Campus de São Carlos

DISCUSSÃO, SISTEMATIZAÇÃO E
MODELAMENTO DO PROCESSO DE
REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE SIMULAÇÃO

ELIDIO DE CARVALHO LOBÃO

Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

DISCUSSÃO, SISTEMATIZAÇÃO E MODELAMENTO DO PROCESSO DE REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE SIMULAÇÃO

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 17 / 01 / 01

Ass:

ELIDIO DE CARVALHO LOBÃO

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Mecânica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

DEDALUS - Acervo - EESC

31100017136

São Carlos

2000

Class.	TESE-EESC
Cutt.	3073
Tombo	T0054/01

nt 1133705

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

L796d Lobão, Elidio de Carvalho
Discussão, sistematização e modelamento do processo de
realização de estudos de simulação / Elidio de Carvalho
Lobão. -- São Carlos, 2000.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto.

1. Simulação. 2. Modelagem. 3. Sistematização.
4. Sistemas baseados no conhecimento. I. Título.

Dedico à memória de meu pai, José de Araújo Lobão

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto, pela orientação e amizade durante o desenvolvimento desta tese;

Ao Prof. Dr. Renato Vairo Belhot, pela concessão de algumas horas de seu tempo e pelas importantes contribuições na realização deste trabalho;

Aos colegas Prof. Roberto Ideaki Tsunaki e Profa. Creuza Sayuri Tahara pelas contribuições na revisão deste trabalho;

Às empresas que abriram suas portas para que pudéssemos realizar algumas seções de aquisição de conhecimentos: Autosimulations, Brasil; CNPDIA Embrapa, Electronic Data Systems (EDS) Brasil; Ford do Brasil, General Motors do Brasil, Industria de Produtos Alimentícios Cory LTDA, Maxion Componentes Estruturais Ltda, Paragon, e aos respectivos profissionais que nos atenderam;

Aos professores Antonio Batocchio (Unicamp), Charles Harrell (BYU), Francisco Louzada Neto e Miguel A. Bueno da Costa (UFSCar) pelas contribuições na construção da base de conhecimentos;

Aos colegas do laboratório de simulação da EESC/USP pela amizade durante o desenvolvimento deste trabalho: Ana Paula, Anna Cristina, Álvaro, Edílson, Jandira, Mamoru, Orides, Marcelo, Osvaldo, Renato e Zé Luiz;

A todos os funcionários do departamento de engenharia mecânica, cujo trabalho de apoio é de suma importância para nossas pesquisas;

Ao governo do estado de São Paulo, por acreditar e investir no ensino público gratuito;

Ao Cnpq, pela bolsa concedida.

SUMÁRIO

Lista de figuras	i
Lista de tabelas	v
Resumo	vi
Abstract	vii
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Justificativas.....	4
1.2 - Objetivo.....	6
1.3 - Metodologia.....	6
1.4 - Estruturação do trabalho.....	8
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 - Arquivos de Informações.....	12
2.2 - Sistemas baseados no conhecimento.....	13
2.2.1. - Histórico do desenvolvimento dos sistemas especialistas..	16
2.2.2 - Benefícios do uso dos sistemas especialistas.....	17
2.2.3 - Aplicações de sistemas especialistas.....	19
2.2.4 - Uso de sistemas especialistas em simulação.....	20

2.2.5 - Arquitetura dos sistemas especialistas.....	21
2.3 - Base de conhecimento.....	23
2.4 - Aquisição do conhecimento	24
2.4.1 - O processo de aquisição do conhecimento.....	26
2.4.2 - Considerações relevantes à aquisição do conhecimento.....	28
2.4.2.1 - Ações preparatórias.....	28
2.4.2.2 - Fatores que podem influenciar no sucesso da aquisição do conhecimento.	30
2.4.2.3 - Dificuldades.....	32
2.4.3. - Seleção das fontes de conhecimento.....	36
2.5 - Simulação.....	37
2.5.1 - Histórico e conceitos.....	38
2.5.2 - Modelos físicos em escala.....	39
2.5.3 - Modelos matemáticos.....	40
2.5.4 - Linguagens de simulação e simuladores.....	41
2.5.5 - Aplicações da simulação.....	45
2.5.5.1 - Sistemas computacionais.....	45
2.5.5.2 - Sistemas de telecomunicações.....	46
2.5.5.3 - Fabricação	47
2.5.5.4 - Negócios.....	48
2.5.5.5 - Logística.....	48
2.5.5.6 - Assuntos governamentais.....	49
2.5.5.7 - Sistemas de saúde	49
2.5.5.8 - Ensino e treinamento.....	50
2.5.5.9 - Militar.....	51
2.5.6 - O Processo de simulação.....	52
2.6 - Considerações finais.....	55
CAPÍTULO 3 - AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO.....	57
3.1 - Tipos de conhecimento.....	57
3.1.2 - Classificação do conhecimento segundo sua profundidade.....	59
3.1.2.1 - Conhecimento superficial.....	59
3.1.2.2 - Conhecimento de raciocínio.....	62
3.1.2.3 - Conhecimento de resolução de problemas.....	63
3.1.2.4 - Conhecimento profundo.....	63
3.2 - Ferramentas para aquisição de conhecimento.....	65

3.2.1 - Métodos exploratórios.....	66
3.2.1.1 - RGA.....	67
3.2.1.2 - Fatores Críticos do Sucesso (FCS)	68
3.2.1.3 - Fragmentação de textos.....	69
3.2.2 - Entrevistas.....	69
3.2.2.1 - Entrevistas não estruturadas.....	72
3.2.2.2 - Entrevistas dirigidas.....	72
3.2.2.3 - Entrevistas estruturadas.....	73
3.2.3 - Métodos de debates (Brainstormings)	74
3.2.4 - Execução de tarefas	76
3.2.4.1 - "Pensar alto".....	77
3.2.4.2 - Observação.....	78
3.2.4.3 - "Forward scenario simulation".....	79
3.2.4.4 - "Teach back".....	79
3.2.4.5 - Comentários	79
3.2.5 - Métodos de revisão.....	80
3.2.5.1 - Análise de protocolo.....	80
3.2.5.2 - Revisão de documentação.....	81

3.3 - Proposta de sequenciamento do uso dos métodos de aquisição de conhecimento.....	81
---	----

CAPÍTULO 4 - O PROCESSO DE SIMULAÇÃO..... 87

4.1 Definição do problema e dos objetivos do estudo.....	91
4.2 Elaboração de um primeiro modelo para estudo do fluxo de dados e da hierarquia entre seus módulos.....	93
4.3 Aquisição dos dados.....	96
4.4: Validação e verificação dos dados.....	97
4.5 Construção de um modelo para realização do estudo de simulação..	98
4.6 Verificação e validação do modelo.....	99
4.7 Projetar o experimento.....	101
4.8 Executar o experimento e analisar os resultados.....	102
4.9 Refinar o projeto do experimento.....	103

4.10	Análise final dos resultados e documentação do processo.....	103
------	--	-----

4.11	- Considerações finais.....	106
------	-----------------------------	-----

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A EXECUÇÃO DA ETAPA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.108

5.1	- A metodologia para contatar empresas e especialistas.....	109
-----	---	-----

5.2	- Contatos realizados.....	113
-----	----------------------------	-----

5.2.1	- Industrias.....	113
-------	-------------------	-----

5.2.2	- Prestadores de serviços.....	116
-------	--------------------------------	-----

5.2.3	- Instituições de pesquisa.....	117
-------	---------------------------------	-----

5.3	- As questões abordadas no primeiro contato.....	119
-----	--	-----

5.4	- Dificuldades encontradas.....	124
-----	---------------------------------	-----

CAPÍTULO 6 - ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS.....126

6.1	- Aspectos gerais.....	127
-----	------------------------	-----

6.2	- Objetivos da empresa ao se decidir pela utilização da simulação.	129
-----	--	-----

6.3	- Análise da viabilidade de realização de um estudo de simulação.	130
-----	---	-----

6.3.1	- Fatores que determinarão o sucesso de um estudo de simulação.....	133
-------	---	-----

6.3.2	- Fatores que determinarão o fracasso de um estudo de simulação.....	135
-------	--	-----

6.4	- O processo de simulação.....	137
-----	--------------------------------	-----

6.4.1	- Definição do problema e dos objetivos do estudo.....	138
-------	--	-----

6.4.2	- Elaboração de um primeiro modelo para estudo do fluxo de dados e da hierarquia entre seus módulos.....	143
-------	--	-----

6.4.3	- Aquisição dos dados.....	144
-------	----------------------------	-----

6.4.4	- Validação e verificação dos dados.....	147
-------	--	-----

6.4.5	- Construção de um modelo para realização do estudo de simulação.....	149
-------	---	-----

6.4.6	- Verificação e validação do modelo.....	152
-------	--	-----

SUMÁRIO

6.4.7 - Projetar o experimento.....	153
6.4.8 Executar o experimento e verificar/validar os resultados...	155
6.4.9 Refinar o projeto do experimento.....	156
6.4.10 Análise final dos resultados e documentação do processo.....	157
6.5 - Os conhecimentos envolvidos.....	158
6.5.1 - Suporte ao estudo.....	160
6.5.2 - Modelagem.....	161
6.5.3 - Análise de resultados	162
6.6 – Sistematização do estudo de simulação	163
6.7 – Base de conhecimentos	166
6.8 – Considerações sobre as informações coletadas... ..	180
Capítulo 7 - CONCLUSÕES.....	184
7.1 – Propostas de futuros trabalhos.....	186
8 - BIBLIOGRAFIA.....	188
Anexo	202

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Relação de domínio entre os sistemas especialistas, sistemas baseados em conhecimento, inteligência artificial e programas computacionais (Resende et ali, 1997).....	14
Figura 2.2 - Evolução dos focos de pesquisa em inteligência artificial (Waterman, 1986)	17
Figura 2.3 - Arquitetura dos sistemas especialistas.....	22
Figura 2.4 - Abordagens de aquisição de conhecimento.....	25
Figura 2.5 - Círculo virtuoso do desenvolvimento de softwares de simulação.....	42
Figura 2.6 - Arquitetura de sistemas simuladores interativos e inteligentes (Lobão e Porto, 1996).....	45

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 - Estrutura hierarquizada de uma base de conhecimentos.....	60
Figura 3.2 - Estrutura representacional da estrutura da memória humana (Rubenstein e Firstenberg, 1995)	61

Figura 3.3 - Classificação de alguns dos diferentes tipos de conhecimento...	65
Figura 3.4 - Sequenciamento do processo de aquisição de conhecimento.....	85

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Roteiro proposto para sistematização de estudos de simulação (Lobão e Porto, 1997 - a)	90
Figura 4.2 - Representação de uma célula de manufatura através de diagrama de blocos.....	94
Figura 4.3 - Representação de uma célula de manufatura através de diagrama de fluxo de dados.	94
Figura 4.4 - Detalhamento do objeto "Estação 1".....	95
Figura 4.5 - Relação entre a confiabilidade dos dados de entrada do sistema e a qualidade dos resultados do estudo.....	97
Figura 4.6 - Relação entre o nível de complexidade do modelo construído, os custos de desenvolvimento do mesmo e a confiabilidade dos resultados dos estudos de simulação.....	99
Figura 4.7 - Esquematização do processo de estudo de simulação.....	107

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 - Questionário apresentado para gerência de engenharia.	120
Figura 5.2 - Questionário apresentado para equipe técnica que trabalha com simulação - parte I.....	121

Figura 5.3 - Questionário apresentado para equipe técnica que trabalha com simulação- parte II.....	122
Figura 5.4 - Questionário apresentado para gerência de recursos humanos.....	123

CAPÍTULO 6

Figura 6.1 - Relação entre tempo de execução de um estudo de simulação e a demanda de recursos para executá-lo.....	142
Figura 6.2 - Gráfico relacionando o grau de complexidade do modelo e o esforço necessário para construção de um modelo.....	150
Figura 6.3 - Modelo para sistematização de estudos de simulação.....	164
Figura 6.4 - Ficha padrão que compõe a base de conhecimento.	165
Figura 6.5 - Definição do problema e dos objetivos do estudo de simulação.....	167
Figura 6.6 - Síntese da etapa de análise de viabilidade do estudo de simulação.....	168
Figura 6.7 - Elaboração do modelo lógico.....	169
Figura 6.8 - Aquisição dos dados.....	170
Figura 6.9 - Verificação e validação dos dados.....	171
Figura 6.10 - Construção do modelo para simulação.....	172
Figura 6.11 - Verificação e validação do modelo.....	173
Figura 6.12 - Projetar o experimento.....	174
Figura 6.13 - Executar o experimento.....	175

Figura 6.14 - Refinar o experimento.....	176
Figura 6.15 - Análise dos resultados.....	177
Figura 6.16 - Documentação do estudo.....	178

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 – Diferenças entre programas convencionais e de inteligência artificial15

Tabela 2.2 - Abordagem para construção de uma base de conhecimento:.....27

Tabela 2.3 - Evolução dos sistemas de simulação (Lobão e Porto, 1996).....39

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 - Banco de dados relacional.....60

RESUMO

LOBÃO. E. C. Discussão, sistematização e modelamento do processo de realização de estudos de simulação. São Carlos: EESC, USP, 2000. 207p. Tese (Doutorado).

Atualmente pode-se verificar um aumento na demanda por estudos de simulação causado principalmente por dois fatores:

- necessidade de otimização de produtos e processos decorrente do crescimento do grau de competição entre as empresas, e
- aumento da facilidade do uso dos sistemas simuladores gerado pela incorporação de novos recursos como inteligência artificial, programação gráfica, realidade virtual, etc.

Esta situação induz a uma falsa impressão que este tipo de sistema simulador diminui a demanda de conhecimentos que o analista ou projetista de simulação precisa dominar para obter resultados válidos e consistentes da realização do estudo de simulação.

O objetivo deste trabalho é construir uma base de conhecimentos a respeito da realização de estudos de simulação que permita sistematizar uma metodologia apropriada para realização de estudos de simulação de eventos discretos, e realizar uma investigação sobre os conhecimentos que o analista/projetista de um estudo de simulação deve dominar para obter resultados consistentes do mesmo.

Palavras-chave: Simulação, Modelagem, Sistemas Baseados no Conhecimento, Sistematização.

ABSTRACT

LOBÃO. E. C. Process discussion, systematization and modelling of simulation studies accomplishment. São Carlos: EESC, USP, 2000. 207 p. Thesis (Doctorate).

Recently an increase demand by simulation studies can be verified, caused mainly by two factor:

- need of products and processes optimization due to the growth of the competition degree among the companies, and
- an increase of the easiness of the systems simulators use generated by the incorporation of new resources as artificial intelligence, graphic programming, virtual reality, etc.

This situation induces to a false impression that this type of system simulator decreases the demand of knowledge that the simulation analyst or planner needs to dominate to obtain valid and consistent results of the accomplishment of the simulation study.

The objective of this work is to build a base of knowledge regarding the accomplishment of simulation studies that allows to systematize a methodology adapted for accomplishment of studies of simulation of discreet events, and to accomplish an investigation on the knowledge that the analyst/planner of a simulation study should dominate to obtain consistent results of the same.

Key Words: Simulation, Modeling, Knowledge Based Systems, Systematization.

1 - INTRODUÇÃO

O processo de globalização da economia mundial, com a queda de barreiras comerciais entre os países permite o fácil acesso das empresas de qualquer parte do globo aos mercados domésticos das nações. Este quadro resulta num drástico aumento da competição dentro destes mercados, que eram cativos das “empresas nacionais”. Dentro deste contexto, há a necessidade de que estas “empresas nacionais” alcancem maiores níveis de competitividade para poderem enfrentar com boas chances de sucesso os novos concorrentes vindos das mais variadas partes do mundo.

Rattner (1990) ressalta a este respeito:

“Se for válida a tese de mudança do paradigma industrial-tecnológico, caracterizado por uma transição do Fordismo para sistemas flexíveis, o Brasil e outros países do terceiro mundo talvez encontrem nesse processo sua “janela de oportunidades” para efetuar um salto qualitativo no seu desenvolvimento”.

Este novo *status quo* implica na necessidade de produção de produtos com qualidade sempre crescente a preços cada vez menores. Neste novo paradigma produtivo resultante do aumento da competitividade, exige-se das empresas que busquem aumentar seu poder de competição, o que pode ser obtido com providências como (Kosturiak e Gregor (1999); Vendrameto (1994)):

- aumento na qualificação da mão de obra com investimentos em treinamento de recursos humanos; e
- cortes substanciais nos custos das suas diversas atividades, como desenvolvimento de novos produtos, operação das instalações, etc.

Dentre as várias alternativas disponíveis, a simulação é uma das ferramentas mais eficazes para alcançar estes objetivos com custos efetivamente reduzidos quando comparados com os custos da realização das mesmas tarefas utilizando os sistemas reais (Daimler-Benz, 1995-II). A execução de um estudo de simulação para obtenção de informações a respeito do sistema em estudo traz consigo uma série de vantagens:

- permite que fenômenos de duração muito curta sejam observados em detalhes, reduzindo-se a velocidade em que o “tempo virtual” flui, executando-se uma replicação de simulação “passo a passo” (Akabay, 1996);
- permite também que fenômenos de duração muito longa sejam executados de forma acelerada, podendo então ser observados em um período curto de tempo fazendo-se o “tempo virtual” fluir mais rapidamente (Akabay, 1996);

- possibilita prever e evitar os acidentes e/ou incidentes que frequentemente ocorrem quando da implantação de um sistema real (Ranky, 1983);
- durante atividades de capacitação de recursos humanos, evita que equipamentos e profissionais em treinamento sejam expostos a riscos desnecessários (Drews e Weyrich, 1997);
- dispensa a construção de protótipos para testes, o que permite poupar recursos econômicos e de emprego de pessoal (Drews e Weyrich, 1997);

Os sistemas de simulação apresentam uma evolução que pode ser vista como consequência do desenvolvimento do conhecimento humano nas tecnologias (informática, eletrônica, etc.) de suporte. Assim, para construção de um modelo nos primeiros sistemas de simulação exigia-se que os profissionais que trabalhavam nesta área possuísem amplos conhecimentos sobre programação de computadores, delineamento de experimentos, ferramentas estatísticas, modelagem e sobre o funcionamento do sistema em estudo (Lobão e Porto, 1996).

No entanto, atualmente o estado da arte em eletrônica e informática possibilitou a incorporação de uma série de recursos aos novos ambientes para desenvolvimento de estudos de simulação, tais como:

- interface gráfica de diálogo com o usuário, que permite uma utilização mais amigável do software (Klingstam e Gullander, 1999);
- programação gráfica com manipulação de objetos parametrizáveis que facilitam bastante a tarefa de desenvolvimento de modelos (ProModel, 1994);

- recursos de realidade virtual que possibilitam maior interatividade com os usuários (Kim et al., (1998), Jones e Cygnus, (1993));
- módulos de inteligência artificial para verificação de inconsistências no modelo construído (Padgett e Padgett, 1995);
- módulos de sistemas especialistas e/ou sistemas tutores para auxílio na execução das diversas fases do estudo (Macpherson e Reddy, 1996), (Aussenac-Gilles e Matta, 1994)); etc.

Estes recursos trazem uma série de facilidades ao usuário durante o processo de construção do modelo para simulação. Auxiliam-no durante o processo, suprimindo algumas possíveis deficiências de conhecimentos apresentadas pelo mesmo.

1.1 - Justificativas

Estes dois fatores anteriormente mencionados (aumento da demanda por simulação que é gerado pelo acirramento na competição industrial, e aumento da facilidade do uso de sistemas simuladores) conduzem a um quadro que permite que pessoas sem o preparo adequado realizem estudos de simulação. Estes estudos no entanto, na maioria das vezes conduzirão a resultados sem a necessária consistência com o mundo real. Esta situação pode trazer graves consequências para operadores, para o meio ambiente e para a comunidade, tanto do ponto de vista de sua integridade quanto do ponto de vista econômico. Esta afirmação pode ser apoiada ainda em Korn et al., (1999); que em “Application of multiparadigm simulation techniques to manufacturing process”, ressaltam as dificuldades que surgem para os usuários de simulação

quando tem os primeiros contatos com um simulador de nova geração, que incorpore as novas tecnologias acima mencionadas.

Diversos estudos e trabalhos técnicos têm sido publicados relatando o desenvolvimento e aplicação dos mais diversos tipos de simuladores inteligentes (Perera e Liyanage (2000), Ehrlich e Lilegdon (1996), Vitanov et al., (1994), Calori et al., (1994)). Estes auxiliam o usuário de simulação nas possíveis deficiências de conhecimentos que eventualmente os mesmos possam apresentar com relação a algumas das áreas acima citadas.

De acordo com trabalhos publicados no entanto, pode-se detectar que um tema tem sido negligenciado pelos pesquisadores: é nítida a ausência de trabalhos que abordem o processo de desenvolvimento de estudos de simulação com enfoque direcionado à sistematização do mesmo, considerando-se ainda os conhecimentos envolvidos para realização de cada uma de suas fases.

E o processo de planejamento e execução de um estudo de simulação é justamente uma área de conhecimento onde a experiência acumulada representa um fator decisivo no sucesso do projeto, conforme afirma Pereira (1993):

“...pode-se aprender facilmente a utilização de um software, no entanto a tarefa de especificação só é dominada com o tempo, e demanda experiência...”.

Tem-se ainda que, este tipo de tarefa, dependente da experiência acumulada das pessoas é justamente aquela onde a aplicação de sistemas baseados em conhecimento é mais indicada e produz as melhores relações

custo/benefício, conforme afirmam diversos autores, como Turban, (1992); Harmon e Sawyer, (1990); Belhot, (1993); Rich e Knight, (1993).

1.2 - Objetivo

Neste trabalho, o objetivo principal é construir e discutir uma base de conhecimentos que permita modelar e sistematizar o processo de realização de estudos de simulação (especificamente para sistemas de manufatura discretos). O processo de simulação de sistemas de manufatura a eventos discretos é abordado sob dois aspectos principais:

- uma discussão sobre a metodologia apropriada para realização de estudos de simulação de eventos discretos, que resultará na proposição de um modelo que possibilite sistematizar o processo e permita a sua execução por etapas; e
- quais as áreas de conhecimentos deverão ser dominadas por um profissional (ou uma equipe de profissionais) para realizar cada uma das etapas do processo de simulação discutido.

1.3 - Metodologia

Para otimizar a tarefa de aquisição de conhecimentos que fornecerá as informações para discussão do processo de simulação, será necessária a utilização de uma metodologia apropriada. De forma a propor uma metodologia que seja adequada a este caso, inicialmente serão abordados

diferentes tipos de conhecimento, os quais serão agrupados de acordo com a sua profundidade (quantidade de informação que o mesmo contém). Serão também abordadas diversas ferramentas e metodologias de aquisição de conhecimento. Será então construída uma estrutura de referência para sequenciamento do uso destas ferramentas de acordo com a fase do processo de aquisição do conhecimento que está sendo executada e o tipo de conhecimento que se pretende coletar (considerando-se a classificação dos tipos de conhecimento proposta).

Diferentes fontes de informações servirão de base para coleta de dados:

- livros e artigos técnicos publicados;
- disciplinas do programa de pós-graduação da área de concentração em Engenharia Mecânica da EESC/USP, campus de São Carlos;
- visitas a empresas que fazem uso da simulação no seu dia-a-dia, sejam como desenvolvedoras e/ou representantes comerciais, ou ainda como consultoras ou usuárias finais de simulação, e
- entrevistas com especialistas.

A partir deste conhecimento coletado, será discutido e analisado o processo de realização de um estudo de simulação desde o seu início até o final. Serão abordados ainda quais os conhecimentos necessários para realização deste estudo, procurando identificar junto a organizações que trabalham com simulação, quais os temas apresentam uma deficiência maior.

1.4 - Estruturação do trabalho

Visando obter uma melhor organização deste trabalho, esta tese foi dividida em 7 capítulos, os quais serão descritos a seguir.

No capítulo 2 “Revisão Bibliográfica” , será apresentada uma revisão sobre assuntos relacionados com o tema deste trabalho. Serão abordados:

- os sistemas baseados no conhecimento: seu histórico de desenvolvimento; os sistemas especialistas, algumas de suas aplicações, os benefícios que podem ser obtidos de sua utilização; e sua arquitetura comentando os seus diversos módulos;
- a tarefa de aquisição de conhecimento: o processo de aquisição, ações preparatórias, alguns dos problemas mais comuns que podem aparecer, a seleção de fontes de conhecimento;
- simulação: seus conceitos básicos, o histórico de seu desenvolvimento, uso e algumas das áreas de aplicação, e uma revisão dos trabalhos que abordam o desenvolvimento do processo de simulação.

No capítulo 3 “Aquisição de Conhecimento”, será abordada a tarefa de aquisição do conhecimento. Serão discutidos os tipos de conhecimento, para os quais será proposta uma classificação de acordo com a quantidade de informações que o mesmo contém. Será também realizada uma discussão sobre as técnicas e ferramentas de aquisição de conhecimento que, levando em consideração a classificação proposta anteriormente, servirá de embasamento para proposição de um sequenciamento das técnicas e ferramentas de aquisição a serem utilizadas para construção da base de conhecimento.

No capítulo 4 “O Processo de Simulação”, será apresentada uma proposta de um roteiro para sistematização de estudos de simulação, sobre o qual será embasado o processo de aquisição de conhecimento para construção da base de conhecimentos sobre estudos de simulação. Este roteiro proposto é resultante da exploração inicial das seguintes bases de conhecimento:

- livros publicados na área;
- artigos e trabalhos técnicos recentemente publicados em congressos e revistas técnicas;
- notas de aulas de disciplinas do programa de pós-graduação da Universidade de São Paulo;
- entrevistas com pesquisadores do laboratório de simulação e controle de eventos discretos do departamento de engenharia mecânica da EESC/USP;
- experiência do próprio autor deste trabalho no desenvolvimento de estudos de simulação.

A partir deste roteiro, serão realizadas entrevistas e discussões com especialistas de algumas empresas e universidades que utilizam a simulação como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão. Esta etapa permitirá que este roteiro proposto seja então enriquecido e refinado até que venha a resultar num modelo final para sistematização do processo de realização de um estudo de simulação.

No capítulo 5 serão comentadas e discutidas as etapas de aquisição de conhecimento realizadas em empresas e universidades. Estas etapas tomarão por base a discussão sobre as ferramentas de aquisição de conhecimento (Capítulo 3) e o roteiro proposto para sistematização de estudos de simulação (Capítulo 4).

No capítulo 6 serão discutidas e analisadas as informações obtidas junto aos especialistas em simulação. Serão apresentados:

- um modelo gráfico que sintetiza as informações contidas no capítulo anterior;
- construção de um modelo que permite sistematizar um estudo de simulação; e
- uma investigação sobre quais as áreas de conhecimento deverão ser dominadas por um profissional (ou uma equipe de profissionais) para realizar cada uma das etapas do processo de simulação discutido nas seções anteriores.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões deste trabalho, bem como algumas propostas de futuros trabalhos que poderão vir a ser realizados utilizando-se como subsídios as informações aqui contidas.

Finalizando, são apresentadas as referências bibliográficas citadas nesta tese e um anexo contendo um exemplo de como a base de conhecimentos poderá ser implementada numa estrutura de regras de produção.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na construção de um modelo para sistematização de estudos de simulação como o proposto neste trabalho, é necessário o entendimento de conceitos envolvidos na aquisição de conhecimentos, e sobre o processo de desenvolvimento de estudos de simulação. Sendo assim, neste capítulo é apresentada uma revisão sobre assuntos relacionados com estes temas. São abordados:

- os sistemas baseados no conhecimento e sistemas especialistas: seu histórico de desenvolvimento, algumas aplicações, benefícios de sua utilização e arquitetura;
- A aquisição de conhecimento: o desenvolvimento do processo de aquisição, algumas ações preparatórias, seleção de fontes de conhecimento;
- a simulação: alguns conceitos básicos; seu histórico de desenvolvimento, e algumas áreas de aplicações.

2.1 – Arquivos de Informações

O fluxo e a disponibilização de informações, foram fatores fundamentais na determinação da agilidade e competitividade das grandes organizações e corporações desde o início do desenvolvimento das mesmas.

Num primeiro momento, os esforços estavam concentrados na aquisição e disponibilização de informações a respeito de temas relevantes a administração da organização - e centravam-se em metodologias e tecnologias tanto para adquirir e filtrar estas informações quanto para fazê-las fluir dentro da organização.

Uma vez consolidada esta fase, a corrida pela competitividade apontou para o enriquecimento destas bases de informações. O novo paradigma exigia não mais apenas uma grande quantidade de informações, mas a construção de bases de dados onde estas informações estivessem correlacionadas, permitindo assim a otimização do processo de organização, recuperação e manipulação das mesmas. Houve então uma ênfase na utilização de bancos de dados relacionais, que vieram a receber um enorme impulso com o desenvolvimento da informática e o aparecimento de programas computacionais para gerenciamento e manipulação de bancos de dados.

Novamente consolidada mais uma fase, a competição entre as organizações impõe um novo paradigma sobre estas bases de informações, e não bastam mais a armazenagem e manipulação de dados correlacionados: a sobrevivência depende agora da capacidade de armazenar a maneira como estes dados são gerados; ou ainda - como estes devem se relacionar. Ou seja: nesta nova fase é necessário o armazenamento do conhecimento, em bancos de dados que passam a ser denominados Bases de Conhecimentos.

Uma constatação no entanto pode ser ressaltada: os processos e metodologias empregados para construção destas bases de informações/dados/conhecimentos ainda podem ser utilizados, apenas recebendo adaptações e melhorias de acordo com as novas tecnologias que se apresentam.

Serão abordadas as bases de conhecimento dentro do contexto de uma das ferramentas mais utilizadas e mais apropriadas para sua disponibilização e manipulação: os sistemas especialistas.

Mais adiante será apresentada uma discussão sobre a relação entre o tipo de problema abordado e as ferramentas de aquisição de conhecimento mais indicadas para o caso em questão.

2.2 - Sistemas baseados no conhecimento

Os programas computacionais podem ser subdivididos em dois subgrupos: o grupo de programas convencionais e o grupo de programas de inteligência artificial. Os programas de inteligência artificial podem ser vistos como um subgrupo dos programas computacionais convencionais que chegam aos seus resultados através da execução de heurísticas, enquanto que os programas computacionais convencionais chegam a seus resultados através da execução de algoritmos seqüenciais. Os sistemas baseados em conhecimento por sua vez, podem ser vistos como um subconjunto dos programas computacionais desenvolvidos utilizando algoritmos de inteligência artificial. Este subconjunto é formado por aqueles programas que tornam explícito o domínio do conhecimento, além de separá-lo do restante do sistema em um módulo independente geralmente denominado de Base de Conhecimento.

Já os sistemas especialistas podem ser vistos como um subconjunto dos sistemas baseados em conhecimento, compreendendo uma parcela destes que é utilizada algumas vezes substituindo (e na maioria das vezes, multiplicando) a presença de peritos humanos na resolução de programas complexos do mundo real; problemas estes que exigem a atuação de um perito para sua solução.

Esta relação de domínio entre as diferentes classes de programas para computadores é explicitada na figura 2.1 a seguir.

Figura 2.1 - Relação de domínio entre os sistemas especialistas, sistemas baseados em conhecimento, inteligência artificial e programas computacionais (Resende et al., 1997).

Assim, pode-se dizer que todo sistema especialista é um sistema baseado no conhecimento, e que todo sistema baseado no conhecimento é um programa de inteligência artificial. Porém esta não é uma relação biunívoca; e

o raciocínio inverso não é verdadeiro. Pode-se diferenciar os programas de inteligência artificial dos sistemas computacionais convencionais basicamente pelas características indicadas na tabela 2.1 a seguir.

Tabela 2.1 - Diferenças entre programas convencionais e de inteligência artificial

Programa de inteligência artificial	Programa computacional convencional
Chegam a seus resultados através da execução de heurísticas	Chegam a seus resultados através da execução de algoritmos
Simulam o raciocínio humano. Inferem e fazem julgamentos	Efetuem tarefas puramente mecânicas
Manipulam símbolos e conceitos	Manipulam exclusivamente números e caracteres

Conforme já mencionado, um sistema especialista é um tipo programa de inteligência artificial que possui a capacidade de resolver problemas suficientemente complexos tal que, quando resolvidos por pessoas exigem a atuação de um profissional perito no domínio de conhecimento em questão. Belhot (1993) ressalta que existe pouca concordância entre os pesquisadores sobre quais os programas podem ser adjetivados como sistemas especialistas, na diferenciação entre os sistemas especialistas e os sistemas baseados no conhecimento. Várias definições propostas por diferentes autores para os sistemas especialistas podem ser encontradas na literatura, como por exemplo:

“Os sistemas especialistas são programas computacionais que solucionam problemas que normalmente são solucionados por especialistas humanos” (Rich e Knight 1993);

“Um sistema especialista é um conjunto de programas de computador que tentam igualar ou superar a habilidade humana, aplicando as técnicas de inferência lógica a uma base de conhecimento” (Brooks, 1987);

“Um sistema especialista é um programa de computador inteligente que usa conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas que são difíceis o suficiente para exigir uma significativa especialização humana para sua solução” (Grant, 1986);

2.2.1. - Histórico do desenvolvimento dos sistemas especialistas

Os principais fundamentos para desenvolvimento de pesquisas em inteligência artificial foram estabelecidos na década de 1950. Desta época é o desenvolvimento da linguagem LISP, assim como o início dos estudos do processo de tomada de decisão em termos de regras e fatos condicionais por psicólogos que estudavam o processo cognitivo (Belhot, 1993).

