se integrar.

Inicialmente, será apresentado o sistema a ser estudado: um sistema hipotético baseado em um sistema real (para facilitar a alcance do objetivo, esse será tratado por sistema real). Trata-se de uma unidade de negócios que comercializa roupas onde uma análise que enfoca o atendimento como fator de diferenciação é realizada. Desse modo, trata-se de um Sistema de Serviço.

Em seguida, modelos de simulação serão desenvolvidos. Enfoques de modelagem específicos serão apresentados, levando-se a modelos computacionais que representam o sistema estudado com bastante fidelidade.

Posteriormente, serão aplicados os conceitos da Teoria das Restrições. Essa aplicação começará com um análise envolvendo principalmente a aplicação do 5 passos. Nessa, os conceitos serão aplicados sobre os modelos computacionais, e não sobre o sistema real, formando-se o ambiente integrado desenvolvido no capítulo 6.

Após essa análise, mudanças serão proposta e, a partir delas, um novo sistema.

Esse novo sistema, desenvolvido a partir dos conceitos da Teoria das Restrições, será simulado em computador. Seu comportamento será previsto e a viabilidade das mudanças

propostas avaliada. Com isso, conclusões poderão ser tiradas sobre as vantagens da implantação das mudanças propostas.

7.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

7.2.1 A unidade de negócios

O caso em estudo, para a aplicação dos conceitos desenvolvidos no capítulo 6 deste trabalho, foi a análise de uma unidade de negócios popularmente denominada loja. Dentro da classificação de oferta mostrada no item 3.3.1, uma loja pode ser caracterizada como uma fornecedora de bens tangíveis, os produtos. Existe, ainda, uma forte influência do fator atendimento, o que associa ao produto um serviço. O papel daquele que atende ao cliente é muito maior do que a venda em si. Existe o lado da consultoria, onde o vendedor deve suprir o cliente de informações que o leve a compra do produto adequado para suas necessidades.

O quanto essa oferta será tangível ou intangível, dependerá do tipo de negócio em questão, conforme mostrado no item 3.3.1. O caso estudado é de uma loja de roupas e acessórios. Nessa loja, o vendedor deve ter um bom nível de conhecimento para indicar ao cliente quais produtos são os mais indicados. Assim, em relação a oferta, essa loja pode ser classificada como híbrida.

Os produtos que essa loja fornece estão relacionados ao surfe, indo desde camisetas, shorts e agasalhos até óculos e pranchas. De acordo com pesquisas já realizadas pela loja, o nicho de mercado foi identificado como sendo formado basicamente por jovens entre 12 e 20 anos e de uma classe social média. Forma-se, assim, um segmento próprio de mercado.

Para atender as necessidades dos clientes, a loja adota uma estratégia de marketing de mercado - alvo. Uma vez distinguido o segmento de mercado, são buscados produtos que atendam especificamente a esse mercado. Os produtos em questão não fazem parte das necessidades básicas, uma vez que não são vitais à condição humana. Assim, as necessidades dos clientes se caracterizam pelo desejo. De acordo com pesquisas realizadas pela loja, os consumidores compram esses produtos por fazerem parte da moda de um determinado grupo de jovens.

A localização da loja é em um shopping de classe média – alta na cidade de Campinas, estado de São Paulo. É o fator local que faz com que haja uma diferenciação no mercado consumidor, uma vez que outras lojas pertencentes ao mesmo grupo, que vendem os mesmos

produtos, atendam a consumidores de uma renda mais baixa. Outra consequência que o local estabelece é de que o mercado se expande para consumidores de várias cidades da região, que procuram esse shopping em busca de melhores ofertas.

O negócio sofre, ainda, influência de fatores externos que levam a uma variação periódica na demanda dos produtos. Essa variação segue alguns padrões consistentes de movimentação das vendas em certos períodos de tempo, o que caracteriza uma sazonalidade. Em geral, as vendas aumentam no começo dos meses, sempre após os dias de pagamento. Ainda, em vésperas de alguns feriados há um aumento nas vendas. A sazonalidade devida as estações do ano é mais amena; no verão vende-se mais produtos baratos, e no inverno menos produtos, porém mais caros, o que equilibra as vendas.

A loja sofre a concorrência de mercado de outras lojas. Outras empresas buscam satisfazer a mesma necessidade dos consumidores. Em geral, os produtos oferecidos são os mesmos. O negócio em questão não possui a liderança de mercado, sendo que um de seus concorrentes investe bastante em propaganda.

7.2.2 A estrutura da loja

A loja em questão está instalada em um espaço de 60 metros quadrados. Nesse, sua estrutura está montada seguindo o layout da figura 7.1.



Figura 7.1 – Layout da loja

Para atender aos clientes, a loja trabalha com 4 vendedores que trabalham durante um período que vai das 10 horas até as 22 horas, seguindo a programação contida na tabela 7.1. A

função dos vendedores é de atender aos clientes, ajudando-os na escolha dos produtos mais adequados, vendendo os produtos.

Há, ainda, dois provadores, utilizados para que os clientes provem as roupas antes de comprá-las.

O recebimento do pagamento é feito em um caixa. Normalmente, a função de caixa é exercida por um dos donos da loja, recebendo o pagamento das mercadorias, controlando o estoque e gerenciando o negócio.

	Vendedores			
	1	2	3	4
10:00	Em trabalho	Em trabalho	Refeição	Refeição
11:00	Em trabalho	Em trabalho	Refeição	Refeição
12:00	Em trabalho	Em trabalho	Refeição	Refeição
13:00	Em trabalho	Em trabalho	Refeição	Refeição
14:00	Refeição	Refeição	Em trabalho	Em trabalho
15:00	Em trabalho	Em trabalho	Em trabalho	Em trabalho
16:00	Em trabalho	Em trabalho	Em trabalho	Em trabalho
17:00	Em trabalho	Em trabalho	Em trabalho	Refeição
18:00	Em trabalho	Em trabalho	Refeição	Em trabalho
19:00	Refeição	Refeição	Em trabalho	Em trabalho
20:00	Refeição	Refeição	Em trabalho	Em trabalho
21:00	Refeição	Refeição	Em trabalho	Em trabalho
22:00	Refeição	Refeição	Em trabalho	Em trabalho



Tabela 7.1 – Programação dos vendedores

7.2.3 Objetivos do estudo

A concorrência de mercado alertou os donos do negócio para a necessidade de um planejamento estratégico a longo prazo, uma vez que o conjunto de concorrentes reais e potenciais é cada vez maior. Nesse planejamento, alguns aspectos importantes foram levantados, como os pontos forte e fracos seus e dos concorrentes.

Nessa análise, foi identificada a necessidade de criação de pontos de diferenciação. De acordo com um trabalho sobre os vendedores, foi, ainda, identificado que esses são

experientes em relação a venda dos produtos específicos da loja. No entanto, notou-se que o trabalho de atendimento é um ponto potencial de melhoria, uma vez que o processo de venda pode ser modificado, tornando-se mais eficiente e atrativo.

Foi notado que em dias em que o volume de vendas aumenta significativamente, esse volume pode estar acima da capacidade de atendimento da loja. Assim, foi proposto um estudo com o objetivo de identificar as carências no atendimento e desenvolver medidas alternativas para atender os clientes de uma maneira mais eficiente e atrativa.

Com a necessidade de mudanças, a empresa optou por um estudo para identificar as reais necessidades de mudanças.

7.2.4 Medidas de desempenho

No trabalho realizado pelo Planejamento Estratégico desenvolvido pela loja, alguns índices foram indicados como os medidores do desempenho do sistema. São eles:

- **Tempo total de espera do cliente em fila:** substitui o tempo do cliente no sistema, uma vez que manter o cliente mais tempo na loja é benéfico. Quanto mais o cliente fica na loja, mais ele está em contato com os produtos, aumentando seu desejo de compra. Por outro lado, o tempo de espera, integrante desse tempo total, é prejudicial, pois aumenta o descontentamento do cliente e sua chance de abandono. O total de espera em fila é um índice que leva em conta a somatória dos tempos de fila em todo sistema por dia. Esses tempos podem ser de espera pelo atendimento, pelo provador e pelo caixa.
- **Faturamento por vendedor:** é o quanto cada vendedor faturou em vendas por dia.
- **Cientes por vendedor:** é o número de clientes atendidos que efetuaram compras por vendedor por dia.
- **Taxa de abandono:** é o número total de abandonos ocorridos por dia em relação ao total de clientes que passaram pelo sistema.

Esses índices serão adotados como valores iniciais para a análise, não sendo, no entanto, considerados absolutos. A mudança desses índices faz parte deste trabalho.

7.2.5 Abordagem escolhida

Para analisar esse sistema, de modo a alcançar o objetivo estabelecido, foi proposta a implementação do ambiente integrado desenvolvido no capítulo 6 deste trabalho.

Os pontos importantes analisados foram levantados pela TOC, através de uma análise utilizando os conceitos de identificar, explorar, subordinar e melhorar as restrições do sistema, implantando um método de Melhoria Contínua. Para isso, soluções inovadoras voltadas para a aplicação em questão foram desenvolvidas.

As ferramentas de Simulação em Computador foram utilizadas para avaliar as mudanças propostas em relação ao comportamento do sistema como um todo. O sistema foi, então, modelado, obtendo-se uma representação fiel do ambiente real. Assim, muitas conclusões puderam ser tiradas sem que interferências ocorressem no sistema real.

7.2.6 Análise inicial

Uma pré análise, baseada nos conceitos da TOC, pode mostrar alguns pontos importantes. Um deles está relacionado com as medidas de desempenho do sistema. Esses índices devem refletir, de acordo com o item 3.4.2 deste trabalho, a satisfação dos clientes. Ainda, de acordo com o item 3.5, eles devem incluir a maximização do lucro.

