

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**José Benedito de Oliveira**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ANÁLISE DE UM  
SISTEMA DE MANUFATURA EM FASE DE  
DESENVOLVIMENTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

**Orientador:** Dr. Prof. José Arnaldo Barra Montevechi  
**Co-Orientador:** Ms. Prof. Fabiano Leal

**Itajubá, Novembro de 2007**

**Oliveira, José Benedito de.** *simulação computacional: análise de um sistema de manufatura em fase de desenvolvimento*. Itajubá: UNIFEI, 2007. 154p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Engenharia de Itajubá).

Palavras-Chaves: Simulação, Sistema de Manufatura, Mapeamento de Processos,

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**José Benedito de Oliveira**

## **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ANÁLISE DE UM SISTEMA DE MANUFATURA EM FASE DE DESENVOLVIMENTO**

Dissertação submetida à banca examinadora em 12 de Novembro de 2007, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Banca Examinadora:**

Dr. Prof. José Arnaldo Barra Montevechi	(UNIFEI)
Ms. Prof. Fabiano Leal	(UNIFEI)
Dr. Prof. José Hamilton Chaves Gorgulho Júnior	(UNIFEI)
Dr <sup>a</sup> . Prof <sup>a</sup> . Mischel Carmen Neyra Belderrain	(ITA)

**Itajubá, Novembro de 2007**



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

## ANEXO II

### FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Dissertação: **“Simulação Computacional: Análise de um Sistema de Manufatura em fase de Desenvolvimento”**

Autor: **José Benedito de Oliveira**

#### JULGAMENTO

Examinadores	Conceito		Rubrica
	A = Aprovado	R = Reprovado	
1º	A		
2º	A		
3º	A		
4º	A		

#### Observações:

- 1) O Trabalho será considerado Aprovado se todos os Examinadores atribuírem conceito A.
- 2) O Trabalho será considerado Reprovado se forem atribuídos pelos menos 2 conceitos R.
- 3) O Trabalho será considerado Insuficiente (I) se for atribuído pelo menos um conceito R. Neste caso o candidato deverá apresentar novo trabalho. A banca deve definir como avaliar a nova versão da Dissertação.

Resultado Final: A ou seja, APROVADO

Observações: \_\_\_\_\_

Itajubá, 12 de novembro de 2007.

Prof. Dr. Mischel Carmen Neyra Belderrain  
1º Examinador – ITA

Prof. Dr. José Hamilton Chaves Gorgulho Júnior  
2º Examinador – UNIFEI

Prof. Dr. Fabiano Léal  
3º Examinador – UNIFEI – Co-Orientador

Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi  
4º Examinador – UNIFEI - Orientador

## Agradecimentos

A DEUS, que por intercessão de Nossa Senhora Aparecida, sempre abençoou as realizações dos meus sonhos.

Ao amigo e professor José Arnaldo Barra Montevechi, que por possuir os dons da sabedoria e do conhecimento, conduziu com confiança, amizade e paciência a realização do meu trabalho.

Ao meu co-orientador, professor Fabiano Leal, que compartilhou seus conhecimentos com atenção e amizade, muito contribuindo na realização deste trabalho.

Ao meu amigo Mário Coura, que com seu espírito de ajuda e companheirismo, visualizou esta oportunidade, incentivou-me e criou condições para que ela fosse aproveitada.

Aos meus pais Nery (in memorian) e Terezinha, que com amor privaram de seus sonhos para tornarem possíveis os meus.

A minha esposa Patrícia, e aos meus filhos Marina e Bruno, que para possibilitarem a realização deste trabalho, abdicaram-se pacientemente de momentos importantes de suas vidas.

*“Para onde irei, para onde fugirei, se em qualquer lugar onde eu me encontro, eu Te encontro lá”.*

# Sumário

Agradecimentos	iii
Sumário	iv
Resumo	vi
Abstrat	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Lista de Quadros	xi
Lista de Abreviaturas	xii
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Relevância do Trabalho	2
1.3. Objetivo do Trabalho	2
1.4. Metodologia de Pesquisa	2
1.5. Estrutura do Trabalho	4
<b>2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
2.1. Considerações Iniciais	5
2.2. O Sistema de Fluxo de Materiais	5
2.3. Sistemas de Produção	6
2.4. Sistema de Manufatura	10
2.5. Considerações Finais	16
<b>3. RACIONALIZAÇÃO INDUSTRIAL</b>	<b>17</b>
3.1. Considerações Iniciais	17
3.2. Processos	17
3.3. Tempos de Métodos	19
3.4. Capacidade	22
3.5. Arranjo Físico	25
3.6. Balanceamento de Linha	29
3.7. Técnicas de Mapeamento do Processo	31
3.8. Considerações Finais	36
<b>4. MODELAGEM E A TOMADAS DE DECISÕES</b>	<b>37</b>
4.1. Considerações Iniciais	37
4.2. Modelagem, Modelos e a Tomada de Decisões	37
4.3. Tipos e Classificações de Modelos	40
4.4. Construção de Modelos	42
4.5. Aplicação de Modelagem para a Tomada de Decisão	44
4.6. Considerações Finais	46
<b>5. MODELO DE SIMULAÇÃO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b>	<b>47</b>
5.1. Considerações Iniciais	47
5.2. Modelo de Simulação	47
5.3. Simulação Computacional	48
5.4. Vantagens e Desvantagens da Simulação	50
5.5. O Projeto da Simulação	51
5.6. Aplicações da Simulação	59
5.7. Considerações Finais	60

<b>6. APLICAÇÃO</b>	<b>61</b>
6.1. Considerações Iniciais	61
6.2. Definição do Problema e Estabelecimento de Objetivos	61
6.3. Formulação e Planejamento do Modelo	65
6.4. Coleta de Dados	71
6.5. Desenvolvimento do Modelo	71
6.6. Verificação e Validação dos Modelos	79
6.7. Experimentação e Análise dos Resultados	79
6.8. Considerações Finais	91
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>94</b>
7.1. Considerações Iniciais	94
7.2. Comentários e Contribuição do Trabalho	94
7.3. Sugestões para Trabalho Futuro	96
7.4. Considerações Finais	96
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>98</b>
ANEXO 1	102
ANEXO 2	104
ANEXO 3	109
ANEXO 4	119
ANEXO 5	120

## RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo de simulação para avaliar o desempenho de um novo sistema de manufatura que está em fase de desenvolvimento, ou seja, ainda não implantado. O estudo se desenvolve na seção de engenharia de desenvolvimento de uma empresa do setor de autopeças. O sistema de manufatura foco deste estudo, foi inicialmente idealizado numa fase de elaboração de orçamentos, fase em que, engenheiros orçamentistas pré conceberam o sistema a partir de desenhos e especificações técnicas fornecidas pelo cliente. É comum que na fase de desenvolvimento os engenheiros responsáveis discordem de idéias e decisões tomadas na fase de orçamento, ocorrendo então, as cobranças do tipo “tinha que se ter pensado nisso antes!”. Pensando nos futuros usuários do sistema, e preocupados com este mesmo tipo de cobrança, os responsáveis pelo desenvolvimento optaram pelo uso da simulação como uma técnica de análise e auxílio à decisão, visando obter informações preventivas e preditivas do funcionamento e desempenho futuro do sistema.

Primeiramente foi realizada uma revisão da literatura verificando as pesquisas desenvolvidas sobre os conceitos e as ferramentas utilizadas neste trabalho: sistemas de produção; mapeamento de processo; arranjos físicos; tempo padrão; modelagem para a tomada de decisão; modelo de simulação; simulação computacional; ciclo da simulação; etapas do estudo da simulação etc.

Na etapa de aplicação da simulação o estudo teve duas fases distintas: 1) foram descritos os principais conceitos e considerações do produto a ser fabricado; foram realizados diagrama, fluxograma e mapofluxograma dos processos; foram definidos os arranjos físicos e construídos os modelo conceituais dos processos. 2) construção dos modelos de simulação utilizando-se o pacote de simulação ProModel®; execução e análise dos experimentos.

Como conclusões finais foram apresentados comentários sobre observações realizadas durante a construção dos modelos, realização dos experimentos, modificações e ajustes nos modelos. Também foi apresentado um quadro de resultados de redução de custos obtidos a partir da análise dos resultados do estudo da simulação. O trabalho também vislumbrou a importância do uso do recurso de animação apresentado pelo *software* como uma ferramenta para facilitar a comunicação entre a supervisão e a mão de obra direta, possibilitando transmitir facilmente, de maneira clara e objetiva, como se deseja que uma tarefa seja executada e qual o desempenho esperado, buscando o comprometimento e a participação do funcionário. Outra oportunidade vislumbrada é quanto à utilização da simulação na fase de realização de orçamentos, visando informações antecipadas que possibilitam maior competitividade em relação ao que se estiver sendo orçado.



## ABSTRACT

The present work approaches a simulation study to evaluate the acting of a new manufacture system that is in development phase, that is to say, not yet implanted. The study is developed in the section of engineering of development of a company of the spare parts section. The system of manufacture focus of this study, it was idealized initially in a phase of elaboration of budgets, phase in that, engineers conceived the system starting from drawings and technical specifications supplied by the customer. It is common that in the development phase the responsible engineers disagree of ideas and decisions takings in the budget phase, happening then, the collections of the type "you had to have thought before of this ". Thinking of the future users of the system, and worried with this same collection type, the responsible persons for the development opted for the use of the simulation as an analysis technique and aid to the decision, seeking to obtain preventive information and predictivas of the operation and future acting of the system.

Firstly a revision of the literature was accomplished verifying the researches developed on the concepts and the tools used in this work: production systems; physical arrangements; standard time; modeling for the taking of decision; simulation model; cycle of the simulation; stages of the study of the simulation etc.