Na década de 1960 os pesquisadores tentavam simular o processo de raciocínio humano buscando uma metodologia generalista que permitisse a resolução de uma vasta gama de problemas; isto é: buscavam um método de resolução de problemas de propósito geral, que possibilitasse a resolução de diferentes tipos de problemas com um índice de desempenho aproximadamente uniforme. Este se mostrou um caminho equivocado no entanto; e uma nova direção de pesquisa foi então proposta durante a década de 1970: a de enfatizar não tanto o esquema de inferências para resolução dos problemas, mas principalmente a quantidade de conhecimento que se poderia embutir nos programas - e isto levou ao desenvolvimento de programas especializados na resolução de determinados tipos de problemas; os quais passam a ser denominados sistemas especialistas. Alguns autores (Belhot, 1993; e Genaro 1986) ressaltam que a Universidade de Stanford foi pioneira e principal centro de pesquisa desenvolvedor dos primeiros sistemas

especialistas. Genaro (1987) resalta ainda que os primeiros sistemas especialistas começaram a surgir comercialmente a partir de 1980 e alguns exemplos são o DENDRAL, o MYCIN e o PROSPECTOR. A figura 2.2 (Waterman, 1986) esquematiza a evolução dos focos de estudo adotado no desenvolvimento da tecnologia da inteligência artificial.

Figura 2.2 - Evolução dos focos de pesquisa em inteligência artificial (Waterman, 1986)

2.2.2 - Benefícios do uso dos sistemas especialistas

Muitos benefícios podem ser obtidos da implementação e aplicação de sistemas especialistas nos mais diversos tipos de organização, seja em substituição a peritos humanos, ou em colaboração com os mesmos. Alguns destes benefícios são comentados a seguir:

- muitas tarefas que exigem o conhecimento de um especialista na sua resolução podem ser classificadas como rotineiras, não exigindo criatividade; apenas o conhecimento acumulado. Para execução deste tipo de tarefas o perito pode ser substituído por um sistema especialista,

sendo então liberado para atuação em tarefas que exijam criatividade, interagindo com estes problemas apenas em raras ocasiões ;

- um perito é um funcionário de alto custo por causa de seu grau de qualificação. Desta forma, o uso de um sistema especialista pode “multiplicar” a presença do mesmo dentro da empresa, como se o mesmo estivesse em vários lugares ao mesmo tempo, pois o sistema especialista contém uma boa parte de seu conhecimento.
- quando ocorre um afastamento do perito, seja temporário (caso de doença, viagem, etc.) ou definitivo (demissão, falecimento) o uso de sistemas especialistas permite que o conhecimento do perito (ou ao menos uma parte significativa do mesmo) permaneça sob domínio da organização;
- em situações de alto risco, o emprego de sistemas especialistas permite que o conhecimento e a experiência do perito possam estar a disposição das pessoas que trabalham nestes locais altamente perigosos (usinas nucleares, hospitais de doenças infecciosas, etc.), sem a necessidade de se colocar em risco também a vida de mais uma pessoa (no caso, o especialista).
- na formação de recursos humanos, o emprego de sistemas especialistas muitas vezes atuando como sistemas tutores permite que a transmissão de conhecimento seja realizada na ausência (ou com a presença de um reduzido número) de peritos. Assim, um grande grupo de usuários pode ter acesso à experiência do especialista, permitindo a otimização do uso deste conhecimento.

2.2.3 - Aplicações de sistemas especialistas

Em concordância com a grande quantidade de vantagens que podem advir do emprego dos sistemas especialistas (comentadas no item anterior), tem sido grande a variedade de aplicações dadas aos mesmos nas mais diversas áreas de conhecimento, conforme alguns exemplos listados a seguir:

- diagnose médica: um dos primeiros sistemas especialistas desenvolvidos, o MYCIN é um programa utilizado para auxiliar na análise e diagnóstico de casos clínicos, mais especificamente, de doenças ligadas ao sangue (Shortlife, 1975);
- estudo comportamental: o sistema PARRY (Colby, 1975) foi desenvolvido para testar teorias psicológicas sobre o comportamento humano;
- consultoria de corretagem: o *Underwriting Advisor* é um sistema especialista desenvolvido sob encomenda de algumas companhias seguradoras dos USA para aconselhamento de seus corretores na tarefa de determinar o valor das apólices (Harmon, 1988);
- bioquímica: o DENDRAL realiza inferências sobre estruturas moleculares de compostos desconhecidos usando dados de espectroscopia de massa e análise de ressonância magnética (Belhot, 1993);
- geologia: o Stanford Research Institute desenvolveu o PROSPECTOR, um sistema especialista para auxílio na prospecção de depósitos de minérios. O PROSPECTOR descobriu um depósito de molibdênio nos EUA, em 1980 (Belhot, 1993);

- telecomunicações: nos Estados Unidos, as forças armadas tem feito uso do EXTELC-SYS (*Tripler Army Medical Center Expert Telephone Configuration System*), um sistema especialista projetado para auxiliar a distribuição e configuração de linhas telefônicas em uma base militar dos U.S.A., no Hawai. (Turban, 1992)

2.2.4 - Uso de sistemas especialistas em simulação

Conforme já ressaltado no capítulo 1, o amplo desenvolvimento tecnológico observado nos últimos tempos, tanto no que tange a equipamentos quanto a programas computacionais, aponta para uma tendência de um uso cada vez maior de sistemas baseados no conhecimento por ambientes/sistemas simuladores. Vários trabalhos foram publicados nos últimos anos relatando esta relação em diferentes níveis e formas de integração.

Macpherson e Reddy, (1996) relatam o desenvolvimento de um sistema para projeto de fontes de tensão chaveadas onde, a partir dos dados de especificação do cliente, um sistema especialista gera um projeto da mesma que tem então seu funcionamento simulado em um software do tipo SPICE. O resultado desta simulação pode então ser confrontado com aqueles esperados, e possíveis modificações são propostas na especificação do projeto, realimentando o processo até que um resultado satisfatório seja atingido.

Aussenac-Gilles e Matta (1994) apresentam uma metodologia de resolução de problemas (*problem solving*) que faz uso da simulação para, a partir de algumas hipóteses iniciais, chegar á solução do problema proposto.

Vitanov et al., (1994) apresentam um sistema baseado no conhecimento para otimização do processo de modelagem (KAMOS – Knowledge Assisted Modelling and Optmization System) de sistemas flexíveis de manufatura

(FMS) que realiza em tempo real a checagem e validação dos modelos construídos.

Calori, et al. (1994) apresentam um sistema baseado no conhecimento denominado FRAME que auxilia o usuário durante o processo de construção de modelos para estudos sobre poluição do ar.

Rozenblit e Hu, (1992) utilizam os resultados de um simulador para alimentar um sistema especialista que auxilia o projetista na especificação de parâmetros de projeto de sistemas complexos, utilizando o conceito SES (System Entity Structure).

Heggestad (1991), em “Expert systems in communications system control” relata o uso da simulação em atividade de treinamento e qualificação profissional, utilizando um sistema especialista como “tutor” do operador trainee.

2.2.5 - Arquitetura dos sistemas especialistas

Resende (1990) ressalta que uma das principais características dos sistemas especialistas é a sua modularidade. Em acordo com esta afirmação, vários autores (Rolston (1988); Harmon e Sawyer, (1990); Belhot (1993); Corrêa (1994); Turban (1992)) descrevem estruturas modulares para os sistemas especialistas, as quais podem ser sintetizadas na figura 2.3 como composta basicamente pelos seguintes módulos:

- a interface homem máquina;
- o motor de inferências;

- a base de dados, e
- a base de conhecimento

Figura 2.3 - Arquitetura dos sistemas especialistas

Onde o motor de inferências, é o módulo que realiza o processamento das informações contidas na base de conhecimento com a finalidade de resolver o problema. Neste módulo estão contidas funções que em alguns dos modelos encontrados na literatura encontram-se separados, como por exemplo - a função de explicação sobre a linha de raciocínio adotada, as funções de aquisição de conhecimentos e de refinamento e enriquecimento do conteúdo da base de conhecimento. A “Interface com o usuário” realiza a função de comunicação do sistema especialista com o usuário, e que permite que este “converse” com o sistema. A base de dados é uma área de memória temporária, que armazena informações não permanentes geradas e manipuladas durante o processo de raciocínio para resolução dos problemas. A base de conhecimento é uma base de dados que contém o conhecimento extraído de especialistas e de outras fontes. Este conhecimento é organizado em uma forma estruturada de maneira permitir que o motor de inferências

possa manuseá-lo na busca de uma solução para o problema apresentado pelo usuário. A base do conhecimento de um sistema especialista constitui-se em um dos principais temas deste trabalho e será tratada em detalhes a partir deste ponto.

2.3 - Base de conhecimento

Uma base de conhecimento pode ser definida como um arquivo ou base de dados (computacional ou não) cujo conteúdo é um conjunto de fragmentos de conhecimento obtido de uma ou mais fontes. Esta porção de conhecimento deve ser restrita a um domínio específico de conhecimento e deve estar armazenada de uma maneira adequada a permitir seu manuseio para utilização na resolução de problemas. Assim poderá ser explorada a grande vantagem dos computadores em relação aos seres humanos no que diz respeito as variáveis “velocidade de processamento” e “repetibilidade dos resultados”. A aquisição, filtragem, organização e representação do conhecimento para construção de uma base de conhecimento é feita pelo engenheiro do conhecimento em um processo denominado elicitación do conhecimento.

Alguns importantes fatores a serem considerados na construção de uma base de conhecimento são ressaltados por Belhot (1993):

- qual o conhecimento necessário para construção da base;
- como adquirir este conhecimento;
- onde pode ser coletado, e
- como representar este conhecimento.

No decorrer deste trabalho, serão abordadas estas questões através de uma análise bem fundamentada das alternativas que se apresentam.

2.4 - Aquisição do conhecimento

O processo de construção de um sistema baseado no conhecimento pode ser decomposto em várias etapas, tais como as citadas por Turban (1992):

- aquisição do conhecimento;
- representação do conhecimento ;
- validação do conhecimento;
- implementação do sistema e
- refinamento.

Embora existam decomposições do processo diferentes da acima citada, diversos autores (Rich e Knigh, 1993, Turban, 1992; Firlej e Helens, 1991; Harmon e Sawyer, 1990) concordam na afirmação de que a fase de aquisição do conhecimento é talvez a mais complexa e trabalhosa, e crucial na obtenção de sucesso na construção do sistema baseado em conhecimento. Gonçalves (1986) ressalta que alguns casos de aquisição de conhecimento exigem uma abordagem “*ad hoc*” para sua implementação.

O profissional que realiza a tarefa de aquisição do conhecimento é chamado de engenheiro do conhecimento, e de acordo com a participação deste no processo, o mesmo pode ser classificado em convencional, direto e

automático (figura 2.4). Na abordagem convencional, o engenheiro do conhecimento faz o interfaceamento entre o especialista, detentor do conhecimento, e o sistema baseado no conhecimento. Este é o método mais seguro e mais utilizado para sistemas de grandes dimensões. Na abordagem direta, o próprio especialista constrói a base de conhecimento. Esta metodologia apresenta uma séria desvantagem, que é a influência do modo de pensar e de agir do próprio especialista (do termo em inglês “*bias*”) na base de conhecimento a ser construída. Na abordagem automática, o especialista interagindo com uma ferramenta computacional de aquisição de conhecimento constrói o sistema, também sem interferência do engenheiro do conhecimento. Estes dois últimos métodos geralmente são utilizados na construção de sistemas mais simples e de pequeno porte.

Figura 2.4 - Abordagens de aquisição de conhecimento

2.4.1 - O processo de aquisição do conhecimento

Assim como o processo de construção de um sistema baseado em conhecimento pode ser subdividido em fases, a tarefa de aquisição de conhecimento também pode ser abordada desta maneira, de forma a tornar mais facilmente gerenciável o processo. Dentre as fases do processo de aquisição, aquela que talvez demande maior tempo e esforço é a etapa de elicitacão, que pode ser vista como a “garimpagem” de porções brutas de conhecimento a serem lapidadas posteriormente pelo engenheiro do conhecimento, e que é definida por Guida e Tasso (1994) como:

“...elicitacão é o processo de explorar uma base de conhecimento de forma a extrair a informação bruta - dados verbais, textuais e descritivos - para serem mais tarde organizados em itens de conhecimento.” Guida e Tasso (1994)

Pereira (1993) divide a construção de uma base de conhecimento em etapas:

- imersão no conhecimento, que envolve a familiarização com o assunto
- organização do conhecimento, que envolve a elaboração das relações entre porções de conhecimento, e
- depuração do conhecimento, que envolve a verificação e validação da base de conhecimento construída.

Guida e Tasso (1994) também subdividem o processo em etapas, de maneira bem semelhante a Pereira (1993):

- eliciação do conhecimento;
- codificação do conhecimento,
- implementação da base de conhecimento, e
- verificação da base de conhecimento.

Também o modelo proposto por Turban (1992) para o processo de aquisição de conhecimento tem uma abordagem similar:

- identificação do problema;
- conceitualização;
- formalização;
- implementação;
- testes.

Ao longo deste trabalho, será adotada uma abordagem que combina os modelos descritos anteriormente, dividindo o processo em 3 fases, conforme expresso na tabela 2.2 a seguir:

Tabela 2.2 – Abordagem para construção de uma base de conhecimento:

FASE	ATIVIDADES ENVOLVIDAS
1 – Imersão no conhecimento	<ul style="list-style-type: none">- identificação do problema;- familiarização com o conhecimento- organização das inter-relações entre porções do conhecimento
2 – Depuração	<ul style="list-style-type: none">- verificação e validação dos conhecimentos acumulados na fase anterior;- enriquecimento da base de conhecimento construída na fase anterior
3 – Reorganização	<ul style="list-style-type: none">- reorganização das inter-relações entre porções do conhecimento de acordo com as novas informações obtidas

2.4.2 - Considerações relevantes à aquisição do conhecimento

Conforme anteriormente salientado, a aquisição do conhecimento é uma tarefa bastante complexa e trabalhosa, e sendo assim, é natural que muitos obstáculos apareçam durante a sua execução. De maneira a superar estes obstáculos, serão apresentadas a seguir:

- algumas ações preparatórias que facilitarão o bom andamento do processo;
- os principais problemas que podem ser encontrados na aquisição do conhecimento, e
- alguns fatores que influenciam no desenvolvimento do projeto.

2.4.2.1 - Ações preparatórias

Em contatos prévios com o especialista visando prepará-lo para a entrevista, o elicitador deve deixar bem claro como é o processo de entrevista, de modo que o especialista possa preparar-se para o mesmo. Não se deve subestimar a influência nociva no processo de fatores como:

- a insegurança do especialista sobre a exatidão de algumas partes do seu conhecimento;
- a insegurança do especialista sobre o sigilo e o uso a ser feito das informações fornecidas;
- da falta de preparo do entrevistado para participação no processo;

- da falta de preparo do entrevistador para dirigir o processo.

Também é bastante útil a construção de um pequeno “dicionário do domínio do conhecimento”, de forma que fique bem claro o significado de certos termos-chave, garantindo que os diversos especialistas a serem entrevistados e o elicitador estarão falando sobre os mesmos conceitos quando fazem uso de uma determinada palavra.

Deve-se também elaborar um planejamento prévio de cada rodada do processo de aquisição de conhecimento, no qual devem ser minuciosamente planejados os seguintes tópicos:

- qual o objetivo da seção a ser executada (elicitação, refinamento, validação);
- qual o escopo do conhecimento a ser abordado;
- quais os fatores críticos de sucesso na execução deste tipo de tarefa, os quais devem ser o foco principal da tarefa de aquisição;
- quais as fontes de conhecimento envolvidas;
- quais técnicas de elicitação serão empregadas;
- que tipo de recurso de suporte deve ser providenciado (caneta e papel, gravador, filmadora, lap top's, gráficos, material bibliográfico, algum equipamento de uso do especialista para execução de determinada tarefa, recursos humanos de apoio, etc.)
- um cronograma com as atividades a serem executadas.

2.4.2.2 - Fatores que podem influenciar no sucesso da aquisição do conhecimento

A maneira como o especialista acumulou seu conhecimento é um fator importante que pode influenciar na sua forma de transmissão do conhecimento e deve ser considerado pelo elicitador no momento de interpretar as informações coletadas. O especialista que acumulou seu conhecimento de maneira formal geralmente pode transmiti-lo sob uma forma mais consistente, o que poupará ao elicitador bastante trabalho durante a fase de verificação das informações recebidas e confrontação com as informações vindas de outras fontes.

Outro fator relevante é o estado de espírito do especialista no momento do processo de aquisição. É importante portanto que o entrevistador esteja atento à influência da personalidade e do bom ou mau humor do especialista nos resultados da entrevista. O grau de motivação, a personalidade e o humor do especialista podem ser vistos sob dois aspectos, segundo Firlej e Hellens (1991):

- motivação intrínseca - é aquela que surge no próprio especialista por razões internas, ou por interesse pessoal;
- motivação extrínseca - razões externas apresentadas ao especialista (muitas vezes pelo próprio entrevistador), que motivam-no a continuar cooperando ou não.

Cabe ao elicitador fazer “brotar” no especialista motivação para participar do processo. Muitas vezes, certas ferramentas tecnológicas (sistemas especialistas em particular, que são a principal ferramenta para

disponibilização das bases de conhecimento) são envolvidas em uma “aura” de que podem realizar tarefas complicadíssimas de maneira muito mais eficiente que o homem. Desta forma, algumas pessoas têm “medo” de envolver-se com as mesmas, seja pelo motivo de considera-las excessivamente complexas, ou então devido ao medo de tornarem-se descartáveis com a implementação de tais ferramentas. Em relação a este segundo tópico, deve-se esclarecer ao especialista que:

- o sistema especialista será uma base de conhecimento disponível para uso de diversas pessoas, e que portanto poderá ser útil também a eles, pois irá incorporar o conhecimento contido em diversas fontes, tais como livros, manuais e o conhecimento de diversos especialistas, e
- o potencial de uso de tais sistemas pode ser muito melhor aproveitado se o mesmo estiver sendo utilizado de forma interativa com um especialista do que quando colocado à disposição de um leigo. Firlej e Hellens (1991) ressaltam que um sistema especialista usado por um especialista da área “equivale” a uma equipe de especialistas interagindo na resolução de um problema.

Outros fatores que devem ser considerados de forma a melhorar o rendimento da entrevista:

- o entrevistador deve evitar falar demais, isto inibe o especialista e o deixa confuso, fazendo com que o mesmo passe a responder as perguntas da forma como acha que o entrevistador gostaria, e não de acordo com sua maneira natural de agir;
- deve-se também evitar, na apresentação de um questionário escrito, a colocação questões que possam ser respondidas monossilabicamente;

- o entrevistador deve manter-se paciente se não entender instantaneamente e de forma completa toda a informação fornecida pelo especialista - o entendimento pode vir com o desenvolvimento do processo;
- evitar tanto quanto possível interromper o especialista, de forma a permitir que o raciocínio do mesmo flua com mais facilidade e de uma maneira mais natural, pois muitas interrupções podem atrapalhar o andamento do mesmo e até a linha de raciocínio do especialista;
- não colocar novas questões até que o último assunto em pauta tenha sido esgotado pelo especialista;
- evitar colocar alguma questão nova imediatamente após o especialista ter interrompido sua explanação - um pequeno hiato de tempo pode encorajar o mesmo a colocar voluntariamente informações sobre o assunto que o mesmo julgue ser útil ou pertinente, e
- o excesso de interrupções pode frustrar o especialista, que considerará que não está tendo chance de responder apropriadamente às questões; omitindo desta forma informações que julga relevantes e que forneceria voluntariamente se estivesse satisfeito com o desenrolar do processo. Deve-se dar espaço para as respostas do especialista e ser paciente.

2.4.2.3 - Dificuldades

Turban (1992) e Belhot (1993) comentam um problema típico na aquisição de conhecimento do especialista através de entrevistas, que é a sua dificuldade em descrever detalhadamente sua linha de raciocínio. Esta dificuldade é ressaltada também por Waterman (1986):

“...os especialistas têm uma tendência de estabelecer suas conclusões e o processo de raciocínio por trás delas em termos gerais....Ele faz julgamentos complexos rapidamente, sem reexaminar e sem restabelecer arduamente cada passo de seu processo de raciocínio. As peças do conhecimento básico são levantadas e combinadas tão rapidamente, que se torna difícil para ele descrever todo o processo...” Waterman, (1986)

Isso resulta em dificuldades também tanto no refinamento destas informações para incorporação à base de conhecimento quanto para a codificação e representação das mesmas.

Uma outra dificuldade muito comum nesta fase do processo é a falta de entrosamento entre os membros da equipe de aquisição de conhecimento e o especialista. Algumas das fontes destas falhas de entendimento podem ser:

- dados incompletos: o especialista pode ter omitido (involuntariamente ou não) dados importantes, como algumas exceções a determinadas regras;
- informações incorretas: algumas práticas podem ser largamente empregadas com sucesso sem que haja um conhecimento científico sobre as relações entre cada ação e seus efeitos. O especialista pode saber como enfrentar determinada situação mas pode não ter condições de explicar seu modo de agir, e desta forma, ao tentar fazê-lo pode transmitir algumas informações incorretas;
- conceitos incorretos: é o caso onde ambos, o elicitor e o especialista acreditam ter efetuado corretamente a tarefa de transmissão do conhecimento, mas o modelo construído pelo elicitor para a base de conhecimento não é o correto. Este tipo de erro, mesmo quando apresentar relação apenas com uma pequena parcela do conhecimento,

pode se propagar por toda base e trazer graves inconsistências para o sistema;

- tendenciamento: o elicitador pode distorcer as informações recebidas do especialista devido a influências de idéias fortemente pré-concebidas. Também o especialista pode ser induzido por uma série de fatores (que devem ser contornados) a responder as questões que lhe são colocadas de uma maneira que acredite, vá “agradar” ao elicitador.
- consciência: muitas vezes, não é óbvio qual é o escopo do conhecimento do especialista, e assim não há razões para acreditar que todas as informações obtidas são absolutamente corretas, e o elicitador deve ter isto em mente sempre que for fazer uma revisão sobre as entrevistas de forma a montar a base de conhecimento. É importante estar sempre crítico a respeito de qualquer informação recebida, pois é bastante comum o elicitador ser enganado pela segurança demonstrada pelo especialista quando este discorre sobre o assunto.

A gravação de entrevistas também pode ser vista como uma fonte de dificuldades no processo, pois muitas vezes pode constranger o especialista (principalmente no caso de gravação de fitas de vídeo) devido ao “receio” do que acontecerá com as informações nela contidas - quem as utilizará e com qual propósito. Este tipo de problema pode ser contornado através de algumas ações tais como:

- comentar com o especialista que as informações vindas das entrevistas serão diluídas em uma base de dados. Desta forma, eventuais enganos, comuns de ocorrer poderão ser filtrados quando confrontados com as informações vindas de outras fontes.

- deve ser garantida ao especialista a possibilidade de desligar o gravador quando desejar;

De uma maneira geral os problemas mais comuns que podem aparecer na aquisição de conhecimento são citados a seguir (Firlej e Hellens, (1991), Turban (1992), Rich e Knight, (1993)):

- As dificuldades que o especialista tem para relembrar as informações;
- O especialista está nervoso ou não familiarizado com o processo de entrevista, e de alguma forma deseja ser “guiado” pelo elicitador;
- O elicitador fala demais no início da entrevista;
- O especialista considera algumas informações óbvias demais e “passa por cima das mesmas”;
- O especialista complica conceitos bastante simples ao tentar explicá-los para o engenheiro do conhecimento;
- O especialista tem dificuldades para expressar de maneira clara e organizada a utilização de seu conhecimento no processo de tomada de decisões que para ele é muitas vezes banal e automática;
- O especialista é muito formal, e irrita-se quando interrompido, mesmo que de maneira polida, e
- O especialista tende a colocar mais ênfase na teoria que na prática.

2.4.3. - Seleção das fontes de conhecimento

As fontes de conhecimento são usualmente classificadas em duas categorias: as documentadas e as não documentadas. As fontes documentadas são aquelas que contém o conhecimento em uma forma ordenada e organizada (em livros, relatórios, manuais, etc.). As fontes não documentadas são aquelas que contém o conhecimento em uma forma não previamente organizada, de forma que o mesmo necessita ser submetido a uma análise e processamento para ser colocado na forma organizada, e posteriormente codificado e manuseado. Obviamente, a aquisição do conhecimento não documentado é bem mais trabalhosa que no caso do conhecimento documentado (a principal fonte de conhecimento não documentada é a mente das pessoas, segundo Turban, (1992); Guida e Tasso, (1994)). No entanto, independente do tipo de fonte a ser manuseada, o engenheiro do conhecimento ao selecionar uma fonte de conhecimento deverá verificar a existência de algumas características que, se presentes, permitirão pressupor um bom rendimento para o processo de aquisição:

- a adequação e a relevância do conhecimento da fonte selecionada com relação ao projeto a ser executado;
- qual a abrangência da fonte selecionada dentro do domínio de conhecimento de interesse para o projeto;
- a acessibilidade da fonte de conhecimento. No caso de fontes documentadas, se o conhecimento está organizado de uma maneira facilmente inteligível, no caso de fontes não documentadas, se o especialista tem facilidade e boa vontade em expressar seus conhecimentos;

- a disponibilidade de acesso para o engenheiro do conhecimento, tanto às fontes documentadas quanto às não documentadas;
- os custos de aquisição dos conhecimentos desta fonte são suficientemente baixos? Estão dentro das expectativas orçamentárias do projeto em andamento? Existem outras fontes semelhantes com custos de aquisição mais baixos?
- a fonte selecionada é a única (ou uma das poucas) existente(s) ? Se existirem outras, qual apresenta melhor relação custo/benefício ?

2.5 - Simulação

No processo de projeto de novos equipamentos ou sistemas, muitas vezes os projetistas deparam-se com a dificuldade de obtenção de informações a respeito do novo produto que possam servir-lhes de embasamento para tomada de decisões. Uma das maneiras mais eficientes para superar este tipo de dificuldade é a realização de um estudo de simulação, pois este permite que se façam ponderações e análises sobre o produto ainda não existente baseando-se em informações obtidas da simulação do modelo construído. Pode-se afirmar que não existe um consenso com respeito à definição de simulação, pois dependendo do objetivo do estudo ou da área de atuação das pessoas envolvidas, um simples trabalho de animação pode vir a ser considerado como sendo simulação. Pode-se citar alguns autores que apresentam suas diferentes definições, tais como por exemplo:

“Simulação é o processo de projetar um modelo lógico matemático de um sistema real e fazer experimentos deste sistema no computador” (Pritsker, 1986)

“Simulação é uma técnica de resolução de problemas pela observação do comportamento, sobre o tempo, de um modelo dinâmico de um sistema” (Gordon, 1978)

“Simulação é um método de experimentação que faz uso de um modelo detalhado do sistema real para determinar como este sistema irá responder a mudanças em sua estrutura, no ambiente ou em considerações colocadas a respeito do mesmo”. (Harrel et al., 1992).

Define-se neste trabalho a simulação da seguinte maneira:

“Um processo que envolve o estudo prévio do sistema, a definição das especificações do modelo, a construção deste modelo a ser simulado, o planejamento dos experimentos a serem realizados, a realização dos mesmos, a análise de resultados e a comparação das possíveis soluções alternativas de forma a servir como embasamento para a tomada de decisão”.

2.5.1 - Histórico e conceitos

As ferramentas de simulação apresentam uma evolução diretamente ligada com a tecnologia de suporte (hardware e software) disponíveis no momento de sua implementação, tendo evoluído desde os modelos físicos em escala e os modelos matemáticos (cuja construção busca servirem de embasamento para a realização de inferências através da simulação) até os simuladores inteligentes e interativos com interface gráfica. Apresenta-se na

tabela 2.3 a evolução dos sistemas de simulação de acordo com o desenvolvimento da tecnologia de suporte.

Tabela 2.3 - Evolução dos sistemas de simulação (Lobão e Porto, 1996)

tecnologia disponível	ferramentas de simulação
Conhecimentos científicos, matemáticos, estatísticos e habilidades manuais.	Modelos matemáticos e modelos físicos em escala .
Computadores de grande porte (main frames), primeiros microcomputadores.	- linguagens de simulação: gpss, slam, siman, etc. - simuladores de interface por diálogo.
Microcomputadores.	Simuladores de interface gráfica - arena, automod, promodel, etc.
estações de trabalho de alto desempenho e grande capacidade de memória;.	Simuladores de interface gráfica, interativos (utilizando recursos de realidade virtual) e inteligentes (utilizando sistemas especialistas e inteligência artificial).

2.5.2 – Modelos físicos em escala

Os modelos físicos em escala são reproduções do sistema real cujas características construtivas devem reproduzir em menor ou maior escala geométrica as do modelo real, observando-se as mesmas características físicas e estruturais dos mesmos. Com os dados obtidos a partir de estudos realizados sobre estes modelos pode-se realizar inferências sobre o sistema real.

Com o desenvolvimento da eletrônica e da informática, aos modelos físicos em escala foram incorporados recursos tais como microprocessadores e micro-sensores eletrônicos que aumentaram em muito a capacidade de obtenção de dados dos mesmos (Ranky, 1983). Uma técnica para construção de modelos físicos em escala é descrita por Schlie e Grimberg (1995), que relatam a construção de modelos físicos utilizando-se da técnica de estereolitografia. Esta técnica consiste de um feixe de laser ultravioleta que incide sobre um recipiente que contém uma resina fotossensível que se solidifica ao contato com a luz U.V.. O movimento deste feixe de laser é

controlado por um computador de acordo com o desenho da peça que se deseja construir. No entanto, a modelagem física em escala possui algumas desvantagens: custo elevado (Ramos, 1995; Daimler-Benz, 1995 - I), complexidade de seu processo construtivo, e inflexibilidade de readaptação para outros sistemas (Elmariaghi e Ravi, 1989).

2.5.3 – Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos são desenvolvidos a partir de inferências sobre os sistemas dos quais deseja-se obter projeções sobre seu comportamento em determinadas circunstâncias. A partir de observações pode-se então identificar as variáveis que influenciam em seu comportamento e a maneira como elas se inter-relacionam, propondo-se então uma relação matemática que descreva o sistema e que permita prever o comportamento do mesmo sob as mais diversas situações.

Algumas aplicações práticas para os modelos matemáticos podem ser citadas (Braun, 1979): para verificação da autenticidade de obras de arte, estudos da variação populacional (modelo de Malthus), estudo da dinâmica de crescimento de um tumor, estudos sobre vibrações mecânicas, estudo do diabetes, inferências sobre campanhas militares (modelos de F. W. Lanchester), etc.

Banks et al. (1984) apresentam uma classificação para os modelos matemáticos de acordo com a natureza de suas variáveis:

- modelos estáticos: representam um sistema em um particular instante de tempo, também chamados de modelos de Monte Carlo;

- modelos dinâmicos: representam um sistema e suas variações ao longo do tempo;
- modelos determinísticos: são aqueles que tem um único conjunto de valores para os dados de entrada, e que resultarão em um único conjunto de valores para o conjunto dos dados de saída;
- modelos estocásticos: são aqueles que em seu conjunto de dados de entrada tem uma ou mais variáveis cujos estados assumem valores randômicos;
- modelos discretos: são aqueles onde os estados das variáveis podem assumir apenas um número finito de valores discretos
- modelos contínuos: são aqueles cujas variáveis modificam-se continuamente no tempo.

Law e Kelton (1991) no entanto ressaltam que:

“...poucos sistemas na prática são completamente discretos ou contínuos, mas desde que uma das duas naturezas predomine, usualmente será possível classifica-lo ou como discreto ou como contínuo.” Law e Kelton (1991)

2.5.4 – Linguagens de simulação e simuladores

O acelerado desenvolvimento da informática refletiu-se num barateamento nos custos tanto de equipamento (“hardware”) e programas computacionais (“software”) quanto nos custos da hora de processamento de

dados (serviços). Observando a literatura recentemente publicada relacionada com o tema, pode-se concluir que este fenômeno possibilitou um aumento na demanda por estudos de simulação, pois uma grande quantidade de trabalhos tornou-se economicamente viáveis dentro do novo patamar de custos deste tipo de serviço. Configurando um típico círculo virtuoso (o qual é ilustrado na figura 2.5 a seguir), este aumento da demanda por serviços incentivou o desenvolvimento de novas ferramentas computacionais para simulação, e o primeiro passo neste sentido foi o aparecimento de linguagens computacionais especificamente voltadas para a realização de estudos de simulação.

Inicialmente, os programas de simulação eram desenvolvidos sobre linguagens de programação de propósito geral (Basic, Pascal, C, etc.). Isto demandava um grande esforço para construção de modelos, além de exigir do profissional responsável pela simulação que possuísse profundos conhecimentos de programação de computadores.

Figura 2.5 - Círculo virtuoso do desenvolvimento de softwares de simulação

Foi então que apareceram as linguagens de programação de computadores dedicadas à simulação, tais como GPSS (Schriber, 1991),

SIMAN (Pegden et al., 1990), SLAM (Pritsker, 1986), SIMNET (Taha, 1988), etc. Estas linguagens eram na realidade bibliotecas compostas por conjuntos de macro-comandos de outras linguagens de propósito geral (na maioria das vezes, FORTRAN), e visavam principalmente facilitar o processo de construção dos modelos. Alguns dos simuladores gráficos da geração seguinte são desenvolvidos sobre plataforma destas linguagens, como no caso do ARENA, construído sobre a linguagem SIMAN (ARENA, 1994).