De acordo com a TOC, melhorias locais não significam melhorias globais no sistema. Pelo contrário, elas podem ser prejudiciais ao bom desempenho do sistema como um todo.

Medir o desempenho individual de cada vendedor pelo seu ganho pode levar a uma diminuição no ganho total do sistema. Na busca por um melhor desempenho, um vendedor pode comprometer o desempenho de outro, ou, ao tentar aumentar seu ganho, atender os clientes mais rapidamente, aumentando o nível de satisfação.

Assim, em uma análise inicial, foi sugerido a loja que os índices de desempenho individuais fossem transformados em um único valor global. Os vendedores devem buscar em conjunto a melhoria desse índice. Os valores individuais antigos devem ser levantados de maneira implícita apenas como dados do sistema e, não mais, como medidas de desempenho.

Outro ponto crítico é a demanda. No item 3.3.1.4 deste trabalho, é mostrada a característica de perecibilidade dos Sistemas de Serviço. Assim, não é desejado que estoques de segurança sejam implementados, aumentando os riscos inerentes aos altos ou baixos níveis em uma demanda variável.

7.3 MODELAGEM DO SISTEMA

Para o estudo em questão, foram desenvolvidos modelos de Simulação de Eventos Discretos no ambiente Arena 3.0 [item 5.3.2 deste trabalho]. O atendimento aos clientes, enquanto um sistema de serviço, apresenta algumas particularidades, como alta variabilidade do sistema, presença de fatores emocionais e uma lógica complexa para algumas ações. Assim, esse sistema necessita de uma metodologia própria de modelagem.

De acordo com o item 5.8 deste trabalho, uma vez já determinado o objetivo do estudo de modelagem, o escopo e o nível de detalhamento devem ser definidos, determinando os elementos a serem modelados e o quanto esses devem ser detalhados. Para isso, os diversos elementos do sistema devem ser analisados.

Após a definição do escopo e do nível de detalhamento, fica facilitado o trabalho de coleta de dados. Ainda assim, esse deve ser realizado com o máximo de cuidado e atenção, já que é o ponto vital de qualquer análise de sistemas.

Ao mesmo tempo, um modelo esquemático do sistema já deve ser elaborado. Com isso, checka-se se a abordagem utilizada até esse ponto está correta. Somente após a validação do modelo esquemático, verificando se esse é uma representação apurada do sistema, é que o modelo computacional é implementado.

O passo seguinte é o de verificação do modelo. Esse deve compreender os trabalhos de depuração, verificação da lógica e verificação do código. O modelo pode, ainda, ser verificado mediante condições extremas de solicitação.

Os resultados devem, então, ser tratados, analisados e apresentados. O tratamento estatístico deve garantir uma confiabilidade satisfatória aos resultados.

Outras configurações também devem ser modeladas. Sempre que algum problema for detectado, a definição do modelo deve ser revisada e modificada. Somente então, as configurações devem ser comparadas e as conclusões efetuadas.

7.3.1 Escopo e nível de detalhamento

Para o modelo do sistema em questão, o atendimento foi dividido e modelado nos seguintes elementos:

- a chegada dos clientes;

- o atendimento com os vendedores;
- os provadores;
- o caixa;
- a saída dos clientes.

Os clientes são as entidades principais do modelo. A eles está associado um atributo referente ao momento no tempo em que o cliente entra no sistema, de modo a se poder avaliar, posteriormente, o *lead time* do sistema.

Normalmente, durante o processo de escolha das mercadorias, os clientes provam os produtos. Esse processo pode variar de diversas formas. O cliente pode, por exemplo, escolher um conjunto de mercadorias, prová-las, voltar ao atendimento, escolher outro conjunto, provar novamente, e assim por diante.

Outra característica importante em sistemas desse tipo, e que também deve ser modelada, é a satisfação dos clientes. De acordo com item 3.4.2, determinadas condições de sistemas fazem com que os clientes mudem sua atitude sobre uma decisão particular já tomada. As reações em relação a situações insatisfatórias podem incluir frustração e desistência.

De acordo com esses dois aspectos mostrados, o fluxo das entidades se mostra bastante complexo. A modelagem dessas situações pode ser complexa e requer técnicas especiais para programar a lógica e descrever o comportamento do sistema.

Outra lógica deve ainda ser criada para simular a programação dos recursos vendedores. Conforme já visto na tabela 7.1, os recursos possuem três estados, fora do sistema, em trabalho e em refeição, os quais devem ser simulados. A lógica que será responsável por essa programação deverá checar o estado real do recurso, para então aplicar um novo estado. Se, por exemplo, um recurso estiver atendendo um cliente, ele não pode parar para o almoço. Essa detecção se torna mais difícil a medida que um cliente pode desocupar um recurso, indo para o provador, o que libera o recurso para realizar outro atendimento, mas não o libera para sair do sistema.

A estação que simula o caixa deverá ser capaz de simular o ganho do sistema. Para isso, um modelo matemático que simule as vendas deve ser montado.

O modelo deverá, ainda, ser estruturado de forma a prover uma flexibilidade que facilite as mudanças nos parâmetros do sistema.

7.3.2 Dados do sistema

Uma vez definido o escopo e o nível de detalhamento do modelo, os dados necessários podem ser analisados e um planejamento estabelecido para tornar o trabalho de aquisição mais eficiente. De acordo com essa análise, alguns dados de entrada do sistema foram levantados, como a frequência de chegada de clientes, o perfil dos vendedores, a porcentagem de provas, os tempos de prova de produtos, os tempos de pagamento.

Esses dados levaram em conta os dias críticos para o atendimento, como feriados, finais de semana, datas especiais, já que os potenciais problemas surgem nesses dias em que o sistema sofre uma solicitação mais intensa.

Muitos desses dados foram levantados pelos administradores da loja, que já vinham fazendo um trabalho de avaliação das atividades. Um exemplo é a frequência de chegada de clientes na loja; há todo um trabalho já realizado sobre a média de clientes na loja para determinados períodos do dia.

Outra avaliação é quanto ao desempenho dos vendedores. Para cada vendedor, os administradores da loja possuem dados sobre o número de peças vendidas e o total faturado por dia. Assim, esses dados podem ser utilizados pelo modelo, servindo como medidas de desempenho. Ainda, a fim de se medir o comportamento dos clientes, foram levantados para cada vendedor os momentos em que os clientes desistem de efetuar a compra. Assim, o fator de satisfação dos clientes foi colocado como parte do perfil do vendedor. Juntamente com a programação dos vendedores, mostrada na tabela 7.1, durante a descrição do sistema, esses dados formam o perfil dos vendedores.

A porcentagem de prova, ou seja, qual a porcentagem de clientes que utilizam os provedores antes de efetuarem uma compra, também foi levantado, bem como os tempos médios de prova dos produtos e os tempos de pagamento. Para isso, os administradores se propuseram a medir esses comportamentos durante o período de uma semana.

Além disso, foi estimado um valor máximo de clientes no sistema, acima do qual todo cliente que tiver a intenção de entrar na loja desiste e sai.

Após o desenvolvimento do modelo esquemático, esses dados foram sendo depurados e tratados.

7.3.3 Modelo esquemático

Para modelar a lógica desse sistema, foram testados vários modelos. Muitos deles levaram a resultados insatisfatório. Um deles levou a resultados muito bons. Esse modelo implementado está exposto em sua forma esquemática na figura 7.2.