In the stage of application of the simulation the study had two different phases: 1) the main concepts and considerations were described to be manufactured of the product; diagram, and flow of the processes were accomplished; they were defined the physical and built arrangements them I model conceptual of the processes. 2) construction of the simulation models being used the simulation package ProModel®; execution and analysis of the experiments.

As final conclusions were presented comments about observations accomplished during the construction of the models, accomplishment of the experiments, modifications and fittings in the models. A picture of results of reduction of costs obtained starting from the analysis of the results of the study of the simulation was also presented. The work also shimmered the importance of the use of the animation resource presented by the software as a tool to facilitate the communication between the supervision and the hand of direct work, facilitating to transmit easily, in a clear way and it objectifies, as he wants himself that a task is executed and which the expected acting and the employee's participation. Another shimmered opportunity is with relationship to the use of the simulation in the phase of accomplishment of budgets, seeking premature information that facilitate larger competitiveness in relation to the than if it be being estimated.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Classificação dos Tipos de Pesquisa	3
Figura 2.1 Sistema de Fluxo de Materiais	6
Figura 2.2 Sistema: Empresa industrial	7
Figura 2.3 Modelo de Sistema de Produção	10
Figura 2.4 Sistema de Manufatura (Sistema de Produção Discreta)	12
Figura 2.5 Volume-Variedade nas Operações de Manufatura	14
Figura 2.6 Tipos de Processos em Operações de Manufatura	14
Figura 2.7 Processos em Organizações Industriais	15
Figura 3.1 Atividade de Produção - Fabricante de Comida Congelada	19
Figura 3.2 Modelo <i>input</i> – transformação – <i>output</i>	19
Figura 3.3 Estudo do Trabalho = Estudo do Método + Medição do Trabalho (Tempo)	20
Figura 3.4 Gargalo de capacidade - processo com 3 operações	23
Figura 3.5 Processo perfeitamente equilibrado	24
Figura 3.6 Exemplo de um arranjo físico em linha	28
Figura 3.7 Influência sobre o arranjo físico das características volume e variedade	29
Figura 3.8 Configurações básicas do fluxograma de processos	34
Figura 3.9 Mapa de processos	34
Figura 3.10 Mapofluxograma	35
Figura 4.1 Abordagem gerencial para tomada de decisão	38
Figura 4.2 O processo de modelagem	38
Figura 4.3 Papel do gerente no processo de modelagem	39
Figura 4.4 Ciclo para criação de modelos	42
Figura 4.5 A visão “caixa preta” de um modelo	44
Figura 4.6 Dimensões na criação de modelos	45
Figura 5.1 Etapas em um estudo de simulação	54
Figura 6.1 Posições entre as áreas livres e as áreas com recursos instalados	65
Figura 6.2 Diagrama de Processo do Sistema do Novo Sistema de Manufatura	66
Figura 6.3 Fluxograma de Processo do Sistema do Novo Sistema de Manufatura	67
Figura 6.4 Mapofluxograma do Novo Sistema de Manufatura	69
Figura 6.5 Subcjs. Solda Projeção	70
Figura 6.6 Subcjs. Montagem dos Braços	70
Figura 6.7 Subcjs. Braços LE/LD e Placas	70
Figura 6.8 Linha de Montagem Final “Eixo SW”	70

Figura 6.9 Leiaute do Modelo ProModel – Subcjs. Solda Projeção	75
Figura 6.10 Leiaute do Modelo ProModel – Subcjs. Montagem dos Braços	76
Figura 6.11 Leiaute do Modelo ProModel – Subcjs. Braços LE/LD e Placas	77
Figura 6.12 Leiaute do Modelo ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW”	78
Figura 6.13 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Solda Projeção	81
Figura 6.14 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Montagem dos Braços	82
Figura 6.15 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Braços LE/LD e Placas	83
Figura 6.16 Resultados da Segunda Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Braços e Placas	84
Figura 6.17 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW”	85
Figura 6.18 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW” com Modificações	87
Figura 6.19 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW” Transporte em Lote de 20 Peças	89
Figura 6.20A Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Solda Projeção - Demanda 50 Conjuntos/dia	92
Figura 6.20B Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Montagem dos Braços - Demanda 50 Conjuntos/dia	92
Figura 6.20C Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Braços LE/LD e Placas - Demanda 50 Conjuntos/dia	93
Figura 6.20D Resultados da Execução da Simulação ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW” - Demanda 50 Conjuntos/dia	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Tabela com base na Teoria de Sistemas	11
Tabela 2.2 Objetivos de Desempenho da Produção	13
Tabela 2.3 Tipos de Processos em Operações de Manufatura	13
Tabela 3.1 Processos de Diferentes Características	18
Tabela 3.2 Relação entre tipos de processos e tipos básicos de arranjo físico	27
Tabela 3.3 Vantagens e Desvantagens dos tipos de arranjo físico	28
Tabela 3.4 Símbolos do fluxograma de processos	33
Tabela 4.1 Características dos tipos de modelos	40
Tabela 4.2 Algumas classificações de modelos	41
Tabela 6.1 Arranjos Físicos do Sistema do Novo Sistema de Manufatura	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 6.1 Estrutura de Montagem do “Eixo SW”	63
Quadro 6.2 Recursos de Montagem do “Eixo SW”	64
Quadro 6.3 Elementos ProModel - Subcjs. Solda Projeção	75
Quadro 6.4 Elementos ProModel - Subcjs. Montagem dos Braços	76
Quadro 6.5 Elementos ProModel - Subcjs. Braços LE/LD e Placas	77
Quadro 6.6 Elementos ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW”	78
Quadro 6.7 Mudanças Sugeridas – Linha de Montagem Final “Eixo SW”	86
Quadro 6.8 Relatório de Resultado de Simulação – Sistema de Manufatura “Eixo SW” Informações para Implantação - Demanda 50 Conjuntos/dia	91
Quadro 7.1 Relatório Final de Resultado de Simulação – Novo Sistema de Manufatura	95

## LISTA DE ABREVIATURAS

- AGV – *Automated Guided Veicle* (Veículo Guiado Automaticamente)
- APQP – *Advanced Product Quality Planning* (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto)
- BELE – Braço Externo Lado Esquerdo
- BELD – Braço Externo Lado Direito
- BRINLE – Braço Interno Lado Esquerdo
- BRINLD – Braço Interno Lado Direito
- CNC – Comando Numérico Computadorizado
- Eixo “SW” – Denominação do Conjunto Mecânico Estrutural
- FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas)
- LE – Lado Esquerdo
- LD – Lado Direito
- LE/LD – Lado Esquerdo e Lado Direito
- MAG – Metal Ativo Gás
- MIG – Metal Inerte Gás
- MOD – Mão de Obra Direta
- PPAP – *Production Part Approval Process* (Processo de Aprovação da Peça de Produção)
- SBLE – Subconjunto Braço Lado Esquerdo
- SBLD – Subconjunto Braço Lado Direito
- SBRINLE – Subconjunto Braço Interno Lado Esquerdo
- SESW – Subconjunto Eixo “SW”
- SFP – Solicitação de Formação de Preços
- SSLCP – Suporte em “L” com Porca
- SSUCAP – Suporte em “U” com Aba e Porca
- Subcjs – Subconjuntos
- WIP – *Work in Process* (Material em Processamento)
- “Travessa 521” – Produto que não pertence ao sistema de manufatura em estudo

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

As organizações empresariais estão envolvidas por sistemas complexos, cuja compreensão e análise de alguns desafios tornam-se fundamentais para a sobrevivência. Em um mundo marcado pela globalização de mercados e pela velocidade da informação, a melhoria da produtividade passou de desejo à necessidade, obrigando as empresas a constantes evoluções nos sistemas de produção, onde empresas vencedoras são aquelas que respondem de forma rápida e flexível às necessidades dos clientes.

O desenvolvimento de um novo sistema produtivo ou a melhoria de um já existente passa freqüentemente por tomadas de decisões em diversos níveis da organização e geralmente são afetadas, conforme apresentado por Lachtermacher (2002), pelo tempo disponível para a tomada de decisão, a importância da decisão, o ambiente, os riscos certezas/incertezas, os agentes decisores e os conflitos de interesses.

Não são raras as situações em que decisões sobre distribuição e utilização de recursos são tomadas por supervisores, líderes, coordenadores de produção e engenharia de manufatura, com base apenas em suas experiências e sob forte ação de um dos fatores apresentados acima. Considerando que nestas condições a decisão tomada não é garantia de melhor resultado na alocação dos recursos, faz-se então necessário utilizar uma outra opção em conjunto com a primeira, sendo esta última baseada em fatos, dados e informações.

A simulação é uma poderosa ferramenta para a tomada de decisões no desenvolvimento de sistemas mais eficientes (HARREL *et al.*, 2002). O uso da simulação durante o desenvolvimento seria como uma técnica preditiva e preventiva, onde respostas para questões do tipo “o que aconteceria se...?”, irão auxiliar em tomadas de decisões que podem evitar cobranças futuras do tipo “tinha que se ter pensado nisso antes!”.

Um grande benefício da utilização da simulação em ambientes manufatureiros é a possibilidade de obter uma visão geral (macro) do efeito de uma pequena mudança (micro) no sistema. Alguns benefícios da simulação são:

- Aumento de produtividade;
- Aumento das taxas de utilização de equipamentos e funcionários;
- Redução das necessidades de capital;
- Garantir que o projeto do sistema proposto opere conforme o esperado;

- As informações agregadas na construção do modelo de simulação promoverão um maior entendimento do sistema.

## 1.2 Relevância do Trabalho

Atualmente as organizações necessitam cada vez mais de sistemas altamente eficientes para enfrentarem a grande competitividade imposta pelo mercado globalizado. Desta forma as empresas necessitam retirar o máximo rendimento possível de todos os seus recursos bem como realizar novos investimentos que podem afetar diretamente o seu desempenho e conseqüentemente sua competitividade.