Este aparecimento das linguagens específicas para desenvolvimento de modelos de simulação, aliado à diminuição dos custos de hardware e software contribuiu para o aumento do número de usuários e de aplicações da técnica de simulação de sistemas, realimentando novamente o círculo virtuoso mostrado na figura 2.5. Este maior número de usuários tornou viável o desenvolvimento de programas simuladores específicos para determinados sistemas, como por exemplo: simuladores de manufatura (Strandhagen, 1987), simuladores de vôo (McCarty et al., 1994), circuitos eletrônicos (Joshi e Supinski, 1992), simuladores de tráfego (OESP, 1995), treinamento para condutores de trens (Daimler-Benz, 1995-b), etc.

Os simuladores são programas computacionais projetados especificamente para facilitar a modelagem de sistemas em determinados ambientes, e geralmente tendo então seu escopo de aplicação reduzido a estes ambientes (um simulador de vôo por exemplo, não pode ser utilizado para simular um sistema de manufatura). As linguagens de simulação são mais flexíveis, porém não apresentam as vantagens do emprego dos simuladores:

- interação usuário/computador mais amigável;
- possibilidade de utilização de biblioteca de rotinas já previamente construídas, e

- os simuladores dispensam o usuário da necessidade de ter conhecimentos profundos de programação de computadores, pois se situam num nível mais alto de programação.

Embora os primeiros simuladores ainda não apresentassem uma interface muito amigável com o usuário, com o desenvolvimento tecnológico e aumento do poder de processamento dos computadores pessoais (aumento da velocidade de processamento, da capacidade de memória e facilidade de desenvolvimento de sistemas de interface gráfica sobre o Windows), vários sistemas simuladores comerciais foram colocados no mercado, tais como: ARENA, PROMODEL, AUTOMOD, etc. Estes sistemas apresentam como características:

- interface gráfica de comunicação com usuário;
- desenvolvimento de modelos orientados a objeto;
- capacidade de animação do modelo;
- fornecimento de relatórios sobre a simulação executada;
- ferramentas estatísticas para tratamento dos dados utilizados na simulação, etc.

A tendência que se apresenta para o desenvolvimento dos sistemas simuladores aponta para sistemas interativos e inteligentes, nos quais serão largamente empregadas técnicas de realidade virtual, inteligência artificial e sistemas especialistas, de acordo com a esquematização do processo de simulação que é ilustrada na figura 2.6 a seguir.

Figura 2.6 - arquitetura de sistemas simuladores interativos e inteligentes (Lobão e Porto, 1996)

2.5.5 - Aplicações da simulação

Devido a sua grande versatilidade e flexibilidade, a simulação é largamente utilizada para realização de estudos sobre as mais diversas operações técnicas e atividades de pesquisa. Algumas das áreas de aplicação da simulação, com respectivos trabalhos publicados são descritos a seguir:

2.5.5.1 - Sistemas computacionais

Nesta área são realizados estudos sobre componentes de hardware e software, protocolos de comunicação, gerenciamento de redes computacionais e bancos de dados, etc. Keezer apresenta um trabalho sobre simulação de sistemas computacionais e suas aplicações em (Keezer, 1997). Sykes e Malloy relatam o uso de simulação para o estudo do desempenho do microprocessador

Pentium II da Intel Corp, em (Sykes e Malloy, 1996). Thornock et al. (1997) discorrem sobre um estudo de simulação a respeito da atividade de leitura e escrita com acesso aleatório em um disco rígido. Carothers et al., (1997) apresenta um estudo de caso sobre simulação paralela de sistemas computacionais interligados em rede. Wang e Hong (1997), estudam a otimização do controle de conflitos de acesso em redes computacionais. Ainda nesta área, Premore e Nicol (1997), apresentam um estudo de simulação com o protocolo TCP/IP.

2.5.5.2 - Sistemas de telecomunicações

São relatados trabalhos com estudos a respeito de capacidade de links de transmissão, controle de roteamento de linhas telefônicas, compatibilidade de interconexão de subsistemas, etc. Law e McComas (1997) descrevem estudos sobre simulação em redes de comunicação, e Shen (1996) apresenta a simulação de uma rede de telecomunicações relacionada com a tecnologia CORBA. (Levasseur, 1996) relata a modelagem de uma central telefônica adotando a abordagem de orientação a objeto e utilizando o programa computacional SIMPLE++. Nguyen et al. apresentam uma abordagem para modelagem de sistemas telefônicos *wireless* em (Nguyen et al., 1997); enquanto que um trabalho de simulação sobre telefonia móvel sem fio é apresentado em Liu et al. (1996). Alzaher et al., (2000) apresentam uma técnica para projetar filtros digitais CMOS programáveis para receptores de telegrafia *wireless* utilizando a simulação como uma ferramenta de apoio.

2.5.5.3 - Fabricação

Sobre este assunto podem ser encontrados trabalhos onde foram realizados estudos sobre sistemas de manuseio de materiais, validação de layout, capacidade de armazenagem, sistemas de controle, etc. Em Kato et al., (1994) é relatada a modelagem de um sistema flexível de manufatura (FMS) utilizando-se redes de Petri; e em Lobão e Porto, (1995) é apresentado um modelo também em redes de Petri para simulação de operações de usinagem em um torno CNC. Schroer apresenta um sistema para simulação de sistemas de manufatura que utiliza recursos de inteligência artificial (Schroer, 1989); também Chance et al. relatam o uso de simulação para inferências em sistemas de manufatura em (Chance et al., 1996). Ehrlich e Lilegdon utilizam o programa de simulação AIM para auxílio á tomada de decisão em sistemas de manufatura (Ehrlich e Lilegdon, 1996). A simulação vem sendo também bastante empregada em estudos sobre “layout” de instalações, como em (Grajo, 1996) que utiliza o programa simulador “LayOPT” para estudos de planejamento em sistemas de manufatura, ou ainda em (Sly, 1996) que utiliza os simuladores “FACTORYPLAN”, “FACTORYOPT” e “FACTORYFLOW” para projeto de instalações industriais. Kateel et al., (1996) apresenta um trabalho sobre metodologias para modelagem de sistemas de manufatura integrados por computador (CIM - Computer Integrated Manufacturing); enquanto que Drake e Smith apresentam um estudo de simulação para planejamento, seqüenciamento e controle da manufatura em tempo real (Smit e Drake, 1996). Perera e Liyanage (2000), apresentam uma metodologia para identificação rápida e coleção de dados em ambientes industriais. O trabalho também identifica as principais causas da aquisição ineficiente de dados. (Reynolds e McKeown, 1999) apresentam uma técnica para programação (scheduling) de plantas industriais utilizando simulação fazendo uso de aproximações heurísticas. Speddinga e Sunb (1999) comentam

a utilização de técnicas de Simulação de Eventos Discretos para apoio à implementação de um sistema de custos ABC em uma indústria de placas de circuitos impressos. O trabalho também discute aplicações adicionais da técnica ABC no ambiente industrial e inclui um estudo de caso.

2.5.5.4 - Negócios

Nesta área, a simulação pode ser empregada para realização de estudos sobre análise de fluxos de caixa, alternativas de estratégias para atuação no mercado, controle de inventário, etc. Tumay apresenta um trabalho sobre simulação na área em “Business process simulation” (Tumay, 1996), e Binun apresenta uma abordagem de modelagem utilizando o programa “SIMPROCESS”; em “Business process modeling with SIMPROCESS” (Binun, 1996). Huha e Lansing, (2000) usam uma versão do modelo de Fuhrer-Moore para estudar os efeitos de expectativas e credibilidade do Banco Central dos USA durante um processo de desinflação. Foram comparadas simulações de quatro diferentes cenários formados de acordo com a variação de duas variáveis: as expectativas dos agentes econômicos (racional contra não racional) e o grau de credibilidade do banco central (total contra parcial).

2.5.5.5 – Logística

Dentro deste tema, a simulação pode ser utilizada para estudos sobre capacidade de armazenamento, validação de sistemas de distribuição, fluxo de materiais, etc. Clay e Grange, (1997) relatam a modelagem e simulação em eventos discretos para avaliação e previsão de níveis de estoque em sistemas

de manufatura. Van der Vorst, et al., (2000) apresentam um método para modelagem do comportamento de uma cadeia de fornecedores (supply-chain) de alimentos utilizando redes de Petri coloridas. Visando a otimização da logística do sistema, é realizada uma análise de alternativas de projeto desta cadeia efetuando-se a simulação destes modelos.

2.5.5.6 - Assuntos governamentais

A simulação pode ser empregada para estudos sobre planejamento populacional, projetos de obras de infra-estrutura, projeto de aeroportos e controle de tráfego aéreo e/ou em linhas ferroviárias, controle de tráfego urbano (automóveis, pessoas, ônibus,) etc. Chandra e Verma apresentam um estudo de simulação para controle de tráfego ferroviário (Chandra e Verma, 1991); Koo et al. (Koo et al., 1997) apresentam um simulador (o SmartATMS) para sistemas de controle de tráfego aéreo. Daun (Daun, 1997) apresenta um estudo de simulação sobre controle de tráfego em “An HCFG model of traffic intersection specified using HiMASS-j”, enquanto que Schulze e Fliess realizam um estudo sobre tráfego urbano (Schulze e Fliess, 1997). Farahmand relata estudos sobre simulação de evacuação populacional em situações de emergência (Farahmand, 1997).

2.5.5.7 - Sistemas de saúde

Também em sistemas de saúde podem ser encontrados relatos de vários estudos de simulação. Lowery discute a assunto em “Introduction Simulation in Health Care” (Lowery, 1996); enquanto que Carroll apresenta o “MedModel”, um simulador para sistemas de saúde pública (Carroll, 1996);

tema que também é abordado por Pitt em “A generalised simulation system to support strategic resource planning in healthcare” (Pitt, 1997). Na publicação “Cost effectiveness analysis of different strategies of management of chronic hepatitis C infection in children”, (Sinha e Das, 2000) apresentam um trabalho onde utilizam um modelo de simulação baseado no ciclo de Markov para realizar uma análise comparativa dos custos das estratégias de tratamento baseadas em Interferon em crianças infectadas com Hepatite C.

2.5.5.8 - Ensino e treinamento

Com o desenvolvimento tecnológico e a popularização de tecnologias como a realidade virtual, a simulação tem experimentado um significativo aumento de suas aplicações para atividades de ensino e treinamento nas mais diversas atividades, como por exemplo em universidades e em empresas; em atividades como de condutores de trens e pilotos de aviões, treinamento de operários, operadores de sistemas de alto risco, etc. Alguns trabalhos apresentam resultados quantitativos sobre o uso de simulação em ensino e treinamento, como por exemplo (Taylor e Siemer, 1996), que discutem as melhorias em sistemas de simulação educacionais utilizando sistemas tutores inteligentes; McGinnis e Stone que discutem a eficácia de sistemas de treinamento baseados em simuladores (McGinnis e Stone, 1996); assim como Kozak et al. (1993), que apresentam estudos comparativos a respeito de treinamento com e sem o uso de recursos de simulação. Lobão e Porto (1997-b) defendem o uso de simulação no ensino de engenharia, de forma a otimizar a absorção de informações por parte dos alunos, assim como Belhot (1995), que advoga o uso da simulação como uma das etapas do ciclo de aprendizagem do aluno. Também várias empresas têm relatado resultados de experiências fazendo uso de simulação para ensino e treinamento, como nos casos de trabalhos realizados na Daimler Benz (Daimler Benz, 1995 - II),

Tecnomatix (Dietz, 1995) e Motorola (Wittenberg, 1995). Heermann e Fuhrmann, (2000) apresentam um trabalho onde descrevem um sistema de treinamento baseado em simulação que contém um algoritmo de simulação genérico e alguns objetos físicos básicos implementados como classes de Java. Os estudantes podem estender estas classes para modelar leis físicas adicionais que se combinam com os objetos previamente modelados.

2.5.5.9 – Militar

Institutos de pesquisa e outras instituições ligadas ao complexo militar têm sido um dos grandes incentivadores do uso da simulação, principalmente devido ao alto risco (principalmente em vidas humanas) relacionado com certas atividades. As forças armadas dos Estados Unidos vêm executando o projeto DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), no qual tem sido amplamente empregado o uso de simulação, como por exemplo em McCarty et al., que relatam o uso de simulação para treinamento de pilotos militares (McCarty et al., 1994), e em Moshell et al., que apresentam um sistema que permite configurar o tipo de topografia de terreno em que a simulação de uma determinada operação será realizada (Moshell et al., 1994). Pode-se citar ainda o trabalho de Parker e Williams que relatam o estudo sobre sistemas de apoio (logística de fornecedores) para bases aéreas (Parker e Williams, 1997). Dietz relata o uso de um sistema de realidade virtual utilizado para treinamento de peritos de unidades antibombas do exército britânico (Dietz, 1995).

2.5.6 – O Processo de simulação

Assim como diferentes tipos de sistemas têm suas particularidades, também o processo de construção de um modelo para simulação varia de acordo com o tipo de situação a ser estudada. Considerações que se apresentam vitais para determinadas situações podem perfeitamente tornar-se descartáveis quando o enfoque é modificado. Desta forma, o que ditará a possibilidade de (des)consideração ou não de cada uma das variáveis envolvidas no processo serão fatores como:

- o grau de complexidade do projeto;
- as dimensões das conseqüências que determinadas falhas poderão trazer;
- os recursos financeiros e materiais disponíveis;
- a experiência dos projetistas, etc.

Embora algumas considerações possam parecer redundantes para usuários mais experientes, deve-se ressaltar que a experiência só é alcançada depois de alguns erros, o que pode custar muito tempo e/ou dinheiro, conforme resalta PORTO, (1990). Por isso, o grau de complexidade do processo não deve ser subestimado e mesmo para os usuários mais experientes, uma boa maneira de realizar o processo do início ao fim sem perder o enfoque principal ou deixar de considerar alguma informação importante, é procurando seguir um roteiro pré-estabelecido.

Não há um consenso sobre a maneira ótima de se realizar um estudo de simulação. Vários trabalhos com este enfoque podem ser encontrados na literatura recente, sendo que cada autor segue uma seqüência que lhe parece ser adequada de acordo com sua experiência acumulada.

Law e Kelton, (1982) dividem o processo em 10 etapas:

- 1 – Formulação do problema e planejamento do estudo a ser realizado;
- 2 – Coletar dados e definir o problema;
- 3 – Validar;
- 4 – Construção de um programa computacional;
- 5 – Executar uma replicação para teste;
- 6 – Validar;
- 7 – Projetar o experimento;
- 8 – Executar a simulação do modelo;
- 9 – Analisar os resultados do experimento;
- 10 - Documentação;

Pegden et al. (1990) propõem uma abordagem onde dividem o processo em 12 etapas:

- 1 – Definição do problema;
- 2 – Planejamento global do estudo a ser realizado;
- 3 – Definição do sistema;
- 4 – Proposição de um modelo conceitual;
- 5 – Planejamento preliminar do experimento;
- 6 – Preparação dos dados de entrada;
- 7 – Construção do modelo para simulação;
- 8 – Verificação e validação do modelo;
- 9 – Planejamento final do experimento;
- 10 - Experimentação;
- 11- Análise e interpretação dos resultados;
- 12 – Documentação.

De maneira similar, Schriber, (1991) propõe que a execução de um estudo de simulação seja executada em 10 etapas:

- 1 – Definir do problema e planejar o estudo a ser realizado;
- 2 – Coletar os dados e definir um modelo;
- 3 – Validar a etapa anterior;
- 4 – Construção do modelo para simulação;
- 5 – Executar um teste com o modelo proposto;
- 6 – Validar os resultados do teste;
- 7 – Planejamento do experimento a ser executado;
- 8 – Experimentação;
- 9- Análise e interpretação dos resultados;
- 10 – Documentação.

Em “System Improvement Using Simulation”, Harrel et al., (1992) propõem uma abordagem também bastante similar, dividindo o processo em 13 etapas:

- 1 – Definição do problema;
- 2 – Identificação clara dos objetivos do estudo;
- 3 – Formulação do modelo para simulação e planejamento do experimento;
- 4 – Aquisição dos dados (em paralelo com a etapa 5)
- 5 - Construção do modelo (em paralelo com a etapa 4);
- 5 – Planejamento preliminar do experimento;
- 6 – Executar um teste com o modelo proposto;
- 7 – Verificar os resultados do teste;
- 8 – Validar os resultados do teste;
- 9 – Experimentação;
- 10- Análise e interpretação dos resultados;
- 11 – Execução de outras replicações do estudo;
- 12 – Documentação;

13 – Implementação do sistema simulado.

Bennett (1995) sugere uma sequência mais simplificada, dividindo a simulação em 3 etapas e 6 sub etapas:

1 – Desenvolvimento

- . Formulação
- . Programação

2 – Teste

- . Verificação
- . Validação

3 – Exploração

- . Experimentação
- . Documentação

2.6 – Considerações finais

Pode-se verificar o vasto emprego da simulação nas mais diversas áreas de conhecimento; e mais especificamente, em sistemas de manufatura discreta (o escopo deste trabalho). Observa-se também o surgimento de um novo paradigma para simulação, determinado pela incorporação de novas tecnologias tanto em *hardware* (equipamentos mais velozes, com maior poder de processamento e mais baratos) e de *software* (inteligência artificial, realidade virtual, etc.).

Nos trabalhos publicados a respeito do assunto Simulação, verifica-se uma ausência de relatos que discutam do processo de simulação sob este novo enfoque, bem como as habilidades e conhecimentos que um profissional necessita apresentar para realizar um estudo de simulação.

Nota-se também que a tarefa de aquisição de dados para construção de bases de conhecimentos é bastante complexa, e deve ser realizada segundo

uma metodologia adequada de maneira permitir que se chegue a um conjunto de informações consistentes e válidas para representação do conhecimento.

No próximo capítulo será abordado o tema “Aquisição do conhecimento”, visando propor uma metodologia para sistematizar a aquisição de conhecimentos.

Capítulo 3 – Aquisição de conhecimento

Neste capítulo são discutidas as diversas fases que compõe o processo de aquisição do conhecimento. Inicialmente, são discutidos os tipos de conhecimento, para os quais é proposta uma classificação de acordo com a quantidade de informações que o mesmo contém. São investigadas também as técnicas e ferramentas de aquisição, de maneira a se obter uma metodologia para a tarefa de aquisição de conhecimentos a ser realizada nos próximos capítulos. A classificação do conhecimento segundo sua profundidade é utilizada para propormos um sequenciamento que determine a ordem em que as diversas ferramentas de aquisição devem ser empregadas, visando obter um melhor rendimento nas seções de coleta de informações.

3.1 - Tipos de conhecimento

Antes de abordarmos os diferentes tipos de conhecimento, será muito útil uma definição mais formal do conceito de “conhecimento”. Gonçalves (1986) define o conhecimento como sendo

“...um conjunto de regras, métodos e dados usados por uma pessoa (ou grupo de pessoas) durante o processo de identificação e solução de problemas (ou parte de problemas) em domínio específico de atividade humana...” Gonçalves (1986)

A ciência que trata das fases de aquisição, filtragem, codificação e representação do conhecimento é a engenharia do conhecimento. Durante as fases do processo de construção de uma base de conhecimento, uma terminologia particular é utilizada na literatura para classificar o tipo de conhecimento manipulado, de acordo com o enfoque adotado no momento em questão.

Os tipos de conhecimento são classificados de acordo com uma série de fatores, tais como: o seu escopo, sua forma de organização, sua forma de documentação, a fonte de onde o mesmo foi obtido, a profundidade das informações que contém, etc. A seguir são apresentados alguns dos principais termos desta terminologia encontrados na literatura.

Segundo a maneira como foi adquirido, o conhecimento pode ser denominado por “inato” ou adquirido. Se o enfoque disser respeito a sua propriedade, poderá ser denominado por “privado”, “restrito” ou ainda, por “público”. Se tratarmos da importância das informações relacionadas, o conhecimento poderá ser “essencial”, “estável”, “trivial”, “episódico”, “efêmero” ou ainda, “descartável”. No entanto, a taxonomia que tem um aspecto relevante neste trabalho, é aquela que classifica os diversos tipos de conhecimentos segundo a profundidade do mesmo, pois servirá de embasamento para a proposição de um sequenciamento do uso das ferramentas de aquisição de conhecimento. Uma ressalva no entanto deve ser colocada: muitas vezes a distinção entre estas diferentes classificações de conhecimento é bastante nebulosa e pode ou não fazer sentido se o enfoque

adotado no tratamento for bastante distinto daquele adotado ao longo deste trabalho.

3.1.2 - Classificação do conhecimento segundo sua profundidade

De acordo com a profundidade das informações envolvidas, neste trabalho os diversos tipos de conhecimento são classificados em 4 grupos: os grupos de conhecimentos superficial, de raciocínio, de solução de problemas e profundo.

3.1.2.1 - Conhecimento superficial

Compreende informações a respeito dos objetos e entidades (físicos ou abstratos) que compõe o sistema estudado e que estejam envolvidos no processo de resolução do problema. Descreve ainda as propriedades destes objetos e entidades, bem como as inter-relações existentes entre estes. Alguns tipos de conhecimento que fazem parte desta classe são:

- conhecimento relacional simples: é considerado o mais simples dos modos de organização do conhecimento, tem capacidades inferenciais muito fracas, mas é bastante aberto para interconexão com sistemas de mais alto nível. Esta forma de organização de conhecimento consiste basicamente em um vetor de dados, sendo que a cada elemento deste vetor está associada uma série de parâmetros quantitativos ou qualitativos, conforme exemplificado na tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 - Banco de dados relacional

Funcionário	Função	Idade	Dependentes	Plano de saúde
O. Silveira	operário	34	02	SIM
C. S. Tavares	faxineira	41	03	SIM
A. P. Monteiro	escriturário	26	02	NÃO
R. Silveira	gerente	57	02	SIM
J. L. Martins	operário	27	03	NÃO
A. C. Dutra	cozinheira	33	04	SIM
	← Vetor de dados			

- conhecimento herdável - uma maneira de enriquecer a capacidade de inferências de uma base de conhecimentos é organizando-a em classes, de uma maneira hierarquizada. Nesta estrutura, os elementos (objetos) integrantes de uma classe situada em um nível mais geral na hierarquia herdarão os atributos das classes mais específicas as quais estiver relacionado. A figura 3.1 a seguir exemplifica este tipo de organização de conhecimento:

Figura 3.1 - Estrutura hierarquizada de uma base de conhecimentos

- declarativo - é uma representação descritiva do conhecimento constituída geralmente por informações verbalizadas pelos especialistas, as quais geralmente são fatos ou correlações diretas. É um tipo de conhecimento considerado superficial e muito manipulado nos estágios iniciais do processo de aquisição de conhecimento.

- semântico - segundo Thuthill (1990), o conhecimento semântico relaciona-se com o uso de informações armazenadas na memória de longo prazo do ser humano (ver figura 3.2), e diz respeito a dados como:

- . palavras e outros símbolos;
- . palavras-chave que invocam regras de ação;
- . palavras-chave que simbolizam relacionamentos, e
- . algoritmos para manipulação de regras e símbolos.

Figura 3.2 - Estrutura representacional da estrutura da memória humana

(Rubenstein e Firstenberg, 1995)

3.1.2.2 - Conhecimento de raciocínio

Esta classe de conhecimento descreve as regras e procedimentos de raciocínio empregados para a obtenção de uma solução para o problema abordado. Como exemplo pode-se citar: dedução, generalização, especialização, analogias, mudanças de escala, etc. Alguns tipos de conhecimento que fazem parte desta classe são:

- conhecimento procedimental - Rich e Knigth (1993) ressaltam que este também é conhecido como conhecimento operacional. É o tipo de conhecimento sobre o que deve ser feito, quando e como realizar determinada tarefa. Este “tipo” de conhecimento adequa-se muito bem a técnica de representação denominada “regras de produção”.
- conhecimento inferencial - envolve o conhecimento das inferências cuja realização são necessárias para se chegar às soluções desejadas do problema em questão. Envolve a habilidade para tratar e produzir regras heurísticas de resolução de problemas.
- procedural - o conhecimento procedural considera a maneira ou o método utilizado por especialistas humanos para solucionar problemas. Inclui seqüências de instruções do tipo passo a passo e/ou procedimentos algorítmicos. Nos diz como realizar inferências e/ou como utilizar o conhecimento declarativo.

3.1.2.3 - Conhecimento de resolução de problemas

Nesta classe estão relacionados os tipos de conhecimentos mais próximos da maneira humana de pensar e resolver problemas. Envolve a capacidade de gerar e/ou encontrar os métodos de solução de problemas baseado em inferências realizadas com as informações disponíveis e as regras de ação e procedimentos de raciocínio do nível anterior. O principal tipo de conhecimento que faz parte desta classe é o conhecimento heurístico:

- heurístico - conhecimento informal, bastante embasado na percepção pessoal derivada da experiência acumulada. Segundo Turban (1992), engloba o conhecimento de como resolver eficientemente e efetivamente os problemas de um domínio de conhecimento, de como planejar as etapas de solução de um problema, como melhorar o desempenho do método de solução, etc.

3.1.2.4 - Conhecimento profundo

É a maneira humana de solucionar problemas, e constitui-se em uma mistura de emoções, senso comum, intuição, etc. Turban ressalta a dificuldade do tratamento computacional deste tipo de conhecimento, “...e que talvez jamais consigamos fazê-lo de uma maneira completa” (Turban, 1992). O que se consegue é trabalhar em um nível mais profundo que o conhecimento superficial, perseguindo de uma maneira assintótica o conhecimento profundo. Alguns tipos de conhecimento que fazem parte desta classe são:

- metaconhecimento - também denominado de conhecimento de controle (Rich e Knight, 1993), pode ser visto como o conhecimento de mais alto nível, ou conhecimento sobre o conhecimento. Como exemplo, pode-se citar o trabalho com bases de conhecimentos grandes, as quais geralmente contém milhares de regras, e onde a intratabilidade da busca é uma preocupação predominante. Quando há muitas linhas de raciocínio, é crucial que as ramificações infrutíferas sejam descartadas logo de início, e é o metaconhecimento que permite a identificação deste tipo de ramificações.

A figura 3.3 a seguir sintetiza esta taxonomia dos tipos de conhecimento. A coluna denominada “Profundidade” estabelece uma escala onde os diversos tipos de conhecimento (já mencionados anteriormente e listados na coluna “tipos de conhecimento”) são organizados de acordo com a densidade de informações que uma determinada base contida nesta “classe” (linha da tabela) deve conter: quanto mais “profundo”, contém mais informações. Na coluna denominada “características”, são sintetizadas algumas das características mais comuns aos conhecimentos pertencentes a cada uma das “classes” (linha da tabela).

Profundidade	Tipos	Características
Superficial	Relacional simples, herdável, declarativo,	Descreve as entidades (físicas ou abstratas) envolvidas na resolução do problema, as relações entre elas e suas propriedades.
Raciocínio	Procedimental, inferencial, procedural.	Descrevem as regras e procedimentos utilizados na resolução do problema; como por exemplo: dedução, generalização, especialização, analogias, mudanças de escala, etc.
Solução de Problemas	Heurístico	Envolve a capacidade de gerar e/ou encontrar os métodos de solução de problemas baseado em inferências realizadas com os conhecimentos disponíveis.
Profundo	Metaconhecimento	Descreve a maneira humana de raciocinar. Segundo Turban (1992), é um tipo de conhecimento cuja aquisição perseguimos de maneira assintótica, devido a grande complexidade dos procedimentos de raciocínio envolvidos.

Figura 3.3 - Classificação de alguns dos diferentes tipos de conhecimento

3.2 - Ferramentas para aquisição de conhecimento

Existe uma grande diversidade de ferramentas para elicitación de conhecimento, sendo que a aplicabilidade de cada uma delas varia de acordo com o objetivo de cada seção da tarefa de aquisição do conhecimento a ser realizada. Será apresentada a seguir uma discussão a respeito das principais ferramentas assim como sua aplicabilidade.

Inicialmente, de forma a facilitar a definição e descrição dos procedimentos de execução das mesmas, e de acordo com suas metodologias de execução estas ferramentas são agrupadas em diferentes categorias:

- métodos exploratórios;
- entrevistas;
- métodos de debates;
- execução de tarefas, e
- métodos de revisão.

Neste trabalho optou-se pelo emprego apenas das técnicas e ferramentas mais básicas, não utilizando ferramentas automatizadas de forma a evitar alguns possíveis problemas do uso destas:

- algumas destas ferramentas necessitam de uma equipe de mais de uma pessoa de forma a extrair todo o seu potencial;
- muitas das técnicas automáticas de aquisição necessitam de equipamentos de apoio (microcomputadores, câmaras de vídeo, etc.), os quais na maioria das vezes encontram problemas para entrar nas empresas.

3.2.1 - Métodos exploratórios

Métodos exploratórios visam principalmente a obtenção dos primeiros contatos com o domínio do conhecimento e a aquisição de informações da camada de conhecimento superficial (ver figura 3.6). As principais fontes de conhecimento utilizadas pelos métodos exploratórios são livros, manuais, relatórios técnicos, especificações de projeto, bancos de dados, etc.

As informações aqui obtidas permitem a elaboração de um pré - modelo da base de conhecimento, o qual será constantemente atualizado, corrigido e enriquecido com as informações obtidas nas etapas posteriores do processo de aquisição de conhecimento. Este processo continua até que se atinja uma base de dados que contenha uma quantidade suficiente de informações que permita uma boa manipulação do domínio de conhecimento em questão, a qual poderá então vir a ser denominada de base de conhecimento.

3.2.1.1 - RGA

RGA, do termo inglês *Repertory Grid Analysis*, algumas vezes também denominado por entrevista de classificação é um método, segundo Turban (1992), baseado no modelo de Kelly do pensamento humano chamado “Teoria de construção pessoal”. Geralmente utilizado para classificação, ordenação e comparação de objetos relacionados com o domínio de conhecimento segundo alguns parâmetros relevantes a tomada de decisão. É um método bastante estruturado e por isso mesmo largamente automatizado, servindo de embasamento para várias ferramentas computacionais de aquisição de conhecimento, tais como ETS, KRITON e AQUINAS (Boose, 1989).

O procedimento de execução deste método pode ser resumido sucintamente em 7 etapas:

- 1 - Ao especialista é solicitado que identifique objetos que considere importantes no domínio do conhecimento;
- 2 - O especialista deve indicar para cada um destes objetos, atributos que considere importantes na tomada de decisões;

- 3 - Para cada um destes atributos, o especialista deve estabelecer uma escala bipolar (uma qualidade e seu oposto, um defeito) de parâmetros para efeito de classificação futura;
- 4 - Considerando como ponto de vista cada um dos atributos indicados na segunda etapa, o especialista deve identificar os 2 objetos que sejam os mais próximos entre todos, colocando-os em um dos extremos da escala estabelecida na terceira etapa;
- 5 - Dentre os objetos restantes, o especialista deve indicar aquele que mais se diferencie dos dois escolhidos na quarta etapa, colocando-o no extremo oposto da escala estabelecida na terceira etapa;
- 6 - Ainda segundo o ponto de vista do atributo sendo considerado, o especialista deve atribuir valores intermediários para todos os outros objetos restantes, dentro da escala estabelecida na terceira etapa;
- 7 - Repetir as etapas de número 4, 5 e 6 para todos os atributos indicados na segunda etapa.

O método RGA é utilizado principalmente para aquisição de conhecimentos da camada superficial e de raciocínio (figura 3.3).

3.2.1.2 - Fatores Críticos do Sucesso (FCS)

O método dos fatores críticos do sucesso segundo Rockart (1979), foi apresentado por D. R. Daniel em 1961, e visa a identificação de um número limitado de fatores que devem ser bem explorados de forma que uma

empreitada atinja com sucesso seus objetivos. Gonçalves (1986), recomenda que se faça também o processo inverso, isto é: a identificação dos fatores que se não minimizados condenarão a empreitada ao fracasso. Com o cruzamento dos resultados dos dois procedimentos, tem-se então um conjunto mais rico de informações. O método dos FCS propicia informações principalmente na camada superficial de conhecimento (figura 3.3) e serve de embasamento para as etapas posteriores do processo de construção da base de conhecimento.

3.2.1.3 - Fragmentação de textos

Este método, utilizado principalmente para aquisição de conhecimento documentado, consiste na leitura do documento onde o engenheiro de conhecimento procura identificar fragmentos de texto que contenham informações relevantes do domínio em questão. Estes fragmentos de texto devem ser extraídos para confecção de uma base de conhecimentos primária, a partir da qual poderão ser sintetizados regras e fragmentos de conhecimento. Este método é utilizado principalmente para obtenção de conhecimentos da camada superficial e de raciocínio (referentes à figura 3.3).

3.2.2 - Entrevistas

A técnica de entrevista do especialista diretamente pelo engenheiro do conhecimento (ou elicitador), ainda é a principal metodologia para aquisição de conhecimento de especialistas na construção de bases de conhecimento de maior porte, embora alguns esforços tenham sido feito no desenvolvimento de

sistemas de aquisição automática de conhecimento. Esta técnica também é conhecida como aprendizagem de máquina, segundo Firlej e Hellens (1991).

A entrevista, em função da etapa do processo de aquisição de conhecimento em que é realizada, ou do tipo de informação que se pretende obter, pode ser classificada em diferentes tipos (Guida e Tasso, 1994; Turban, 1992; Firlej e Hellens, 1991; Hart, 1986) como: entrevista tutorial ou entrevista não estruturada; entrevista estruturada, e entrevista dirigida (as quais serão abordadas mais adiante). Antes no entanto, será oportuno ressaltar alguns aspectos relevantes referentes a todos os três tipos de entrevistas:

gravação da entrevista: a gravação dispensa o elicitador da tarefa de tomar notas, podendo então se concentrar mais profundamente na fluência da entrevista dando mais dinamismo ao processo (uma quantidade maior de informações pode ser coletada no mesmo período de tempo). Outras vantagens da gravação da entrevista podem ser citadas:

- ficam preservados a ênfase e a inflexão de voz dada pelo especialista, filtrando assim possíveis interferências do entrevistador na forma de tendenciamento;
- a gravação permite que a entrevista seja revisada várias vezes à luz de novas informações que vão surgindo, possibilitando algumas vantagens adicionais: permite que o elicitador possa estudar as complexas relações de interdependência não explícitas existentes entre as variáveis, e ainda que ele possa ter uma realimentação de sua própria atuação, que pode ser constantemente reavaliado quando as entrevistas são repassadas, e
- geralmente, os participantes de entrevistas gravadas sentem estar participando de um processo mais “formal”, comportando-se assim

de uma maneira também mais formal, permitindo assim obter um melhor rendimento do processo.