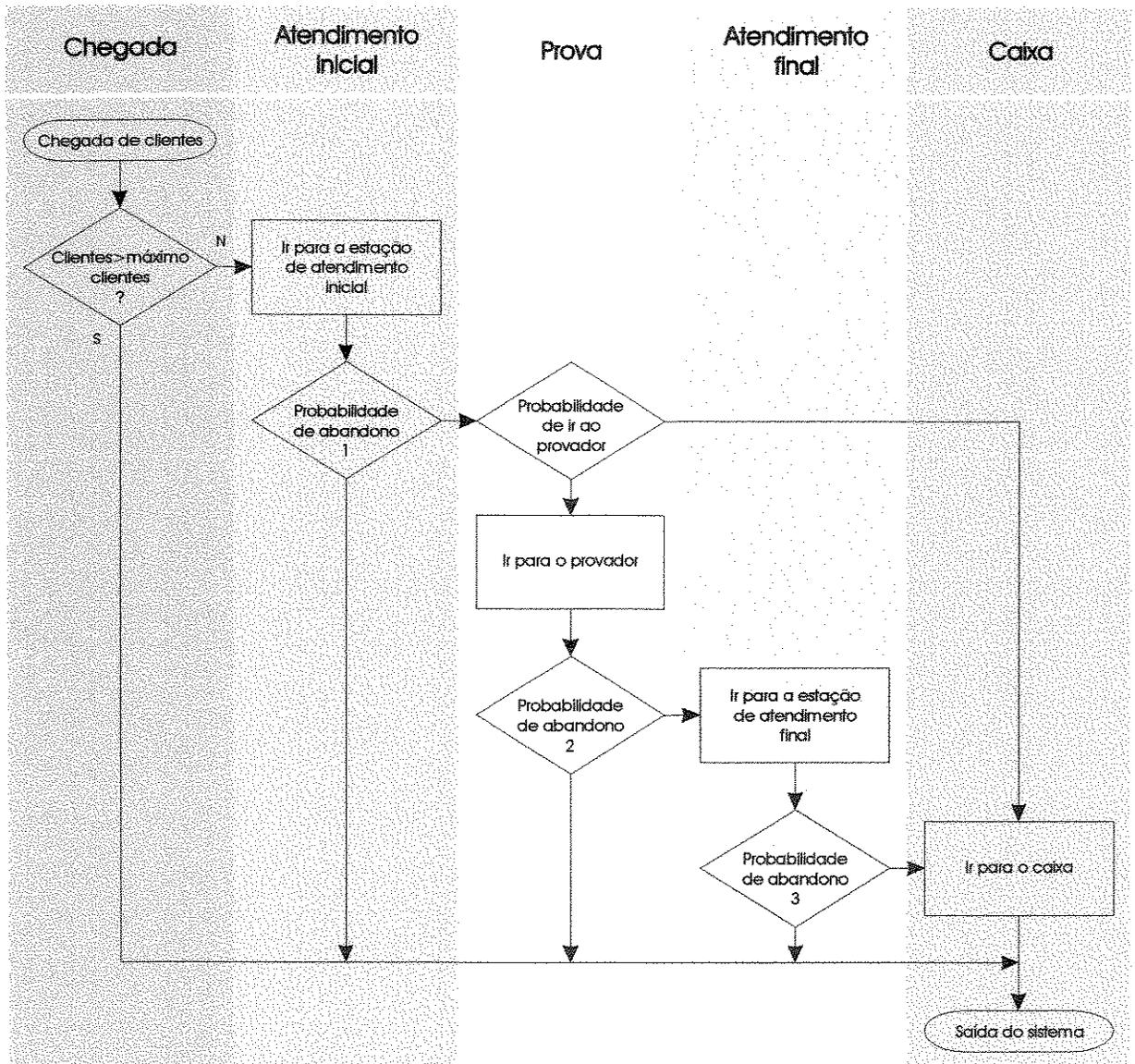


Figura 7.2 – Modelo esquemático do sistema atual

De acordo com o modelo esquemático, o sistema foi dividido em 5 partes:

- chegada;
- atendimento inicial;
- prova;

- atendimento final;
- caixa.

O atendimento foi dividido em dois momentos: inicial e final. Entre eles, há a estação de prova das mercadorias. De acordo com uma porcentagem estatística de ir ao provador, alguns clientes passam direto do atendimento inicial ao caixa, simulando aqueles que não realizam a prova. De acordo com essa lógica, os dados devem ser tratados de modo a representarem o sistema real nessa forma mais simplificada.

Foram colocados, ainda, três pontos de possível abandono por insatisfação do cliente. Essas probabilidades foram levantadas para cada vendedor, conforme mostrado no item 7.3.2. Assim, consegue-se simular o comportamento dos clientes.

7.3.4 Modelo computacional

Para a implementação do modelo computacional, foi utilizado o software Arena em sua versão acadêmica 3.0 [item 5.3.2 deste trabalho].

Inicialmente, foi modelado o sistema atual, de acordo com o modelo esquemático apresentado no item 7.3.3. Para isso, algumas técnicas próprias foram criadas, a fim de se obter um modelo mais preciso. Desse modo, um enfoque específico de modelagem foi aplicado. Para isso, KELTON et al. (1998) foi utilizado como referência.

7.3.4.1 Enfoque de modelagem

Para simular cada uma das 5 partes, chegada, atendimento inicial, prova, atendimento final e caixa, foram utilizados diferentes módulos do software Arena. Lógicas em paralelo foram criadas para representar algumas situações específicas, como a programação dos vendedores.

A chegada de clientes foi modelada utilizando o módulo *arrive*, conforme a figura 7.3. A cada entidade está associado um atributo de vendedor que indica qual o vendedor que está realizando o atendimento. Ainda, para simular o número máximo de clientes no sistema, foram utilizados módulos *assign*, para incrementar o número de clientes a cada entidade, e *choose*, para determinar o caminho a ser seguido pela entidade, simulando a porcentagem de prova e a probabilidade de abandono 1. Módulos *leave* encaminham as entidades a próxima parte do modelo.

O atendimento inicial foi modelado sobre um módulo *process*, de acordo com a figura 7.4. Esse módulo faz com que os vendedores, modelados como um *set* de *resources*, sejam ocupados ciclicamente. O tempo de processo, que representa o tempo de atendimento inicial, é determinado pelo perfil do vendedor. Módulos *chance* fazem a lógica de distribuir as entidades a saída do sistema, provedores, ou diretamente ao caixa, dependendo das porcentagens estabelecidas pelo perfil dos vendedores.

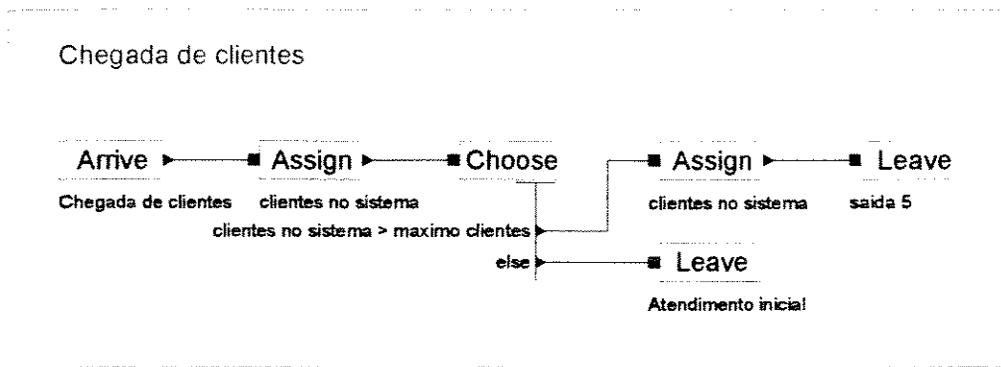


Figura 7.3 – Enfoque de modelagem: chegada de clientes

Atendimento inicial

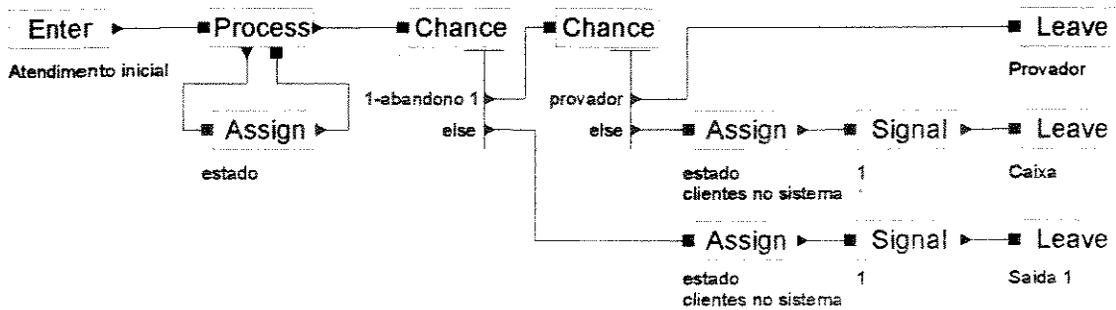


Figura 7.4 – Enfoque de modelagem: atendimento inicial

Os provedores foram modelados utilizando módulos *process*, conforme a figura 7.5. Os provedores, representados como um *set* de *resources*, são ocupados ciclicamente. O tempo de processo, que simula o tempo que o cliente gasta para provar os produtos, segue os valores obtidos no levantamento de dados. Novamente, há a chance do cliente abandonar o sistema. Assim, um módulo *choose* deve ser utilizado, simulando a probabilidade de abandono 2.

As saídas do sistema foram modeladas com módulos *depart*. A cada uma delas está associado um contador para se conseguir verificar o índice de abandono em cada ponto do sistema. Além disso, um registro tipo *tally*, mostra o tempo que cada entidade ficou no sistema.

7.3.4.2 A lógica de programação dos recursos

A lógica de programação dos vendedores foi montada em paralelo ao sistema. Há uma lógica para o início e final do trabalho do vendedor e uma para simular o tempo de parada para refeição. Há uma lógica de cada para cada vendedor.

Inicialmente, a capacidade de todos os recursos vendedor é colocada como zero.

Para a lógica de trabalho, uma entidade é criada no momento em que o turno de trabalho do vendedor deve começar através de um módulo *create*, de acordo com a figura 7.7. Em seguida, um módulo *assign* muda a capacidade do recurso para 1. Um módulo *delay* de atraso igual ao turno de trabalho simula o tempo em que o vendedor fica no sistema. Em seguida, um módulo *choose* checa se o vendedor está realmente ocupado. Caso ele esteja ocupado, a lógica aguarda com um módulo *wait* até que alguma ação seja tomada pelo vendedor, o que é dado pelos módulos *signal* das lógicas de atendimento e dos provedores. Após cada nova ação, o módulo *choose* checa novamente a ocupação real do recurso. Em seguida, a capacidade do recurso é colocada novamente como zero, tirando o recurso do sistema.

Para a lógica de refeição, mostrada na figura 7.8, uma entidade é criada no momento em que o recurso está programado para refeição, novamente através de um módulo *create*. Em seguida, um módulo *choose* checa se o vendedor está realmente liberado. Caso ele esteja ocupado, a lógica aguarda com um módulo *wait* até que alguma ação seja tomada pelo vendedor. Após uma nova ação, o módulo *choose* checa novamente a ocupação real do recurso. Em seguida, a capacidade do recurso é colocada como zero, tirando o recurso do sistema. Um módulo *delay* de atraso igual ao tempo de refeição simula o tempo em que o vendedor fica fora do sistema para refeição. Em seguida, um módulo *assign* muda a capacidade do recurso novamente para 1.