Na fase de desenvolvimento, são tomadas as mais importantes decisões que afetam o desempenho e a performance de um novo sistema, sendo comum que após sua implementação apareçam problemas que poderiam ser evitados caso fossem preventivamente identificados.

Este trabalho utiliza a simulação como ferramenta de análise preventiva no desenvolvimento de novos sistemas, aproveitando das vantagens desta técnica para diagnosticar problemas; estimar desempenho; visualizar através da animação e proporcionar uma melhor percepção de como o sistema funcionaria na realidade.

## 1.3 Objetivos do Trabalho

É objetivo deste trabalho desenvolver um estudo de simulação para avaliar o desempenho de um novo sistema de manufatura que está em fase de desenvolvimento, ou seja, ainda não implantado. Busca-se, neste estudo, uma análise preventiva e preditiva da performance que o sistema que esta sendo idealizado, apresentará depois de implantado, gerando informações para tomada de decisões quanto à distribuição e utilização de recursos.

Os objetivos complementares do presente trabalho são:

- Mapeamento do processo do novo sistema de manufatura;
- Conhecer a capacidade produtiva;
- Balanceamento da linha de montagem;
- Distribuição de mão de obra;
- Definir procedimentos de operação.

## 1.4 Metodologia de Pesquisa

Metodologia é o conjunto de técnicas e processos utilizados pela ciência para formular e resolver problemas de aquisição objetiva do conhecimento de maneira sistemática (JUNG, 2003).



Para Jung (2003), Pesquisa é o processo através do qual as pessoas adquirem um novo conhecimento sobre si mesmas ou sobre o mundo em que vivem, com a finalidade de:

- Responder a um questionamento,
- Resolver um problema,
- Satisfazer uma necessidade.

A Metodologia da Pesquisa tem como função mostrar como andar no “caminho das pedras” na elaboração de um projeto de pesquisa, baseados em planejamento cuidadoso, reflexões conceituais sólidas e alicerçados em conhecimentos já existentes (SILVA e MENEZES, 2001).

Conforme Silva e Menezes (2001) existem várias formas de classificar as pesquisas. As formas clássicas de classificação dos tipos de pesquisas estão representadas na Figura 1.1.

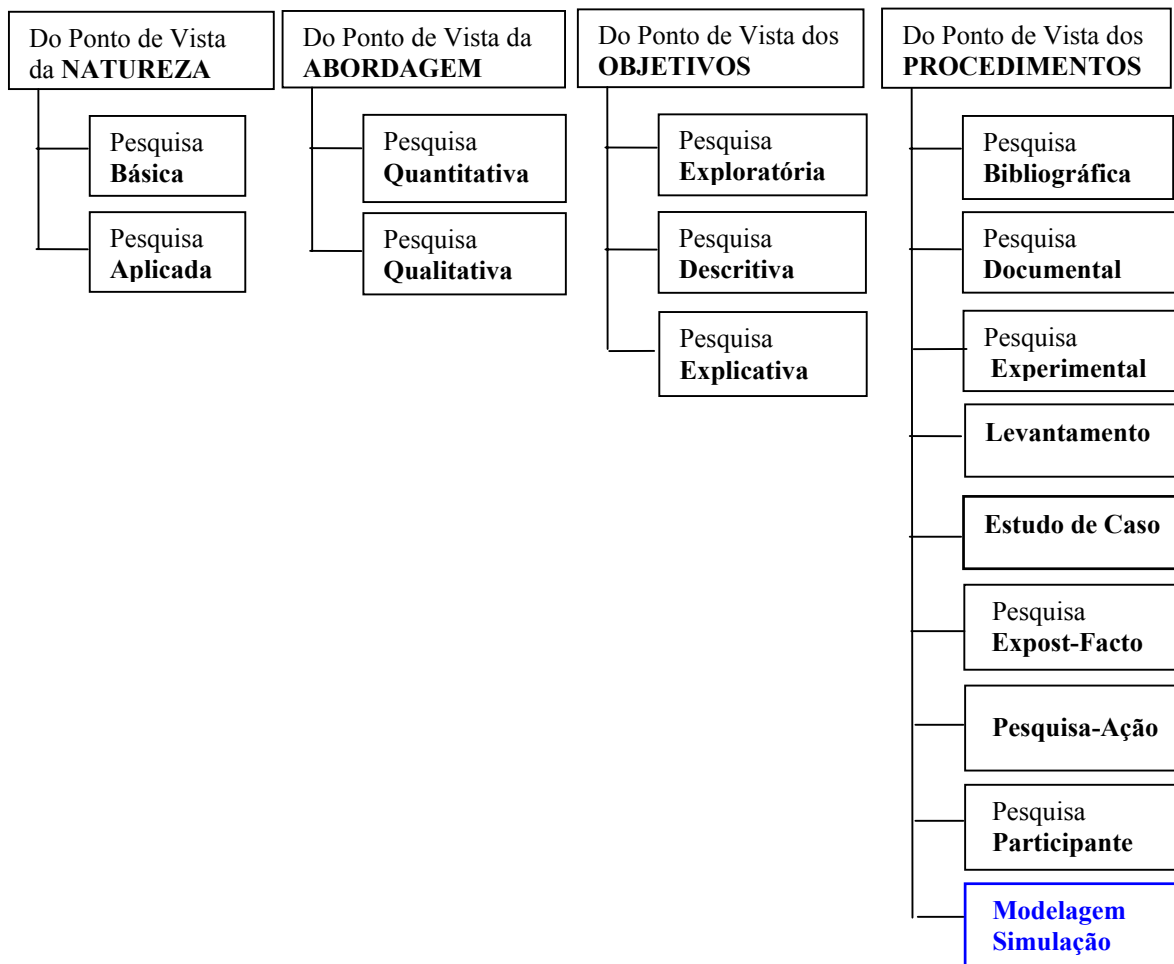


Figura 1.1 Classificação dos Tipos de Pesquisa – Adaptado de SILVA e MENEZES (2001)

Conforme Jung (2003), quanto aos “procedimentos” a execução de uma pesquisa depende das técnicas e procedimentos a serem adotados para a coleta e análise dos dados, sua

natureza e objetivos requerem ferramentas adequadas para a resolução dos problemas de pesquisa. Isso significa que existem vários tipos de pesquisa que são adotados em função das necessidades práticas de execução.

Este trabalho de pesquisa investiga os resultados da aplicação da simulação no desenvolvimento de um novo sistema de manufatura. Para sua realização, serão usadas ferramentas de modelagem e simulação, o que caracteriza esta pesquisa do ponto de vista do procedimento, conforme a figura 1.1, como uma “Modelagem Simulação”.

A elaboração de hipóteses, afirmações iniciais que se buscará afirmar no decorrer da pesquisa, é algo essencial na elaboração e execução de uma pesquisa. O presente trabalho busca confirmar a seguinte hipótese:

“A simulação aplicada em sistemas de manufaturas em fase de desenvolvimento, é de grande valia no apoio à decisão para sua implementação, proporcionando uma melhor percepção de como o sistema funcionará na realidade”.

## **1.5 Estrutura do trabalho**

Este trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo foi destinado à introdução, fornecendo as primeiras impressões do trabalho, a relevância e o objetivo da dissertação. No segundo capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de sistemas de produção, considerados necessários para o desenvolvimento do trabalho. No terceiro capítulo a revisão bibliográfica focou as técnicas de racionalização industrial, procurando abordar os conceitos e ferramentas relacionadas às análises dos sistemas produtivos. No quarto capítulo a revisão bibliográfica foi direcionada para os conceitos gerais de modelagem e modelos aplicados na tomada de decisão e solução de problemas, procurando formar base para o quinto capítulo. No quinto capítulo a discussão foi voltada para os conceitos específicos dos modelos de simulação com os fins de aplicação da simulação computacional. No sexto capítulo é realizada uma aplicação da simulação computacional em um sistema de produção em fase de desenvolvimento, e no sétimo capítulo são realizadas as conclusões e as recomendações para futuros trabalhos.

## 2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

### 2.1 Considerações iniciais

Devido às exigências cada vez maiores por parte do mercado consumidor, tanto na qualidade como na variedade de produtos de baixos custos, a competitividade na área industrial tem-se tornado geral, e demandas imprevisíveis estão cada vez mais substituindo (progressivamente) demandas constantes. Os países altamente industrializados têm realizado mudanças significativas na área de manufatura, permitindo produzir produtos de alta qualidade de baixos custos e em pequenos lotes. Este capítulo discute os sistemas de produção e fluxo de materiais dentro de uma indústria, buscando prover um melhor entendimento dos problemas de gerenciamento da produção através do estudo de vários tipos de sistemas de produção.

### 2.2 Sistema de Fluxo de Materiais

Johnson e Montgomery (1974) apresentam na Figura 2.1 um modelo geral de fluxo, ainda válido para os tempos atuais, onde a empresa adquire de fornecedores o material bruto e/ou subconjuntos para atender as necessidades de produção, sendo que neste caso o gerenciamento de aquisição e controle de inventários é do departamento de compras e estoque de material que providencia a entrada destes no sistema produtivo. O sistema produtivo consiste de centros de produção que processam o material bruto e/ou subconjuntos transformando-os em produto acabado, sendo então o departamento de produção responsável pelo gerenciamento de mão de obra (*manpower*) e instalações (*facilities*) que determinarão a capacidade produtiva de cada centro que irá executar as rotinas para produzir o produto. Produtos acabados deixam o sistema produtivo para atender a demanda de clientes, que podem ser um consumidor direto, um varejista, um atacadista ou um cliente interno parte de um outro processo de manufatura. É função do departamento de distribuição e vendas o gerenciamento das quantidades e armazenamento destes produtos para satisfazer as necessidades de atendimento do cliente.