É importante lembrar, porém, que a gravação da entrevista tem também algumas desvantagens; conforme já discutido anteriormente.

Preparação para entrevista - o elicitador e o especialista devem, antes da entrevista, entrar em acordo sobre alguns pontos:

- o propósito e a natureza da entrevista;
- quais fatores influenciarão o progresso da entrevista;
- existem alguns arranjos especiais a serem feitos previamente ?
- há necessidade de algum equipamento especial ?
- as condições ambientais em que a entrevista será realizada;
- o especialista pode ser entrevistado enquanto realiza uma tarefa ?
- a duração da entrevista e a disponibilidade do especialista;
- existirão intervalos durante o decorrer do processo ? (Ressalte-se que é necessário manter um alto grau de “*despertamento*” mental, e desta forma, as paradas não representam um luxo !).

O elicitador deve ainda, procurar colocar algumas questões na entrevista que permitam um cruzamento de informações de forma a permitir a realização de um “checklist” posteriormente.

3.2.2.1 - Entrevistas não estruturadas

A entrevista não estruturada, também chamada entrevista tutorial ou ainda, entrevista de orientação, geralmente é um dos primeiros passos do processo de aquisição de conhecimento. O entrevistador colocará as questões de uma maneira quase informal ao especialista. O elicitador deve combinar com o especialista o escopo global de conhecimento que deseja abordar, e quais as tarefas a serem desempenhadas pelo especialista no processo. O elicitador vai utilizar as informações coletadas nesta fase para dirigir o processo nas fases posteriores, onde o conhecimento será buscado em um nível mais profundo.

Nesta fase, algumas questões podem auxiliar o bom andamento do processo se colocadas ao especialista:

- Qual você considera ser sua principal tarefa ?
- Você pode descrever em termos bastante simples, o tipo de tarefa que você executa ?
- Qual é o problema mais comum encontrado na execução deste tipo de tarefa ?
- Você pode descrever em termos bastante simples, este tipo de problema e como solucioná-lo ?

3.2.2.2 - Entrevistas dirigidas

A entrevista dirigida geralmente é empregada como uma etapa posterior à entrevista não estruturada, para obter-se informações um pouco mais

profundas (de acordo com a classificação sintetizada na figura 3.3), buscando adensar e refinar os conhecimentos relativos a tópicos específicos do domínio. Na entrevista dirigida, através de uma conversação informal acerca de um número limitado de tópicos (2 a 5) do domínio de conhecimento, serão obtidos principalmente conhecimentos das camadas de conhecimento superficial e de raciocínio (figura 3.3).

3.2.2.3 - Entrevistas estruturadas

A entrevista estruturada geralmente é empregada como uma etapa posterior às da entrevista não estruturada e da entrevista dirigida, para obter-se informações um pouco mais adensadas, buscando aprofundar e refinar os conhecimentos obtidos anteriormente nas entrevistas não estruturada e dirigida. A entrevista estruturada fornece principalmente conhecimentos das camadas de conhecimento de raciocínio e de solução de problemas (figura 3.3). Na entrevista estruturada o elicitador guia o especialista tanto na profundidade do conhecimento a ser coletado quanto no escopo da conversa através de questionamento, mantendo o especialista focado no assunto de interesse, o qual deve ser um tópico simples do domínio do conhecimento. Através deste questionamento, o elicitador deve procurar evitar que o especialista desvie-se demais do tópico selecionado para a entrevista, (neste ponto, uma ressalva deve ser feita: o elicitador deve dirigir o especialista, e não força-lo!).

O fato de o elicitador cercear a liberdade do especialista de variar o enfoque do assunto, muitas vezes pode trazer o inconveniente de o especialista achar que há falta de interesse por parte do elicitador em abordar todo o conhecimento relacionado ao assunto. Neste caso, deve-se explicar ao

especialista a metodologia de trabalho que esta sendo utilizada e o tipo de conhecimento desejado.

Avaliando os resultados parciais da entrevista estruturada: o elicitador, como forma de obter alguma realimentação, deve colocar ao especialista questão tais como:

- foi seguida a seqüência correta ?
- você fez isso aqui ?
- este fluxograma mostra a seqüência correta das suas decisões ?
- todas as tarefas que você executa estão inclusas neste fluxograma ?
- todos os conceitos relativos às tarefas estão incluídos aqui ?

3.2.3 - Métodos de debates (*Brainstormings*)

Os métodos de debates ou “*Brainstormings*” consistem basicamente de uma reunião onde os diversos especialistas no domínio de conhecimento interagem livremente debatendo sobre o assunto, tendo o elicitador como o moderador. Segundo Zingales (1978), a filosofia básica desta metodologia pode ser resumida em 4 “axiomas”:

- 1 - Não se pode ironizar ou criticar qualquer idéia proposta por membros da reunião;
- 2 - Aceitam-se idéias de qualquer natureza, inclusive aquelas consideradas insensatas, as quais poderão vir ou não a ser descartadas posteriormente;

- 3 - Os participantes não devem sentir inibição em propor alguma idéia que considere óbvia ou irrelevante, pois uma destas pode despertar em um outro participante uma outra idéia melhor;
- 4 - Não existem “donos” de idéias. Qualquer participante pode propor melhorias ou expansões em idéias propostas por outros participantes.

Os métodos de debates geralmente permitem a aquisição de informações dos quatro níveis de conhecimentos relatados na figura 3.3: conhecimento superficial, de raciocínio, de solução de problemas e conhecimento profundo. Algumas variações e adaptações para os métodos de debates (*brainstormings*) são encontradas na literatura, como por exemplo: Brainstorming com esclarecimentos e Brainstorming com consenso, (Guida e Tasso, 1994), e Brainstorming adaptado (Gonçalves, 1986); os quais serão comentados a seguir.

Brainstorming com esclarecimentos - depois de uma razoável quantidade de conhecimentos ter sido incorporada à base em construção, é realizada então uma seção desta variação do Brainstorming, onde os modelos preliminares do conhecimento elaborados pelo elicitor a partir das informações coletadas são então submetidos ao grupo de especialistas para debate e possíveis correções e/ou modificações.

Brainstorming com consenso - uma outra variação do Brainstorming tradicional, semelhante ao Brainstorming com esclarecimentos onde as conclusões propostas pelo elicitor a respeito de alguns tópicos do domínio do conhecimento são então submetidas ao grupo de especialistas na busca de

um consenso a respeito do conceito em questão ou ao menos, de uma solução que obtenha a concordância da maioria dos especialistas.

Brainstorming adaptado (BRADA) - esta técnica, comentada por Gonçalves (1986) é uma adaptação do Brainstorming tradicional à tarefa de construção de uma base de conhecimentos, onde os especialistas são convidados a expressar os conhecimentos discutidos na forma de regras do tipo SE...ENTÃO, dando início assim a construção de um embrião da base de conhecimento, facilitando bastante a tarefa de codificação e depuração das informações.

3.2.4 - Execução de tarefas

Uma das mais ricas e eficientes metodologias de aquisição de conhecimento disponíveis, tanto do ponto de vista da eficiência do método quando do número de ferramentas disponíveis são aquelas que utilizam como fonte para coleta de informações a realização de uma tarefa. Esta tarefa, proposta ou não pelo engenheiro do conhecimento ao especialista pode ser realizada por um dos dois ou ainda por uma terceira pessoa. Estes métodos são particularmente bastante empregados para obtenção de informações das camadas mais profundas de conhecimentos relacionadas na figura 3.3, e alguns dos mais importantes deles serão comentados a seguir.

3.2.4.1 - “Pensar alto”

Conforme o próprio nome desta técnica sugere, é uma abordagem onde o especialista é convidado a resolver de forma comentada uma tarefa típica do domínio que ele considere interessante. Esta técnica cujo nome em inglês é “Thinking aloud”, permite aquisição de conhecimento nos quatro níveis de conhecimentos relatados na figura 3.3: conhecimento superficial, de raciocínio, de solução de problemas e conhecimento profundo. Esta técnica de aquisição permite confirmar informações obtidas nas fases anteriores, tais como:

- confirmar a estratégia de resolução de problemas do especialista ;
- as informações conceituais;
- as seqüências de eventos.

Turban (1992) ressalta que a técnica “pensar alto” é menos sujeita a interferências do tipo “tendenciamento” (*bias*) que a técnica de entrevista estruturada porém pode apresentar alguns inconvenientes:

- o nível de artificialidade envolvido no processo de simulação do modo de agir do especialista pode influir negativamente na qualidade das informações coletadas;
- o especialista pode “pular” algumas etapas do processo por julgá-las óbvias demais, o elicitador deve solicitar ao mesmo que retorne o processo e refaça-o novamente

- no caso de haver grande dificuldade do especialista com o método “pensar alto”, pode-se inverter os papéis, com o elicitador executando a tarefa sob supervisão do especialista (ver 4.2.4.4, “Teach Back”).

3.2.4.2 - Observação

Este método consiste em observar o especialista tomar decisões durante a execução de tarefas cotidianas em seu trabalho (diferencia-se dos outros métodos de execução de tarefa por não propor uma tarefa ao especialista, e sim em observá-lo fazer seu trabalho sem interferir). Turban (1992) ressalta que uma das grandes dificuldades deste método é acompanhar um especialista que durante seu dia de trabalho muitas vezes ataca vários problemas ao mesmo tempo. Guida e Tasso (1994) subdividem este método em três categorias (não necessariamente excludentes):

- **observação direta**, que consiste na observação “in loco” diretamente pelo engenheiro do conhecimento;
- **observação indireta**, que consiste na gravação do processo, para análise posterior, e
- **observação inquisitiva**, onde o engenheiro do conhecimento coloca alguns questionamentos ao especialista durante a execução da tarefa.

Este método, embora apresente uma baixa eficiência no que diz respeito à quantidade de conhecimento obtida por seção realizada, permite a aquisição de conhecimentos em todas as quatro camadas definidas na figura 3.3: superficial, de raciocínio, de solução de problemas e de conhecimento profundo.

3.2.4.3 – “Forward scenario simulation”

O especialista descreve para o engenheiro do conhecimento como ele realizaria (sem necessariamente realizá-la) uma tarefa típica do domínio proposta a ele. O engenheiro do conhecimento pode então tanto anotar as informações consideradas relevantes, quanto questionar o especialista a respeito de tópicos que considere que não estejam bem esclarecidos. É um método de aquisição de alta eficiência utilizado para a coleta de conhecimentos principalmente das camadas de conhecimento de raciocínio, de solução de problemas e de conhecimentos profundos (figura 3.3).

3.2.4.4 - “Teach back”

O engenheiro do conhecimento realiza uma tarefa do domínio de conhecimento abordado na presença do especialista, que então pode interferir fazendo comentários, correções ou ainda fornecendo explicações a respeito de tópicos que não estejam bastante claros para o engenheiro do conhecimento. É um método bastante eficiente de aquisição de conhecimentos utilizado principalmente para aquisição de conhecimentos das camadas de solução de problemas e de conhecimento profundo (figura 3.3).

3.2.4.5 - Comentários

O especialista observa e comenta a execução de uma tarefa (que pode ter sido gravada previamente ou estar sendo realizada na hora) por uma terceira

pessoa, que pode ser um outro especialista ou ainda um futuro usuário do sistema. Este método permite a aquisição de conhecimentos de todas as quatro camadas relacionadas na figura 3.3: conhecimento superficial, de raciocínio, de solução de problemas e conhecimento profundo.

3.2.5 - Métodos de revisão

A principal utilização destes métodos durante o processo de aquisição de conhecimento concentra-se na fase de verificação, validação e refinamento dos conhecimentos coletados; não sendo os mesmos utilizados nas primeiras fases do processo. Alguns dos principais métodos deste grupo serão comentados a seguir.

3.2.5.1 - Análise de protocolo

A análise de protocolo é um método para aquisição de conhecimento detalhado através da gravação (em áudio ou vídeo) das ações e do comportamento do especialista durante o processo de tomada de decisão, enquanto o mesmo executa uma tarefa típica do domínio de conhecimento em questão. As informações gravadas são denominadas protocolo (Ericson e Simon, 1984), o qual deve ser posteriormente revisto várias vezes pelo engenheiro do conhecimento de forma a extrair as informações desejadas para elaboração de regras e de um esboço do modelo representativo das mesmas que servirão de base para a construção da base de conhecimento.

A análise de protocolo possibilita a obtenção principalmente de conhecimentos das camadas de conhecimento superficial, de raciocínio, de solução de problemas e de conhecimento profundo (figura 3.3).

3.2.5.2 - Revisão de documentação

Do termo inglês “paper review”, neste método, o engenheiro de conhecimento submete ao especialista os resultados intermediários obtidos, as regras propostas assim como os modelos da base de conhecimento que tenham sido construídos. O especialista pode então discutir a acuracidade e validade do mesmo, emitindo seu parecer em tópicos que o engenheiro de conhecimento indique como possíveis focos de inconsistências ou mesmo sobre qualquer ponto que considere relevante uma rediscussão do modelo proposto.

3.3 - Proposta de sequenciamento do uso dos métodos de aquisição de conhecimento

Como preparação para esta seção, nas seções anteriores deste capítulo foram enfocados dois temas:

- foi proposta uma classificação para vários tipos de conhecimentos, os quais foram agrupados segundo a profundidade de informações que cada tipo contém;

- foram discutidas e investigadas diversas ferramentas para aquisição de conhecimento.

Tomando por base as informações geradas nestas duas etapas, é realizada nesta seção uma discussão que resultará na proposição de um sequenciamento para o uso das diversas ferramentas de aquisição de conhecimento. Esta seqüência servirá para guiar a coleta de dados para construção da base de conhecimentos a ser descrita nos capítulos 4, 5 e 6. As informações contidas nesta base servirão de subsídios para proposição de um modelo que sistematize o processo de realização de estudos de simulação.

Para determinação do seqüenciamento das ferramentas de aquisição de conhecimento a serem executadas, a priori dois fatores devem ser considerados: a metodologia de execução e o tipo de conhecimento que cada uma permite obter. A partir destes dois parâmetros, será proposto um sequenciamento para execução destas tarefas de aquisição de conhecimento (o qual pode vir a ser alterado em função de fatores como a disponibilidade das fontes de conhecimento, recursos disponíveis, limitações de tempo, etc.). Este sequenciamento é sumarizado graficamente na figura 3.4 apresentada no final deste capítulo.

O processo de aquisição pode ser iniciado com a execução de uma seção de “Fragmentação de textos”, a qual será realizada na busca da aquisição de conhecimentos superficiais documentados e que servirão como embasamento para um primeiro esboço de modelo de conhecimento a ser construído pelo engenheiro do conhecimento, e muitas vezes, pode ser o primeiro contato deste com o domínio de conhecimento a ser abordado. Para esta tarefa, podem ser utilizados como fontes livros, relatórios, manuais e outros textos pertinentes ao domínio do conhecimento.

Em seguida, visando um refinamento e enriquecimento do conteúdo deste esboço de modelo, devem ser investigados os principais fatores que influenciam a execução de uma tarefa neste domínio, bem como a maneira que estes devem ser abordados para obtenção de um bom rendimento na execução da mesma. Numa seção de entrevista com um (ou mais especialistas) que pode iniciar-se com uma entrevista não estruturada, buscando confirmar as informações já obtidas, podem então a seguir ser executadas as ferramentas “Fatores Críticos do Sucesso”, a qual pode ser vista como um ponto de partida para a execução da “RGA”, (as informações obtidas na “FCS” podem ser utilizadas para preenchimento das primeiras etapas da “RGA”). Pode-se então usar alguns dos fatores apontados na “FCS” e na “RGA” como tema para realização de uma “Entrevista dirigida”. Para finalizar esta primeira etapa, deve ser realizada posteriormente uma seção de “Análise de protocolo”, que deve ser executada sempre após a aquisição de informações do tipo verbalizadas (que compõe um protocolo).

Neste ponto, o modelo da base de conhecimento poderá então ser refinado e enriquecido.

Numa segunda etapa do processo de aquisição, pode ser realizada uma “Entrevista estruturada”, a qual deve ser elaborada a partir dos conhecimentos já obtidos até este ponto e que pode ser seguida (na mesma reunião com o especialista ou não) da execução de ferramentas de execução de tarefas, como “Pensar alto (Thinking aloud)”, e “Simulação de cenário”, duas ferramentas bastante semelhantes cuja execução pode ser realizada sequencialmente ou de forma simultânea, durante a execução da mesma tarefa. Como já frisado anteriormente, para finalizar esta primeira etapa deve ser realizada posteriormente uma seção de “Análise de protocolo”, que deve ser executada sempre após uma seção de aquisição de informações do tipo verbalizadas. O modelo da base de conhecimento pode então novamente ser refinado e enriquecido, e servirá como embasamento para a terceira etapa do processo de

aquisição, o qual constitui-se na execução de tarefas de debates entre grupos de especialistas.

Nesta terceira etapa, o engenheiro do conhecimento deve procurar reunir um grupo de especialistas (entre dois e cinco) para uma reunião do tipo “Brainstorming”, que pode se iniciar com uma seção de “Brainstorming” convencional seguido (na mesma reunião com os especialistas ou não) de uma seção de “Brainstorming adaptado (BRADA)” e outra de “Brainstorming com esclarecimentos”, sendo que esta última pode ser utilizada para verificação tanto do modelo já construído até este momento, bem com das informações obtidas na seção de “Brainstorming adaptado (BRADA)”. Novamente, para finalizar esta etapa deve ser realizada posteriormente uma seção de “Análise de protocolo”, para análise e codificação das informações do tipo verbalizadas coletadas.

Como quarta etapa do processo podem ser realizadas seções de aquisição utilizando as ferramentas “Teach Back” e “Observação” (se possível, pois esta última, por sua natureza é um pouco difícil de ser agendada).

Com o modelo já refinado e enriquecido com as informações obtidas em todas as quatro etapas executadas anteriormente, pode então ser realizada a última etapa do processo. Esta é constituída pelas ferramentas de revisão, que são “Comentários” (assim como a ressalva colocada para a tarefa “Observação”, esta também é um pouco difícil de ser agendada, e pode ser substituída por uma seção de “Teach Back”) e finalmente, “Revisão de documentação”, onde serão revistas todas as informações contidas no modelo da base de conhecimento construída.

Figura 3.4 - Sequenciamento do processo de aquisição de conhecimento.

Uma vez discutidas as ferramentas e metodologias para aquisição do conhecimento e um sequenciamento adequado para execução das mesmas dentro do contexto dos conhecimentos que se pretende coletar, a etapa seguinte é começar a aquisição do conhecimento e discussão/organização das informações coletadas para confecção da base de conhecimento.

No próximo capítulo, a partir da análise das primeiras fontes de conhecimento escolhidas, será apresentada uma proposta inicial de um roteiro

para sistematização do processo de simulação (fase I da Tabela 2.2 apresentada no capítulo anterior) que deverá servir de base para futuras etapas do processo de aquisição. Estas futuras etapas farão uso das ferramentas e da metodologia de aquisição de conhecimento discutida neste capítulo para refinamento e enriquecimento deste roteiro a proposto.

Capítulo 4 - O processo de simulação

Um estudo de simulação baseia-se na construção e análise de um modelo que represente o sistema a ser avaliado. Várias técnicas de modelagem estão à disposição dos projetistas, os quais devem, de acordo com suas conveniências, escolher dentre elas a que melhor atenda suas necessidades. Deve-se atentar no entanto, para a importância da consistência do modelo construído, pois os resultados obtidos do estudo de simulação estão totalmente relacionados com a fidelidade com que este modelo representa o sistema real. Modelos mal formulados fatalmente produzirão resultados que não descrevem de maneira adequada a realidade, podendo induzir a tomadas de decisões totalmente equivocadas.

A seguir será apresentada uma proposta de um roteiro para sistematização de estudos de simulação. Este servirá de embasamento para o processo de aquisição de dados para construção da base de conhecimentos sobre sistematização de estudos de simulação.

Este roteiro proposto é resultante da execução da primeira fase do processo de aquisição de conhecimento (Tabela 3.1 do capítulo anterior) onde foram exploradas inicialmente as seguintes bases de conhecimento:

- livros publicados na área;
- artigos técnicos publicados em congressos e revistas técnicas da literatura recente;
- notas de aulas de disciplinas do programa de pós-graduação da Universidade de São Paulo;
- entrevistas com pesquisadores do laboratório de simulação e controle de eventos discretos do departamento de engenharia mecânica da EESC/USP;
- experiência do próprio autor deste trabalho na manipulação de softwares de simulação

Assim como cada sistema tem suas particularidades, também o processo de construção de um modelo para simulação varia de acordo com o tipo de situação a ser estudada. Considerações que se apresentam vitais para determinadas situações podem perfeitamente tornar-se descartáveis quando o enfoque do estudo é modificado. Desta forma, o que ditará a necessidade ou não da aplicação de cada um dos passos do roteiro proposto será:

- o grau de complexidade do projeto;
- as dimensões das conseqüências que determinadas falhas poderão trazer;

- os recursos disponíveis (disponibilidade orçamentária, equipamentos, mão de obra, etc.);
- a experiência dos projetistas, etc.

Vários autores (Banks e Norman, 1996; Harrel et al., 1992; Pritsker, 1992; Schriber, 1991; Pegden et al., 1990 e Ingels, 1985) colocam a sistematização como uma maneira de otimizar o desenvolvimento do processo.

A proposta de sistematização a ser apresentada, é esquematizada no fluxograma da Figura 4.1 a seguir. A opção foi por uma seqüência bem simples (com poucas etapas e sem atividades em paralelo), pois o mesmo virá a ser utilizado nas fases posteriores de aquisição de conhecimento, e desta forma minimiza-se possíveis influências nas respostas dos entrevistados. Posteriormente, ao longo deste capítulo serão analisadas e comentadas cada uma das etapas que compõem o roteiro proposto.

Figura 4.1 - Roteiro proposto para sistematização de estudos de simulação
(Lobão e Porto, 1997 - a)

4.1 Definição do problema e dos objetivos do estudo

A compreensão do funcionamento do sistema é fundamental para o sucesso da construção do modelo. Falhas no seu entendimento podem levar o projetista a trilhar um caminho equivocado e conseqüentemente, até que as falhas sejam identificadas, todo o trabalho executado até este ponto poderá ter sido em vão e deverá ser refeito.

Nesta fase, é de crucial importância uma boa interatividade entre o projetista e o cliente (usuário do modelo). Aproveitando esta interação, o projetista deve:

- procurar conhecer profundamente e em detalhes qual é o real propósito do estudo de simulação a ser realizado;
- identificar quais são as respostas que deseja obter deste estudo;
- identificar corretamente quais as entradas serão necessárias de acordo com as variáveis que se deseja estudar e quais as saídas que permitirão obter estas informações desejadas do modelo;
- descobrir qual o comportamento desejado do sistema a ser modelado.

Uma possível maneira para o projetista atingir as metas colocadas acima é procurar responder juntamente com o cliente, as seguintes perguntas:

- Quais questões o estudo de simulação deve ajudar a responder imediatamente ?
- Quais questões o estudo de simulação deve ajudar a responder num futuro próximo (de forma a permitir futuras expansões no sistema) ?

- Quem serão os principais usuários do modelo ?
- Quem realizará a manutenção e as possíveis futuras expansões do modelo a ser construído ?
- Qual a quantidade e quais tipos de recursos (orçamentários, humanos, maquinário, matéria prima, etc.) serão necessários para conclusão do estudo ?
- Qual a quantidade e quais tipos de recursos (orçamentários, humanos, maquinário, matéria prima, etc.) estarão disponíveis para conclusão do estudo ?
- Quais limitações serão impostas ao estudo ?
- Onde o trabalho será realizado ?
- Quais os prazos para finalização do estudo ?

Uma vez concluída esta fase de entendimento do problema e dos objetivos do estudo a ser realizado, o próximo passo será a construção de um esboço de modelo para estudo do fluxo de dados e da hierarquia entre os módulos componentes do modelo. Ressalte-se que a interação projetista/cliente não estará encerrada aqui, uma vez que o acompanhamento do processo por parte do cliente será muito útil para o desenvolvimento do modelo.

4.2 Elaboração de um primeiro modelo para estudo do fluxo de dados e da hierarquia entre seus módulos

Nesta fase do processo, o projetista deve elaborar um esboço do que virá a ser o modelo do sistema a ser estudado, de forma a permitir a realização dos primeiros estudos sobre o fluxo de informações dentro do sistema, a disposição física dos seus diversos componentes, a hierarquização entre seus diversos módulos, etc.

Uma estratégia bastante utilizada é a de dividir o sistema em diversos módulos. Esta estratégia permite a transformação de um grande problema num conjunto composto por vários outros pequenos problemas, os quais são mais facilmente gerenciáveis. Pode-se ressaltar ainda que, de acordo com o foco principal do estudo, o “*lay-out*” do modelo pode ser organizado sob diferentes abordagens:

- tomando por base o arranjo físico dos diversos elementos que compõem o sistema;
- o fluxo de informações entre os seus diversos componentes;
- a hierarquização dos seus módulos, etc.

Em função da abordagem escolhida para construção do modelo, uma variedade de ferramentas e metodologias podem ser úteis na construção deste diagrama:

- **diagrama de blocos:** é uma representação gráfica do sistema, que permite representar as relações entre cada elemento do mesmo. Os diagramas de blocos podem ser utilizados apenas para esquematizar o

“lay-out” do modelo e os fluxos que ocorrem no sistema real (figura 4.2 a seguir), ou podem ser parametrizados, conforme será comentado a seguir nos diagramas orientados a objeto.

Figura 4.2 - Representação de uma célula de manufatura através de diagrama de blocos

- **diagrama de fluxo de dados:** o diagrama de fluxo de dados pode ser visto como um caso particular do diagrama de blocos, onde são considerados apenas os fluxos de dados presentes no sistema (programação da produção, roteamento de AGV's, etc.). Esta abordagem é mais utilizada quando o enfoque principal do estudo for estudar os componentes de planejamento e controle do sistema (figura 4.3).

Figura 4.3 - Representação de uma célula de manufatura através de diagrama de fluxo de dados.

- **diagrama de objetos:** podem ser vistos como um aprofundamento dos diagramas de blocos, onde os diversos blocos componentes do sistema estudado são parametrizados, enriquecendo assim as informações contidas no diagrama construído. É uma abordagem que permite a criação de uma biblioteca de rotinas que representam os diversos módulos de um sistema (filas, buffers, esteiras, etc.), os quais podem ser interconectados para formar o modelo em estudo, facilitando bastante o trabalho (Ziegler, 1990).

Esta é uma abordagem que tem sido empregada cada vez mais no desenvolvimento de softwares, e é utilizada principalmente por:

- projetistas mais experientes, que já conhecem previamente a configuração dos diversos módulos de um sistema (filas, buffers, esteiras, etc.), e utilizam-se destes módulos como uma biblioteca de rotinas, facilitando bastante o trabalho.
- usuários de softwares simuladores que permitem uma abordagem de modelagem orientada a objeto.

A figura 4.4 a seguir mostra como poderia ser o detalhamento da parametrização de um destes blocos (por exemplo, Estação 1) na construção de um diagrama de objetos:

Estação 1 [X]

Configurações de "Estação 1":

Função: torneamento

Tempo de processamento (tp): 50 segundos

Distribuição probabilística de tp: normal

Desvio padrão de tp: 3 segundos

Incidência de falhas: 2,5 %

Entradas

Peças chegam de: estação 1

Tempo de percurso (te): 4 segundos

Desvio padrão de te: 1 segundo

Dados chegam de: estação 1, 2, 3

Saídas

Peças seguem para: estação 3

Tempo de percurso (ts): 6 segundos

Desvio padrão de ts: 1,7 segundo

Dados seguem para: gerenciador

OK

Cancelar

Editar

Figura 4.4 - Detalhamento do objeto "Estação 1"

4.3 Aquisição dos dados

O processo de aquisição de dados pode ser bastante facilitado pela observação do esboço do modelo (construído no passo anterior). Através dele podem ser facilmente identificadas quais são as entradas e saídas mais relevantes para o estudo que se deseja realizar. Os meios para execução da etapa de coleta de dados variam de acordo com a situação:

- para sistemas já existentes, as informações podem ser coletados de dados históricos armazenados pela empresa, ou através de medições “*in loco*”;
- para sistemas ainda não implementados, os dados podem ser obtidos através de catálogos de fabricantes, de entrevistas com operadores de sistemas similares, com os projetistas dos equipamentos, etc.

É importante também a identificação de quais as entradas e saídas são controláveis e quais são incontroláveis. A partir daí deve-se propor soluções para eliminar, ou ao menos atenuar, os efeitos indesejáveis das entradas não controláveis. Como exemplo, pode-se citar as condições ambientais deterioradas podem ser incontroláveis em um ambiente industrial, e uma possível solução é a utilização de equipamentos com blindagem mais robusta - o que não elimina o problema, mas atenua seus efeitos.

Após a coleta destes dados, um fator importantíssimo é a determinação de como estes dados variam, isto é: qual o tipo de distribuição de probabilidade que mais se assemelha à distribuição apresentada pelos dados coletados. Algumas possíveis maneiras para se responder esta questão são:

- através da análise de resíduos da distribuição;

- construção de histogramas e comparação com curvas de distribuição padronizadas;
- testes de aderência, etc.

4.4: Validação e verificação dos dados

Dados inconsistentes ou não acurados podem conduzir a resultados equivocados que tiram toda a credibilidade do estudo de simulação. Ingels (1985) ressaltava este fato através do que ele chama de “*axioma*” computacional: “Entra lixo, sai lixo”. Em outras palavras; pode-se afirmar que existe uma relação direta entre a qualidade da entrada do sistema (confiabilidade dos dados coletados) e a saída proporcionada pelo mesmo (os resultados obtidos do estudo de simulação). Mais ainda: em função das complexas relações entre as diversas variáveis do sistema e do efeito da propagação dos erros, pode-se afirmar que os erros na coleta de dados que alimentarão o estudo de simulação implicarão em uma queda do nível de confiabilidade dos resultados obtidos que não é linear, assemelhando-se mais a uma relação exponencial. Esta relação é expressa na figura 4.5.

Figura 4.5 - Relação entre a confiabilidade dos dados de entrada do sistema e a qualidade dos resultados do estudo

Algumas maneiras de verificar a validade dos dados coletados para o estudo são apresentadas a seguir:

- coletar dados de diferentes fontes (por exemplo, aquelas citadas no item anterior) e verificar se os grupos de dados coletados são semelhantes;
- construir um histograma com os dados coletados e comparar com os tipos de distribuições probabilísticas mais adequadas para descrever o tipo de dado considerado, verificando então se há semelhança entre eles;
- ao realizar a primeira corrida de simulação com os dados coletados, verificar se os mesmos produzem resultados que não sejam compatíveis com o que acontece na realidade (por exemplo, em uma fábrica verificar se uma empilhadeira “passa por dentro” de uma máquina para realizar seu percurso).

4.5 Construção de um modelo para realização do estudo de simulação

Este é a etapa em que será construído o modelo propriamente dito para realização do estudo de simulação, e realizada a escolha do software simulador. É um fator muito importante para o sucesso do estudo que o pacote de software simulador escolhido seja adequado ao uso que lhe será dado, de modo que os diversos recursos oferecidos pelos mesmos possam ser utilizados em sua plenitude.

Uma outra importante observação deve ser colocada quanto ao dimensionamento do modelo construído para o estudo. Deve-se tomar cuidados para que não haja exageros no nível de detalhamento do mesmo, pois se a negligência na identificação das variáveis e na construção do modelo pode trazer graves inconsistências aos resultados obtidos, também a construção de um modelo superdimensionado pode tornar o sistema muito complexo. Ao contrário do que se poderia supor, isto além de aumentar os custos de desenvolvimento do modelo, diminui a velocidade de processamento e dificulta o seu entendimento e o trabalho de manutenção, diminuindo desta forma a sua confiabilidade, conforme ilustra o gráfico da Figura 4.6 a seguir.

Figura 4.6 - Relação entre o nível de complexidade do modelo construído, os custos de desenvolvimento do mesmo e a confiabilidade dos resultados dos estudos de simulação

4.6 Verificação e validação do modelo

A consistência do modelo construído em relação ao que ocorre no mundo real é muito importante. Os resultados obtidos do estudo de simulação estão totalmente relacionados com a fidelidade com que o modelo representa o sistema real. Modelos mal formulados fatalmente produzirão resultados que não descrevem de maneira adequada a realidade. Pode-se dizer que o processo de validação de um modelo é bastante semelhante ao de validação dos dados, e

que ambos estão fortemente interrelacionados (na análise dos dados pode-se verificar inconsistências no modelo e vice-versa). Também aqui, algumas abordagens que podem ser adotadas para validação dos modelos podem ser listadas:

- interatividade com o cliente: o futuro usuário do modelo deve responder se o modelo produz corretamente todas as repostas desejadas;
- discutir com o cliente quais variáveis foram desprezadas na construção do modelo e quais tipos de aproximações foram realizadas. Questionar se estas considerações não afetarão a qualidade dos resultados;
- verificar se o modelo produz resultados fisicamente impossíveis (por exemplo: um AGV “passando por dentro” de uma máquina ferramenta, ou com um tempo de trajeto entre duas estações de trabalho negativo ou nulo, etc.);
- realizar a animação da simulação em velocidade baixa, pois isto permite que se faça um “Debug” visual do processo sendo simulado, permitindo que através de uma atenta observação haja detecção de algumas inconsistências caso elas existam;
- solicitar que uma pessoa familiarizada com o funcionamento do sistema em estudo “assista” a uma corrida de simulação (com animação) e procure encontrar algum problema;
- solicitar que um outro modelador experiente realize uma revisão no modelo;
- propor um “teste de Turing” adaptado: especialistas no sistema estudado recebem dois relatórios - um contendo dados fornecidos pela

simulação do modelo, e outro relativo à operação do sistema real (sem que tenham conhecimento de qual é qual). Solicita-se então que eles discutam as diferenças entre os dois grupos de dados que lhes é apresentado.