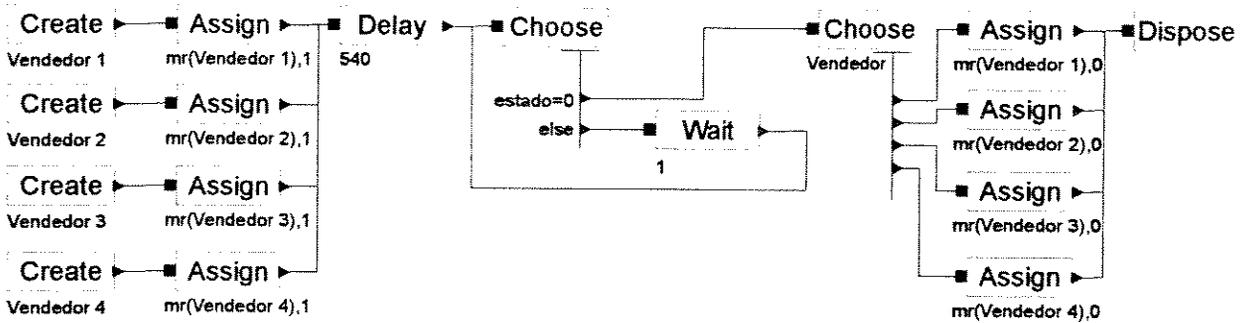


Figura 7.7 – Lógica do turno de trabalho

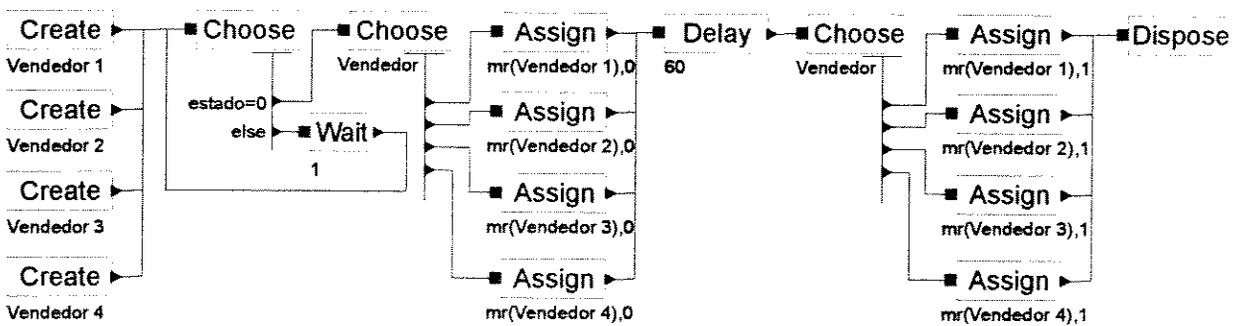


Figura 7.8 – Lógica da refeição

Com essa lógica, se evita que um recurso abandone o sistema quando um cliente previamente atendido se encontra no provador.

7.3.4.3 Verificando o modelo

O passo seguinte foi o de verificação do modelo, de acordo com o item 5.8 deste trabalho. Esse compreendeu os trabalhos de depuração, verificação da lógica e verificação do código. O modelo foi, ainda, verificado mediante condições extremas de solicitação.

No trabalho de depuração, erros como de sintaxe, de declaração e de conformidade foram encontrados e solucionados. Para isso, o Arena possui um comando, o *check model*, que facilita esse trabalho. Ele mostra os erros, adverte sobre eventuais falhas e indica possíveis soluções.

A forma mais simples de se checar a lógica de um modelo é através da observação de sua animação. Assim, eventuais não conformidades puderam ser encontradas.

Ainda para verificar a lógica, o modelo foi rodado com a opção de *trace* acionada. Com isso, foi possível visualizar a dinâmica dos blocos lógicos. Outra técnica utilizada para

se checar a lógica do modelo foi de liberar uma entidade (cliente) por vez no sistema e acompanhar sua movimentação. Com isso, foi possível observar se a lógica seguida pela entidade estava correta.

Em seguida, os arquivos de experimento e modelo em linguagem Siman geradas pelo Arena foram abertos e o código verificado, garantindo-se que não havia erros.

Por fim, o modelo foi submetido a condições críticas. O critério de número máximo de clientes foi elevado, bem como a frequência de chegada de entidades. Com isso, foi possível detectar eventuais falhas do modelo. A capacidade do modelo, em relação ao tempo de processamento também foi levantada.

7.3.4.4 Animação do modelo

Uma das saídas que os modelos de Simulação em Computador podem prover é a animação. Através dela, a dinâmica do sistema pode ser observada.

Nesse projeto, uma atenção especial foi dada a animação. Na figura 7.9, pode ser observada uma tomada enquanto o modelo está sendo rodado. Os vendedores podem ser observados, bem como o caixa e os provadores. Esses recursos possuem diferentes figuras para representarem seus diversos estados.

As cores vermelho e azul para os vendedores e caixas representam, respectivamente, seus estados de ocupado e disponível. Quando um vendedor está cinza, significa que ele está fora do sistema.

Os provadores podem estar abertos ou fechados, indicando que eles estão disponíveis ou ocupados.

Os clientes são representados por cinco figuras diferentes, facilitando a visualização de sua movimentação.

Existem ainda dois mostradores digitais que indicam o número de pessoas no sistema (no exemplo, 6) e o faturamento total no período (no exemplo, \$ 327,20). Desse modo, esses valores podem ser monitorados durante a animação.

7.3.4.5 Validação do modelo

Uma vez concluído o trabalho de verificação do modelo, deve haver a garantia de que esse é realmente uma representação apurada do sistema real. Para isso, deve haver um trabalho semelhante a calibração de um instrumento.

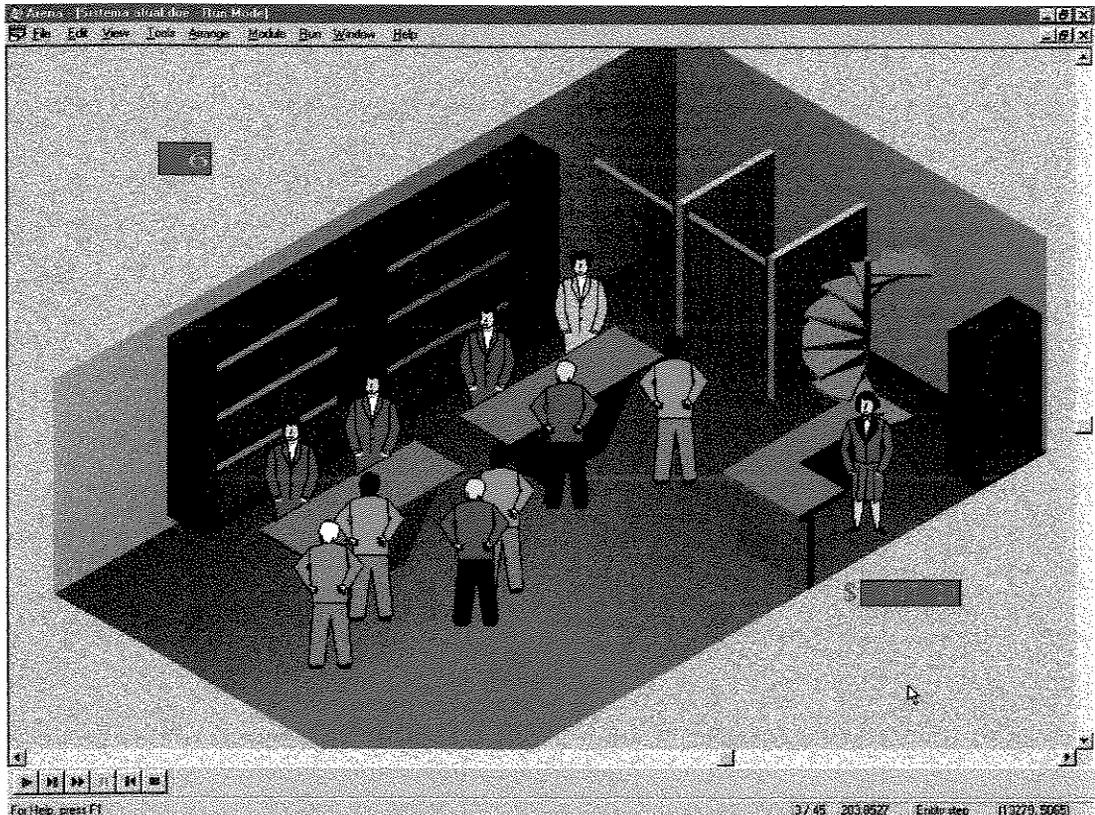


Figura 7.9 – Animação do modelo computacional

Inicialmente, os dados do sistema real atual foram inseridos no modelo. Esse foi, então, rodado e seus resultados, obtidos. O modelo foi forçado a rodar dentro de condições de contorno que representam condições reais as quais o sistema foi submetido. Para essas condições, os resultados foram comparados e o modelo “calibrado” de modo que os valores se eqüivalassem.

Os índices comparados foram: faturamento total por dia, número de clientes que efetuaram compras, número de abandonos / total de clientes e tempo total de espera. O índice que indica os abandonos foi tomado em relação aos clientes que entraram na loja, embora o modelo possa mostrar esse valor em relação aos clientes totais no sistema, incluindo os que

tiveram a intenção de entrar na loja e não o fizeram por excesso de clientes no sistema. Esse índice será inserido na comparação dos sistemas simulados.

Uma vez garantido que o modelo computacional realmente representava o sistema real, o modelo foi dado como validado.

7.3.4.6 Tratamento e apresentação dos resultados

O sistema de serviço modelado, a loja, é um sistema terminal, de acordo com o item 5.3.5 deste trabalho. Com isso, um tratamento específico para os dados deve adotado para encontrar um ponto estimado e intervalos de confiança para cada índice de desempenho.

As condições iniciais e terminais são definidas pela natureza do sistema e influenciam a sua performance. A duração da simulação é conhecida. Cada simulação gera uma observação simples. Replicações devem ser realizadas para coletar múltiplas observações para análise. A análise se concentra principalmente no comportamento transiente do sistema.

Assim, o sistema atual foi simulado sobre 20 replicações. Ao início de cada replicação o sistema e as estatísticas foram reiniciados, fazendo com que houvessem diferentes observações. Os valores dos índices de performance foram então armazenados e tratados.