Os autores afirmam ainda que três fatores do fluxo de material são de grande interesse para o gerenciamento da produção:

- Quantidade/Tempo – é a quantidade a ser processado por vez em um determinado período de tempo.
- Qualidade – grau de conformidade com as especificações.

- Custo – valor de todos os recursos gastos para a fabricação do produto.

Procedimentos para planejamento e controle formais destes fatores devem ser estabelecidos, de modo que uma companhia terá unidades organizacionais e sistemas de informações para controlar a produção, inventários, qualidade e custos.

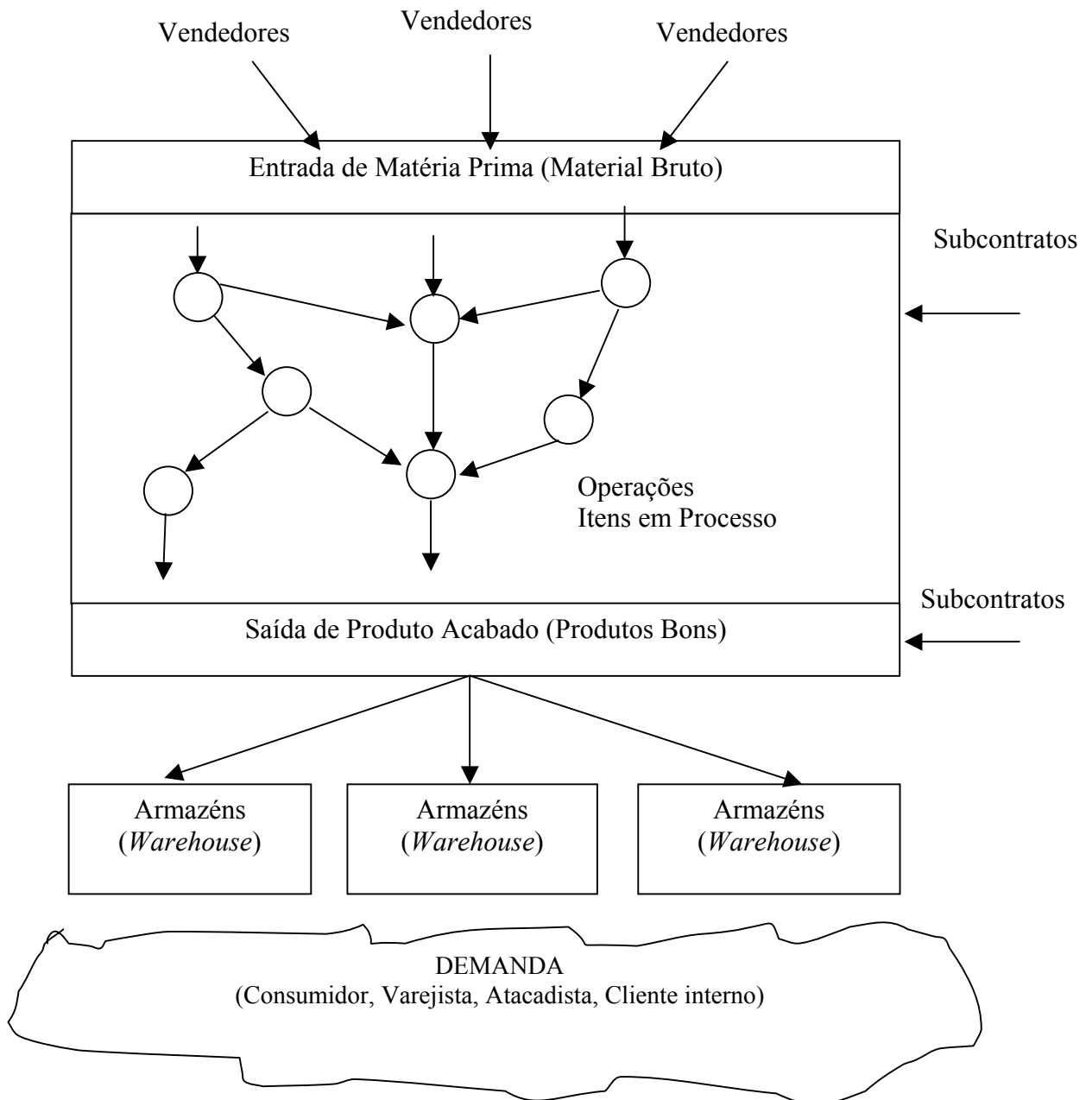


Figura 2.1 Sistema de Fluxo de Materiais - Johnson e Montgomery (1974)

### 2.3 Sistemas de Produção

O planejamento e controle da produção é um tipo de controle formal para o fator Qualidade/Tempo discutido na seção anterior, tendo este a função gerencial de planejar e

controlar a produção. Esta função gerencial depende fortemente de conhecimentos da natureza dos processos de produção que serão controlados.

Rosa (2002) ressalta que um sistema é definido por conter um processo específico de funcionamento a partir de determinados insumos (*inputs*) de tal forma a atender determinados resultados (*outputs*), sendo organizado previamente para atender esses resultados. Porém, esta organização prévia não é garantia que os resultados sejam atingidos conforme planejado, necessitando o sistema de ter um monitoramento ao longo de seu desenvolvimento até a etapa final para verificar as discrepâncias entre o resultado real e o planejado. Este monitoramento propiciaria constante retroalimentação (*feedback*) de tal forma a orientar as correções de eventuais desvios no funcionamento do sistema. A Figura 2.2 sintetiza um sistema de empresa industrial.

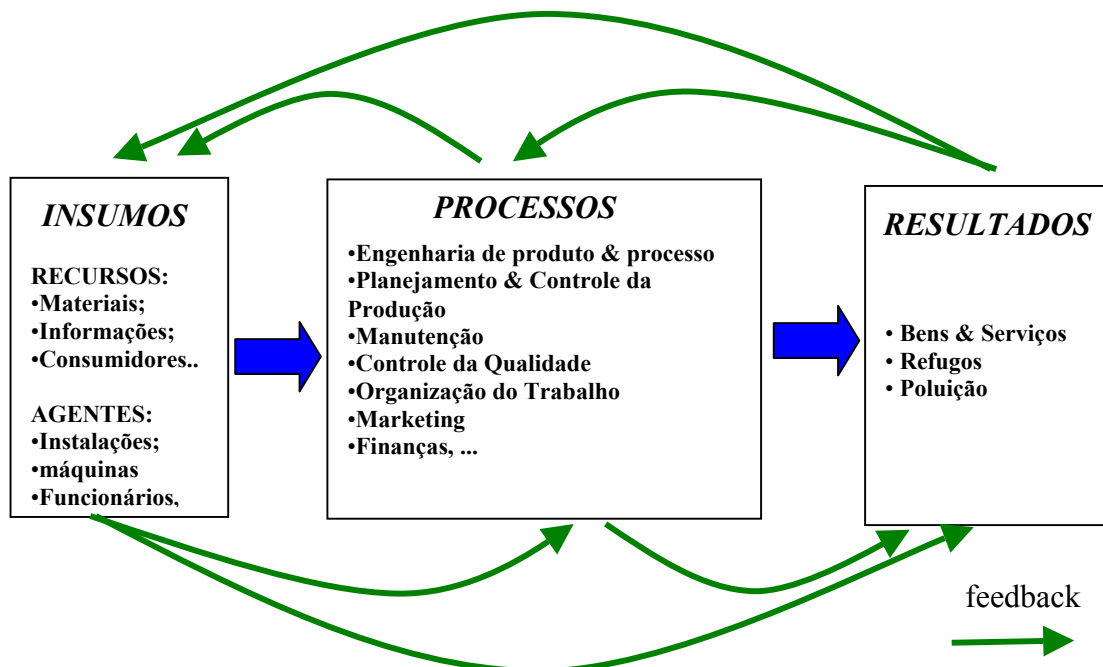


Figura 2.2 Sistema: Empresa industrial – Fonte: Rosa, (2002)

Palomino (2001) apresenta sistemas de produção como processos planejados pelos quais elementos são transformados em produtos úteis.

Segundo RUSSOMANO (*apud* Tagliari, 2002), um sistema de produção pode ser definido como a configuração de recursos combinados, para a provisão de bens e/ou serviços. A explicitação dos itens físicos que compõem esses recursos combinados produz o que se denomina sistemas físicos, cujas principais categorias de recursos são as matérias-primas, os equipamentos, a mão-de-obra e os produtos associados ao sistema de produção.

Stoner (1995) ressalta que o sistema de produção atua dentro do quadro mais amplo da estratégia organizacional, devendo o plano estratégico da organização ser utilizado como diretriz coerente para as políticas produtivas, especificando metas e objetivos que possam ser

atingidos. Desta forma, o sistema de produção deve ser projetado de modo compatível com as estratégias da organização e reciprocamente, suas capacidades devem ser consideradas na formulação da estratégia organizacional.

Inúmeros fatores podem influenciar a configuração de um sistema de produção, podendo surgir assim várias classificações.

Johnson e Montgomery (1974) fazem uma classificação dos sistemas de produção em função do fluxo de materiais como sendo sistema de produção contínua, sistema de produção intermitente, sistema de projeto e sistema puro de inventário. O sistema de produção contínua envolve tipicamente a produção de umas poucas famílias de produtos com relacionamento próximo, em grandes volumes de produção, com arranjo físico de acordo com a rotina (seqüência de produção) do produto. No sistema de produção intermitente um grande número de produtos precisa ser fabricado ocorrendo então freqüentes mudanças (*Setup*) nos centros de produção que terão arranjos (*flow shop ou job shop*) de acordo com a coincidência ou não da rotina (seqüência de produção) dos produtos. Problemas de planejamento e controle de produção são mais complexos no sistema produção intermitente do que no sistema de produção contínua. No sistema de projeto a produção é feita para atender um projeto específico que não é produzido com freqüência e em alguns casos é produzida uma única vez. O sistema de puro inventário é um caso especial onde há gerenciamento de compra e estoque de material, mas não há produção. Uma loja de varejo que compra produtos para vendas intermediárias é um sistema puro de inventário.