4.7 Projetar o experimento

Esta é a fase de proposição de procedimentos e testes para analisar e comparar as diversas alternativas possíveis à solução do problema. Para cada um dos diferentes experimentos realizados, uma seqüência idêntica de eventos deve ser recriada para que técnicas de redução de variância possam ser então aplicadas de forma a realçar as diferenças e contrastes entre as diversas alternativas. É importante também que para cada nova configuração experimental, uma nova bateria de testes de validação seja realizada (desde que seja justificável economicamente) visando garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. No planejamento do experimento, algumas questões devem ser respondidas:

- para quais configurações do sistema as replicações serão realizadas ?
- sob que condições cada replicação será realizada ?
- qual a duração de cada corrida ?
- quantas replicações de cada alternativa devem ser realizadas (ver logo a seguir) de modo a se obter o grau de confiança desejado ?

Alguns métodos avançados de planejamento de experimentos são bastante conhecidos (Análise fatorial, Método de Taguchi, etc.) e podem ser encontrados em Kleijnen (1987) e Taguchi e Yuin (1979).

É muito importante ainda quando se realiza um estudo de simulação, determinar o tamanho adequado da amostra de dados - isto é: qual o número de replicações suficiente para produzir resultados dentro do intervalo de confiança desejado. Esta informação pode ser obtida da seguinte expressão (Achcar e Rodrigues, 1992):

onde: n é o número de replicações necessárias que se deseja obter;

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2} \sigma}{d} \right)^2$$

- σ é o desvio padrão da amostra obtido dos dados que se possui;

- α é o intervalo de confiança em que se deseja trabalhar;

- $z_{\alpha/2}$ é obtido da tabela de distribuição normal padronizada p/ o α estabelecido;

- d é o máximo erro de estimação admitido para a simulação.

4.8 Executar o experimento e analisar os resultados

A execução da simulação deve ser feita somente depois que os passos anteriores tenham sido executados, de forma a melhorar o aproveitamento do estudo e garantir a consistência e confiabilidade dos resultados obtidos. Para permitir uma boa qualidade da análise dos resultados, cada alternativa testada deve ser cuidadosamente documentada. Estes dados (entradas utilizadas e saídas da simulação) devem ser organizados em forma de tabelas e de gráficos e armazenados em uma base de dados para posterior análise final.

4.9 Refinar o projeto do experimento

Caso os resultados obtidos no passo anterior não se mostrem satisfatórios para resolução do problema, a alternativa é a repetição da etapa 7 - planejamento do experimento (considerando-se aqui que a validação dos dados e do modelo foi realizada de forma conveniente e sem falhas).

4.10 Análise final dos resultados e documentação do processo

- Análise dos resultados do estudo

Assim como a confiabilidade e a consistência dos resultados obtidos pelo estudo de simulação são ditadas pela validade do conjunto dos dados e do modelo que subsidiarão o estudo de simulação, é nesta etapa de análise de resultados que será adicionado valor ao estudo realizado. É de uma análise bem realizada dos resultados que se maximiza os ganhos (em tempo e recursos) que se deseja obter do uso da simulação como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

Diversas técnicas e ferramentas estão disponíveis para análise dos resultados obtidos e comparação de cenários de trabalho, como por exemplo:

- análise de sensibilidade;
- análise canônica;
- análise de superfícies de respostas, etc.

Documentação do processo:

Dois aspectos importantes devem ser considerados quando da finalização da documentação do processo: o conteúdo e organização da documentação produzida e o controle de acesso à mesma:

- **produção de documentação:** a documentação final, terá por objetivo permitir o rápido e claro entendimento do sistema por outros usuários quando houver necessidade de ampliações, ou manutenção do modelo. Esta documentação deverá conter no mínimo:

- uma lista de referências cruzadas de entrada e saída;
- a documentação do desenvolvimento do processo de modelagem completo, desde seu início;
- diagrama de blocos do modelo;
- descrição detalhada da operação de cada bloco funcional;
- uma lista com o nome de todas as variáveis, os valores a elas atribuídos e as distribuições probabilísticas de dados adotadas para cada uma delas, com suas respectivas medidas de dispersão;
- relatório sobre os procedimentos executados para coleta de dados, quais as fontes foram escolhidas e o porque desta escolha;
- uma bem documentada análise estatística dos dados de saída e uma classificação qualitativa e comentada das possíveis alternativas de soluções para o problema identificadas no estudo;

- relatório comentando a relação custo/benefício das alternativas recomendadas pelo estudo de simulação;
- listagem com o nome e dados relevantes de todas as pessoas envolvidas no processo, relacionando ainda qual a participação de cada uma destas pessoas nas diversas fases do estudo realizado;
- réplicas atualizadas do modelo computacional produzido com cópias de segurança guardadas em local seguro.

acesso restrito a documentação: devido às amplas facilidades de modificação de um modelo computacional, pessoas alheias ao processo podem involuntariamente (ou não) alterar a configuração do sistema. Algumas formas de se contornar este problema são:

- a instalação de senhas de acesso aos programas;
- exigências de chaves de *hardware* ("hard-keys") para utilização do sistema;
- chaves convencionais para acesso aos equipamentos, ou ainda;
- utilização de uma linguagem cifrada de conhecimento restrito a alguns membros da equipe.

Embora este item sobre documentação do estudo esteja colocado como o último passo do processo, é importante ressaltar que aqui é realizada apenas a organização final da documentação das informações e dos dados gerados pelo estudo. Na realidade a documentação deve ser conduzida desde os primeiros passos do processo, a fim de que as informações sejam cadastradas quando

ainda são recentes na mente do modelador. Uma outra justificativa para esta maneira de agir é que, normalmente um estudo de simulação é conduzido por uma equipe de várias pessoas, e a documentação atualizada passo-a-passo permite o fácil entendimento de todo o sistema por todos os componentes da equipe que trabalham paralelamente no estudo.

4.11 – Considerações finais

Neste capítulo foi apresentada uma proposta de roteiro para sistematização de um estudo de simulação. O trabalho aqui realizado equivale à execução da Fase I do processo de aquisição de conhecimento, expressa na Tabela 3.1 – “Imersão no conhecimento”.

Nos próximos capítulos serão discutidos o enriquecimento e depuração desta primeira versão de uma base de conhecimento (equivalente à execução das Fases II e III do referido processo); utilizando então como fonte de conhecimento: profissionais usuários de simulação de algumas empresas e universidades.

Serão aplicadas as metodologias discutidas no capítulo 3 deste trabalho, utilizando alguns questionários comentados no capítulo 5 a seguir.

A figura 4.7 esquematiza de maneira geral os tópicos tratados neste capítulo.

Laboratório de Simulação e Controle
Núcleo de Manufatura Avançada
 Departamento. Engenharia Mecânica - EESC - USP

Figura 4.7 - Esquematisação do processo de estudo de simulação.

Capítulo 5 – Considerações sobre a execução da etapa de aquisição de dados

No capítulo 3 foi definida a metodologia de aquisição de conhecimentos a ser empregada, e no capítulo 4 foi elaborado um primeiro modelo para o desenvolvimento de estudos de simulação de manufatura. No próximo capítulo deste trabalho (Capítulo 6) será discutido o aprofundamento da base de conhecimento que determinará o modelo final para sistematização do processo.

Neste capítulo, é relatada e comentada a execução da etapa de aquisição de conhecimento realizada. São comentados a metodologia executada, quais as dificuldades encontradas durante os contatos com especialistas em simulação, e os tipos de contatos realizados:

- visitas técnicas;
- entrevistas;
- brainstormings, e

- contatos via correio eletrônico (*e-mail*) .

Finalizando, são apresentados e comentados o material e os questionários utilizados nestes contatos realizados com os especialistas.

5.1 – A metodologia para contatar empresas e especialistas

Como forma de guiar a busca por profissionais que trabalham com simulação e que poderiam servir de fontes de informação para este trabalho, procurou-se determinar um “grau de especialização” dos usuários de simulação.

Desta forma, são considerados “*especialistas em simulação*” aqueles profissionais que tem notório conhecimento sobre o processo de simulação e larga experiência prática no assunto. Neste grupo de profissionais invariavelmente enquadram-se consultores e professores universitários e profissionais que trabalham em empresas de manufatura com tempo de dedicação praticamente exclusiva à realização de estudos de simulação.

Considerou-se ainda como “*especialistas parciais*” aqueles profissionais que tem notório conhecimento e larga experiência prática em alguns dos temas relacionados com o estudo de simulação. Neste grupo enquadram-se por exemplo professores universitários que trabalham em algumas linhas de pesquisa relacionadas com simulação, e profissionais que trabalham em empresas de manufatura e cuja especialização está em temas relacionados à simulação.

Uma terceira classe de fonte de informações considerada é a dos “*usuários experientes*”. São profissionais que não tem notório conhecimento nem larga experiência prática, porém tem bom conhecimento sobre simulação adquirido através de participação em equipes que realizaram estudos de simulação.

Como primeira etapa na definição das fontes de conhecimento, as entrevistas e visitas às empresas foram agendadas após contatos preliminares com “especialistas em simulação”, identificados de acordo com uma das seguintes possibilidades: o especialista trabalha como consultor técnico em uma empresa que é representante de *software* de simulação, ou presta serviços de consultoria em simulação para outras empresas da área de manufatura industrial.

A partir desta primeira etapa, outras fontes de conhecimentos (“especialistas em simulação”, “especialistas parciais”, e/ou “*usuários experientes*”) foram contatadas de acordo com uma das seguintes hipóteses:

- o profissional de determinada empresa foi indicado por um consultor (que trabalhe em uma empresa do grupo acima) que tenha desenvolvido um trabalho em conjunto com o mesmo;
- a fonte de conhecimento foi contatada em congressos técnicos da área de engenharia, e foi acertada então uma visita técnica à empresa onde a mesma trabalha;
- através de “cases” encontrados na literatura, entrou-se em contato com o departamento de relações públicas da empresa relatada nestes artigos. Este então indicou o profissional da área técnica a ser contatado para receber a visita.

Uma vez determinada a pessoa a ser entrevistada, e agendada uma visita à empresa, adotou-se (sempre que possível) um procedimento similar em todos os casos:

1. é feito um contato telefônico onde são tratados dos objetivos e do formato da visita;
2. é enviado ao especialista através de correio eletrônico um material manuscrito visando fornecer subsídios para que o mesmo possa preparar-se para a visita. Neste material consta o roteiro para sistematização de estudos de simulação proposto no capítulo 4;
3. neste contato através de correio eletrônico, é enviado também um questionário contendo algumas perguntas a respeito do assunto. As respostas a este questionário (o qual pode ser visto como sendo uma entrevista dirigida, de acordo com a figura 3.4) servirão de embasamento para preparação da entrevista a ser realizada durante a visita (que equivale a uma entrevista estruturada, de acordo com a figura 3.4);
4. durante a visita realizada, além da entrevista estruturada comentada acima, o especialista é encorajado também a comentar livremente alguns assuntos relativos a sua experiência em simulação (ainda de acordo com a figura 3.4, “pensar alto”). Convida-se também o mesmo a relembrar alguns trabalhos realizados e/ou fazer conjecturas a respeito de potenciais casos hipotéticos (“pensar alto” e “simulação de cenário” de acordo com a figura 3.4);
5. em alguns casos, quando houve disponibilidade de tempo; e mais de um profissional foi colocado à disposição para colaboração com este trabalho, é realizado um *brainstroming* com os

participantes. Nesta etapa aproveita-se para tentar realizar a coleta de novas informações e checagem de alguns dados já coletados (“*brainstorming*” e “*brainstorming* com esclarecimentos”, também de acordo com a figura 3.6).

6. a checagem de algumas informações conflitantes coletadas em algumas empresas é feita principalmente através de consultas a especialistas mais experientes, que trabalham em consultoria em simulação já há bastante tempo (comentários e revisão da documentação, ainda de acordo com a figura 3.6). Em determinados casos, principalmente quando o conflito permanece, utiliza-se a colaboração via correio eletrônico do prof. Charles Harrell, da universidade BYU (Birmingham Young University), projetista do software de simulação PROMODEL.

Ainda com relação à metodologia adotada para as entrevistas, procurou-se agrupar as questões a serem colocadas aos especialistas em três grupos, de acordo com a natureza das informações envolvidas:

- um questionário padrão a ser apresentado para a gerência de recursos humanos;
- um questionário padrão a ser apresentado para a gerência técnica de engenharia;
- um questionário padrão a ser apresentado para a equipe técnica que trabalha com simulação;

5.2 – Contatos realizados

Varias empresas foram contatadas sobre a possibilidade de colaboração com este trabalho. Estes contatos resultaram em algumas das seguintes situações:

- a empresa não tinha competência no assunto (embora já tenha realizado trabalhos de simulação, foram trabalhos terceirizados);
- devido à alta carga de trabalho, não havia disponibilidade para colaboração;
- não houve resposta ao contato, ou
- a resposta à solicitação de colaboração foi afirmativa, e o contato efetivou-se de forma bastante produtiva.

As empresas e os respectivos contatos que se encaixam nesta última alternativa acima são apresentadas a seguir, agrupadas em: indústrias, prestadores de serviços, e institutos de pesquisa.

5.2.1 – Indústrias

Ford do Brasil – Contato realizado com Luiz Henrique de Moraes, engenheiro mecânico, mestre em engenharia de produção mecânica, exerce o cargo de engenheiro de produção sênior na unidade da Ford Brasil em Taubaté, SP. Segundo MORAES, os principais softwares simuladores utilizados

na Ford são o ARENA, o AUTOMOD, o WITNESS e o SIMUL-8. Atualmente a empresa optou por criar uma estrutura integrada mundialmente para a realização das diversas atividades, dentro de um programa denominado CPEM (Common Process Engineering Method). Para estudos de simulação, optou por padronizar os estudos utilizando o WITNESS e o SIMUL-8.

General Motors do Brasil – Contatado inicialmente o sr. João Sidney Fernandes, gerente de engenharia de manufatura, no centro tecnológico da General Motors do Brasil, em São Caetano do Sul, S.P.

Além da entrevista com o próprio Sr. João Fernandes, foram realizadas também entrevistas com sua equipe técnica, e uma seção de demonstração dos trabalhos realizados seguida de um brainstorming.

A equipe que colaborou com este trabalho é composta pelos seguintes profissionais:

- João Sidney Fernandes, gerente de engenharia de manufatura,
- Julio Tabegna, engenheiro mecânico, exerce o cargo de engenheiro de Simulação no departamento de engenharia de ferramental;
- Rubens Mechi, que exerce a função de engenheiro de manufatura no departamento de *lay-out* industrial;
- Wagner Consani, Administrador de Empresas, exerce o cargo de técnico em *lay-out* no departamento de *lay-out* industrial;
- César Takao Matayoshi engenheiro mecatrônico, exerce o cargo de engenheiro de manufatura, no departamento de processos de estampagem;

Alguns dos softwares utilizados nos trabalhos realizados pela equipe para desenvolvimento de estudos de simulação são:

- O IGRIP e o Quest, da Deneb;
- O AutoCAD 2000 e o 3DStudio Max, da Autodesk;
- O UG-Basic I e o UG-Mechanisms, da UG-Solutions;
- O Tech Illustrator, da Auto-trol Technology, e
- O Arena, da Paragon.

Industria de Produtos Alimentícios Cory LTDA – Contato realizado com Francisco Luiz Gallo. Engenheiro de produção mecânica, Gallo responde pela gerência de logística e tecnologia de informações na empresa. Utiliza a simulação para auxílio á tomada de decisões principalmente em:

- pesquisas sobre melhorias em *lay-outs*;
- em estimativa de desempenho de vendas, e
- em análises financeiras.

Maxion Componentes Estruturais Ltda. – nesta empresa localizada em Cruzeiro, no interior de SP, o contato foi realizado com o senhor Pedro Ricardo Nolde. Engenheiro mecânico, o sr. Nolde é gerente geral de prensados e chassis da empresa, e recentemente utilizou a simulação como uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento de novas longarinas na empresa.

5.2.2 – Prestadores de serviços

Autosimulations, Brasil – empresa representante no Brasil da Autosimulations, empresa americana que detém a propriedade do AUTOMOD, entre outros softwares. A *Autosimulations, Brasil* presta também serviços de consultoria em simulação nas áreas de sistemas de manufatura industrial, logística e serviços. A entrevista na *Autosimulations, Brasil* foi realizada com Luiz Caccalano, diretor técnico e consultor de projetos de simulação na área industrial.

Electronic Data Systems (EDS) Brasil – A EDS Brasil presta serviços de consultoria em simulação e automação industrial à General Motors do Brasil. O contato foi realizado com Sandro Magalhães Manteiga, que é engenheiro mecatrônico, e desenvolve trabalho de mestrado na FEA/USP. Especialista em simulação, onde atua na área de sistemas de manufatura discreta e logística.

Paragon – empresa representante no Brasil da SMC (System Modeling Corporation), que detém a propriedade do ARENA, entre outros softwares. A Paragon desde 1991 presta também serviços de consultoria em simulação de sistemas de manufatura industrial. A entrevista na Paragon foi realizada com Luiz Augusto G. Francese; diretor técnico e especialista em simulação de sistemas de manufatura.

5.2.3 – Instituições de pesquisa

BYU (Birmingham Young University) – Nesta universidade, foram realizados contatos via correio eletrônico com o professor Charles Harrell. O professor Harrell é Phd pela universidade da Dinamarca, tendo sido o projetista principal do software de simulação PROMODEL. Ex-presidente da Promodel Corp., o professor Harrell atualmente é titular da cadeira de simulação de sistemas de manufatura na BYU (Birmingham Young University).

CNPDIA Embrapa – é uma unidade da EMBRAPA localizada em São Carlos, no interior de São Paulo, responsável por pesquisas em instrumentação. NA CNPDIA, foi realizada entrevista com Dr. Ricardo Yassushi Inamasu. Pesquisador da unidade na área de instrumentação, é doutor em engenharia mecânica e especialista em simulação de eventos discretos, tendo realizado vários trabalhos em simulação utilizando a ferramenta “redes de Petri”.

UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) – nesta universidade foram realizadas entrevistas com os professores Miguel A. Bueno da Costa, e Francisco Louzada Neto.

- O professor Costa pertence ao quadro de docentes do departamento de engenharia de produção tem formação em engenharia de mecânica e em administração de empresas. Sua experiência em simulação vem de sua participação nos grupos de pesquisa Ergo & Ação e SIMUCAD, que

prestam serviços de consultoria a várias empresas em estudos de simulação e de ergonomia.

- O professor Francisco Louzada-Neto pertence ao quadro de docentes do Departamento de Estatística da Universidade Federal de São Carlos. É PhD em Estatística pela Universidade de Oxford, Inglaterra (1998), Mestre em Computação e Matemática Computacional pela USP-ICMSC (1991), Graduado em Estatística pela UFSCar (1988). Desde 1989 exerce o cargo de professor na UFSCar, sendo atualmente Professor Adjunto no Departamento de Estatística, onde ministra disciplinas na graduação e no mestrado.

Suas principais áreas de atuação são:

- Análise de Riscos;
- Análise de Sobrevida e Confiabilidade Industrial;
- Controle Estatístico de Qualidade;
- Inferência Clássica e Bayesiana, e
- Planejamento de Experimentos Industriais.

UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) – nesta universidade foi realizada entrevista com o professor Antonio Batocchio. O prof. Batocchio obteve sua Livre Docência pela Universidade Estadual de Campinas em 1996 com o trabalho "Desenvolvimento de um módulo semi-estratégico para apoio às decisões no nível operacional". Realizou pós-doutoramento na University of Minnesota, USA no período de 1994 a 1996, estudando o desenvolvimento de algoritmos e software para a formação de S-CFM. É membro integrante do Núcleo de Administração Estratégica & Gerenciamento da Manufatura, que está estruturado, para atuar em dois níveis: pesquisa/desenvolvimento e serviços. As principais linhas de pesquisa deste grupo são:

- Processos, Automação e Robótica
- Gestão e Administração da Produção
- Administração da Qualidade
- Modelamento e Simulação
- Administração Estratégica

5.3 – As questões abordadas no primeiro contato

Conforme comentado anteriormente, num primeiro contato através de correio eletrônico foram enviados alguns questionários a alguns setores das empresas contatadas, os quais são apresentados a seguir.

TERMO DE COMPROMISSO:

TODAS AS INFORMAÇÕES OBTIDAS NESTE CONTATO SERÃO UTILIZADAS COM FINALIDADES ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE ACADÊMICAS COMO SUBSÍDIO À CONCLUSÃO DE UMA TESE DE DOUTORAMENTO EM DESENVOLVIMENTO NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

Elídio de Carvalho Lobão

1 – Pode por favor comentar alguns dos motivos de ordem tecnológica e/ou econômica que levam a empresa a optar (ou não) pela utilização da simulação ?

2 – Na realização de estudos de simulação para apoio à tomada de decisão, poderia comentar quais os principais benefícios desejados e/ou alcançados ?

3 – Quais as atividades da empresa mais utilizam a simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão ?

4 – A respeito da contratação de profissionais para trabalhar com simulação:

A disponibilidade de profissionais é	☐ boa	☐ deficiente
O grau de conhecimento sobre simulação apresentado por estes profissionais é:	☐ abrangente	☐ deficiente
A adequação do conhecimento destes profissionais às necessidades da organização é:	☐ boa	☐ deficiente

5 – Poderia citar quais as principais habilidades (conhecimentos) a organização espera de um profissional contratado para realizar estudos de simulação ?

6 – Poderia citar quais as principais deficiências (conhecimentos) a organização tem detectado em profissionais recém-contratados para trabalhar com simulação ?

Desde já grato pela atenção dispensada,

Elídio C. Lobão
lobao@sc.usp.br

Figura 5.1 – Questionário apresentado para gerencia de engenharia

TERMO DE COMPROMISSO:

TODAS AS INFORMAÇÕES OBTIDAS NESTE CONTATO SERÃO UTILIZADAS COM FINALIDADES ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE ACADÊMICAS COMO SUBSÍDIO À CONCLUSÃO DE UMA TESE DE DOUTORAMENTO EM DESENVOLVIMENTO NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

Elídio de Carvalho Lobão

1 - A seguir é apresentada uma proposta de um roteiro para realização de estudos de simulação. Você tem restrições a alguma(s) destas etapas? Segue algum roteiro diferente? Poderia sugerir alguma ação que não conste do mesmo?

Figura 5.2 – Questionário apresentado para equipe técnica que trabalha com simulação – parte I

TERMO DE COMPROMISSO:

TODAS AS INFORMAÇÕES OBTIDAS NESTE CONTATO SERÃO UTILIZADAS COM FINALIDADES ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE ACADÊMICAS COMO SUBSÍDIO À CONCLUSÃO DE UMA TESE DE DOUTORAMENTO EM DESENVOLVIMENTO NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

Elídio de Carvalho Lobão

1 – Quais parâmetros podem ser observados para determinar-se se a simulação é uma boa solução para um determinado problema? Caso não seja a melhor opção, quais as alternativas mais comuns em seu ponto de vista?

2 - Como proceder para facilitar a manutenção e/ou possíveis expansões do modelo a ser construído? Aqui haverá influência em função de quem serão os futuros usuários?

3 - Como determinar qual a quantidade e os tipos de recursos (recursos orçamentários, humanos, matéria prima, maquinário, etc) serão necessários para a conclusão do projeto?

Há possibilidade de a empresa voltar a colaborar com este trabalho em eventuais futuros contatos similares a este ?

() SIM

() NÃO

Desde já grato pela atenção dispensada,

Elídio C. Lobão
lobao@sc.usp.br

Figura 5.3 – Questionário apresentado para equipe técnica que trabalha com simulação – parte II

TERMO DE COMPROMISSO: TODAS AS INFORMAÇÕES OBTIDAS NESTE CONTATO SERÃO UTILIZADAS COM FINALIDADES ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE ACADÊMICAS COMO SUBSÍDIO À CONCLUSÃO DE UMA TESE DE DOUTORAMENTO EM DESENVOLVIMENTO NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.		
Elídio de Carvalho Lobão		
1 - A respeito da contratação de profissionais para trabalhar com simulação:		
A disponibilidade de profissionais é	☐ boa	☐ deficiente
O grau de conhecimento sobre simulação apresentado por estes profissionais é:	☐ abrangente	☐ deficiente
A adequação do conhecimento destes profissionais às necessidades da organização é:	☐ boa	☐ deficiente
2 – Em sua opinião, as formas tradicionais de formação de recursos humanos (universidades, escolas técnicas, etc) vem atendendo adequadamente as demandas do mercado para formação de profissionais para trabalhar com simulação?		
☐ Sim ☐ Parcialmente ☐ Não		
3 – Poderia citar quais as principais habilidades (conhecimentos) a organização espera de um profissional contratado para realizar estudos de simulação ?		
4 – Poderia citar quais as principais deficiências (conhecimentos) a organização tem detectado em profissionais recém-contratados para trabalhar com simulação ?		
5 – A capacitação dos recursos humanos foi alcançada através de:		
Cursos e treinamento oferecidos pelo fornecedor de sistemas/software/equipamentos		
Cursos e treinamento contratados de terceiros		
Pela própria organização, através de alguns profissionais já qualificados		
A organização já possui / já possuía profissionais qualificados em número suficiente		
Contratação de profissionais qualificados para trabalhar com simulação		
Outra forma -		
Há possibilidade de a empresa voltar a colaborar com este trabalho em eventuais futuros contatos similares a este ?		
☐ SIM ☐ NÃO		
Desde já grato pela atenção dispensada,		
		Elídio C. Lobão lobao@sc.usp.br

Figura 5.4 – Questionário apresentado para gerência de recursos humanos

5.4 – Dificuldades encontradas

De acordo com o sequenciamento proposto no capítulo 3 deste trabalho para o emprego das técnicas de aquisição de conhecimento visando à otimização da tarefa de coleta de dados, o ideal é que esta seqüência seja seguida. No entanto, alguns fatores fora de controle vêm a interferir no processo, obrigando a algumas adaptações durante a execução do trabalho. Estas dificuldades encontradas serão comentadas a seguir:

- **Compromissos desmarcados/adiados:** algumas empresas se dispuseram a colaborar neste trabalho, para isso disponibilizando acesso a seus profissionais, equipamentos e instalações. No entanto, a despeito de toda boa vontade encontrada, estas empresas têm como prioridade suas atividades cotidianas. Em algumas oportunidades as entrevistas e visitas técnicas agendadas precisaram ser adiadas e/ou interrompidas, o que obrigou a desvios com relação ao roteiro previamente estabelecido;
- **Restrições de tempo:** as visitas e entrevistas realizadas são agendadas com horários marcados (variando de algumas horas a uma meia-jornada diária de trabalho). Este fator impõe interrupções forçadas às seções realizadas, muitas vezes interrompendo uma linha de raciocínio que vinha sendo explorada. Embora normalmente estas seções venham a ter continuidade (seja em outra visita ou via contatos por correio eletrônico), sem dúvida o rendimento das mesmas fica sensivelmente comprometido, e a aplicação de algumas das ferramentas de aquisição de conhecimento totalmente inviabilizada;

- **Fonte sem a qualificação adequada:** em alguns contatos, embora a empresa tenha disponibilizado para o contato profissionais competentes e experientes, algumas vezes foram encontrados problemas como:
 - . em alguns casos, estes profissionais não têm conhecimento global do processo em execução;
 - . em outros casos, a fonte disponibilizada tem grande experiência nos processos da empresa e está envolvido com a equipe de simulação (algumas vezes terceirizada), porém tem pouco conhecimento sobre simulação.
- **Restrição ao uso de equipamentos de apoio:** a maioria das empresas visitadas, por motivos de segurança e de sigilo industrial impõe restrições ao uso de equipamentos eletrônicos por parte de visitantes. Isso impede que se faça uso de algumas ferramentas de apoio de grande utilidade para aumentar o rendimento do processo; como por exemplo: gravadores de áudio, filmadoras, computadores portáteis (“*lap-tops*”), etc. Algumas empresas visitadas restringem a entrada até mesmo de disquetes magnéticos.

Capítulo 6 - Análise dos dados coletados

Neste capítulo são organizadas e analisadas as informações coletadas em entrevistas realizadas junto aos especialistas em simulação de manufatura. Estas entrevistas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta no capítulo 3, e utilizando o roteiro proposto no capítulo 4.

A maneira como estas entrevistas foram realizadas, e quais os fatos mais relevantes verificados durante a realização das mesmas foram apresentadas e discutidas no capítulo 5.

São abordados neste capítulo:

- alguns aspectos gerais a respeito da simulação;
- quais os principais objetivos que levaram a empresa a decidir-se pelo uso da simulação como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão;
- análise da viabilidade da realização de um estudo de simulação;

- alguns fatores que segundo os especialistas, se presentes determinarão o sucesso ou o fracasso do estudo de simulação em andamento, e
- o processo de simulação em si, abordado segundo as dez etapas propostas no capítulo 4.

6.1 – Aspectos gerais

Notou-se que as empresas que fazem uso de simulação, de uma maneira geral são principalmente aquelas que estão mais expostas a competição. A maior parte faz uso de uma estratégia mista: procura apoio de terceiros (consultores) para desenvolver o projeto, além de paralelamente formar dentro de seus quadros uma equipe capacitada para realização de estudos de simulação.

Com relação à primeira parte da estratégia, “*buscar apoio de uma consultoria externa*” para desenvolvimento de estudos de simulação, pode-se afirmar que visa principalmente poupar tempo e recursos.

Esta constatação é decorrente das visitas realizadas às empresas comentadas no capítulo 5, e pode ainda ser apoiada em CACCALANO (2000), que ressalta que terceirizar na maioria das vezes é a melhor opção para as empresas, pois:

- o consultor está sempre atualizado;
- o serviço de consultoria é realizado com orçamento pré-estabelecido;
- a empresa tem melhores condições para cobrar resultados;

- o consultor é mais especializado no assunto, e
- os softwares simuladores são caros, e terceirizando a empresa não precisa comprá-los.

Quanto à segunda parte da estratégia, “*formar dentro de seus quadros uma equipe capacitada para realização de estudos de simulação*”, tem como finalidade principalmente:

- capacitar a empresa a dialogar com os consultores;
- fornecer um mínimo de capacitação e agilidade à empresa, de forma que não precise recorrer ao consultor com uma frequência muito alta, e
- possibilitar à empresa uma certa independência em relação ao consultor; que desta forma não será o único detentor de todas as informações.

Com relação ao tema empregabilidade, parece haver um consenso indicando que há pouca disponibilidade de profissionais no mercado. Verifica-se também que geralmente, os profissionais disponíveis não têm o preparo adequado para realização de estudos de simulação, necessitando de treinamento e requalificação.

CACCALANO (2000), e FRANCESE (1999), apontam como principais deficiências encontradas:

- Pouca capacidade para sistematizar logicamente um processo. Comentam ainda que esta deficiência é bastante minimizada em

pessoas que tem alguma experiência em programação de computadores;

- Deficiências de conhecimento em probabilidade e estatística;
- Praticamente ausência de conhecimentos em planejamento de experimentos;
- Desconhecimento sobre programas simuladores.

6.2 - Objetivos da empresa ao se decidir pela utilização da simulação

Quando se propõe a sistematização de um processo, é importante que o modelo proposto vá de encontro aos principais objetivos dos usuários deste processo. Sendo assim, no caso do presente trabalho é vital a identificação dos objetivos de uma empresa ao decidir-se pela realização do estudo de simulação.

Para a identificação destes objetivos, foram realizadas entrevistas com a gerência de engenharia e com consultores das empresas que se prontificaram a colaborar com este trabalho.

MANTEIGA (2000), identifica como principais metas a serem alcançadas pelas empresas com que tem trabalhado, o encurtamento do tempo de desenvolvimento de produtos (*time to market*); e facilitar a operacionalização de processos a serem realizados em paralelo.

MORAES (1999), aponta como principais metas a serem alcançadas nos trabalhos que tem desenvolvido:

- aumento de eficiência dos sistemas produtivos.

- redução de estoques;
- redução do inventário em processo;
- redução do tempo de fluxo (*throughput time*) de um produto na linha de produção;
- redução do tempo de resposta (*lead time*) do sistema a mudanças;
- otimização do atendimento dos prazos de entrega.
- melhor compreensão do sistema produtivo, e
- treinamento e capacitação de pessoal.

MORAES (1999), ressalta ainda que todos os pontos acima, com exceção do último, traduzem-se diretamente em resultados financeiros (redução de custos).

GALLO (1999), identifica como metas a serem alcançadas: a otimização da alocação de recursos e melhoria dos resultados. Em ordem decrescente, cita como áreas que mais utilizam a simulação: comercial, logística, área financeira e área industrial.

6.3 – Análise da viabilidade de realização de um estudo de simulação

Antes de iniciar-se um projeto qualquer, uma variável determinante a ser analisada é a viabilidade técnica e econômica de sua implementação. Com um estudo de simulação não é diferente, e alguns fatores devem ser pesados e

analisados para determinação prévia da relação entre custos e benefícios da sua execução.