Através do *Output Analyser* os dados foram compilados e vistos como um único conjunto de dados. Uma probabilidade de enquadramento de 95% foi então adotada para cada índice e os resultados observados. O intervalo de confiança da média H é calculado pelo *Output Analyser*, de acordo com a expressão [FONSECA et al., 1986]:

$$H = x_m \pm t s / \sqrt{n} \quad (7.1)$$

onde:

- x_m é a média da amostra
- s é o desvio padrão da amostra
- t é o coeficiente de t-Student
- n é o tamanho da amostra

O intervalo de confiança obtido é então analisado. Para diminuir esse intervalo, deve-se aumentar o número de replicações. De acordo com FONSECA et al. (1986), o número de replicações n_2 necessárias para que a confiança necessária seja atingida pode ser dados por:

$$n_2 = n_1 (h_1 / h_2)^2 \quad (7.2)$$

onde:

- n_1 é o número de replicações na simulação piloto
- h_1 é a metade do intervalo de confiança da simulação piloto
- h_2 é a metade do intervalo de confiança desejado.

Para a replicação piloto, foram obtidos intervalos de confiança menores que 10% da média para todos os índices, exceto para o tempo de espera, o qual deu 20%. Afim de abaixar esse intervalo para abaixo dos 15%, um novo número de replicações é necessário. De acordo com a expressão 7.2, esse novo valor é de 45 replicações.

Uma vez que um intervalo de confiança satisfatório foi obtido, os resultados foram então apresentados, de acordo com a figura 7.10.

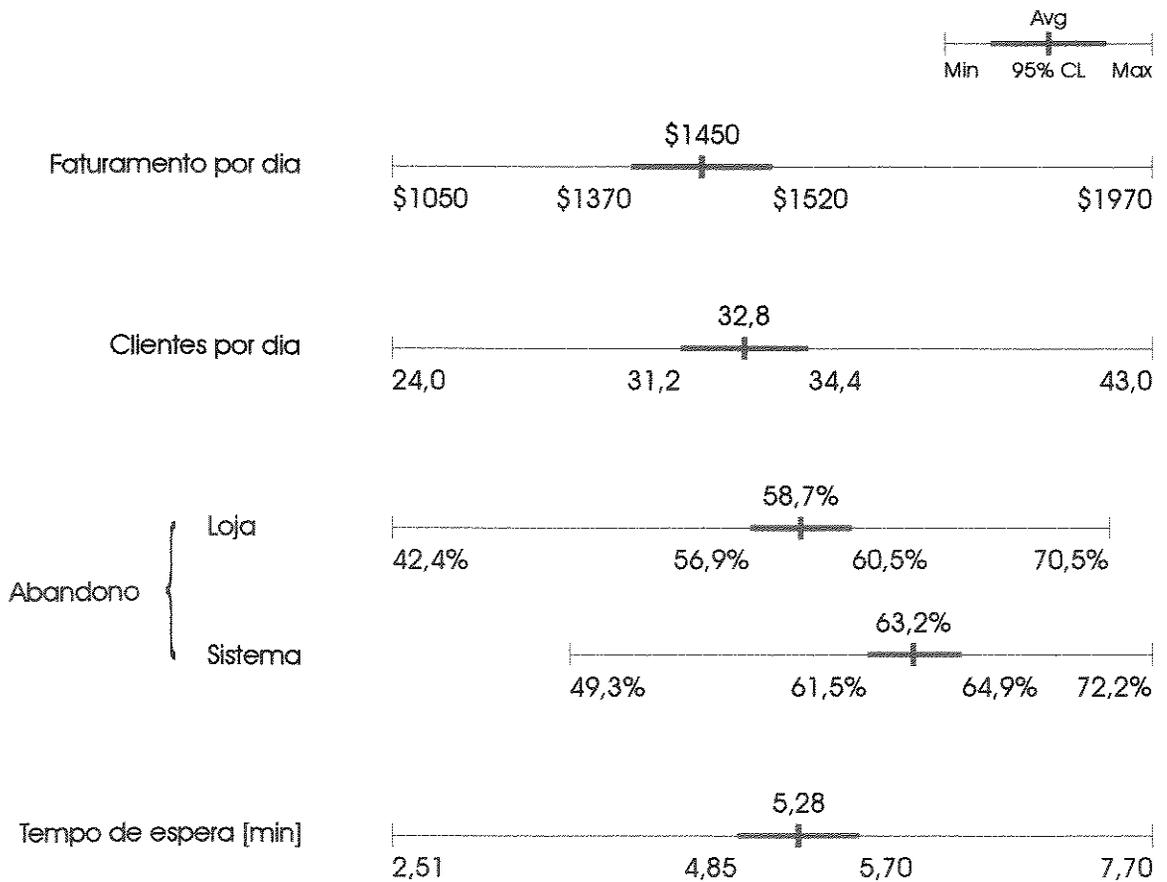


Figura 7.10 – Medidas de desempenho para o sistema atual simulado

7.4 ANÁLISE DO SISTEMA ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR

A base da análise desse sistema será a aplicação dos 5 passos da TOC, de acordo com o item 4.4.

7.4.1 Primeiro passo

O primeiro passo deve ser identificar as restrições do sistema. Como o objetivo principal dessa análise é obter meios de aprimorar o atendimento aos clientes, os diversos passos do atendimento devem ser analisados.

Em modelos de simulação, a observação da formação das filas dá uma idéia inicial de onde se encontram as restrições. Desse modo, a animação do modelo foi observada, notando-se pontos de formação de fila, como antes dos atendimentos, dos provadores e do caixa. Através do recurso de aumentar a frequência de chegada de clientes, observou-se que as filas são mais acentuadas antes dos atendimentos pelos vendedores.

Outra forma de se localizar as restrições é através da análise do nível de ocupação dos recursos. Para isso, esse índice foi monitorado e tratado estatisticamente. Com isso, foi possível notar que os vendedores estavam ocupados 60% do tempo, contra aproximadamente 30% para os provadores e 25% para o caixa.

Com isso, pode-se facilmente notar que uma das restrições do atendimento são os vendedores. Por mais que se aumente a demanda de clientes, haverá um ponto em que os vendedores se tornaram gargalos, limitando o ganho do sistema.

Outra restrição do sistema, encontrada pela observação do sistema, é o espaço físico. Ele será outro fator limitante do ganho, fazendo o papel de gargalo toda vez que a demanda do sistema for maior que sua capacidade. No modelo, essa restrição pode ser observada toda vez que um cliente sai do sistema por causa do excesso de clientes na loja.

7.4.2 Segundo passo

Passando-se para o segundo passo, deve-se decidir sobre como as restrições devem ser exploradas. A primeira decisão foi a de focalizar as atenções às restrições.

Os vendedores foram, assim, avisados sobre a importância de seu papel para o aumento ganho da loja. No entanto, a idéia não é atender os clientes mais rapidamente, e sim

aumentar a atenção despendida a eles. Aos que aguardam o atendimento, uma atenção ainda mais especial deve ser dada.

7.4.3 Terceiro passo

Subordinando o resto a restrição, passo 3, pode-se deslocar os recursos com tempo disponível para auxiliar os vendedores. Uma idéia sugerida foi a de que o caixa fizesse um papel de pré atendimento, verificando as necessidades e encaminhando os clientes aos vendedores.

Com isso, se faz um trabalho de melhoria de produtividade dos recursos, conforme proposto nos itens 3.4.3 deste trabalho.

Espera-se com isso, diminuir o índice de abandono por insatisfação. Além disso, cria-se um filtro inicial que, por exemplo, verifica se a mercadoria desejada está disponível, evitando que o cliente fique no sistema sem que haja necessidade. Cria-se um ambiente de suporte, conforme proposto no item 3.6.5 deste trabalho.

Estima-se, com isso, diminuir em 10% o tempo do atendimento inicial. Além disso, espera-se que 15% dos clientes saiam do sistema nesse ponto por desejarem uma mercadoria que a loja não possui. Isso aumentaria, ainda, em cerca de 20% a satisfação dos clientes no atendimento inicial, modelado pelo abandono 1.

7.4.4 Quarto e quinto passos

Para melhorar as restrições, passando ao passo 4, seria necessário aumentar o número de vendedores e aumentar o espaço disponível, caso haja necessidade. Assim fazendo, haverá um ponto em que essas restrições se quebrariam. Nesse, uma nova restrição surgiria, o que pode ser previsto pelo modelo de simulação.

De acordo com item 3.4.3 deste trabalho, para melhorar o desempenho de funcionários, se pode ter funcionários que trabalhem muito ou com grande habilidade. Trabalhar muito não é uma provável solução, mas trabalhar com mais habilidade pode ser possível através de melhores procedimentos de seleção e treinamento.

7.5 ANÁLISE DO SISTEMA PROPOSTO

A partir das mudanças sugeridas, foi criado um novo sistema, o qual foi chamado de sistema proposto. Para avaliar sua viabilidade, esse sistema foi modelado e seu desempenho global comparado com o modelo do sistema atual.

7.5.1 Modelagem do sistema proposto

A partir da proposta de realizar um pré atendimento pelo caixa, fazendo um papel de suporte a restrição dos vendedores, um modelo de simulação foi desenvolvido. Para isso, o modelo do sistema atual foi modificado.

Uma estação de pré atendimento foi criada utilizando-se um módulo *server*. Em sua saída, há um módulo *chance* para simular o abandono dos clientes após esse atendimento prévio, de acordo com as estimativas feitas no item 7.4.3 deste trabalho. Em seguida, o cliente é enviado à estação de atendimento inicial, seguindo sua lógica normalmente.