Zacarelli (1979) faz classificação semelhante à realizada por Johnson e Montgomery (1974), porém, fazendo subdivisões para os sistemas de produção contínuo e intermitente. O autor classifica as indústrias em duas classes: indústria do tipo contínuo e indústria do tipo intermitente. Indústrias do tipo contínuo: onde os equipamentos executam as mesmas operações de maneira contínua e o material se move com pequenas interrupções entre eles até chegar ao produto acabado. Pode se subdividir em: a) contínuo puro: uma só linha de produção, os produtos finais são exatamente iguais e toda a matéria-prima é processada da mesma forma e na mesma seqüência; b) contínuo com montagem ou desmontagem: várias linhas de produção contínua que convergem nos locais de montagem ou desmontagem; e c) contínuo com diferenciação final: características de fluxo igual a um ou outro dos subtipos anteriores, mas o produto final pode apresentar variações. Indústrias do tipo intermitente: diversidade de produtos fabricados e tamanho reduzido do lote de fabricação determinam que os equipamentos apresentem variações freqüentes no trabalho. Subdividem-se em: a) fabricação por encomenda de produtos diferentes: produto de acordo com as especificações

do cliente e a fabricação se inicia após a venda do produto; e b) fabricação repetitiva dos mesmos lotes de produtos: produtos padronizados pelo fabricante, repetitividade dos lotes de fabricação, podendo ter as mesmas características de fluxo existente na fabricação sob encomenda.

Diferente dos dois autores anteriores, Palomino (2001), classifica os sistemas de produção pelo tipo de produto final, como sendo: sistemas discretos e contínuos. Quando os produtos finais são compostos de partes discretas, isto é, podem ser quantificados numa forma discreta por um número real, tais sistemas são conhecidos como sistemas de produção discreta. Como exemplos deste tipo de sistemas pode-se citar a produção de eletrodomésticos, automóveis, máquinas, ferramentas, livros etc. Por outro lado, quando o produto final não pode ser identificado individualmente, isto é, quando ele é contado em parcelas fracionárias, como litros, toneladas, metros etc, como é o caso das indústrias de processos em geral (líquidos, laminados, refinarias etc), estes tipos de sistemas são conhecidos como sistemas de produção contínua.

Sousa (2003) apresenta duas classificações para o sistema de produção. A classificação por tipo de produto e a classificação por tipo de processo. A classificação por tipo de produto é apresentada como: a) contínua: no qual o fluxo contínuo de produção agrega valor ao produto através de misturas, separação, destilação, reação química, etc; b) seriada discreta: fluxo de produção com unidades discretas, executadas e planejadas de maneira a obedecer a um seqüenciamento ou taxas de produção; e c) sob encomenda: produção na qual cada unidade ou pequenas quantidades de unidades é gerenciada por uma equipe de produção (e projeto) específica para esse propósito. A classificação por tipo de processo é apresentada como: a) *job shop*: neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas que não possuem uma ordem definida; b) *flow shop*: neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas seguindo uma ordem definida; e c) linha de produção: neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas que possuem uma ordem definida com a particularidade de todas as peças ‘visitarem’ todas as máquinas.

Considerando o modelo apresentado por Slack *et al.* (2002) como base para a análise de um sistema de produção, Perales (2006) estabeleceu relações entre os elementos do sistema de produção e os critérios das diversas classificações. A Figura 2.3 apresenta o modelo apresentado por Slack *et al.* (2002) e a Tabela 2.1 sintetiza o estudo de Perales (2006).

Foram apresentados alguns modos de se definir e classificar os sistemas de produção. A classificação quanto ao tipo de produto está relacionada à natureza intrínseca do material a ser transformado e a dinâmica do fluxo nesta transformação. Já a classificação quanto ao tipo

de processo está relacionada com a forma como os recursos produtivos estão organizados para a realização da transformação do produto. Para os objetivos deste trabalho, estenderemos este estudo para a classificação quanto ao tipo de produto e especificamente para o sistema de produção discreta, considerada como veremos a seguir, a forma do sistema de manufatura.



Figura 2.3 Modelo de Sistema de Produção – Adaptado Slack *et al.* (2002).

## 2.4 Sistemas de Manufatura

DICESARE (apud Palomino, 2001) considera os sistemas de manufatura como sendo um sistema de produção discreta, e composto de:

- Sistema Físico, que é o conjunto de recursos que opera sobre a matéria prima e/ou sobre o trabalho em processo, como máquinas, células, sistemas de transporte (transportadores, AGVs, etc), trabalhadores, dispositivos de armazenagem, estações de carga/descarga, estações de controle de qualidade etc.
- Leiaute de Manufatura, que representa a forma como os recursos físicos são distribuídos no chão da fábrica e a conexão de um com o outro.
- Sistema de Gerenciamento, conhecido também como sistema de controle ou sistema de tomada de decisão.

Moreira (1993) define sistema de manufatura como sendo um conjunto de atividades e operações necessárias para a produção de produtos envolvendo os seguintes elementos: insumos, o processo de transformação e os produtos fabricados.

Black (1998) define sistema de manufatura como um arranjo complexo de elementos físicos caracterizados por parâmetros mensuráveis. Dentre os elementos físicos importantes na manufatura destacam-se: pessoas, processos, equipamentos, estoque e manuseio de materiais. Dentre os parâmetros mensuráveis destacam-se: taxa de produção, estoque em processo, custo total ou unitário, entre outros.



ENTRADA	
Classificação	Sistema de Produção
em função do tipo de recursos a serem transformados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sistemas predominantemente processadores de materiais</li> <li>- sistemas predominantemente processadores de informações</li> <li>- sistemas predominantemente processadores de consumidores</li> </ul>
PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO	
Classificação	Sistema de Produção
em função da ação principal do processo de transformação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sistemas que transformam as propriedades físicas</li> <li>- sistemas que transformam as propriedades informativas</li> <li>- sistemas que mudam a posse ou propriedade</li> <li>- sistemas que mudam a localização</li> <li>- sistemas que estocam ou acomodam</li> <li>- sistemas que mudam o estado fisiológico ou psicológico</li> </ul>
em função do fluxo dentro do processo de transformação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fluxo contínuo</li> <li>- fluxo intermitente</li> <li>- fluxo misto</li> <li>- por projetos</li> </ul>
em função da decisão de produzir	<ul style="list-style-type: none"> <li>- antecipada ou para estoque</li> <li>- sob encomenda</li> </ul>
em função do grau de contato com o consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alto grau de contato ou linha de frente</li> <li>- baixo grau de contato ou retaguarda</li> </ul>
SAÍDA	
Classificação	Sistema de Produção
em função da natureza das saídas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fabricação ou manufatura de produtos, quando se trata de uma saída tangível, que pode ser estocada e transportada</li> <li>- geração ou prestação de serviço, quando a saída é intangível, consumida simultaneamente com a sua produção onde é indispensável a presença do consumidor e não pode ser estocada ou transportada</li> </ul>
em função do volume de saídas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alto volume</li> <li>- médio volume</li> <li>- baixo volume</li> </ul>
em função da variedade ou padronização das saídas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta variedade de saídas ou produtos sem nenhuma padronização</li> <li>- variedade média de saídas ou produtos com alguma padronização</li> <li>- baixa variedade de saídas ou produtos altamente padronizados</li> </ul>
em função da variação da demanda pelas saídas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- produção sazonal ou com alta variação da demanda</li> <li>- produção não sazonal ou com baixa variação da demanda</li> </ul>

Tabela 2.1 Tabela com base na Teoria de Sistemas - Perales (2006)

A Figura 2.4 representa a definição de um sistema de manufatura (ou sistema de produção discreta).