FRANCESE (1999), e BATOCCHIO (2000), ressaltam que a simulação será uma boa abordagem para solucionar um problema se este tem como características uma alta variabilidade de estados e uma razoável complexidade.

CACCALANO (2000), aponta ainda uma outra condição: a de que o valor da planta a ser simulada deve ser muito superior aos custos do estudo de simulação. Nestas condições, o investimento em um estudo de simulação pode ser visto como uma apólice de seguro, onde o bem a ser segurado é a certeza da tomada de decisão correta.

COSTA (2000), argumenta que para determinação da viabilidade de realização de um estudo de simulação, os seguintes parâmetros podem ser considerados:

1. os riscos envolvidos na experimentação com o sistema são altos o suficiente para justificar a realização do estudo ?
2. as variáveis envolvidas no processo são não determinísticas ?
3. os custos de realização do estudo serão menores do que experimentações com o próprio sistema ?
4. o tempo de duração do fenômeno estudado é tão curto que impeça sua observação visual ?
5. o tempo de duração do fenômeno é tão longo que inviabilize sua replicação em um número suficiente de vezes para atingir o grau de confiança desejado ?

6. algum equipamento necessário para experimentação no sistema real está indisponível, e sua disponibilização demandará um tempo que justifique optar pela realização da simulação ?
7. o fenômeno pode ser estudado de forma mais eficiente por outras ferramentas como programação linear, pesquisa operacional, cálculos com planilhas eletrônicas, etc ?

Já HARREL (2000) propõe que se realize uma checagem de 8 variáveis para determinar a viabilidade de implementação de um estudo de simulação:

1. o processo está claramente definido ?
2. todas as informações necessárias sobre o processo estão facilmente acessíveis ?
3. existem interdependências entre as variáveis do processo que lhe confirmam um mínimo grau de complexidade ?
4. o processo exibe um grau mínimo de variabilidade ?
5. os benefícios advindos da realização do estudo de simulação serão maiores que os custos do mesmo ?
6. se o processo a ser simulado estiver ainda em fase de projeto (ainda não existe), há prazo suficiente para realizar um estudo de simulação completo ?
7. se o processo a ser simulado já existir, os custos de realização do estudo de simulação serão menores do que a realização de experimentos no próprio sistema real ?

8. há apoio e suporte suficiente dos altos escalões da organização para a realização do estudo ?

Uma vez determinada a viabilidade técnica e econômica da realização do estudo de simulação, a próxima etapa será a identificação de fatores que poderão determinar o fracasso e o sucesso do mesmo. Esta análise é apresentada a seguir.

6.3.1 – Fatores que determinarão o sucesso de um estudo de simulação

MANTEIGA (2000), baseado em sua experiência em desenvolvimento de estudos de simulação, destaca os fatores que ajudarão na obtenção dos resultados desejados:

- a equipe (ou pessoa) que realizou o estudo de simulação deve ter capacidade de expor claramente os benefícios (ou prejuízos) que podem ser obtidos da implementação do modelo simulado;
- a equipe (ou pessoa) que for realizar o estudo de simulação deve ter profundos conhecimentos técnicos a respeito dos fatores envolvidos com o sistema a ser simulado;
- deve haver definição precisa dos objetivos a serem atingidos, do escopo do estudo, dos benefícios esperados, e um cronograma detalhado de todo o processo;
- uma vez realizado o estudo e identificadas as mudanças necessárias a serem realizadas no sistema, deve-se determinar

processos bem claros e estruturados para gerenciar estas mudanças ditadas pelos resultados do estudo, e

- o ambiente organizacional precisa ser propício à realização do estudo.

MORAES (1999), identifica os seguintes fatores como determinantes do sucesso de um estudo de simulação:

- apoio gerencial: é determinante porque normalmente o desenvolvimento de um estudo de simulação requer tempo e investimentos, não havendo certeza (ou mesmo mensurabilidade) dos resultados que serão alcançados;
- capacitação técnica: as pessoas devem possuir as habilidades necessárias à implementação do estudo. Se em sua equipe técnica a empresa não possuir profissionais capacitados, deve recorrer a uma de duas alternativas: contratação de consultores especializados; ou então investir em treinamento para desenvolver habilidades necessárias para o desenvolvimento de trabalhos em simulação;
- disponibilidade de recursos: a empresa deve providenciar o suporte necessário ao encaminhamento do estudo. Sob o ponto de vista de equipamentos, deve-se disponibilizar uma plataforma computacional com recursos suficientes para a construção e execução do modelo de simulação. Sob o ponto de vista de programas computacionais, envolve não apenas o *software* de simulação, que deve atender a uma série de requisitos, mas também outros programas que darão suporte ao projeto, como planilhas, bancos de dados, *softwares* de CAD, etc

GALLO (1999), destaca os seguintes parâmetros:

- a equipe (ou pessoa) que desenvolve o estudo deve conhecer em profundidade o verdadeiro problema e os objetivos a serem atingidos pelo trabalho a ser realizado;
- deve-se ter certeza da confiabilidade dos dados que municiarão o modelo, pois dados inconsistentes conduzirão a resultados equivocados;
- prazo adequado: com relação a este aspecto, ressalta que a pressão da urgência é sempre uma inimiga de qualquer técnica para tomada de decisões;
- facilidade de entendimento: deve-se buscar o maior grau de simplicidade possível que não comprometa os resultados, de forma que o modelo seja de fácil entendimento pelo cliente;
- flexibilidade: o sistema deve permitir uma margem de manobra que possibilite suportar quando necessárias, rápidas mudanças de foco sem grandes esforços, e
- o nível de investimentos que a empresa está disposta a fazer deve ser compatível com as demandas para realização do estudo até o seu final.

6.3.2 – Fatores que determinarão o fracasso de um estudo de simulação

Assim como é importante identificar os fatores que conduzirão ao sucesso de um estudo de simulação, também é necessário identificar fatores

que, se presentes, conduzirão o estudo ao fracasso. Ao contrário do que possam parecer a primeira vista, estes fatores não são simplesmente as negações dos fatores identificadas nos itens anteriores.

MANTEIGA (2000), identifica como indesejáveis os seguintes fatores:

- imprecisão ou inconsistência dos dados de entrada: este fator é conhecido pelo jargão Gigo (**Garbage in, garbage out**);
- planejamento inadequado: falta de critério para utilização das ferramentas de simulação adequadas no momento correto, durante o ciclo de desenvolvimento de um produto ou serviço;
- falta de realimentação do processo: não verificar/validar dados do sistema real para otimizar/melhorar o modelo durante o ciclo de desenvolvimento de um produto ou serviço;
- ausência de um cronograma;
- integração deficiente: falhas de comunicação entre as diversas equipes envolvidas no processo para troca de informações.

Para MORAES (1999), alguns destes fatores podem ser:

- má compreensão do uso da simulação: as pessoas quando não estão suficientemente esclarecidas a respeito do processo, tendem a se tornar excessivamente otimistas ou céticas com relação à simulação. Assim, é necessário que fique bem claro para todos os envolvidos, tanto suas potencialidades como suas limitações.

- falta de apoio gerencial, tanto no que diz respeito à política interna na empresa quanto à disponibilização de recursos (recursos humanos, *software* e *hardware*);
- cronogramas inviáveis causam aceleração das últimas fases do processo. Isso implica em sacrifícios exatamente das fases de análise de resultados, que são talvez as fases mais importantes de todo o processo;
- deficiências no entendimento dos objetivos do estudo, os quais são fundamentais para direcionar todas as etapas do processo, desde a formulação do modelo até a apresentação de resultados e análise de alternativas;

6.4 – O processo de simulação

A partir da determinação da viabilidade de realização do estudo, e dos fatores que indicarão o sucesso ou o fracasso da análise realizada, inicia-se então a execução do mesmo.

Nesta seção, são analisadas as informações coletadas relativas ao desenvolvimento do processo de realização de um estudo de simulação propriamente dito. Como já comentado na introdução deste capítulo, estas informações são abordadas e organizadas segundo o roteiro proposto no capítulo 4.

6.4.1 - Definição do problema e dos objetivos do estudo

A definição clara dos objetivos a serem alcançados pelo estudo de simulação e o perfeito entendimento do sistema a ser simulado é praticamente uma unanimidade entre os especialistas de simulação consultados.

Além das observações já colocadas a este respeito no item 4.1 do capítulo 4, os especialistas colocam algumas outras observações que devem ser destacadas.

INAMASSU (1999), ressalta a importância de se identificar todas as variáveis do sistema, e dentre elas quais as que apresentam algum tipo de restrição e/ou limitação. Deve-se procurar identificar também os possíveis “gargalos” do sistema, e quais os elementos relacionam-se com estes “gargalos”. A seguir, deve-se identificar quais destas variáveis tem relação direta ou indireta com os estados das variáveis de saída que se deseja estudar.

Deve-se também procurar identificar qual a variável mais importante presente no sistema: o tempo, volume de produção, taxa de ocupação das máquinas, número de operadores, etc. Uma vez identificada, esta será escolhida como a “espinha dorsal” do modelo.

Ainda com relação a esta etapa do processo, FRANCESE (1999), ressalta que nem sempre a variável apontada pelo cliente num primeiro contato como sendo a “variável-problema” realmente é aquela que deve ser atacada para se obter a solução do problema apresentado.

FRANCESE (1999), relata um caso ocorrido onde o cliente desejava estudar os efeitos da diminuição de uso de mão de obra e aumento da carga das máquinas para obter melhorias em sua planta. No entanto, após a realização do estudo de simulação concluiu-se que a melhor opção seria

aumentar o emprego de mão de obra para obter um aumento de produção, pois havia demanda para isso no mercado. Assim, ressalta que, além das inferências solicitadas pelo cliente, é importante que se investigue também possíveis alternativas a partir das variáveis identificadas como importantes no estudo. Para o caso de sistemas de manufatura, cita algumas:

- quantidade de mão de obra empregada;
- taxa de ocupação das máquinas;
- qual o melhor nível de escala de produção;
- otimização da área ocupada;
- nível de inventário em processo;
- fluxo de caixa;

Nesta fase é também importante estabelecer-se o cronograma e o orçamento do projeto.

Para a construção do cronograma, BATOCCHIO (2000), CACCALANO (2000), COSTA (2000), e FRANCESE (1999), ressaltam que a tarefa pode ser bastante facilitada pelo emprego de algumas ferramentas computacionais como o MS Project, da Microsoft ou ainda o VISIO, da Visio Corporation.

BATOCCHIO (2000), e MORAES (1999), propõem que na proposição do cronograma sejam estabelecidos alguns pontos de checagem para permitir um acompanhamento do andamento do projeto.

MORAES (1999), comenta um procedimento padrão proposto para ser utilizado na realização de estudos de simulação na Ford que apresenta uma relação aproximada para a duração da execução das diversas fases do estudo:

- Análise de viabilidade 8 %;
- Definição do escopo e dos objetivos 6 %;
- Aquisição de dados 22 %;
- Construção do modelo 7%;
- Verificação e validação do modelo 8 %;
- Experimentações com o modelo 28 %;
- Análise de resultados 9 %;
- Implementação dos resultados 7%;
- Relatório final 5 %.

Praticamente todos os especialistas propõem que se adote uma abordagem cartesiana, subdividindo o modelo a ser construído em vários módulos, tornando-o mais fácil de entender e de gerenciar. O tamanho de cada um destes submódulos pode ser determinado a partir de algumas observações:

- MANTEIGA (2000), e FRANCESE (1999), apontam que os módulos devem ter um tamanho que lhes permita ter um aspecto “limpo”, “bonito”, auto-explicativo e fácil de entender;
- INAMASSU (1999), aponta que um bom parâmetro é que cada módulo ou submódulo contenha no máximo 5 elementos. Se crescer muito além disso, é aconselhável que o mesmo seja novamente subdividido;
- CACCALANO (2000), aponta que o tamanho desejável de cada módulo é aquele que possibilite que o mesmo seja totalmente

gerenciável, que atinja um grau de simplicidade que permita ao projetista determinar com facilidade tanto o tempo necessário para sua construção como qual será o seu custo e qual a demanda de recursos.

FRANCESE (1999), comenta que na grande maioria das vezes, trabalha-se com um processo invertido: recebe-se a encomenda de um estudo a ser realizado e o prazo para entrega dos resultados. O cronograma deve ser estabelecido dentro desta “janela de tempo” recebida.

Esta situação, ainda segundo FRANCESE (1999), trás consigo uma armadilha: se um cronograma não for estabelecido desde o início, a consequência quase sempre será que a fase de análise de resultados (que é uma das fases mais importantes do processo) será prejudicada no final. Sendo assim, propõe a realização de uma análise prévia de prioridades (que pode ser feita com uma curva ABC) onde algumas fases intermediárias sejam encurtadas de forma a garantir tempo adequado para a análise de resultados no final do processo.

Ainda com relação ao cronograma, CACCALANO (2000), baseado em sua experiência como projetista observa que:

- o tempo de duração das fases de análise de resultados e comparação de alternativas pode ser determinado a partir do tempo gasto para construção do modelo. Propõe uma relação de proporcionalidade próxima de 1:1;
- com relação à duração da fase de coleta de dados, alguns parâmetros considerados serão:

- existem dados históricos dos componentes do modelo ?
Se existem, estão armazenados em mídia magnética ou em papel ?
- Se não existem arquivos com dados armazenados, estes podem ser estimados da experiência dos operadores ? Se não podem, o tempo para aquisição destes dados dependerá da duração do fenômeno (assim como a duração de alguns fenômenos não passa de alguns segundos, outros podem demorar meses).

Para determinação de uma estimativa de demanda de recursos e orçamentos, parece haver concordância por parte dos especialistas de uma maneira geral de que o mesmo deve ser baseado no cronograma proposto. Neste ponto, COSTA (2000), ressalta que se pode afirmar haver uma relação de demanda entre o tempo para executar o estudo de simulação e os recursos necessários. De acordo com a (in)disponibilidade de tempo do cliente, a demanda por recursos (recursos humanos, equipamentos, *softwares*, etc.) pode aumentar ou diminuir, conforme o gráfico a seguir.

Figura 6.1 – Relação entre tempo de execução de um estudo de simulação e a demanda de recursos para executá-lo.

6.4.2 - Elaboração de um primeiro modelo para estudo do fluxo de dados e da hierarquia entre seus módulos

Na construção de um esboço para o modelo do sistema a ser simulado, INAMASSU (1999), identifica que a organização do mesmo pode ser definida dentre uma série de alternativas:

- segundo a hierarquia de controle;
- segundo o fluxo de dados;
- segundo o fluxo de peças;
- de acordo com o *lay-out* da planta, etc.

A decisão sobre qual destas alternativas será a melhor escolha, deve-se levar em consideração qual a principal “variável de fluxo” presente no modelo. Esta será a “espinha dorsal” do modelo construído, em função da qual todos os outros elementos serão conectados.

Como exemplo ressalta que em sistemas de manufatura, se a melhor opção recair sobre a organização do modelo de acordo com o *lay-out* físico do mesmo, esta organização do modelo permitirá a realização de uma verificação visual do modelo quando da execução de uma corrida de simulação.

Uma outra colocação de INAMASSU (1999), a respeito deste tema, é que o esboço proposto para o modelo deve ser o mais simples possível. Se o mesmo for composto por mais de 5 elementos, é aconselhável adotar uma abordagem modular – esta providência garantirá uma estrutura fácil de ser

entendida (até por terceiros, quando for o caso) nas fases posteriores do processo.

BATOCCHIO (2000), CACCALANO (2000), e LOUZADA-NETO (2000), sugerem que a fase de construção do esboço do modelo e a fase de aquisição de dados podem ser realizadas em paralelo, de forma permitir uma otimização de ambas.

6.4.3 - Aquisição dos dados

Todos os especialistas consultados concordam que a aquisição dos dados é uma fase muito importante do projeto, e não deve ser negligenciada de forma alguma. MANTEIGA (2000), E LOUZADA-NETO (2000), lembram que a qualidade dos resultados que se pode obter de um estudo de simulação é totalmente dependente da qualidade e da validade dos dados que vão alimentar o modelo.

LOUZADA-NETO (2000), ressalta a necessidade de realização de um bom planejamento da fase de aquisição de dados, determinando-se a técnica de amostragem adequada.

Quando o grupo de dados a ser coletado for muito grande, LOUZADA-NETO (2000), e BATOCCHIO (2000), propõem que se realize uma coleta piloto de dados (devidamente planejada) para que o procedimento, a metodologia e os dados coletados possam ser testados e verificados através do modelo lógico. Uma vez confirmada a sua adequação, é realizada então a coleta principal de dados que alimentará o modelo em construção. Este procedimento geralmente justifica-se quando o esforço despendido na

aquisição dos dados for maior que o esforço despendido para construção do modelo a ser utilizado para testes.

LOUZADA-NETO (2000), adverte ainda sobre um problema que pode ocorrer nesta fase de coleta de dados: a falta de representatividade de um banco de dados histórico sobre o processo. Este banco de dados, em função da própria finalidade para que foi construído, pode não ter boa representatividade a respeito do processo, pois os dados podem ter sido previamente filtrados (por exemplo, os dados relativos ao tempo médio de execução de determinado processo de fabricação podem não estar considerando o tempo parado em falhas e/ou manutenção)

Todos os especialistas comentam que uma razoável parcela dos eventos envolvida com a modelagem de um sistema de manufatura já é bastante conhecida, e a determinação do tipo de distribuição probabilística que melhor representa-os é feita sem maiores problemas.

Dificuldades podem ocorrer quando o projetista tiver necessidade de manusear fenômenos inéditos e que não tenham semelhanças com outros já conhecidos. Se há arquivos de dados históricos a respeito, pode-se ajustar uma curva para determinação da distribuição.

FRANCESE (1999), ressalta que, quando não há um arquivo de dados históricos sobre um processo, a fonte mais confiável para se estimar a duração dos diversos eventos relacionados são os operadores. CACCALANO (2000), recomenda que seja realizada uma entrevista com os operadores para, através de questões específicas, tentar direcioná-los para a resposta desejada.

Persistindo o problema, CACCALANO (2000), recomenda algumas alternativas para obtenção da solução:

1. tentar identificar em outros casos ou na literatura fenômenos que se assemelhem com o problema em questão;

2. fazer uma análise de sensibilidade: realiza-se uma rodada de simulação para teste com a amplitude da entrada da variável de entrada duplicada ou até mesmo quintuplicada. Se as saídas não forem afetadas, provavelmente esta variável poderá vir a ser descartada, e não se deve preocupar muito com ela. HARREL (2000) recomenda que esta análise de sensibilidade seja executada testando-se três cenários: a pior hipótese, o caso típico e a melhor hipótese;
3. quando não há necessidade de muita precisão, uma boa aproximação para um fenômeno desconhecido é a distribuição triangular. O operador sempre tem uma boa estimativa dos tempos mínimo, médio e máximo em que um evento ocorre. O processo pode ser simulado, e o projetista deve ter consciência de que os resultados poderão trazer um erro embutido. HARREL (2000) também apresenta esta alternativa e justifica argumentando que toda simulação é um exercício de antecipação de algum fato futuro baseado em algumas suposições. O importante é estar consciente da incerteza introduzida no resultado obtido;
4. se todas as outras alternativas forem descartadas, a solução é ir a campo e coletar dados “*in loco*”.

LOUZADA-NETO (2000), comenta que quando houver restrições à amostragem, e o conjunto de dados de que se dispõe não é suficiente, é recomendável a utilização da técnica de re-amostragem denominada “*BOOTSTRAP*”.

INAMASSU (1999), recomenda que, uma boa abordagem para otimização da etapa de aquisição de dados é criar um registro para cada

entidade presente no modelo. Isso possibilita a coleta de uma quantidade maior de informações já em uma primeira seção, muitas vezes evitando a repetição desta etapa. Cada um destes registros deve conter informações a respeito da entidade, como por exemplo:

- qual a ação realizada por esta entidade no processo ?
- esta ação pode ser desmembrada ?
- quais os tempos envolvidos nestas ações ?
- a quais potenciais problemas esta entidade esta relacionada ?
- existem limitações á sua ação ?
- etc.

BATOCCHIO (2000), lembra ainda que a etapa de aquisição de dados pode ser concentrada nesta etapa, porém, o processo de simulação apresenta uma natureza de certa forma interativa que exige que os dados que o alimentarão sejam coletados durante praticamente todo o processo.

6.4.4 - Validação e verificação dos dados

CACCALANO (2000), ressalta as diferenças entre as atividades de validação e verificação dos dados:

- na verificação, observar se o modelo está realizando as funções para o qual foi projetado. Deve-se fazer uma verificação sob a ótica qualitativa e outra sob a ótica quantitativa;

- na validação, deve-se comparar os resultados obtidos da execução de uma corrida de simulação do modelo com o que realmente ocorre (ou deverá ocorrer) com o sistema real. Deve-se procurar por resultados absurdos ou impossíveis.

FRANCESE (1999), sugere um procedimento para verificação da consistência lógica do modelo. Propõe realizar uma rodada de simulação com valores determinísticos e unitários. Isso significa determinar o valor “um” para todos os intervalos de tempo presentes, com desvio padrão nulo. A duração total do fenômeno resultante desta corrida de simulação executada para teste deve ser igual ao número de módulos presentes no modelo.

LOUZADA-NETO (2000), comenta alguns possíveis procedimentos para verificação e validação do grupo de dados coletados:

- analisar a variabilidade e dispersão dos dados componentes da amostra;
- se houver uma disparidade muito grande em alguns pontos da amostra, verificar se esta pode ser explicada;
- se o fenômeno é conhecido, verificar se a distribuição dos dados coletados está em acordo com a esperada;
- verificar a presença de alguns valores pontuais da amostra, que sejam importantes no processo e previamente conhecidos;
- comparar grupos de dados obtidos de fontes diferentes, e
- replicar a coleta de dados e analisar a semelhança dos grupos de dados obtidos.

6.4.5 - Construção de um modelo para realização do estudo de simulação

Nesta etapa o projetista deve escolher qual o software de simulação usará para construção do modelo a ser estudado. Dentre as várias alternativas, algumas delas podem ser:

- usar uma linguagem de programação de propósito geral;
- usar uma linguagem específica de simulação;
- usar um simulador comercial.

Qualquer das alternativas acima pode vir a ser escolhida, de acordo com a natureza do estudo que se deseja realizar. Quando a escolha cair sobre a última opção (simulador comercial), alguns parâmetros devem ser observados para escolha da ferramenta a ser utilizada.

Com relação aos requisitos desejados de um *software* simulador, FRANCESE (1999), destaca que a interface amigável (gráfica) tornou-se padrão, praticamente uma “*commoditie*”, e o que o usuário deve verificar é a integrabilidade. Integrabilidade neste caso significa possuir capacidade para receber e fornecer dados para outros softwares que venham a ser utilizados durante a execução do estudo de simulação: editores de texto, planilhas numéricas, softwares de CAD, etc.

BATOCCHIO (2000), comenta alguns aspectos que devem ser observados na escolha do software de simulação:

- Documentação: verificar a documentação fornecida junto com o *software*, sistema de ajuda (*help on line*), bibliografia disponível no mercado;

- Recursos para simulação: biblioteca de rotinas, recursos de apresentação e animação, velocidade de processamento, recursos para auxílio à análise, geração de distribuições probabilísticas, recursos de depuração, etc.;
- Operação do software: facilidade para instalação, facilidades de interação com o usuário, operação multi-tarefas;
- Apoio técnico: disponibilidade de mão de obra no mercado, capacitação da equipe técnica, disponibilidade de suporte via internet ou telefone;

CACCALANO (2000), observa que ao escolher a ferramenta a ser utilizada, deve-se levar em consideração o esforço necessário para a construção do modelo. Apresenta o gráfico (de grandezas hipotéticas) a seguir (Figura 6.2) comparando a facilidade de uso de simuladores cuja utilização seja baseada em dois enfoques: modelagem por Ícones e modelagem por códigos de instruções. Ressalta ainda que o software AUTOMOD encaixa-se nesta última categoria.

Figura 6.2 – Gráfico relacionando o grau de complexidade do modelo e o esforço necessário para construção de um modelo

CACCALANO (2000), ressalta ainda que se deve ter cuidado também com o nível de detalhamento do modelo construído (de acordo com a figura 4.6). O modelo não deve ser tão simplório que venha a comprometer a confiabilidade dos resultados, nem tão complicado que venha a comprometer seu entendimento, bem como o orçamento e cronograma. Recomenda um processo de convergência: parte-se de um modelo mais simples que vai sendo expandido até que se alcance uma solução dentro do nível de confiabilidade desejada.

HARREL (2000)L ressalta ainda que na determinação do nível de detalhamento do modelo, dois fatores muito importantes devem ser considerados: as limitações de recursos e de tempo; e o grau de importância da decisão a ser tomada que estará sendo suportada pelo estudo de simulação.

INAMASSU (1999), relembra que, uma vez adotada a estratégia de subdividir o sistema em blocos, nesta fase da construção do modelo deve-se procurar por rotinas de módulos semelhantes que já tenham sido construídas em outros projetos. Estas rotinas podem estar em:

- uma biblioteca que armazene as rotinas já modeladas de outros projetos já executados;
- trabalhos técnicos da área publicados;
- o módulo em questão pode ser um elemento padrão de sistemas de manufatura cujo modelo seja já bastante conhecido.

INAMASSU (1999), ressalta ainda a importância de, a cada projeto desenvolvido, atualizar esta biblioteca de rotinas. Se não existe uma

biblioteca, é importante que se procure criá-la (de preferência com módulos parametrizáveis).

Finalizando, BATOCCHIO (2000), CACCALANO (2000), e FRANCESE (1999), ressaltam que o projeto como um todo pode (e deve) ser realizado em equipe. Esta abordagem permite conseguir tanto uma conjugação de habilidades dos diversos componentes da equipe, quanto uma otimização do cronograma de execução. No entanto, toda a etapa relacionada com a construção do modelo, desde a programação do mesmo até a verificação e validação deve ser executada por uma só pessoa. Ambos relatam casos de trabalhos anteriores onde a divisão de tarefas desta etapa resultou em uma queda considerável da produtividade do processo.

6.4.6 - Verificação e validação do modelo

FRANCESE (1999), e CACCALANO (2000), ressaltam que o procedimento para verificação e validação do modelo construído é bastante similar ao procedimento realizado para validação e verificação dos dados coletados.

COSTA (2000), coloca a ressalva de que em alguns casos a validação de um modelo pode ser inviável, e nestes casos, faz-se apenas a verificação do mesmo. Alguns exemplos de situações onde a validação torna-se inviável são:

- quando o cenário a ser testado pode representar uma configuração que traga danos irreversíveis ao bom funcionamento do equipamento;
- quando o cenário a ser testado puder representar riscos à integridade física dos operadores;

- quando a duração do fenômeno a ser estudado for muito longa, e o prazo para apresentação de resultados finais for incompatível com o mesmo, etc.

6.4.7 - Projetar o experimento

COSTA (2000), comenta que, embora o ideal seja a realização de um planejamento do experimento de maneira científica, em alguns casos pode-se adotar uma postura empírica baseada na experiência do analista. Alguns casos em que esta postura pode ser adotada são:

- quando o grau de variabilidade do experimento for suficientemente reduzido;
- quando o grau de precisão desejado não for muito crítico;
- quando a decisão a ser suportada pelo estudo de simulação não for muito importante; etc.

Como exemplo de um procedimento empírico a ser executado, cita a possibilidade de se ajustar o nível de significância de um determinado experimento pelo número de replicações do mesmo por tentativa e erro. Isto pode ser feito baseando-se no resultado deste parâmetro fornecido pelo “OUTPUT ANALYSER” do ARENA – este procedimento pode ser executado quando se tem um baixo custo de tempo de processamento computacional.

Um outro procedimento que pode ser adotado dentro deste mesmo quadro, diz respeito à determinação dos cenários a serem estudados. Esta tarefa pode ser simplificada por uma análise de sensibilidade nas variáveis

críticas definidas na fase de especificação do estudo (considerando-se os cenários críticos como pior caso, melhor caso e o crítico) ao invés da realização de um rigoroso planejamento do experimento.

FRANCESE (1999), sugere que o uso de uma ferramenta como OPTQUEST pode ser muito útil para a fase de planejamento do experimento. Comenta ainda outro procedimento empírico para determinar-se o número de replicações de um determinado experimento: em sistemas de manufatura, algumas vezes é interessante replicar um experimento 30 vezes, pois esta abordagem permite a comparação do desempenho do sistema mês a mês. Este procedimento exige que o sistema em estudo apresente algumas características como:

- cada uma das replicações contenha um número razoável de experimentos, de forma permitir o cálculo de uma média significativa;
- eventos intermitentes relacionados ao modelo em estudo devem ter uma boa probabilidade de ocorrer dentro do intervalo de tempo estudado.

MORAES (1999), comenta que a necessidade do estabelecimento exato de um planejamento de experimentos diminui como consequência da redução dos custos de tempo de processamento computacional e com a adição de módulos de análise de resultados aos simuladores, como por exemplo o “OUTPUT ANALYSER”, do ARENA.

BATOCCHIO (2000), LOUZADA-NETO (2000), e MORAES (1999), comentam que a adoção destes procedimentos empíricos embora poupem esforços para realização de cálculos matemáticos, exigem do analista bons conhecimentos de estatística e de planejamento de experimentos. Estes

conhecimentos são necessários para ajuste de parâmetros e análise dos relatórios emitidos pelo software.

6.4.8 Executar o experimento e verificar/validar os resultados

COSTA (2000), comenta que boa parte dos programas simuladores comerciais disponíveis no mercado possui módulos de auxílio para tratamento dos dados de saída. Ressalva no entanto que estes módulos auxiliam na realização de cálculos matemáticos, mas o projetista deve possuir conhecimentos estatísticos tanto para interpretar estes dados quanto para fazer ajustes no modelo, visando atingir as especificações do estudo. Cita como exemplo o módulo “OUTPUT ANALYSER” do *software* ARENA, que fornece informações como:

- nível de significância de uma determinada variável;
- o intervalo que demarca o “*warm-up*” do sistema;
- cálculo da média móvel, etc.

MORAES (1999), comenta que assim como no planejamento dos experimentos, alguns procedimentos empíricos podem ser adotados. Cita com exemplo a simulação de sistemas terminais e sistemas não terminais. Ressalta que de acordo com a distribuição probabilística de uma variável, muitas vezes é inviável a simulação terminativa do fenômeno, mesmo que o sistema em estudo seja do tipo terminativo. Isto porque muitas vezes o programa simulador faz a “reinicialização” (equivalente a um sorteio com reposição) da variável a cada nova replicação – e se um determinado evento ocorre com uma frequência muito baixa, será praticamente impossível garantir que o mesmo

seja observado. Por isso, recomenda uma simulação do sistema de uma maneira não terminativa.

Também nesta etapa para validação dos resultados, parece haver um consenso sobre a similaridade do procedimento para verificação e validação. Pode-se afirmar que para validação e verificação dos resultados, valem as mesmas observações colocadas para validação e verificação do modelo construído e verificação dos dados coletados.

6.4.9 Refinar o projeto do experimento

Nesta etapa de refinamento do experimento, uma vez detectado que o planejamento executado não permite obter os resultados esperados, o analista deverá rever a documentação do processo visando identificar onde está a falha. As possíveis alternativas são:

- será necessário refazer somente as replicações realizadas no estudo, com parâmetros corrigidos;
- será necessário modificar o modelo de forma a corrigir algum possível defeito;
- será necessário refazer a amostragem de dados, pois o conjunto de dados que se trabalha é insuficiente ou inadequado;
- será necessário rediscutir quais são os objetivos e o escopo do estudo.

6.4.10 Análise final dos resultados e documentação do processo

INAMASSU (1999), comenta uma característica da análise de resultados em simulação utilizando redes de Petri que pode vir a ser adaptada para análise de outros sistemas de eventos discretos. Uma vez identificado um “estado-problema” na saída, faz-se um retro-rastreamento procurando identificar qual a sequência de eventos conduziu a esta situação. A partir desta análise são introduzidos elementos de controle no modelo de forma a não permitir que ocorra esta sequência de eventos.

BATOCCHIO (2000), COSTA (2000), e MORAES (1999), destacam a utilização de recursos dos próprios programas simuladores para auxílio na análise dos resultados do estudo, e citam como exemplo o módulo “OUTPUT ANALYSER” do *software* ARENA.

LOUZADA-NETO (2000), comenta que algumas ferramentas para análise de resultados que podem ser empregadas são:

- superfícies de resposta e ou análise canônica para estudos de otimização;
- testes de hipóteses para comparação de alternativas;

Há praticamente um consenso também com relação à documentação do processo. Os especialistas ressaltam que é importante que o estudo seja documentado desde o seu início, de forma a permitir uma “rastreabilidade” de todas as suas fases. CACCALANO (2000), E FRANCESE (1999), comentam que este tipo de procedimento pode ser implementado através de um “diário do estudo”, o qual deve ser atualizado em tempo real. Nesta etapa final, as

informações contidas nesta base de dados são então compiladas para chegar-se a um relatório final do estudo realizado.

É de vital importância também que se mantenha cópias de segurança de todos os arquivos computacionais gerados, atualizadas em tempo real. Se for viável técnica e economicamente, que estas cópias não sejam sobrepostas – mantendo-se assim versões mais antigas das mesmas e permitindo que o processo possa “caminhar para trás” se for necessário.