Uma vez estimados os melhoramentos locais que essa modificação acarretará, conforme visto no item 7.4, os dados do modelo podem ser modificados. Resumindo, essas mudanças são:

- diminuição de 10% no tempo de atendimento inicial;
- aumento de 20% na satisfação dos clientes após o atendimento inicial (abandono 1);
- abandono de 15% dos clientes após o pré atendimento.

Após a inserção desses novos dados no modelo, rodando-o e verificando-o, foi possível quantificar a influência das mudanças propostas nas medidas de desempenho do sistema. Assim, foi possível medir a influência que melhorias locais acarretaram no sistema como um todo.

Com um tratamento estatístico semelhante ao aplicado no item 7.3.4.6, os resultados obtidos são os da figura 7.11.

7.5.2 Comparação dos resultados e conclusão

De posse dos resultados simulados para as medidas de desempenho do sistema atual e do sistema proposto, conclusões podem ser tiradas. Analisando as medidas de desempenho:

- **Faturamento por dia:** para a configuração proposta, houve um aumento do faturamento por dia. Na média, esse valor aumentou cerca de 12,5% na média.
- **Cientes por dia:** para o sistema proposto simulado, houve um aumento no número de clientes que efetuaram compras na loja. Na média, esse aumento foi de cerca de 14%.
- **Taxa de abandono:** esse índice também melhorou para a configuração proposta. A taxa de clientes que abandonaram a loja caiu em cerca de 3% na média, enquanto que a mesma taxa contando os clientes que não entraram na loja por essa estar lotada caiu aproximadamente 10%. Na verdade, nas simulações realizadas para a configuração proposta, nenhum cliente deixou de entrar na loja por excesso de clientes.
- **Tempo de espera:** esse foi o único índice que não apresentou uma melhoria. Para o tempo total de espera por qualquer recurso da loja, houve um aumento de cerca de 15%. Há uma notável diminuição no tempo em fila da atendimento inicial. No entanto, há um aumento no tempo de fila dos caixas, o que leva ao aumento no tempo de espera total.

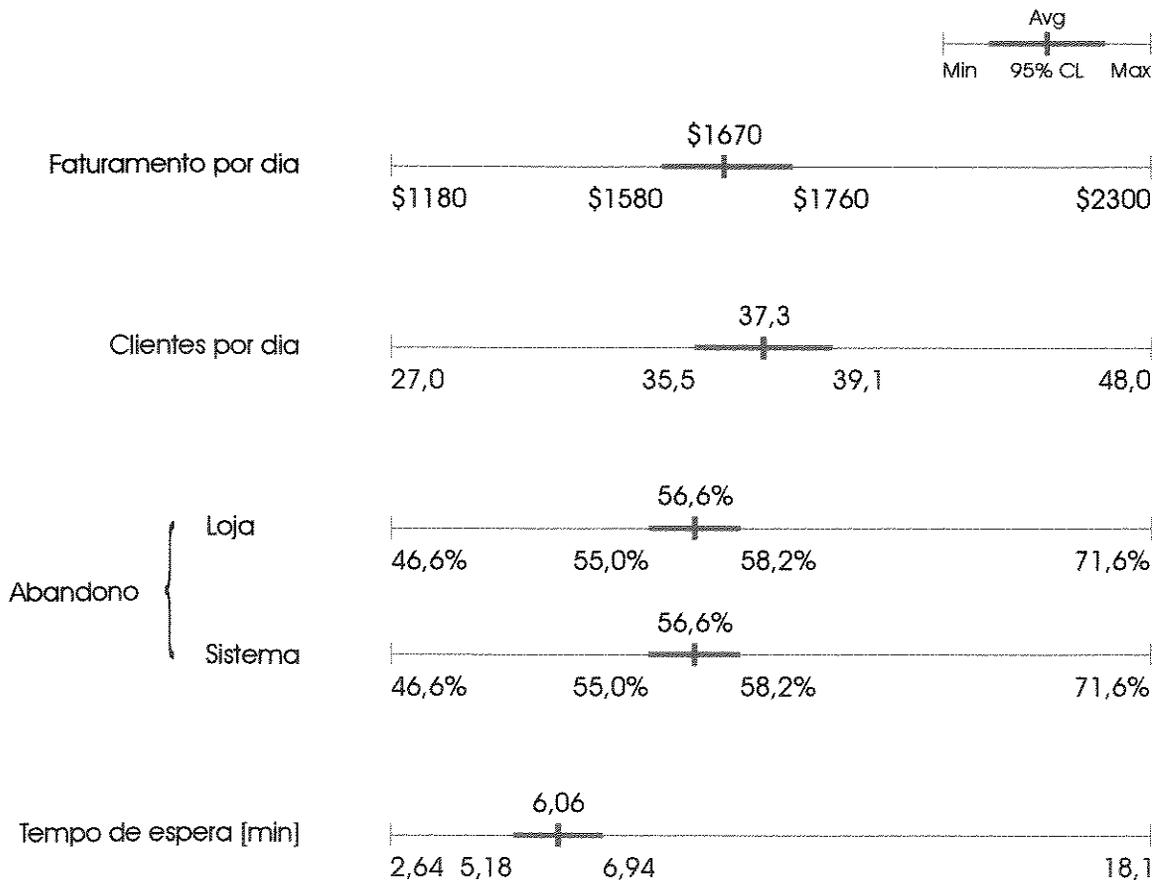


Figura 7.11 – Medidas de desempenho para o sistema proposto simulado

Analisando esses resultados e comparando os cenários chegou-se a conclusão de que as mudanças propostas são viáveis desde que uma atenção especial seja dada aos clientes esperando pelo atendimento. Os benefícios obtidos levam a aumentos na obtenção de dinheiro, o que, segundo a TOC, é a meta de qualquer empresa [item 4.5 deste trabalho] e pode ser medido monitorando, entre outros, o valor do ganho (faturamento).

Além desses benefícios mensurados, cria-se um atendimento diferenciado, o que aumenta a satisfação dos clientes e cria um fator de competitividade para a empresa. Foi seguido, assim, os fatores de diferenciação dos funcionários apresentados no item 3.4.1 deste trabalho.

7.5.3 Dinâmica das restrições

Para o modelo do sistema proposto foi, ainda, realizado um estudo de dinâmica das restrições. Para isso, a capacidade das restrições foi aumentada, de forma a evidenciar as novas restrições.

Inicialmente, a capacidade dos vendedores foi mantida a um nível normal, enquanto que a capacidade do espaço físico foi aumentada. Notou-se que não houve mudanças significativas nos resultados do sistema, o que mostrou que essa restrição foi menos solicitada na configuração proposta. Ainda assim, nenhuma nova restrição surgiu.

Em seguida, foi aumentada a capacidade dos vendedores, fazendo com que esses não mais se mostrassem como recursos restritivos. Assim, a única restrição que se manteve no sistema foi o espaço físico, não surgindo nenhuma outra restrição.

Por último foi aumentada a capacidade tanto do espaço físico como dos vendedores. Com isso, as duas restrições do sistema foram quebradas. Surgiu, assim, uma nova restrição, evidenciada pela formação de fila quando a demanda do sistema foi aumentada: o caixa.

Desse modo, foi possível prever os pontos futuros de atenção do sistema. Com isso, trabalhos preventivos podem ser executados quando da eminência de quebra de uma restrição. Auxilia-se, assim, o processo de melhoramento contínuo da empresa.

7.6 COMENTÁRIOS

Através desse estudo de caso foi possível avaliar alguns benefícios da integração proposta no capítulo 6 deste trabalho, como o poder de uma análise auxiliada por ferramentas

computacionais, a melhoria da performance de sistemas ao aplicar os conceitos da TOC e a maior segurança obtida com a integração.

Foi possível observar que conceitos desenvolvidos especificamente para os Sistemas de Manufatura podem ser adaptados para outros sistemas. Esse exemplo mostrou como enfoques específicos garantem o sucesso da análise de Sistemas de Serviço. Assim, novas configurações diferenciadas podem ser obtidas.

Mudanças que não levam a resultados óbvios podem ser melhor analisadas com essa integração. A predição da influência dessas no comportamento global do sistema auxilia na aceitação dessas mudanças, auxiliando na quebra de barreiras emocionais.

7.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FONSECA, J.S., MARTINS, G.A., TOLEDO, G.L. *Estatística Aplicada*. São Paulo: Editora Atlas, 1986.

KELTON, D.W., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI, D.A. *Simulation with Arena*. WCB/McGraw-Hill, 1998.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

Após o estudo da base teórica para a compreensão deste trabalho e da apresentação dos conceitos desenvolvidos, algumas conclusões puderam ser tiradas.

Os Sistemas de Manufatura e os Sistemas de Serviço foram estudados, apresentados e analisados. Suas características podem, então, ser comparadas e as necessidades levantadas. Puderam ser vistas necessidades em comum como aquelas relacionadas a custo, qualidade, flexibilidade, velocidade de resposta, prazos, confiabilidade e tecnologia. No entanto, abordagens diferentes são aplicadas nesses sistemas. Pode-se claramente observar a carência de métodos mais científicos para os Sistemas de Serviços em relação aos outros. Esse trabalho mostrou que é possível o desenvolvimento de métodos específicos para os Sistemas de Serviços baseados na tecnologia existente para as áreas de manufatura.

A Teoria das Restrições é capaz de gerar ferramentas poderosas para todas as áreas devido a amplitude de suas aplicações. Outro ponto importante em seus conceitos está a capacidade de auxiliar no foco dos pontos de real importância: as restrições. Assim, a Teoria das Restrições auxiliam na compreensão das verdadeiras necessidades dos sistemas.

A Simulação em Computador, enquanto ferramenta de análise de sistemas complexos, provê respostas rápidas a problemas normalmente solucionados por meio de ações intuitivas. Dessa forma, encontra-se uma vantagem a solução dos problemas apresentados pelos Sistemas de Manufatura e Sistemas de Serviço.