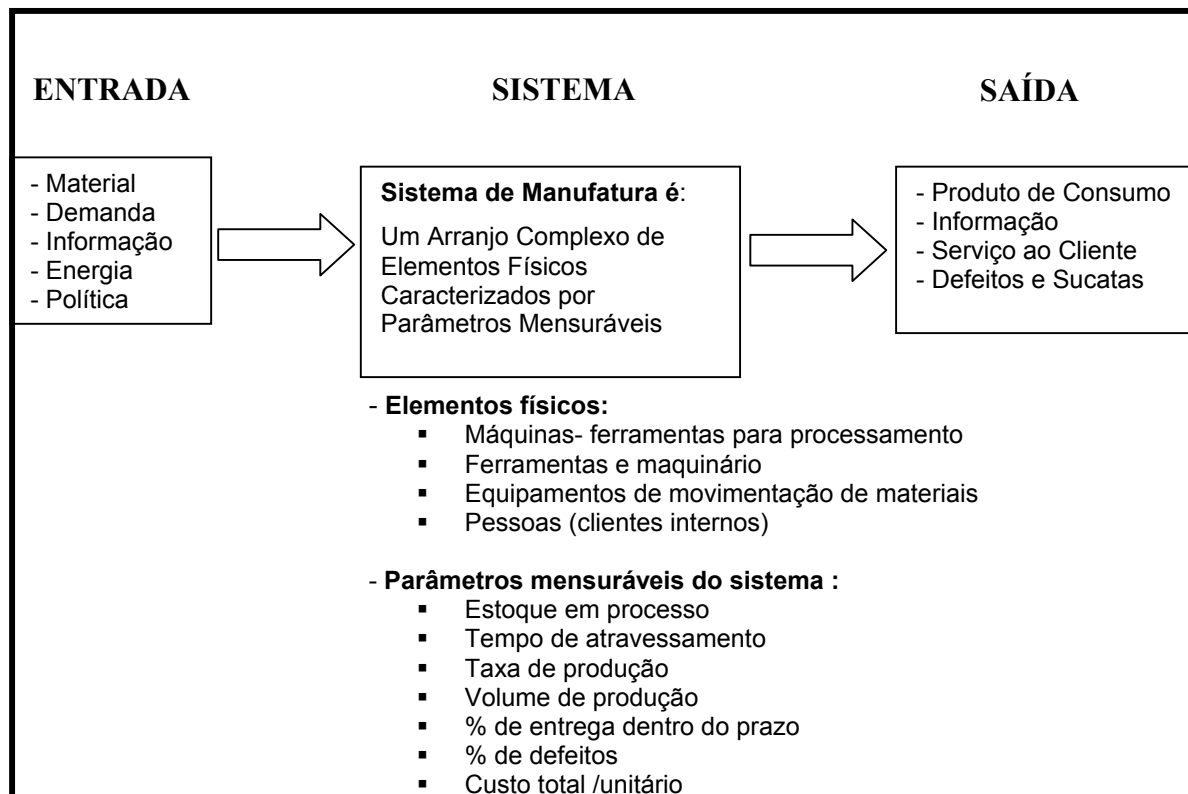


Figura 2.4 Sistema de Manufatura (Sistema de Produção Discreta) – Black (1998)

O sistema de manufatura (ou sistema de produção discreta) tem por objetivo produzir um conjunto de tipos diferentes de produtos, os quais precisam seguir uma determinada seqüência de operações (roteiro de produção), sendo que cada operação pode ser realizada por uma ou mais máquinas. O grande número de produtos a serem fabricadas de forma simultânea e concorrente, as complexidades de cada produto, sua diversificação, a variação nas quantidades a serem fabricadas, variações nas demandas, a introdução de novos produtos etc. fazem dos sistemas de manufaturas um sistema complexo, sendo que esta complexidade inerente será tanto maior quanto mais complexos forem os produtos a serem fabricados, quanto mais complexa for a estrutura de produção vinculada a esses produtos e quanto mais limitadas forem as liberdades de custos e prazos para a realização da manufatura.

Constante transformação vem ocorrendo nos sistemas produtivos ao longo dos tempos. Souza (2002) destaca em seu trabalho a evolução cronológica dos sistemas de manufatura, primeiro com enfoque na manufatura americana considerando três estágios ou eras.

- Era da Produção Artesanal – até 1850.
- Era da Produção em Massa – de 1850 a 1975.
- Era da Produção Flexível ou Enxuta – após 1975.

e em seguida tratando da evolução tecnológica do final deste século e virada do milênio, quando surgiram novas propostas de sistemas de manufatura, como:

- *Lean Manufacturing* – Sistema de Manufatura Enxuta ou Produção Enxuta.
- *Agile Manufacturing* – Sistema de Manufatura Ágil.
- *Holonics Manufacturing Systems* – Sistema de Manufatura Holônica.

As mudanças sempre visaram buscar uma maior eficiência dos sistemas de manufatura que possibilitasse as organizações a conquistarem o mercado consumidor oferecendo produtos variados, com qualidade, custos baixo e em curto espaço de tempo.

Slack *et al.* (2002) define 5 (cinco) objetivos de desempenho básico aplicado a todas operações produtivas, considerando como estratégico tomar providências no sentido de atingir este objetivo com a finalidade de buscar vantagens competitivas. A Tabela 2.2 apresenta um resumo dos objetivos de desempenho da produção proposta por Slack *et al.* (2002).

OBJETIVOS DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO	PROVIDÊNCIAS	VANTAGENS COMPETITIVAS	REQUISITOS
Objetivo Qualidade	"Fazer Certo as Coisas"	Qualidade	Adequação ao Uso
Objetivo Rapidez	"Fazer as Coisas c/ Rapidez"	Velocidade	<i>Lead Time</i> Reduzido
Objetivo Confiabilidade	"Fazer as Coisas em Tempo"	Confiabilidade	Cumprir Prazos
Objetivo Flexibilidade	"Preparado p/ Mudar o que Faz"	Flexibilidade	Capacidade de Mudar Operações
Objetivo Custo	"Fazer as Coisas o Mais Barato Possível"	Custos	Melhores Preços

Tabela 2.2 Objetivos de Desempenho da Produção - Slack *et al.* (2002)

A Tabela 2.3 apresenta os tipos de processos de manufatura conforme apresentados por Slack *et al.* (2002) e por Krajewski e Ritzman (2004). Os autores apresentam em alguns casos denominações diferentes para o mesmo conceito.

TIPOS DE PROCESSOS	
Krajewski e Ritzman (2004)	Slack (2002)
de Projeto	de Projeto
por Tarefa	de <i>Jobbing</i>
por Lote	em Lotes ou Bateladas
em Linha	de Produção em Massa
Contínuo	Contínuo

Tabela 2.3 Tipos de Processos em Operações de Manufatura

Para Slack *et al.* (2002), cada tipo de processo em manufatura implica uma forma diferente de organizar as atividades das operações com diferentes características de volume e variedade. A posição volume-variedade de uma produção tem implicações para quase todos os aspectos de organizar atividades das operações e possuem implicações nos custos. De forma simples a Figura 2.5 resume as implicações deste posicionamento, e a Figura 2.6 mostra os tipos de processos de manufatura em forma gráfica relacionando a posição volume-variedade de uma produção, considerando a variedade no eixo vertical e o volume no eixo horizontal.



Figura 2.5 Volume-Variedade nas Operações de Manufatura – Slack *et al.* (2002)

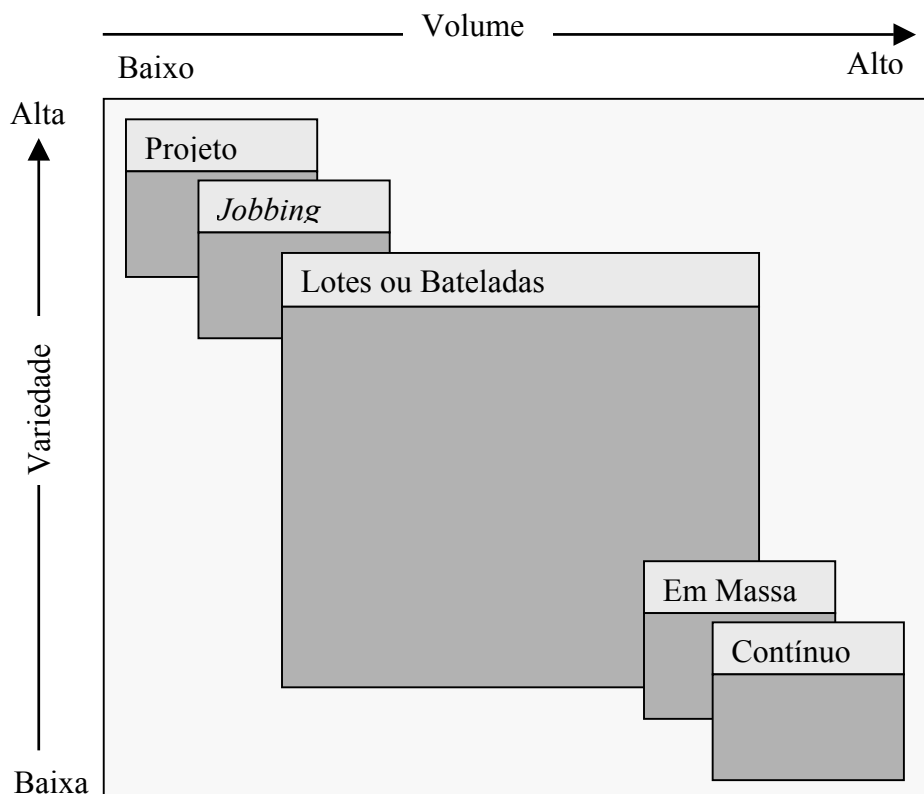


Figura 2.6 Tipos de Processos em Operações de Manufatura – Slack *et al.* (2002)

Para Krajewski e Ritzman (2004), os processos em organizações industriais dependem do volume e do grau de customização, considerando a customização no eixo vertical e o volume no eixo horizontal, conforme mostra a na Figura 2.7.