Outro fator importante, mencionado por COSTA (2000), FRANCESE (1999), E MANTEIGA (2000), diz respeito à importância da apresentação final dos resultados. Tanto do ponto de vista da organização do relatório final produzido quanto do ponto de vista da apresentação (animação). Este fator é especialmente relevante quando se trata de convencer alguém das eventuais vantagens do estudo de simulação – seja um diretor da empresa em que o analista trabalha ou um cliente de um serviço de consultoria. Muitas vezes, a qualidade técnica do estudo realizado não impressiona tanto quanto uma animação bem feita que permita a visualização do processo em estudo.

6.5 – Os conhecimentos envolvidos

Com o desenvolvimento tecnológico observado recentemente, principalmente nas áreas de eletrônica e informática, uma série de novos recursos puderam ser adicionados aos softwares simuladores, como por exemplo:

- interface gráfica de diálogo com o usuário, que permite uma utilização mais amigável do software;

- programação gráfica com manipulação de objetos parametrizáveis que facilitam bastante a tarefa de desenvolvimento de modelos;
- recursos de realidade virtual que possibilitam maior interatividade com os usuários;
- módulos de inteligência artificial para verificação de inconsistências no modelo construído;
- módulos de sistemas especialistas e/ou sistemas tutores para auxílio na execução das diversas fases do estudo; etc.

Como já mencionado na introdução desta tese, estes recursos trazem uma série de facilidades ao usuário durante o processo de construção do modelo para simulação, e auxiliam o projetista suprimindo algumas possíveis deficiências de conhecimentos.

Este novo paradigma dos sistemas simuladores pode induzir precipitadamente a conclusão de que a realização de estudos de simulação tornou-se um processo que dispensa a necessidade de qualificação para sua execução.

Ao contrário do que possa parecer a primeira vista no entanto, a incorporação de todos estes novos recursos não dispensa o projetista da necessidade de uma série de habilidades e qualificações técnicas, conforme atestam vários dos especialistas em simulação consultados. A seguir, os conhecimentos apontados por estes especialistas são apresentados segundo a divisão do processo em três fases: suporte ao estudo, modelagem e análise dos dados.

6.5.1 – Suporte ao estudo

A necessidade de profundos conhecimentos técnicos sobre o sistema a ser simulado é ressaltada por todos os especialistas consultados: BATOCCHIO (2000), CACCALANO (2000), COSTA (2000), FRANCESE (1999), HARREL (2000), INAMASSU (1999), LOUZADA-NETO, MANTEIGA (2000), e MORAES (1999),.

MORAES (1999), enfatiza ainda a necessidade de conhecimentos como:

- projetos de “*lay-outs*”;
- conhecimentos sobre determinação de tempos e movimentos;
- conhecimentos sobre sistemas de movimentação de materiais;
- processo de fabricação.

COSTA (2000), ressalta que na fase de análise de viabilidade é importante o projetista possuir conhecimentos em ferramentas que possam ser consideradas como uma alternativa à simulação na resolução do problema, como por exemplo programação linear, pesquisa operacional, etc.

Outra demanda identificada de forma praticamente unânime é a habilidade para programação de computadores. Esta é uma necessidade no ponto de vista de CACCALANO (2000), COSTA (2000), FRANCESE (1999), MORAES (1999), e MANTEIGA (2000), sendo que MANTEIGA (2000), destaca ainda neste item: conhecimentos de programação orientada a objeto e das linguagens C++ e JAVA.

Ainda neste tema sobre habilidades sobre informática, BATOCCHIO (2000), CACCALANO (2000), COSTA (2000), FRANCESE (1999), LOUZADA-NETO (2000), e MANTEIGA (2000), identificam a necessidade de o projetista ter afinidades com outros softwares que darão apoio ao desenvolvimento do projeto, como softwares editores de texto, planilhas eletrônicas, softwares de CAD e de bancos de dados. MANTEIGA (2000), ressalta que conhecimentos sobre a linguagem de programação de bancos de dados relacionais SQL serão bastante úteis quando da necessidade de trabalhar com construção, importação e exportação de bases de dados.

Também "conhecimentos sobre gerenciamento de projetos" é apontada como uma necessidade por BATOCCHIO (2000), CACCALANO (2000), COSTA (2000), FRANCESE (1999), e MANTEIGA (2000), o que inclui confecção de cronogramas e orçamentos para o estudo a ser realizado. Citam como exemplo de ferramentas que podem auxiliar na tarefa, os programas computacionais OPTQuest, VISIO e o MS Project.

MANTEIGA (2000), e LOUZADA-NETO (2000), ressaltam ainda ser necessário possuir conhecimentos de análise de custos.

6.5.2 – Modelagem

Nas fases de construção do modelo propriamente ditas, também é necessária uma variedade de conhecimentos e habilidades.

MANTEIGA (2000), cita alguns conhecimentos sobre conceitos básicos de simulação que serão de muita utilidade nestas fases:

- simulação de Monte Carlo;
- teoria das restrições;

- processos estocásticos; e
- teoria das filas.

Uma outra habilidade necessária identificada por MANTEIGA (2000), e LOUZADA-NETO (2000), diz respeito à modelagem estatística de dados.

CACCALANO (2000), FRANCESE (1999), e MORAES (1999), MANTEIGA (2000), e INAMASSU (1999), destacam ainda a necessidade de conhecimentos sobre a teoria de modelagem de sistemas de eventos discretos. Citam como algumas metodologias que podem ser utilizadas para este fim, o MFG (Mark Flow Graph), as redes de Petri e o GRAFCET.

INAMASSU (1999), destaca ainda que a utilização das redes de Petri é muito semelhante à programação computacional em linguagens de baixo nível, como por exemplo o *Assembler*. Desta forma, seu aprendizado é bastante facilitado para projetistas que conheçam este tipo de linguagem de programação; e o treinamento destas habilidades (programação e modelagem) pode ser visto como um processo simbiótico.

6.5.3 – Análise de resultados

Já na fase de análise de resultados, há um consenso sobre a necessidade de conhecimentos avançados de estatística. Os especialistas indicam necessidades de conhecimentos sobre:

- distribuições probabilísticas;
- intervalos de confiança;

- delineamento de experimentos;
- análise de variância;
- ajustes de curvas;
- regressão linear;
- etc.

COSTA (2000), cita ainda como desejáveis conhecimentos sobre ferramentas para enriquecimento da etapa de apresentação dos resultados, como por exemplo o 3D STUDIO.

6.6. Sistematização do estudo de simulação

A seguir será apresentada uma estrutura gráfica para modelagem do processo de realização de um estudo de simulação. O roteiro apresentado no capítulo 4 e as informações discutidas e analisadas nas seções anteriores deste capítulo servem de subsídios para proposição deste modelo.

De acordo com as informações e sugestões coletadas nas seções de aquisição de conhecimento realizadas junto aos especialistas, serão feitas correções e adaptações no roteiro acima citado.

As modificações propostas pelos especialistas foram:

- Adição de uma etapa para análise de viabilidade para realização de estudos de simulação;

- Adição de uma etapa para planejamento gerencial da realização de estudos de simulação;
- Realização de forma simultânea das etapas “Proposição de um modelo lógico” e “Aquisição de dados”; e
- Que a etapa de documentação do processo seja realizada simultaneamente com todas as outras que compõe o estudo de simulação.

Estas modificações que resultarão então no fluxograma mostrado na figura 6.3 a seguir.

Figura 6.3 – Modelo para sistematização de estudos de simulação

6.7 – Base de conhecimentos

A base de conhecimentos construída para modelar o processo de realização de um estudo de simulação é organizada no formato das fichas representadas nas figuras 6.5 até 6.16, sendo que as mesmas estão apresentadas seguindo a seqüência proposta no modelo da figura 6.3, porém não necessariamente em uma relação biunívoca (sem uma correspondência exata de uma ficha para cada etapa do modelo da figura 6.3).

Cada uma das fichas é dividida em quatro campos, conforme ilustrado na figura 6.4 a seguir:

Campo 1 – Etapa do processo
Campo 2 – Ações recomendadas ao projetista
Campo 3 – Conhecimentos necessários para execução desta etapa
Campo 4 – Experiência necessária para execução das ações de projetar e executar esta etapa (não necessariamente pela mesma pessoa)

Figura 6.4 – Ficha padrão que compõe a base de conhecimento.

No campo 1 está determinada qual das etapas do processo do estudo de simulação é modelada pela ficha em questão. No campo 2 estão listadas algumas ações recomendadas pelos especialistas visando otimizar a execução da referida etapa do estudo. No campo 3 estão indicados os conhecimentos necessários (na visão dos especialistas consultados) que um projetista/analista de simulação deve possuir na realização desta etapa. Finalizando, no campo 4 está indicado o grau de experiência que o profissional que vá realizar esta etapa deve apresentar.

Um anexo é apresentado no final deste trabalho, de forma a exemplificar como esta base e conhecimentos pode ser implementada em uma estrutura de regras de produção.

As figuras das paginas a seguir mostram as fichas que compõe a base de conhecimentos.

FICHA 1 – Definição do problema e dos objetivos do estudo

1. Qual o principal objetivo do estudo a ser realizado ?
2. Quais questões o estudo de simulação deve ajudar a responder imediatamente ?
3. Quais questões o estudo de simulação deve ajudar a responder em um futuro próximo ?
4. Quem serão os futuros usuários do modelo construído ?
5. Quem realizará futuras manutenções e atualizações no modelo construído ?
6. Onde o estudo será realizado ?
7. Haverá necessidade de deslocamento de recursos (homens, equipamentos) ?
8. Identificar todas as variáveis envolvidas no processo.
 - quais as restrições relacionadas a cada uma delas ?
 - quais podem ser consideradas possíveis gargalos ?
 - quais influenciam diretamente nos estados de saída ?
 - de todas, qual a mais importante ?
9. Além da possível solução apontada pelo cliente, existem outros cenários a serem analisados ?
10. Estabelecer um cronograma;
 - subdividir o problema em módulos menores;
 - garantir que cada módulo não tenha mais que 5 elementos;
 - determinar se há necessidade de levantamento de dados *in loco*;
11. Estabelecer um orçamento para todo o projeto;
 - determinar os equipamentos necessários;
 - determinar os programas computacionais necessários
 - determinar a demanda de homens/hora;

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Gerenciamento de projetos;
2. Análise de custos;
3. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “*lay-outs*”, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação, etc.);

Grau de experiência necessário:

Projetar – ALTO Executar - ALTO

Figura 6.5 – Definição do problema e dos objetivos do estudo de simulação

FICHA 2 – Avaliação das pré-condições

1. O problema apresenta complexidade que justifique o estudo ?
2. A economia proporcionada pela simulação compensa seus custos ?
3. Haverá recursos para realização do estudo completo ?
4. O prazo disponível é suficiente ?
5. A simulação terá menos custos que experimentação no sistema real (desde que os riscos do sistema real não sejam proibitivos)?
6. Há apoio suficiente da alta gerencia ?
7. Há acessibilidade irrestrita às informações necessárias ?
8. A equipe envolvida no processo está suficientemente qualificada ?
9. O processo é suficientemente bem definido ?
10. Os objetivos e o escopo do estudo estão bem definidos ?
11. Os riscos envolvidos na experimentação com o sistema real justificam a realização do estudo?
12. O tempo de duração do fenômeno é tão pequeno, ou tão grande que não possa ser observado no sistema real ?
13. Existe algum equipamento indispensável para experimentação com o sistema real que esteja indisponível ?

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Gerenciamento de projetos
2. Análise de custos
3. Elaboração de cronogramas
4. Uso de programas computacionais de apoio (editores de texto, bancos de dados, planilhas eletrônicas, CAD, etc.)

Grau de experiência necessário:

Projetar – ALTO

Executar - ALTO

Figura 6.6 – Síntese da etapa de análise de viabilidade do estudo de simulação

FICHA 3 – Elaboração do modelo lógico

1. Identificar quais as variáveis de interesse para o estudo a ser realizado.
2. Identificar qual destas variáveis é a mais importante.
3. Identificar qual a melhor alternativa para arranjo do lay-out do modelo:
 - segundo o fluxo de controle;
 - segundo o fluxo de dados;
 - segundo o fluxo de peças;
 - de acordo com o lay-out da planta, etc.
4. Construir um esboço do modelo segundo uma abordagem modular
 - estabelecer um máximo de 5 elementos por módulo;
 - determinar, em função das informações anteriores qual ferramenta de modelagem será utilizada (rede de Petri, diagrama de blocos, diagrama de fluxo de dados, etc)

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “lay-outs, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação);
2. Conhecimentos sobre modelagem de sistemas de eventos discretos (simulação de Monte Carlo, teoria das restrições, processos estocásticos, teoria das filas);

Grau de experiência necessário:

Projetar – ALTO

Executar - MÉDIO

Figura 6.7 – Elaboração do modelo lógico

FICHA 4 – Aquisição dos dados

1. Criar um registro a respeito de cada uma das entidades do modelo lógico com informações como por exemplo:
 - Qual a ação realizada por esta entidade ?;
 - Quais os tempos envolvidos ?;
 - Quais potenciais problemas poderão ocorrer ?;
 - Quais as limitações à sua operação ?
2. Verificar se existe um arquivo de dados históricos sobre o sistema;
3. Realizar um planejamento detalhado da amostragem de dados a ser realizada;
4. Se não existem dados históricos, e o sistema está em operação:
 - consultar operadores do sistema;
 - consultar os catálogos do fabricante;
 - consultar os projetistas dos equipamentos;
5. Se não existem dados históricos, e o sistema está em projeto;
 - consultar operadores de sistemas similares;
 - consultar os catálogos do fabricante;
 - consultar os projetistas dos equipamentos;
6. Determinar a distribuição estatística que descreva o fenômeno a ser estudado.
 - Verificar se o fenômeno já é conhecido;
 - Procurar ajustar a curva por meio de um histograma;
 - Realizar testes de aderência para o ajuste da curva de distribuição;
7. Se nenhuma das alternativas dos itens 2, 3 ou 4 acima puder ser implementada, aproximar o fenômeno por uma distribuição triangular;
8. Fazer uma análise de sensibilidade (testando três cenários: o pessimista, o típico e o otimista) e verificar quais variáveis podem ser descartadas.
9. Se todas as alternativas anteriores foram descartadas, ou se há necessidade de um grau de precisão muito grande, fazer levantamento de dados no local.

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação, etc.);
2. Técnicas de amostragem de dados;
3. Modelagem estatística de dados (distribuições probabilísticas, nível de significância, ajustes de curvas, regressão);
4. Conhecimentos sobre bancos de dados relacionais;
5. Uso de programas computacionais de apoio (editores de texto, bancos de dados, planilhas eletrônicas, CAD, etc.);

Grau de experiência necessário:

Projetar – ALTO

Executar - BAIXO

Figura 6.8 – Aquisição dos dados

FICHA 5 – Verificação e validação dos dados

1. Comparar dados coletados de fontes diferentes;
2. Se o fenômeno já é conhecido, ver se a curva de distribuição dos dados coletados aproxima-se da distribuição esperada;
3. Para testar a lógica do modelo, atribuir tempos determinísticos e unitários para todas as atividades envolvidas e realizar uma rodada de simulação para teste. O tempo de ciclo de uma entidade deve ser igual ao número de eventos que se espera que ocorram.
4. Para verificação dos dados, realizar uma rodada de simulação para teste e observar se o modelo está realizando corretamente as ações para as quais foi projetado;
5. Para validação dos dados, realizar uma rodada de simulação para teste e observar se os resultados produzidos pelo modelo apresentam alguma situação absurda ou incompatível com o funcionamento do sistema real.
6. Se houver uma disparidade muito grande em alguns pontos da amostra, verificar se esta pode ser explicada;
7. verificar a presença de alguns valores pontuais da amostra, que sejam importantes no processo e previamente conhecidos;
8. replicar a coleta de dados e analisar a semelhança dos grupos de dados obtidos.

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação, etc.);
2. Conhecimentos sobre probabilidade e estatística (distribuições probabilísticas, intervalos de confiança, nível de significância, análise de variância, ajustes de curvas, regressão, etc.);
3. Uso de programas computacionais de apoio (editores de texto, bancos de dados, planilhas eletrônicas, CAD, etc.).

Grau de experiência necessário:

Projetar – MÉDIO

Executar - MÉDIO

Figura 6.9 – Verificação e validação dos dados

FICHA 6 – Construção do modelo para simulação

1. Escolher o programa computacional que será utilizado para construção do modelo.
 - verificar se o mesmo tem capacidade de integração com outros programas;
 - verificar se o *software* escolhido é adequado à complexidade e à natureza do sistema em estudo;
 - determinar quais outros softwares de apoio serão necessários (Banco de dados, planilhas eletrônicas, CAD, etc.);
2. Determinar o nível de detalhamento necessário para obtenção da resposta desejada. Considerar fatores como:
 - os recursos disponíveis;
 - o cronograma estabelecido;
 - o grau de importância da decisão a ser suportada
3. Procurar no modelo construído elementos cujos módulos já tenham sido modelados anteriormente. Estes módulos podem ser encontrados em:
 - Uma biblioteca de rotinas;
 - Trabalhos técnicos da área publicados;
4. Atualizar uma biblioteca de rotinas com os novos módulos construídos neste projeto.

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Linguagens de programação de computadores;
2. Conhecimento sobre o programa simulador;
3. Conhecimentos sobre modelagem de sistemas (simulação de Monte Carlo, teoria das restrições, processos estocásticos, teoria das filas);
4. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “*lay-outs*”, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação);

Grau de experiência necessário:

Projetar – ALTO

Executar - ALTO

Figura 6.10 – Construção do modelo para simulação

FICHA 7 – Verificação e validação do modelo

1. certificar-se junto ao cliente, se o modelo produz corretamente todas as repostas desejadas;
2. discutir com o cliente quais variáveis foram desprezadas na construção do modelo;
3. verificar se o modelo produz resultados fisicamente impossíveis (por exemplo: um AGV “passando por dentro” de uma máquina ferramenta, ou com um tempo de trajeto entre duas estações de trabalho negativo ou nulo, etc.);
4. realizar a animação da simulação em velocidade baixa, e fazer uma verificação visual junto com o cliente e com operadores do sistema real;
5. solicitar que um outro modelador experiente realize uma verificação no modelo;
6. propor um “teste de Turing” adaptado (ver capítulo 4);
7. ver se é possível validar o modelo junto ao sistema real.

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “lay-outs, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação);
2. Conhecimentos sobre probabilidade e estatística (distribuições probabilísticas, intervalos de confiança, ajustes de curvas, regressão linear, etc.);
3. Análise de sensibilidade, análise de variância;
4. Conhecimento sobre o programa simulador;

Grau de experiência necessário:

Projetar – MÉDIO

Executar - MÉDIO

Figura 6.11 – Verificação e validação do modelo

FICHA 8 – Projetar o experimento

Responder algumas questões como:

1. Para quais configurações do sistema as replicações serão realizadas ?

Neste caso, para redução do número de cenários a serem analisados, pode-se recorrer às seguintes alternativas:

- análise de sensibilidade;
- matriz de planejamento;
- método Taguchi, etc.

2. Sob que condições serão realizadas cada uma das replicações ?
3. Qual a duração de cada replicação ?
4. As replicações devem ser realizadas de modo terminativo ou não terminativo ?
5. Determinar o intervalo em que o sistema permanece em regime transitório (*warm-up*);
6. Quantas replicações de cada alternativa de cenário devem ser realizadas de modo a se obter o grau de confiança desejado ?

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “*lay-outs*”, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação);
2. Planejamento do experimento;
3. Conhecimentos sobre estatística (distribuições probabilísticas, intervalos de confiança, ajustes de curvas, regressão, etc.);
4. Análise de sensibilidade;
5. Conhecimento sobre o programa simulador;

Grau de experiência necessário:

Projetar – ALTO

Executar - BAIXO

Figura 6.12 – Projetar o experimento

FICHA 9 – Executar o experimento

A execução da simulação deve ser feita somente depois que os passos anteriores tenham sido executados, de forma a melhorar o aproveitamento do estudo e garantir a consistência e confiabilidade dos resultados obtidos. Para permitir uma boa qualidade da análise dos resultados, cada alternativa testada deve ser cuidadosamente documentada. Estes dados (entradas utilizadas e saídas da simulação) devem ser organizados em forma de tabelas e de gráficos e armazenados em uma base de dados para posterior análise final

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “*lay-outs*”, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação);
2. Conhecimentos sobre probabilidade e estatística (distribuições probabilísticas, intervalos de confiança, ajustes de curvas, regressão linear, etc.);
3. Conhecimento sobre o programa simulador;

Grau de experiência necessário:

Projetar – BAIXO

Executar - BAIXO

Figura 6.13 – Executar o experimento

FICHA 10 – Refinar o projeto do experimento

Nesta etapa de refinamento do experimento, uma vez detectado que o planejamento executado não permite obter os resultados esperados, o analista deverá rever a documentação do processo visando identificar onde está a falha. As possíveis alternativas são:

- será necessário refazer somente as replicações realizadas no estudo, com parâmetros corrigidos;
- será necessário modificar o modelo de forma a corrigir algum possível defeito;
- será necessário refazer a amostragem de dados, pois o conjunto de dados que se trabalha é insuficiente ou inadequado;
- será necessário rediscutir quais são os objetivos e o escopo do estudo.

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “lay-outs, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação);
2. Conhecimentos sobre probabilidade e estatística (distribuições probabilísticas, intervalos de confiança, ajustes de curvas, regressão linear, etc.);
3. Análise de sensibilidade, análise de variância;
4. Conhecimento sobre o programa simulador;

Grau de experiência necessário:

Projetar – BAIXO

Executar - ALTO

Figura 6.14 – Refinar o experimento

FICHA 11 – Análise dos resultados

1. Identificar quais configurações do sistema conduzem a um estado-problema. A partir destas configurações, propor elementos de controle para evitar que estes cenários ocorram;
2. Para análise comparativa de cenários, utilizar metodologias como:
 - análise de superfície de respostas;
 - análise canônica;
 - análise de cristas;
 - testes de hipóteses, etc.

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Conhecimentos técnicos sobre o processo a ser simulado (projetos de “lay-outs, determinação de tempos e movimentos, sistemas de movimentação de materiais, processos de fabricação);
2. Conhecimentos sobre probabilidade e estatística (distribuições probabilísticas, intervalos de confiança, delineamento de experimentos, análise de variância, ajustes de curvas, regressão linear, etc.);
3. Uso de programas computacionais de apoio (editores de texto, bancos de dados, planilhas eletrônicas, CAD, etc.).
4. Análise de custos;
5. Uso de programas computacionais de apoio (editores de texto, bancos de dados, planilhas eletrônicas, CAD, etc.)
6. Conhecimentos sobre bancos de dados relacionais
7. Análise canônica, análise de variância, análise de cristas

Grau de experiência necessário:

Projetar – ALTO

Executar - ALTO

Figura 6.15 – Análise dos resultados

FICHA 12 – Documentação do estudo

1. A documentação do processo deverá conter:

- uma lista de referências cruzadas de entrada e saída;
- a documentação do desenvolvimento do processo de modelagem completo, desde seu início;
- diagrama de blocos do modelo;
- descrição detalhada da operação de cada bloco funcional;
- uma lista com o nome de todas as variáveis, os valores a elas atribuídos e cada uma das distribuições de dados adotada para cada uma delas, com suas respectivas medidas de dispersão;
- relatório sobre os procedimentos executados para coleta de dados, quais as fontes foram escolhidas e o porque desta escolha;
- uma bem documentada análise estatística dos dados de saída e uma classificação qualitativa e comentada das possíveis alternativas de soluções para o problema identificadas no estudo;
- relatório comentando a relação custo/benefício das alternativas recomendadas pelo estudo de simulação;
- listagem com o nome e dados relevantes de todas as pessoas envolvidas no processo, relacionando ainda qual a participação de cada uma destas pessoas nas diversas fases do estudo realizado;
- réplicas atualizadas do modelo computacional produzido com cópias de segurança guardadas em local seguro.

2. Algumas possíveis medidas de segurança que podem ser adotadas:

- a instalação de senhas de acesso aos programas;
- exigências de chaves de *hardware* ("hard-keys") para utilização do sistema;
- chaves convencionais para acesso aos equipamentos;
- utilização de uma linguagem cifrada de conhecimento restrito a alguns membros da equipe.

Conhecimentos necessários para execução desta fase:

1. Uso de programas computacionais de apoio (editores de texto, bancos de dados, planilhas eletrônicas, CAD, etc.).
2. Conhecimentos sobre bancos de dados relacionais

Grau de experiência necessário:

Projetar – BAIXO

Executar - BAIXO

Figura 6.16 – Documentação do estudo

6.8 – Considerações sobre as informações coletadas

A redução dos custos de programas e equipamentos computacionais, aliada ao aumento do grau de competitividade nos mercados tem forçado as empresas buscarem um aumento do seu poder de competição – e uma das alternativas disponíveis é a simulação.

Pode-se verificar que as empresas ao se decidirem pelo uso da simulação como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, geralmente optam por uma estratégia mista: procuram montar uma equipe de projeto composta por profissionais que integram o seu quadro técnico e por consultores externos. Os objetivos desta estratégia são:

- Ao buscar o auxílio de uma consultoria, a empresa passa a contar em sua equipe de projeto com um profissional altamente especializado e atualizado, sem que tenha que ter investido tempo e recursos para obter estas qualidades. Outras vantagens desta abordagem são: a consultoria trabalha com orçamentos e cronogramas pré-estabelecidos; e geralmente ou são representantes de algum fabricante de *software* simulador, ou então já possuem uma licença de uso dos mesmos, dispensando a empresa da necessidade de adquiri-los.
- Ao colocar uma equipe de profissionais pertencentes ao seu quadro técnico para trabalharem junto com a consultoria, a empresa está automaticamente (re)qualificando estes profissionais. Com esta abordagem, se pode obter uma certa independência em relação à consultoria contratada, pois o estudo realizado deixa de ser uma “caixa-preta”.

Com relação á disponibilidade de profissionais para trabalharem com simulação no mercado, pode-se notar que há uma deficiência de profissionais bem qualificados para executarem estudos de simulação. Alguns fatores que podem explicar esta deficiência são:

- ausência de cursos universitários de graduação (ênfases ou habilitações) especificamente enfocados no ensino de simulação;
- os poucos profissionais bem qualificados e preparados para atuar nesta área já são profissionais com perfil acima da média. Assim, a procura pelos mesmos é bem alta, e muitas vezes eles são contratados para trabalhar em outras áreas de atuação (área de projetos, setor financeiro, etc.).

Em função disso, as próprias empresas quando necessitam procuram qualificar a sua mão de obra. Esta abordagem na maioria das vezes além representar um grande desperdício de tempo e de recursos, dificilmente mostra-se eficiente. Ao contrário daquilo que intuitivamente possa-se imaginar, as novas gerações de simuladores que absorveram uma variedade de novos recursos (programação gráfica, realidade virtual, inteligência artificial, etc.) não dispensam o analista/projetista de simulação da necessidade de possuir domínio de conhecimento em diversas áreas. Este profissional precisa não só possuir todos os conhecimentos que se necessitava para trabalhar com os simuladores de antiga geração, como também precisa conhecer e saber interagir com as novas ferramentas e tecnologias que vem sendo incorporadas a estes sistemas.

Os diversos tópicos de conhecimento necessários para realização de um estudo de simulação identificados ao longo da realização deste trabalho e que

devem compor a formação técnica destes profissionais podem ser agrupados em três grandes áreas de concentração: engenharia, estatística e informática:

- engenharia: processos de fabricação, gerenciamento de projetos, análise de custos; estabelecimento de cronogramas, análise de viabilidade, teoria das restrições, teoria das filas, simulação de Monte Carlo, processos estocásticos, etc;
- estatística: modelagem estatística de dados, amostragem, delineamento de experimentos, comparação de cenários, análise de sensibilidade, etc;
- informática: programação e manipulação de bancos de dados, programas de CAE, CAD e CAM; editores de texto, programas de apresentação e animação (por exemplo: PowerPoint, 3D Studio, Cinema, etc.),

Ao longo da realização deste trabalho pode-se notar ainda que as novas tecnologias incorporadas aos simuladores, embora sejam de conhecimento geral o seu uso ainda é muito pouco difundido entre as empresas.

Mesmo observando-se a ressalva de que o universo das fontes consideradas neste trabalho seja reduzido para estimar-se o estado do mercado como um todo, deve-se considerar que as informações foram coletadas junto a especialistas e consultores em simulação, que tem contato e acesso às informações de muitas empresas que fazem uso da técnica.

Baseado nestes fatos, pode-se afirmar que das novas tecnologias apenas a realidade virtual vem tendo seu uso começando a difundir-se. Não se tem notícias do uso de tecnologias como lógica fuzzy, redes neurais, etc em projetos de simulação em empresas privadas.

Quanto ao *modus operandi* dos especialistas consultados na realização deste trabalho, não foram encontradas grandes contradições entre as opiniões e metodologias utilizadas. Pode-se verificar algumas diferenças na maneira de abordar alguns problemas e na metodologia de execução do estudo de simulação. No entanto, embora algumas vezes os especialistas utilizem procedimentos diferentes, estes não se mostraram contraditórios ou excludentes, mas sim complementares.

Pode-se notar que alguns dos especialistas consultados têm maior experiência concentrada em algumas das etapas do processo, sendo mais especializados em determinados tópicos que em outros (embora indubitavelmente capacitados para realização do estudo do início ao final).

Esta característica permite que se construa uma base de conhecimentos formada pela “adição do conhecimento” de vários deles. Esta constatação vem reforçar a afirmação de que um sistema especialista não deve ser visto como uma ameaça profissional, e sim como uma poderosa ferramenta que quando disponibilizada para pessoas adequadas permite multiplicar o potencial de produção dos mesmos.

Capítulo 7 - Conclusões

Durante o desenvolvimento desta pesquisa foi possível a confirmação da crescente importância da simulação como uma das ferramentas de suporte ao planejamento e gerenciamento dos sistemas produtivos, sendo que a demanda por estas ferramentas está cada vez mais crescente no mundo globalizado.

Neste trabalho, onde foi realizada uma investigação sobre o processo de estudos de simulação os objetivos iniciais eram: Construir e Discutir uma Base de Conhecimentos que permita Modelar e Sistematizar o Processo de Realização de Estudos de Simulação (especificamente para sistemas de manufatura discretos).

O processo de simulação de sistemas de manufatura a eventos discretos foi abordado sob dois aspectos principais:

- Uma discussão sobre a metodologia apropriada para realização de estudos de simulação de eventos discretos. Esta metodologia resultou na proposição de um modelo, que foi utilizado na sistematização do

processo de realização de estudos de simulação, para permitir a sua execução por etapas; e

- uma indicação de quais as áreas de conhecimento deverão ser dominadas por um profissional (ou uma equipe de profissionais) para realizar com sucesso cada uma das etapas do processo de simulação discutido.

A metodologia proposta para aquisição do conhecimento dos especialistas em simulação mostrou-se adequada, pois permitiu a realização das etapas de aquisição descritas nos capítulos 5 e 6. Algumas ressalvas, no entanto, devem ser colocadas:

- a disponibilidade dos especialistas geralmente era bastante restrita, obrigando a interrupção ou mesmo adiamento das seções de aquisição marcadas;
- houve uma grande dificuldade para ter autorização de acesso em indústrias portando equipamentos eletrônicos, como por exemplo gravadores de áudio, câmaras de vídeo, computadores portáteis, etc.

A base de conhecimentos inicialmente proposta foi construída (sintetizada nas figuras 6.4 a 6.16) a partir das informações coletadas segundo a metodologia proposta no capítulo 3.

Esta base de conhecimentos permitiu não somente sistematizar o processo de estudos de simulação (figura 6.3), como também possibilitou confirmar a afirmação de que os novos recursos acrescentados aos simuladores não diminuíram as necessidades de conhecimentos para execução de um estudo de simulação, conforme a seção 6.5 do capítulo anterior.

Quanto à verificação e validação da base de conhecimentos construída, algumas considerações podem ser feitas:

- a verificação da base de conhecimentos construída pode ser realizada por duas vias:
 - 1 – a confrontação das informações obtidas de diferentes especialistas;
 - 2 – verificação e confirmação das informações transcritas pelos próprios especialistas.
- a validação da base construída mostrou-se inviável dentro do escopo deste trabalho, pois é uma tarefa que exige o acompanhamento da realização de um estudo de simulação completo, o que se constitui em uma atividade demasiadamente longa. Sendo assim, propomos que sua validação seja realizada em um futuro trabalho de pesquisa.

7.1 - Propostas de futuros trabalhos

A importância de um trabalho acadêmico reside não só na sua contribuição intrínseca, mas também na sua fertilidade em gerar novos trabalhos e na possibilidade dar continuidade à linha de pesquisa desenvolvida.