Analisando as formas de se utilizar a Simulação em Computador para a aplicação da Teoria das Restrições, é possível ver que a integração dessas é possível e pode se dar de diversas formas e com diversas utilidades.

Montando o ambiente proposto como objetivo desse trabalho, de apoio a análise de viabilidade antes de se implementar alguma mudança em um sistema, essa integração mostrou um grande potencial. Nessa, a Teoria das Restrições fez o papel de focalizar as ações a serem tomadas, atacando os pontos de real necessidade, enquanto que a Simulação em Computador auxiliou na avaliação das mudanças em relação a seus efeitos sobre o comportamento global dos sistemas.

Através do estudo de caso realizado, onde foi possível implementar os conceitos na prática, foi possível realizar algumas conclusões.

- As técnicas aplicadas as áreas de manufatura são bastante úteis aos Sistemas de Serviços, cobrindo as lacunas apresentadas no capítulo 3 deste trabalho. Elas se mostraram, amplas, podem ser aplicada nos diversos níveis desses sistemas, indo desde as áreas produtivas até as administrativas.
- Os conceitos desenvolvidos com a integração da Simulação em Computador com a Teoria das Restrições buscam a melhoria do sistema independentemente da tecnologia que será implementada. Eles induzem a uma análise que levanta os problemas, indica alguns caminhos a serem seguidos e avaliam qual desses caminhos levará aos melhores resultados.
- A eficiência dos desenvolvimentos obtidos com a integração proposta está relacionada ao fato de que a Teoria das Restrições e a Simulação em Computador se completam. Uma focaliza as ações a áreas específicas, enquanto a outra analisa a influência nos resultados do sistema global.
- A flexibilidade das ferramentas de Simulação em Computador se adequam bem ao processo de melhoramento contínuo da Teoria das Restrições, dando respostas rápidas uma vez que o sistema virtual esteja desenvolvido. Com isso, uma das necessidades apontadas nos capítulo 2 e 3, de velocidade de resposta está coberta. Isso cria um diferencial na corrida pela vantagem competitiva.
- Analisando os resultados obtidos para o estudo de caso realizado e pensando em implementações mais complexas, os conceitos desenvolvidos se mostram também eficientes. Um exemplo está na facilidade com que eles podem ser aplicados a sistemas já modelados, como os apresentados no item 5.2 deste trabalho.

Assim, a implementação dos conceitos desenvolvidos com o ambiente integrado pode levar aos resultados desejados. Eles auxiliam a empresa na busca por caminhos mais claros e seguros. No entanto, é uma implementação difícil, pois está associada às mudanças de paradigmas inerentes a Teoria das Restrições.

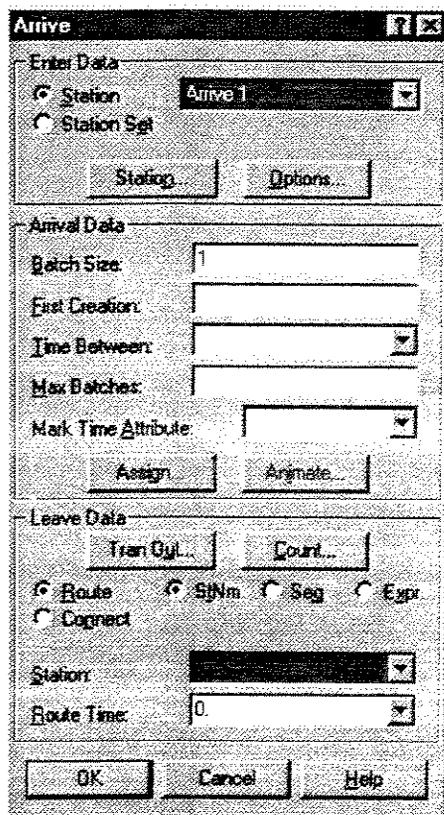
Analisando, ainda, os resultados deste trabalho, alguns desenvolvimentos futuros podem ser levantados, como:

- Criação de um ambiente computacional específico para análises que utilizem o ambiente integrado desenvolvido neste trabalho. Esse pode conter recursos avançados de interatividade e realidade virtual, além de estar ligado on-line com o sistema real.
- Expansão do estudo de caso para outras áreas como administrativa, de informações ou de projetos.

APÊNDICE

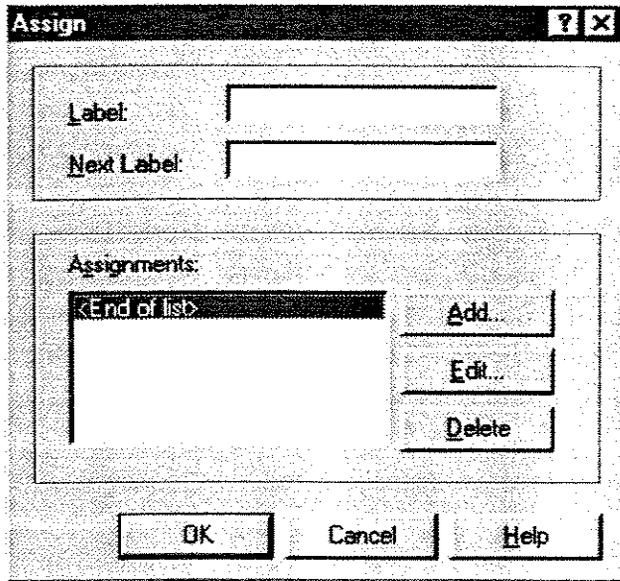
MÓDULOS ARENA

Neste apêndice estão contidas as caixas de diálogo dos módulos utilizados nos diversos modelos desenvolvidos neste trabalho. Para cada um desses, há, ainda, uma explicação sucinta de sua função [KELTON et al. 1998].



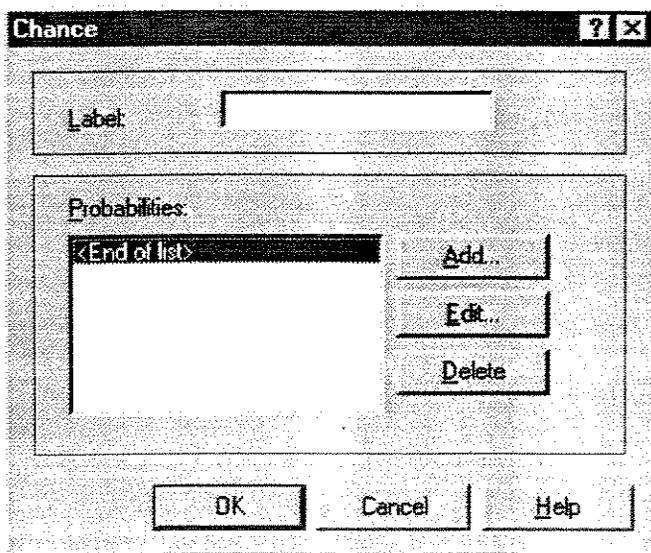
Utilizado para gerar entidades chegando em um modelo, especificando, ainda, tarefas a serem efetuadas nesse momento. Esse transfere essas entidades para outra estação ou módulo.

Módulo 1 – O módulo Arrive



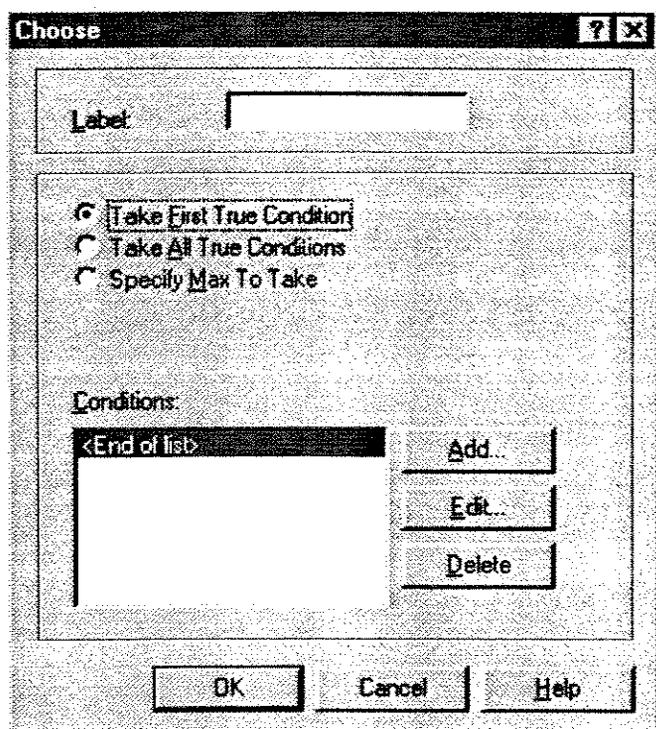
Possibilita que um valor seja atribuído a uma variável, taxa ou nível, atributo ou figura de entidade, estado de recurso, etc. Atribuições múltiplas podem ser efetuadas por um único módulo.