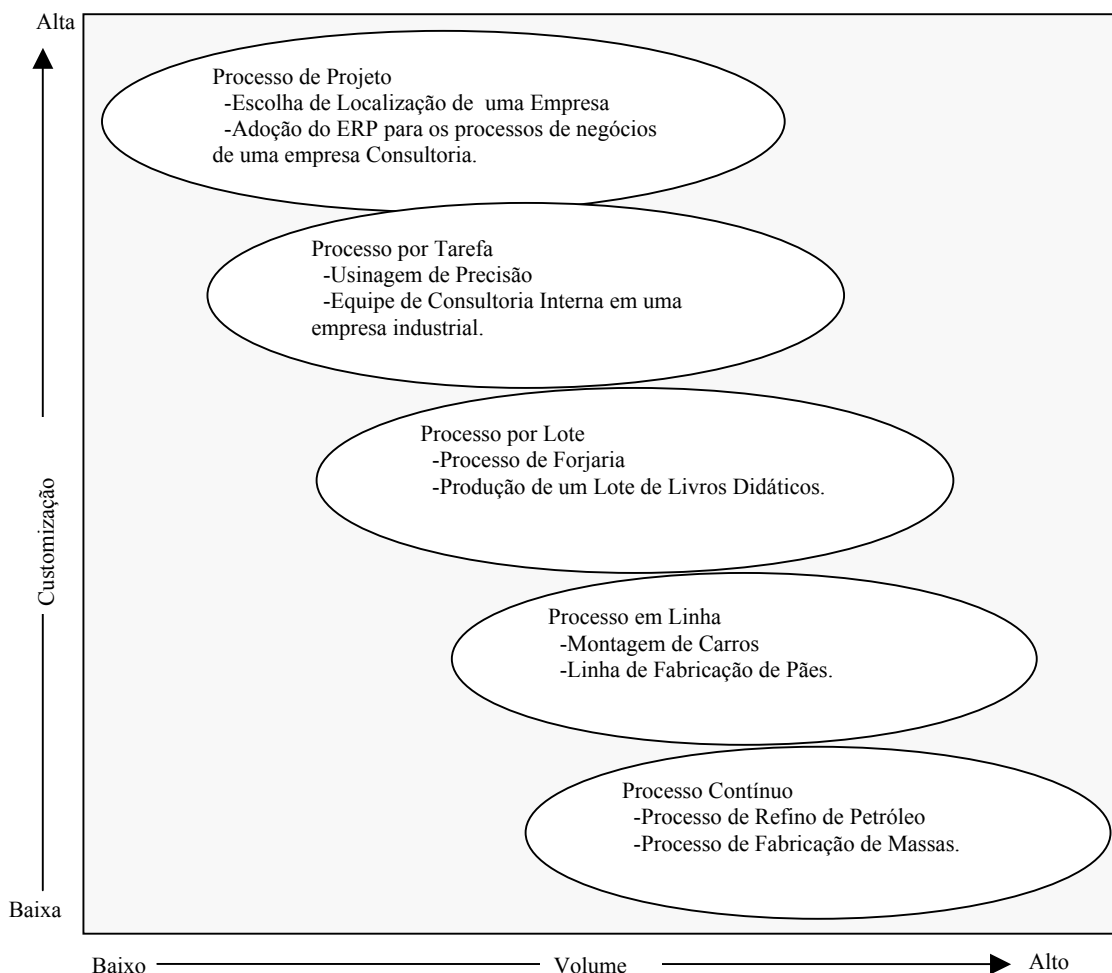


Figura 2.7 Processos em Organizações Industriais – Krajewski e Ritzman (2004)

A seguir serão apresentados exemplos que ajudam a compreender cada um dos tipos de processos de manufatura apresentado anteriormente.

**Processo de Projeto:** Exemplos de processo de projeto incluem construção de navios, atividades das companhias de construção e grandes operações de fabricação como as de turbo-geradores.

**Processo por Tarefa (Processo de *Jobbing*):** Exemplos deste tipo de processo compreendem muitos técnicos especializados, como mestres ferramenteiros de ferramentarias especializadas para usinagem de precisão.

Processo por Lote (ou Bateladas): Exemplos deste tipo de processo compreendem manufaturas de máquinas-ferramentas e a manufatura da maior parte de peças de conjuntos montados em massa. Um processo por lote difere de um processo por tarefa no que diz respeito ao volume, variedade e qualidade.

Processo em Linha (Processos de Produção em Massa): Como exemplo de processo de produção em linha (processo de produção em massa) tem-se a fábrica de automóveis, a maior partes dos fabricantes de bens duráveis e a maior parte dos processos de produção de alimentos. Um processo em linha encontra-se entre o processo por lote e o processo contínuo, os volumes são elevados e os produtos são padronizados, permitindo que os recursos sejam organizados em torno de um produto.

Processo contínuo: Exemplos de processo contínuo são as refinarias de petróleo, siderúrgicas e algumas fábricas de papéis. Um processo contínuo é o extremo da produção em grandes volumes e padronizada com fluxos de linha rígidos.

## **2.5 Considerações Finais**

Este capítulo teve como objetivo, apresentar os principais conceitos sobre os sistemas de produção, sistema de manufatura, fluxo de material dentro de uma empresa e os tipos de processos de manufatura. O conhecimento e entendimento destes conceitos são importantes no desenvolvimento de um novo sistema de produção, o que é parte do objetivo deste trabalho e serão utilizados no capítulo 6.

Os conceitos de processos por lote e em linha terão fortes significados na definição dos arranjos físicos do novo sistema de manufatura.

## 3 RACIONALIZAÇÃO INDUSTRIAL

### 3.1 Considerações iniciais

Segundo a cronologia das diferentes abordagens para o estudo do trabalho, somente a partir de 1930 iniciou-se um movimento para o estudo do método de trabalho visando descobrir o método mais simples de executar uma tarefa (BARNES, 1986).

A obra de Taylor propõe que a definição do método de trabalho passe a ser uma atribuição da gerência e não mais uma escolha do operário. Assim, cabe a gerência analisar a forma como o trabalho é executado, eliminar movimentos inúteis e fixar a melhor forma de executar cada tarefa (ZANCUL *et al.*, 2005).

Duarte (2003), em seu trabalho, entendeu que a racionalização industrial é o conjunto de conceitos e ferramentas voltadas para a análise, não somente do trabalho, mas do sistema produtivo como um todo, e cita a definição apresentada pela *American Institute of Industrial Engineers* “Compete à Racionalização Industrial o projeto, a melhoria e a implantação de sistemas integrados envolvendo homens, materiais e equipamentos; especificar, prever e avaliar os resultados obtidos desses sistemas, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto de Engenharia”.

Este capítulo tem a finalidade de abordar uma revisão bibliográfica dos principais conceitos e ferramentas relacionadas à análise do sistema produtivo e que terão alguma influência na organização do trabalho na fase de desenvolvimento do sistema de manufatura de um novo produto. Para tanto, serão analisados a seguir:

- Processos;
- Métodos;
- Capacidade;
- Tempo;
- Arranjo Físico;
- Balanceamento de Linha;
- Mapeamento do Processo.

### 3.2 Processos

Gonçalves (2000) afirma que a idéia de processo tem estado presente nos textos e nas discussões sobre administração de empresas, e que embora muito presente, o conceito de

processo não tem uma interpretação única, e a variedade de significados encontrados tem gerado inúmeros mal-entendidos.

Ainda conforme Gonçalves (2000), não existe um produto ou serviço oferecido por uma empresa sem um processo empresarial. Da mesma forma, não faz sentido existir um processo empresarial que não ofereça um produto ou serviço.

Qualquer operação produz bens ou serviços, ou um misto dos dois, e faz isso por um processo de transformação (SLACK *et al.*, 2002).

Um processo é qualquer atividade ou conjunto de atividades que parte de um ou mais insumos, transformando-os em um ou mais produtos ou serviços para os clientes (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004).

Na concepção mais freqüente, processo é qualquer atividade ou conjunto de atividades que toma um *input*, adiciona valor a ele e fornece um *output* a um cliente específico (GONÇALVES, 2000).

Nem sempre os processos são formados de atividades claramente delineadas em termos de conteúdo, duração e consumo de recursos e nem precisam ser consistentes ou realizados numa seqüência particular, conforme mostra os exemplos de processos da tabela 3.1.

Processo como	Exemplo	Características
Fluxo de material	Processos de fabricação industrial	<i>inputs</i> e <i>outputs</i> claros
		Atividades discretas
		Fluxo observável
		desenvolvimento linear
		Seqüência de atividades
Atividades coordenadas	Negociação salarial	Sem seqüência obrigatória
		Nenhum fluxo perceptível

Tabela 3.1 Processos de Diferentes Características - GONÇALVES (2000)

Para os objetivos deste trabalho, irá se trabalhar com a idéia de processo como um fluxo de trabalho com *inputs* e *outputs* claramente definido e tarefas discretas que seguem uma seqüência e que dependem umas das outras numa sucessão clara.

Qualquer atividade de produção pode ser vista conforme este modelo *input* – transformação – *output* (SLACK *et al.*, 2002). A figura 3.1 mostra uma atividade de produção desta maneira.



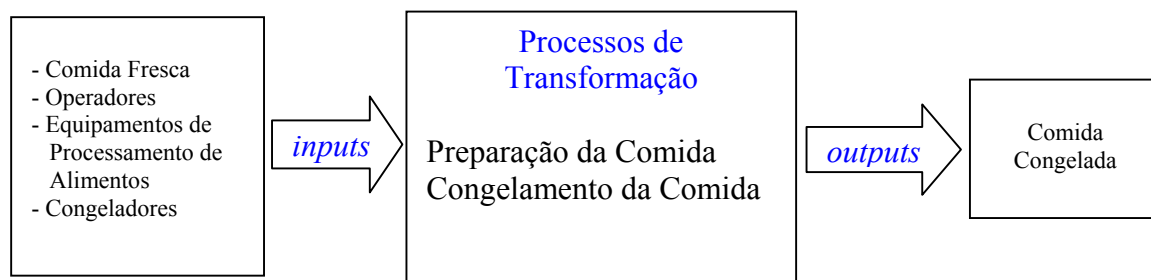


Figura 3.1 Atividade de Produção - Fabricante de Comida Congelada - Slack *et al.* (2002)

De uma forma mais geral a figura 3.2 pode representar toda uma empresa, um departamento, um pequeno grupo ou mesmo um único indivíduo. Cada um possui insumos e utiliza processos em diversas operações para fornecer resultados.