Sendo assim, este trabalho pode ser um ponto de partida para novas pesquisas como:

- validação da base de conhecimentos construída, seguindo o modelo proposto neste trabalho para sistematização de estudos de simulação;

- construção de um sistema especialista para apoio ao desenvolvimento de estudos de simulação utilizando como subsídio a base de conhecimentos construída;
- construção de um sistema tutor para ensino e treinamento de profissionais para atuarem na área de simulação da manufatura;
- tomando por base as informações da base de conhecimentos contida neste trabalho, realização de uma discussão sobre o conteúdo e ementa de cursos de extensão e capacitação em engenharia para formação de especialistas em simulação,.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (Achcar e Rodrigues, 1992):** Achcar, J. A.; Rodrigues, J.: Introdução de estatística para ciências e tecnologia. Publicação interna ICMSC/USP. São Carlos, S.P., Brasil 1992.
- (Akday, 1996):** Akday, K. S.: "Using simulation optimization to find the best solution". IIE Solutions pp. 24 - 29, may 1996.**(Arena, 1994):** ARENA SIMAN reference guide. Systems Modeling Corporation, Sewickley, PA, USA, 1994. 451 pag.
- (Anacleto, 1991):** Anacleto, Júnia Coutinho: "Uma ferramenta para especificação e análise de sistemas concorrentes" Tese de mestrado apresentada ao ICMSC. São Carlos, 1991 - 105 p.
- (Alzaher et al., 2000):** Alzaher, H.A.; Elwan, H.O.; Ismail, M., "CMOS digitally programmable filter for multi-standard wireless receivers", Electronics Letters Volume 36, Issue 2, 2000 Pages 133-135
- (Aussenac-Gilles e Matta, 1994):** Aussenac-Gilles, N.; Matta, N., "Making a method of problem solving explicit with MACAO", International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 40, No. 2, Jan 1994, pp. 193-219
- (Banks et al., 1984):** Banks, Jerry; Carson, J. L.; Nelson, B. L.: "Discrete-Event System" Prentice Hall, New Jersey, USA, 1984, 548 pag.
- (Banks e Norman, 1996):** Banks, Jerry; Norman, V.: "Simulation of Manufacturing and Material Handling Systems." Mini-curso 2nd International Congress of Industrial Engineering /16th National Congress

- of Production Engineering. Unimep/Piracicaba, S.P., Brasil, 7-10 October 1996.
- (Barto e Clark, 1996):** Barto III, J. C.; Clark, P. D. "The Join training system: a pillar of joint readiness and na automation challange", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 871 - 876; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Batocchio, 2000):** Batocchio, Antonio; depoimento [maio 2000]. Entrevistador: E. C. Lobão. Campinas, SP: UNICAMP. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.
- (Belhot, 1993):** Belhot, R. V.: "Conceitos e desenvolvimento de sistemas especialistas", Publicação Interna 063/93 da EESC/USP; 1993.
- (Belhot, 1995):** Belhot, R. V.: "A informática no ensino", XXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Manaus, AM, anais p 27 - 36; 1995.
- (Bennett, 1995):** Bennett, B. S.: "Simulation Fundamentals". Prentice Hall, Midsomer Norton, 1995. U.K. 329 pag.
- (Binun, 1996):** Binun, M. "Business process modeling with SIMPROCESS", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 530 - 534; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Boose, 1989):** Boose, J. H.: "A survey of knowledge acquisition techniques and tools" Knowledge Acquisition 1, March 1989.
- (Braun, 1979):** Braun, Martin: "Equações diferenciais e suas aplicações". Editora Campus. Rio de Janeiro, 1979. 378 p.
- (Brooks, 1987):** Brooks, H.M.: "Expert systems and intelligent information retrieval. Information and Processing Management. Vol. 23, n 4, 1987, pp 367-382.
- (Caccalano, 2000):** Caccalano, Luiz ,; depoimento [mai 2000]. Entrevistador: E. C. Lobão. São Paulo, SP: Autosimulations, Brasil. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.
- (Calori, et al., 1994):** Calori, G.; Finzi, G.; Tonezzer, C., "A decision support system for air quality network design.", Environmental-Monitoring-and-Assessment. 1994. 33(2), pp 101-114.

- (Carothers et al., 1997):** Carothers, C. D.; Topol, B.; Fujimoto, R. M.; Stasko J. T. e Sunderam, V. 1997 “Visualizing Parallel simulations in network computing environments: a case study”. 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 110 - 117; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Carroll, 1996):** Carroll; D. F. “MedModel - Healthcare Simulation software”, 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p 441 - 446; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Cecill et al., 1992):** - Cecil, J.A., Srihari, K., Emerson, C.R.: “A review of Petri-Net Applications in Manufacturing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology” pp168-177 v 7 1992
- (Clay e Grange, 1997):** Clay, G.; Grange, F. “Evaluation forecasting algorithms and stocking level strategies using discrete-event simulation” 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 817 - 824; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Chance et al., 1996):** Chance, F.; Robinson,, J.; Fowler, J. “Supporting Manufacturing with simulation: Model Design, Development and Depoyment” 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p 114 - 121; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Chandra e Verma, 1991):** Chandra, Vinod e Verma, M.: "A fail safe interlocking system for Railways " - IEEE Design and Test of Computers pp. 58 - 66, march 1991.
- (Colby, 1975):** Colby, K.: “Artificial Paranoia”, Pergamon Press, New York, USA, 1975.
- (Correa, 1994):** Correa, G. N.: “Construção de um sistema baseado em conhecimento para apoiar a modelagem de dados no contexto de uma metodologia de integração da manufatura”. Dissertação de mestrado apresentada ao ICMSC/USP. São Carlos, 1994.
- (Cossins e Ferreira, 1992):** Cossins, F. e Ferreira, P.: “Celeritas: a coloured Petri net approach to simulation and control of flexible manufacturing systems”. International Journal of Production Research pp 1925-1956, vol 30 n 8, 1992
- (Costa, 2000):** Costa, Miguel A. Bueno; depoimento [abril 2000]. Entrevistador: E. C. Lobão. São Carlos, SP: UFSCar. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.

- (Daimler-Benz, 1995 – a):** Daimler Benz Mosaic: "Rolling down Virtual Rails." Daimler-Benz HighTech Reports, n3, 1995 pp 68-69.
- (Daimler-Benz, 1995 – b):** Daimler-Benz cover story: "Test dive the E-class." Daimler-Benz HighTech Reportis, n3, 1995 pp 40 - 49.
- (Daun, 1997):** Daun, T. "An HCFG model of traffic intersection specified using HiMASS-j", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 158 - 165; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Dietz, 1995):** Dietz, D. "Human integrated design", Mechanical Enginneering, p 92 - 96, august 1995.
- (Drake e Smith, 1996):** Drake, G. R.; Smith, J. S. "Simulation system for real time planning, scheduling and control", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 584 - 587; Cononado, California; 1083 - 1090, December 1996.
- (Drews e Weyrich, 1997):** Drews, P.; Weyrich, M. "Virtual Manufacturing", VR News, Vol 6, Issue 3, pp 18-22, April 1999.
- (Ehrlich e Lilegdon, 1996):** Ehrlich, J. N.; Lilegdon, W. R. "Making better manufacturing decisons with AIM", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, 485 - 491; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (ElMariaghy e Ravi, 1995):** ElMariaghy, H. A.; Ravi, T.: "Novas ferramentas para projeto, modelamento e avaliação de FMS." Máquinas e Metais, Abril 1995 pp 28 - 41.
- (Ericsson e Simon, 1984):** Ericsson, K. A. e Simon, H. A.: "Protocol Analysis: verbal reports as data", MIT Press, EUA. 1993
- (Farahmand, 1997):** Farahmand, K. "Application of simulation modeling to emergency population evacuation", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 1181 - 1186; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Firlej e Hellens, 1991):** Filej, M.; Hellens, D.: "Knowledge Elicitatioin: a pratical handbook. Prentice Hall International, U.K., 1991 188 pag.
- (Francese, 1999):** Francese, Luiz Augusto G; depoimento [nov 1999]. Entrevistador: E. C. Lobão. São Paulo, SP: Paragon. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.
- (Gallo, 1999):** Gallo, Luiz Francisco,; depoimento [dez 1999]. Entrevistador: E. C. Lobão. Ribeirão Preto, SP: Indústria de Produtos Alimentícios Cory.

1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.

(Genaro, 1986): Genaro, Sérgio.: "Sistemas especialistas – o conhecimento artificial", LTC editora, Rio de Janeiro, 1987.

(Genrich, 1986): Genrich, H.J.: "Predicate/Transition Nets. Petri Nets: Central Models and Their Properties", Advances in Petri Nets 1986. Lect. Notes in Comp. Sc., v254, 1986, pp 207-247.

(Giarratano e Riley, 1994): Giarratano, J. e Riley, G.: "Expert Systems – principles and programming", PWS Publishing Company, Boston, USA (1994). 643 pag.

(Gonçalves, 1986): Gonçalves, C. A.: "Aquisição e representação do conhecimento para sistemas especialistas". Tese de doutoramento, FEA/USP, 1986.

(Gonzalez, 1996): Gonzalez, F. G. "A simulation-based controler builder for FMS", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 584 - 587; Cononado, California; 1068 - 1074, December 1996.

(Gordon, 1978): Gordon, G: "System Simulation. Prentice Hall, New Jersey, USA, 1978, 324 pag.

(Grajo, 1996): Grajo, E. S. "Strategic lay-out planning and simulation for lean manufacturing: a LayOPT tutorial", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p 564 - 568; Cononado, California; 8-11 December 1996.

(Grant, 1986): Grant, T.J.: "Lessons for O.R. from A.I.: a scheduling case study." Journal of operationa research society. Vol. 37, n 1, 1986, pp 41 - 57.

(Guida e Tasso, 1994): Guida, G.; Tasso, C: "Design and development of knowledge based systems – from life cicle to methodology". John Wiley and Sons, West Sussex, England, 1994.

(Harmon, 1988): Harmon, P.: "Expert Sytsems tools and applications", John Wiley and Sons, New York, USA, 1988.

(Harmon e Sawyer, 1990): Harmon, Paul e Sawyer, Brian: "Creating Expert Sytsems for business and industry", John Wiley and Sons, USA 1990.

(Harrel et al., 1992): Harrel, C.R.; Bateman, R.E.; Gogg, T.J.; Mott, J.R.A.: System improvement using simulation. PROMODEL Corporation, Orem, Utah, USA 1992.

- (HARREL, 2000):** Charles Harrel (2000), subject: simulation sequence. E-mail, 19/05/2000, 11:24 hs.
- (Hart, 1986):** Hart, Anna: "Knowledge Acquisition for Expert Systems." KoganPage, London, U.K. 1986, 196 pag.
- (Heermann e Fuhrmann, 2000):** Heermann, Dieter W.; Fuhrmann, Thomas T., "Teaching physics in the virtual university: the mechanics toolkit", Computer Physics Communications Volume 127, Issue 1 May 2000 pp 11-15 .
- (Heggstad, 1991):** Heggstad, H.M. "Expert systems in communications system control", Military Communications in a Changing World MILCOM, 91. Conference Record. IEEE, New York, NY, USA; 1991; 3 vol. 1290 pp. p.863-9 vol.2.
- (Huha e Lansing, 2000):** Huha, Chan G.; Lansing, K. J.: "Expectations, credibility, and disinflation in a small macroeconomic model" , Journal of Economics and Business Volume 52, Issues 1-2, January-April 2000 , pp 51-86 .
- (Inamassu, 1999):** Inamassu, Ricardo Iassushi; depoimento [set 1999]. Entrevistador: E. C. Lobão. São Carlos, SP: CNPDIA, EMBRAPA. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.
- (Ingels, 1985):** Ingels, Don M.: "What every engineer should know about computer modeling and simulation" Marcel Dekker Inc., New York, USA 1985.
- (Joshi e Supinski, 1992):** Joshi, S. B.; Supinski, M. R.: "The development of generic PC-based programmable logic controller simulator", International Journal of Production Research, v30 n 1, p 151 - 168, 1992.
- (Jones e Cygnus, 1993):** Jones, K. C.; Cygnus, M. W.: "Virtual Reality for manufacturing simulation", 1993 Winter Simulation Conference Proceedings p 882 - 887; December 1993.
- (Kateel et al., 1996):** Kateel, G.; Kamat, M.; Stoner, G. "An overview of CIM enterprise modeling methodologies", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 584 - 587; Cononado, California; 1000 - 1006, December 1996.
- (Kato et al., 1994):** Kato, E. R. R.; Tronco, M. L.; Palma, J. G.; Lobão, E. C; Porto, A. J. V., "Modelamento de um FMS utilizando Redes de Petri" II Congresso Y Exposicion Internacional de Informática - Mendoza, Argentina. 8 a 10 de junho de 1994, pp 308-325.

- (Keezer, 1997):** Keezer, W. S. 1997, "Simulation of computer system and applications", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 103 - 109; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Kim et al., 1998):** Kim, G. J.; Kang, K. C.; Kim, H. e Lee J. "Software engineering of virtual worlds" VRST, pp. 131-138, november 1998.
- (Kleijnen, 1987):** Kleijnen, Jack P. C.: "Statistical Tools for Simulation Practitioners". Marcel Dekker Inc., New York, N.J., USA 1987.
- (Klingstam e Gullander, 1999):** Klingstam, P; Gullander, P.: "Overview of simulation tools for computer-aided production engineering". Computers in Industry, Vol. 38, pp. 173 –186, 1999.
- (Koo et al., 1997):** Koo, T. K. J.; Ma, Y.; Pappas, G. J.; Tomlin, C. "SmartATMS: a simulator for air traffic management systems", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 1199 - 1204; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Korn, et al., 1999):** Korn, S.; Burns, R.; Harrison, D.K., "Application of multiparadigm simulation techniques to manufacturing processes", International Journal of Advanced ManufacturingTechnology, Volume 15, Issue 12, 1999. pp 869-875
- (Kosturiak, e Gregor, 1999):** Kosturiak, J.; Gregor, M., "Simulation in production system life cycle", Computers in Industry, Volume 38, 1999. pp 159-172.
- (Kozak et al., 1993):** Kozak, J. J.; Hancock, P. A.; Arthur,, E. J.; Chrysler, T. S. "Transfer of training from virtual reality", Ergonomics, 1993, v 36, n 7, p 777 - 784.
- (Law e McComas, 1996):** Law, A. M. e McComas, M. G. "Simulation of communications networks", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p73-77; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Law e Kelton, 1991):** Law, A.; Kelton, D.: Simulation Modeling and Analysis. McGraw Hill, New York, N.J., USA 1991.
- (Levasseur, 1996):** Levasseur, G. A. "An object-oriented phone center model using SIMPLE++", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 556 - 563; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Liu et al., 1996):** Liu, W.; Chiang, C. C.; Wu H. K.; Jha, V.; Gerlaand, R.; Bagrodia, R. "Parallel simulation environment for mobile wireless

- networks”, 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, 605 - 612; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Lobão e Porto, 1995):** Lobão, E. C.; Porto, A. J. V. “Simulação de operações de usinagem em um torno CNC utilizando um modelo em rede de Petri.” Jornadas Internacionales de Mecânica Computacional e CAD/CAM - Universidade de Concepción - Concepción, Chile., 1995 pp 23232232
- (Lobão e Porto, 1996):** Lobão, Elídio de C.; Porto, Arthur J. V.: "Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia" XVI ENEGEP - Congresso Nacional de Engenharia de Produção - Santa Bárbara D'Oeste, S.P. - Brasil. 7 a 10 de out. de 1996.
- (Lobão e Porto, 1997 - a):** Lobão, Elídio de C.; Porto, Arthur J. V.: "Proposta para sistematização de estudos de simulação" XVII ENEGEP - Congresso Nacional de Engenharia de Produção - Gramado, R.S. - Brasil. 6 a 9 de out. de 1997.
- (Lobão e Porto, 1997- b):** Lobão, Elídio de C.; Porto, Arthur J. V.: "Uso da simulação no ensino de engenharia". XIV COBEM - Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - FET/Unesp - Bauru, S.P. Dezembro de 1997. Anais publicados na forma de CD-ROM
- (Louzada-Neto, 2000):** Louzada-Neto, Francisco; depoimento [jun 2000]. Entrevistador: E. C. Lobão. São Carlos, SP: UFSCar. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.
- (Lowery, 1996):** Lowery, J. C. "Introduction Simulation in Health Care", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 78 - 84; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Manteiga, 2000):** Manteiga, Sandro Magalhães; depoimento [abril 2000]. Entrevistador: E. C. Lobão. São Paulo, SP: EDS Brasil. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.
- (Macpherson e Reddy, 1996):** Macpherson, D.E.; Reddy, E.A. "Expert system based switched mode power supply design", Sixth International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives (Conf. Publ. No.429). IEE, London, UK; 1996; 574 pp., p.471-6., 1996.
- (McCarty et al., 1994):** McCarty, W. D.; Sheasby, S.; Amburn, P.; Stytyz, M. R.; Switzer, C. "A virtual cockpit for a distributed Interactive simulation", IEEE Computer Graphics & Applications, January 1994, p 49 - 54.

- (McGinnis e Stone, 1996):** McGinnis; M. L.; Stone III, G. F. "Measuring the effectiveness of simulation-based training", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 934 - 937; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Miyagi, 1993):** Miyagi, P. E.: "Controle de sistemas de eventos discretos." Tese de Livre docência apresentada ao Departamento de engenharia mecânica, escola politécnica, POLI/USP, São Paulo, 1993, 174 pag.
- (Moraes, 1999):** Moraes, Luiz Henrique de,; depoimento [nov 1999]. Entrevistador: E. C. Lobão. Taubaté, SP: Ford do Brasil. 1 fita cassete (120 min). Entrevista concedida para construção de uma base de conhecimentos sobre simulação da manufatura.
- (Moshell et al., 1994):** Moshell, J. M.; Blau, B.; Li, X; Lisle, C. "Dynamic Terrain", Simulation, v 62 n 1, January 1994, p 29 - 40.
- (Murata, 1989):** - Murata, Tadao: "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proceedings of IEEE, pp 541-580, v 7 n 4 abril 1989
- (Nguyen et al., 1996):** Nguyen, G. T.; Katz, R. H.; Noble, B. and Satyanarayanan, M. "A trace-based approach for modeling Wirelles channel behavior", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p 597 - 604; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Newell e Simon, 1972):** Newell, A. e Simon, H. A.: "Human problem solving", Prentice Hall, New Jersey, USA, (1972). 920 pag.
- (OESP, 1995):** O Estado de São Paulo. "Peritos usam simulador para desvendar acidente de transito" Jornal "O Estado de São Paulo", 11 de dezembro de 1995, pag G-31.
- (Padgett e Padgett, 1995):** Padgett, M. L.; Padgett, W. D.: "Simulation and computational intelligence in real-world applications", 1995. Simulation, july 1995, pp 5 – 9.
- (Parker e Williams, 1997):** Parker, S. R.; Williams, P. "Continuous simulation of air base assets (CSAA) - integrating logistics support operations. A proposed methodology", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 955 - 960; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Pegden et al., 1990):** Pegden, C. D.; Shannon, R. E.; Sadowski, R. P: "Introduction to simulation using siman" McGraw Hill, New York, USA, 1990, 615 pag.

- (Pereira, 1993):** Pereira, N. A.: “Contribuições para diagnose de problemas em equipamentos industriais mediante sistemas especialistas”, Tese de doutoramento apresentada à Escola politécnica da USP. São Paulo, 1993.
- (Perera e Liyanage, 2000):** T. Perera, and K. Liyanage, “Methodology for rapid identification and collection of input data in the simulation of manufacturing systems”, *Simulation Practice and Theory*, Volume 7, Issue 7 Pages 645-656 .
- (Pitt, 1997):** Pitt, M. “A generalised simulation system to support strategic resource planning in healthcare”, 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 1155 - 1162; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Polya, 1978):** Polya, G: “A Arte de resolver problemas” Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1978.
- (Premore e Nicol, 1997):** Premore, B. J. e Nicol, D. M. “Parallel simulation of TCP/IP using Ted”, 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 437 - 442; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Pritsker Corporation, 1992):** "SLAM II - Quick reference manual". Pritsker Corporation, Indiana, USA, 1992
- (Pritsker, 1986):** Pritsker, A. A. B.: “Introduction to simulation and SLAM II”. Systems Publishing Corporation, Indiana, USA, 1996 839 pag.
- (ProModel, 1994):** ProModel Corporation: “ProModel User’s Guide”. ProModel Corporation, Orem, Utah, USA, 1994 691 pag.
- (Ramos, 1995):** Ramos, T. O.: "Maquete eletrônica ajuda a fazer jato" *Jornal "O Estado de São Paulo"*, 27 de novembro de 1995, pag G-16.
- (Ranky, 1983):** Ranky, Paul: "The design and operation of FMS". North Holland Publishing Company. - U.K. 1983, 343 pag.
- (Rattner, 1990):** Rattner, Henrique: "O novo paradigma industrial e tecnológico e o desenvolvimento brasileiro". In: *Forum Nacional – Idéias para modernização do Brasil*. Rio de Janeiro, José Olímpio, 1990.
- (Reisig, 1982):** - Reisig, Wolfgang: “Petri Nets - An Introduction”, Springer Verlag - West Germany, 1982 161 p.
- (Resende, 1990):** Resende, S. O.: "Um ambiente para auxiliar a construção de núcleos de sistemas especialistas", Dissertação de mestrado apresentada ao ICMSC/USP, São Carlos, 1990.

- (Resende et al., 1997):** Resende, S. O.; Caulkins, C.W.; Silva, R.M. e Silva, V. A.: "Sistema baseado em conhecimento para diagnóstico de erros na apresentação da FIM", Publicação interna do ICMSC/USP, 1997.
- (Reynolds e McKeown, 1999):** A. P. Reynolds and G. P. McKeown , "Scheduling a Manufacturing Plant Using Simulated Annealing and Simulation", Computers & Industrial Engineering, Volume 37, Issues 1-2 October 1999 p 63-67
- (Rich e Knight, 1993):** Rich, E.; Knight, K.: "Inteligência Artificial", Makron Books, São Paulo, 1993 - 722 pag.
- (Rolston, 1988):** Rolston, D. W. "Artificial Intelligence and Expert Systems Development", McGraw Hill, USA, 1988 - 257 pag.
- (Rockart, 1979):** Rockart, J. F.: "Chief executives define their own data needs", Harvard Business Review, march 1979, pag 81 - 93.
- (Rozenblit, J.W.; Hu, J, 1992):** Rozenblit, J.W.; Hu, J, "Integrated knowledge representation and management in simulation-based design generation", Mathematics and Computers in Simulation. vol.34, no.3-4; Sept. 1992; p.261-82.
- (Rubenstein e Firstenberg, 1995):** Rubenstein, M, F.; Firstenberg, I. R.: "Patterns of Problem Solving". Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- (Scarpelli, 1993):** Scarpelli, Heloisa A. C.: "Modelagem, projeto e verificação de bases de regras nebulosas via teoria de redes". Tese de doutoramento, UNICAMP, 1993.
- (Schlie e Grimberg, 1995):** Schlie, P. G.; Grimberg, P. E.: "Estereolitografia, una herramienta poderosa". Jornadas internacionales de mecanica computacional y Cad/Cam. Anais do congresso, pp 449-455, Concepción, Chile. Novembro de 1995
- (Schriber, 1991):** Schriber, Thomas J.: "An Introduction to Simulation Using GPSS/H" John Wiley & Sons, USA, 1991. 437 pag.
- (Schroer e Tseng, 1989):** Schroer, B. J.; Tseng, F. T. "An Intelligent assistant for manufacturing system simulation", International Journal of Production Research, V 27 n 10, p 1665 - 1683, 1989.
- (Schriber, 1992):** Thomas J. Schriber: "An introduction to Simulation Using GPSS". John Willey and sons, New York, USA, 1991, 437 pag.

- (Schulze e Fliess, 1997):** Schulze, T.; Fliess, T. "Urban Traffic simulation with psycho-physical vehicle-following models", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 1222- 1229; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Shen, 1996):** Shen, C. C. "A CORBA facility for network simulation", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings 613 - 620; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Shortlife, 1975):** Shortlife, E. H.: "A model of inexact reasoning in medicine" Mathematical Biosciences, Vol 23 pag 351 - 379, 1975.
- (Sinha e Das, 2000):** Sinha M.; Das A., "Cost effectiveness analysis of different strategies of management of chronic hepatitis C infection in children", Pediatric Infectious Disease Journal Volume 19, Issue 1 2000 pp 23-30.
- (Sly, 1996):** Sly, D. P. "A systematic approach to factory layout and design with FACTORYPLAN, FACTORYOPT and FACTORYFLOW", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings p 584 - 587; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Speddinga, e Sunb, 1999):** T. A. Speddinga, and G. Q. Sunb – "Application of discrete event simulation to the activity based costing of manufacturing systems", International Journal of Production Economics Volume 58, Issue 3 January 1999 pp. 289-301
- (Strandhagen, 1987):** Strandhagen, J. O.: "Expert knowledge in object-oriented simulation of manufacturing systems" Proceedings of 3rd international conference of simulation in manufacturing. Turin, Italy, nov. 1987 pp 23 - 30.
- (Swisher et al., 1997):** Swisher, J. R.; Jun, B.; Jacobson,, S. H.; Balci, O. "Simulation of the queson physician network", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 1146 - 1154; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Sykes e Malloy, 1996):** Sykes,D. A.; Malloy, B. A. "The design of an efficient simulator for the Pentium Pro processor". 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, 840 - 847; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Taguchi e Yuin, 1979):** Taguchi, G. e Yuin, W.: "Introduction to Off-line Quality Control" Nagaya, Japan: Central Japan Quality Control Association, 1979.

- (Taha, 1988):** Taha, Hamdy A.: "Simulation Modeling and SIMNET" Prentice-Hall Inc, New Jersey, USA. 1988 395 pag.
- (Taylor e Siemer, 1996):** Taylor, S. J.; Siemer, J. "Enhancing simulation education with intelligent tutoring Systems", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p 675 - 680; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Thornock et al., 1997):** Thornock, N. C.; Xiao-Hong Tu e Flanagan, J. K. "A stochastic disk I/O simulation technique", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 1079 - 1086; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Thuthill, 1990):** Thuthill, G. S.: "Knowledge Engineering. Blue Ridge Summit, Pa: TAB Books, 1990.
- (Tumay, 1996):** Tumay, K. "Business process simulation", 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p 93 - 101; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Turban, 1992):** Turban, Efraim: "Expert systemes and applied artificial intelligence" Macmillan Publishing Company, New York 1992, 804 pag.
- (Van der Vorst, et al., 2000):** van der Vorst, J. G. A. J.; Beulens, Adrie J. M., van Beeka Paul: "Modelling and simulating multi-echelon food systems"; European Journal of Operational Research, Volume 122, Issue 2 April 2000, pp 354-366.
- (Vendrameto, 1994):** Vendrameto, Oduvaldo: "Bases de conhecimento para automação da manufatura". Tese de doutorado apresentada à POLI/USP. São Paulo, 1994.
- (Vitanov et al., 1995):** Vitanov, V. I.; Harrison, D. K.; Mincoff, N. H.; Vladimirova, T. V.", An expert system shell for the selection of metal cutting parameters". Journal of Materials Processing Technology, vol 55, pag 111-116, 1995.
- (Wang e Hong, 1997):** Wang, P. T. R. e Hong, Y. K. "Collision awareness multiple access networks performance optimization", 1997 Winter Simulation Conference Proceedings, 1087 - 1092; Cononado, California; 8-11 December 1997.
- (Waterman, 1986):** Waterman, D. A.; "A guide to expert systems", Addison-Wesley, USA, 1986. 419 pag.

- (Williams, 1996):** Williams, E. J. "Modeling of chain conveyors and their equipment interfaces" A. K. Gunal, S. Sadakane, 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, p 1107 - 1114; Cononado, California; 8-11 December 1996.
- (Wittenberg, 1995):** Wittenberg, G. "Training with virtual reality", Assembly Automation, Vol 15, n 3, p 12 - 14, 1995.
- (Ziegler, 1990):** Ziegler, Bernard P.: "Object oriented Simulation with hierarchical, modular models: intelligent agents and endomorphic systems". Academic Press, Inc., San Diego/C.A., USA, 1990.
- (Zingales, 1978):** Zingales, Mário: "A organização da criatividade". Tradução de Maurizio Berlandiz. São Paulo, EDUSP, 1978.
-

Anexo

Neste Anexo, será apresentado um exemplo de como o sistema de fichas construído no Capítulo 6 pode ser transposto para uma base de conhecimentos a ser incorporada a um sistema especialista. Neste exemplo, a primeira ficha (figura 6.5) será transposta para um sistema de regras de produção.

A1 – Representação do conhecimento utilizando regras de produção

A representação da maneira humana de resolver problemas utilizando regras do tipo SE/ENTÃO é denominada “modelo de regras de produção”.

Um modelo baseado em regras deste tipo para representação da maneira humana de raciocinar foi proposto por Allen Newell e Herbert A. Simon e obedece a seguinte estrutura:

- os órgãos sensoriais humanos fornecem estímulos ao cérebro;
- a partir das informações recebidas, é realizada uma busca na memória de longo prazo (ver Figura 3.2 desta tese) para encontrar qual a(s) regra (s) pode(m) ser disparada(s);
- as informações são então processadas para produzir as respostas apropriadas ao problema abordado.

A partir dos estudos realizados com este modelo, Newell e Simon (1972) demonstraram que praticamente qualquer problema a ser resolvido pelo homem pode ser modelado na forma de um conjunto de regras de produção. Desde então, esta tem sido uma das principais formas de representação da maneira humana de processamento de informações para resolução de problemas.

A seguir é apresentado um exemplo de um conjunto bem simples de regras para explanação de sua estrutura:

Regra 1: luz vermelha SE: luz vermelha está acesa;	ENTÃO: pare.
Regra 2: luz amarela SE: luz amarela está acesa;	ENTÃO: aguardar mudança de estado.
Regra 3: transição I SE: aguardando mudança de estado e; está em movimento e; o estado anterior é verde	ENTÃO: reduza a velocidade; pare no cruzamento.
Regra 4: transição II SE: aguardando mudança de estado e; está em movimento e; o estado anterior é vermelho	ENTÃO: reduza a velocidade; aguarde a luz verde.
Regra 5: transição III SE: aguardando mudança de estado e; está parado	ENTÃO: prepare-se para iniciar movimento;
Regra 6: luz verde SE: luz verde está acesa;	ENTÃO: siga adiante.

Figura A1 – Exemplo de sistema de regras de produção

No exemplo anterior, a linha tracejada divide o sistema em “causas” e “consequências” – á esquerda desta linha situam-se as regras (causas) e á sua direita as consequências, ou ações que devem ser disparadas a partir da

validação de cada uma das regras. De forma a facilitar depurações e futuras expansões do sistema, as regras são numeradas e nomeadas uma a uma.

Algumas das vantagens da representação do conhecimento por regras de produção são:

- a sua natureza modular, que facilita modificações e expansões do sistema (Turban, 1992);
- facilidades para o entendimento do conhecimento modelado (Giarratano e Riley, 1994);
- similaridade com o processo humano de raciocínio (Newell e Simon, 1972)

A2 – Codificação da Ficha 1 em regras de produção

Regra 1 – Objetivos do estudo

SE:

Objetivos do estudo não estão claramente definidos

ENTÃO:

- Determinar quais as respostas desejadas do estudo a ser realizado (**A**).
- Determinar qual o grau de precisão desejado para as respostas (**B**).
- Determinar de que setor da organização partiu a solicitação para realização do estudo de simulação (**C**).
- Determinar qual o motivo da solicitação do estudo de simulação (**D**).
- O objetivo do estudo realizado pode ser determinado com se segue: “Obter **A**, com um grau de precisão **B**, sob o enfoque de **C** visando contornar **D**.”

Regra 2 – Identificação das principais variáveis de estudo

SE:

Os objetivos do estudo estão claramente definidos

e

As variáveis a serem investigadas ainda não estão determinadas

ENTÃO:

- Determinar quais variáveis diretamente relacionadas com as respostas da regra 1 e organizá-las em uma lista ordenada de forma decrescente (**A**).
- Determinar quais as variáveis relacionadas com as respostas que o estudo de simulação deve fornecer imediatamente e num futuro próximo, e organizá-las em uma lista ordenada de forma decrescente segundo os critérios econômico e técnico (**B**).
- As variáveis mais importantes para o estudo podem ser obtidas encontrando-se o conjunto **C** (intersecção entre os conjuntos **A** e **B**) e reorganizando-o de forma decrescente de acordo com o grau de restrições técnicas e econômicas relacionadas a cada um de seus elementos.

Regra 3 – Estabelecimento de um cronograma para realização do estudo.

SE:

Os objetivos do estudo estão claramente definidos

e

As variáveis a serem investigadas estão determinadas

e

O cronograma para realização do estudo ainda não foi determinado.

ENTÃO:

- Identificar todas as atividades relacionadas à realização do estudo.
- Identificar quais as restrições à realização de cada uma delas e a partir daí, quais destas atividades podem ser realizadas simultaneamente
- Entrevistar os profissionais que executarão cada uma destas atividades e estabelecer um tempo de execução para cada uma delas.
- Identificar as atividades de mais longa duração, e verificar a possibilidade de desmembrá-la em diversas atividades menores.
- Repetir o processo a partir da segunda etapa até não existir mais possibilidade/necessidade de desmembrar alguma das atividades.
- Estabelecer o cronograma como sendo a somatória dos tempos de realização de todas as atividades que não podem ser realizadas simultaneamente com nenhuma outra, mais a soma do tempo da atividade de maior duração dentro de cada subconjunto de atividades realizadas simultaneamente.

Regra 4 – Cálculo de um orçamento para realização do estudo.

SE:

Os objetivos do estudo estão claramente definidos

e

As variáveis a serem investigadas estão determinadas

e

O cronograma do estudo está estabelecido

e

O orçamento para realização do estudo não está ainda determinado.

ENTÃO:

- Identificar todos os equipamentos (*hardware e software*) necessários (A) e a quantidade necessária de cada um destes para realização do estudo (B).
- Identificar todos os profissionais requeridos (C) e o número necessário de cada um destes para realização do estudo (D).
- Determinar o custo de utilização por unidade de tempo dos equipamentos a serem utilizados (E) e dos profissionais a serem disponibilizados (F) para o estudo.
- Verificar onde o estudo será realizado e se há necessidade de deslocamento de equipamentos e/ou profissionais. Determinar o custo de deslocamento de equipamentos (G) e de profissionais (H).
- Calcular uma estimativa do custo de realização do estudo através de:

$$\text{CUSTO} = (\text{ABE} + \text{CDF})\text{T} + \text{G} + \text{H}$$

Onde T é o número de unidades de tempo para realização do estudo completo, determinado no estabelecimento do cronograma.