Módulo 2 – O módulo Assign



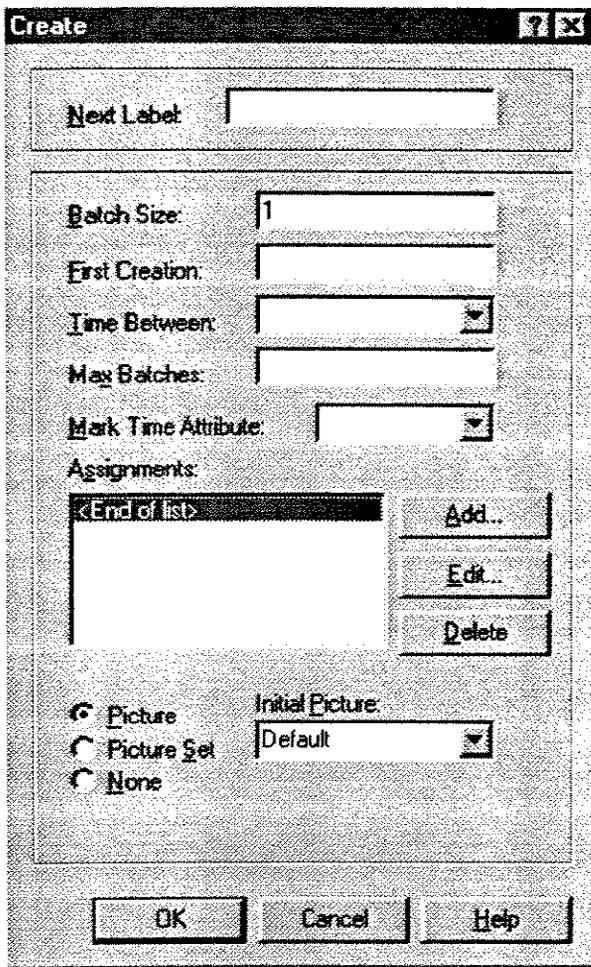
Provê que uma entidade siga uma ramificação baseada em decisões probabilísticas (*with*) e determinísticas (*else*).

Módulo 3 – O módulo Chance



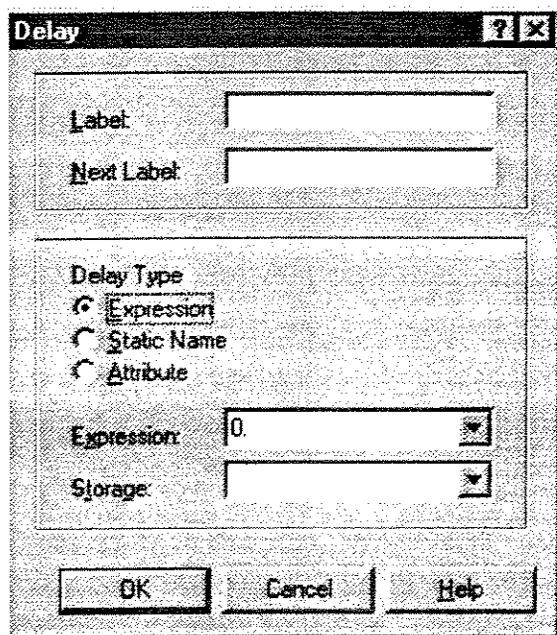
Provê a ramificação do caminho de uma entidade baseada em decisões condicionais (*if*), juntamente com decisões determinísticas (*else* e *always*). Os ramos destino são definidos por conexões gráficas ou através de rótulos de destino.

Módulo 4 – O módulo Choose



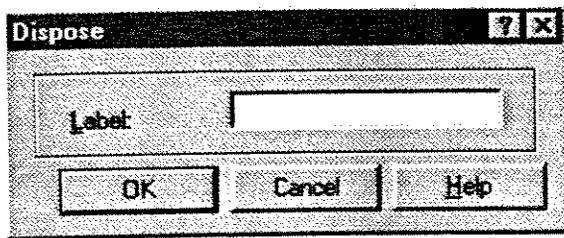
Gera entidades chegando no modelo, sendo capaz de atribuir valores para atributos, variáveis, taxas e níveis. As entidades podem ser criadas em lotes ou individualmente.

Módulo 5 – O módulo Create



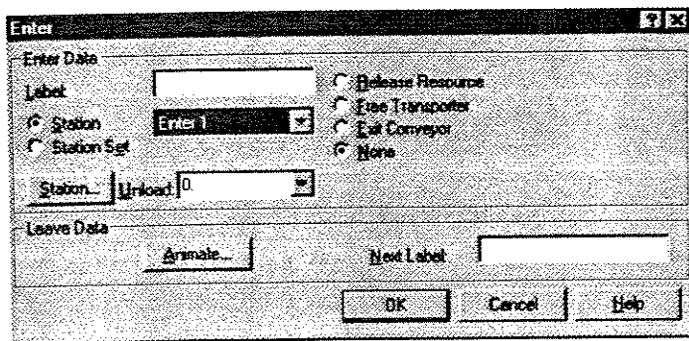
Retarda a entidade por uma determinada quantidade de tempo. Quando uma entidade chega a esse módulo, a expressão de atraso de tempo é efetuada e a entidade permanece nesse módulo pelo período obtido.

Módulo 6 – O módulo Delay



Retira uma entidade automaticamente do sistema. A entidade retirada libera seu registro para uma próxima entidade que venha a ser criada.

Módulo 7 – O módulo Dispose



Define a estação ou conjunto de estações correspondente a um lugar físico ou lógico onde o processo ocorre.

Módulo 8 – O módulo Enter

Leave [?] [X]

Enter Data
Label:

Leave Data
From Station:

Seize
 Request
 Access
 None

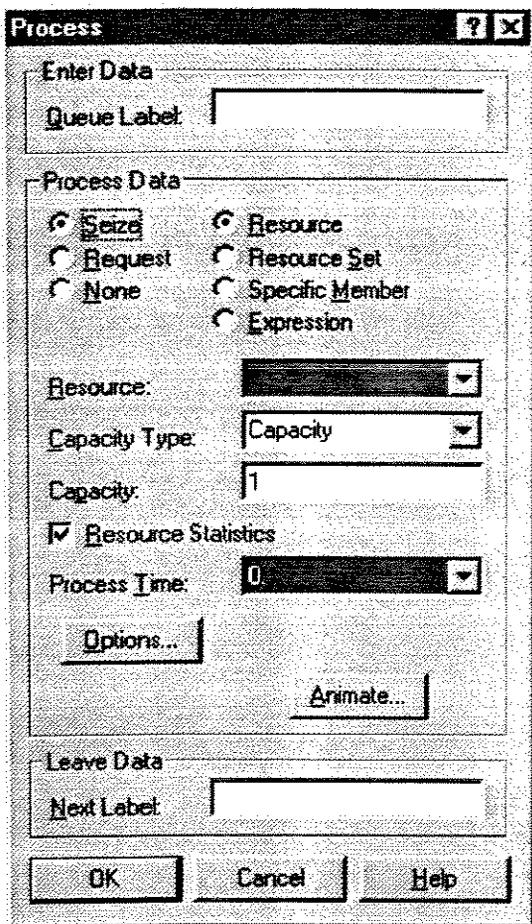
Load:

Route StNm Seg Expr
 Transport
 Convey To Station:
 Connect

Route Time:

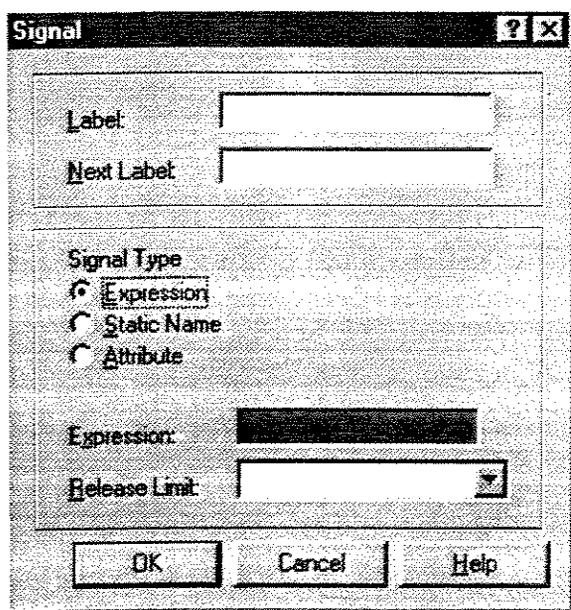
Utilizado para transferir uma entidade para uma localização ou módulo. Em sua saída, a entidade aguarda em uma fila até que o equipamento de transporte (esteira, veículo, recurso,...) esteja disponível.

Módulo 9 – O módulo Leave



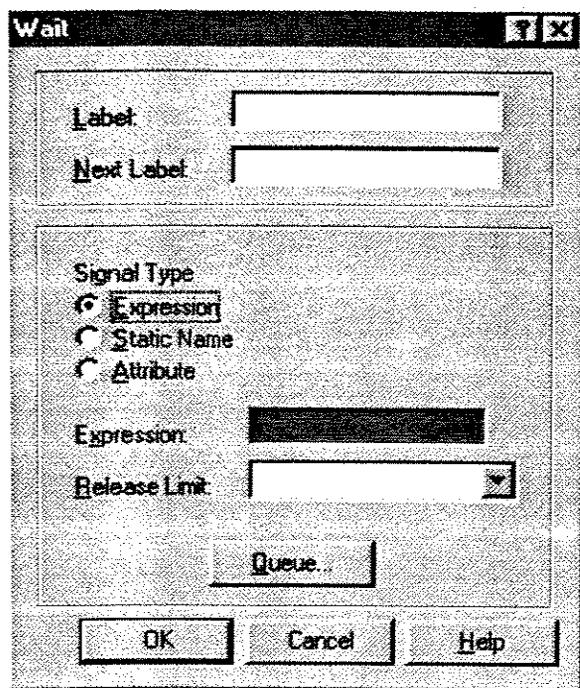
Utilizado para definir um passo do processo. Quando uma entidade entra nesse módulo, espera até que um determinado recurso/transporte esteja disponível.

Módulo 10 – O módulo Process



Envia um valor de sinal para cada módulo *Wait* do modelo e libera um número máximo de entidades.

Módulo 11 – O módulo Signal



Retêm uma entidade até que um sinal seja enviado. Entidades que chegam nesse módulo ficam aguardando em uma fila (se especificada), até que um sinal seja enviado por um módulo *Signal*. Quando um sinal é recebido, um número especificado de entidades é liberado.

Módulo 12 – O módulo Wait

AP.1- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI, D.A. *Simulation with Arena*. WCB/McGraw-Hill, 1998.