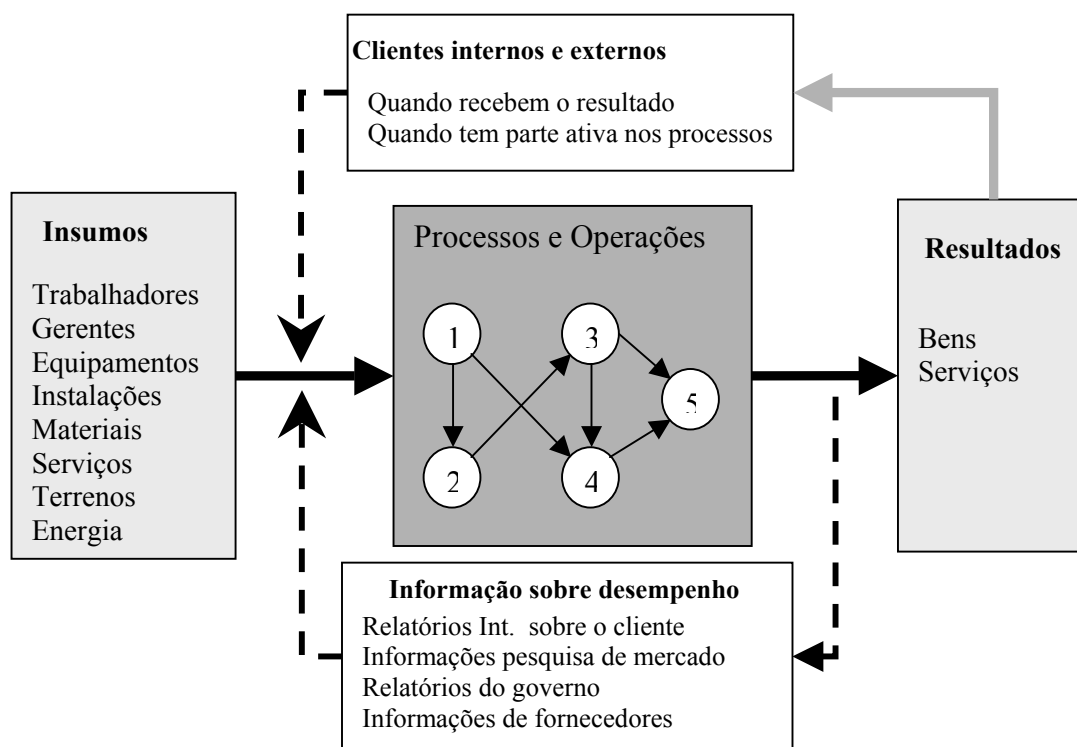


Figura 3.2 Modelo *input* – transformação – *output* - Krajewski e Ritzman (2004).

Um processo pode ser dividido em outros processos no interior dele, e estes últimos podem ainda ser divididos em um número ainda maior de outros processos. (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004) chamam este conceito, de processo no interior de um processo, de subprocessos.

### 3.3 Tempos e Métodos

Desde que a doutrina básica da “Administração Científica” foi estabelecida por Taylor em 1911, dois campos de estudos emergiram separados, porém relacionados. O primeiro é o

Estudo do Método que se concentra na determinação dos métodos e atividades que devem ser incluídos em trabalhos. O segundo é a Medição do Trabalho (Tempo), que se preocupa com a medição do tempo que deve despendar a execução de trabalhos. Juntos esses dois campos são referidos como Estudo do Trabalho. A figura 3.3 ilustra esta abordagem de Slack *et al.* (2002).

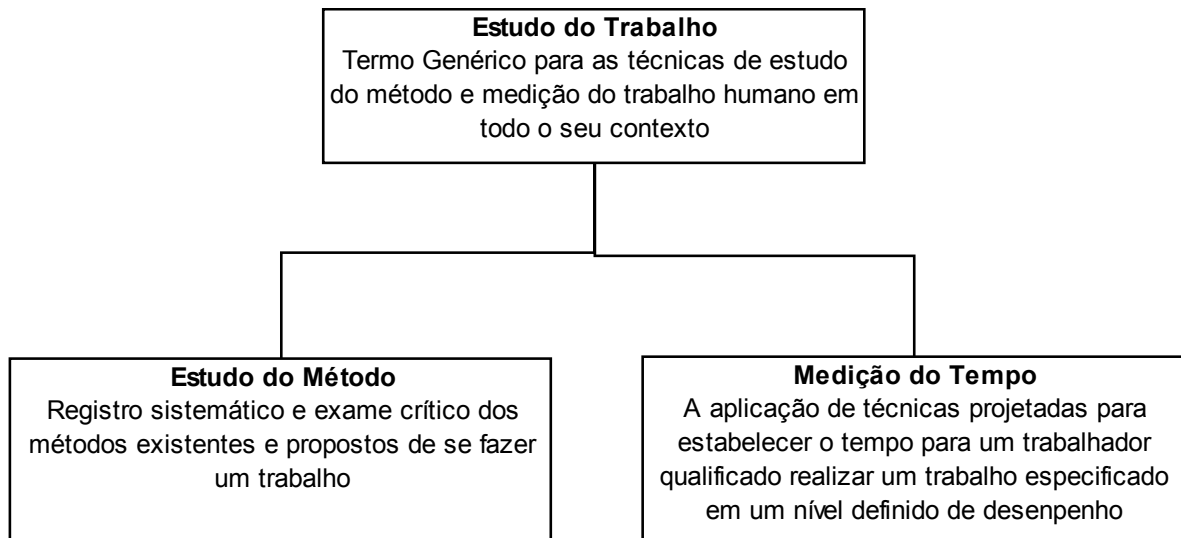


Figura 3.3 Estudo do Trabalho = Estudo do Método + Medição do Trabalho (Tempo) - Slack *et al.* (2002).

A execução de qualquer trabalho exige o emprego de diferentes e variados tipos de recursos, sendo estes dependentes da natureza do trabalho a ser executado, assim, um recurso utilizado na produção de um tipo de produto pode não ser necessário na produção de um outro, porém, qualquer tipo de trabalho consome um determinado tempo para sua execução, portanto deve ser medido. Cada trabalho está associado a diversas maneiras de executá-lo e os diferentes modos de execução demandam tempos diferentes.

O estudo dos métodos tem por objetivo a procura, análise e implantação de rotinas mais eficientes e eficazes para a realização de tarefas. A idéia de que não existe um método perfeito permite uma postura crítica e coerente com uma contínua busca de aperfeiçoamento (ROSA, 2002). A necessidade do estudo de um método de trabalho poderá ter origem de duas formas: implantação de um novo produto ou serviço e análise do sistema produtivo (SLACK *et al.*, 2002).

A medida do trabalho é o processo de definição de tempo que um trabalhador qualificado precisa para realizar um trabalho especificado, com um nível de desempenho definido. Entende-se por trabalho especificado, aquele para o qual foram feitas especificações que definem a maior parte dos aspectos do trabalho. Entende-se por operador qualificado

como aquele que têm atributos físicos necessários, inteligência, habilidades, educação e conhecimento para desempenhar a tarefa com padrões satisfatórios de segurança, qualidade e quantidade (SLACK *et al.*, 2002).

O intervalo de tempo que uma operação leva para ser completada na realização de um trabalho é denominado tempo padrão. O tempo padrão deve ser determinado a partir de algumas correções nos tempos coletados.

Finalidades da determinação do tempo padrão:

- É utilizado para estudos posteriores que visem determinar o custo industrial associado a um dado produto;
- É utilizado para avaliar, pela redução ou não do tempo padrão, se houve melhoria no método de trabalho, quando se faz um estudo de métodos.

A seguir é apresentada uma abordagem sistemática para a obtenção do tempo padrão na Medição do Trabalho (Tempo) (SILVA E COIMBRA, 1980; ROSA, 2002; BARNES, 1986; LEAL *et al.* 2004).

1. Dividir a operação em elementos: A divisão das operações em elementos deve ser realizada até o ponto de detalhamento desejado pelo analista do processo. As técnicas de registro mais usadas serão discutidas na seqüência deste capítulo.
2. Determinar o número de ciclos a serem cronometrados (n): Realizar uma cronometragem preliminar (10 a 20 observações são, em geral, suficientes) para obter os dados necessários à determinação do número de cronometragens. O número de medidas dependerá de três fatores: a variabilidade dos tempos, a precisão desejada e o nível de confiança sobre a medida tomada, e é dado pela fórmula:

$$n = \left( \frac{z \cdot s}{h \cdot \bar{x}} \right)^2 \quad (3.1)$$

Sendo:

n = número de ciclos a serem cronometrados;

Z = número de desvios padrões da normal padronizada, correspondente ao grau de confiança;

S = desvio padrão da amostra de medidas;

h = precisão final desejada;

$\bar{x}$  = média da amostra.

3. Realizar as  $n$  cronometragens e determinar o tempo médio (TM): Nesta fase os tempos são cronometrados por um cronoanalista. As técnicas utilizadas não são aqui apresentadas, mas podem ser consultadas nas bibliografias sobre o assunto. Os tempos são colocados em uma planilha de cálculo de tempo padrão (Anexo 3) e calculado o tempo médio.
4. Avaliar o fator de ritmo (velocidade) da operação e determinar o tempo normal: Nesta fase o tempo médio é corrigido por um fator de ritmo. A avaliação do ritmo depende do julgamento do cronoanalista e suas observações durante a coleta de tempo. Os funcionários são julgados (segundo a visão do cronoanalista) pelos fatores habilidade e esforço na realização do trabalho. O fator de correção é obtido com o uso das tabelas 1 e 2 (Anexo 1) e transportado para na folha de cálculo de tempo padrão (Anexo 3) para o cálculo do tempo normal.
5. Determinar as tolerâncias para fadiga e para as necessidades pessoais e calcular o tempo padrão da operação (TP): Não é possível esperar que uma pessoa trabalhe o dia inteiro sem interrupções. Devem ser previstas interrupções no trabalho para que sejam atendidas as denominadas necessidades pessoais e para proporcionar um descanso, aliviando os efeitos da fadiga no trabalho. A determinação dos índices de fadiga e monotonia dependerá de avaliações a serem feitas com relação ao trabalho e equipamentos utilizados, segundo os critérios apresentados nas Tabelas 03 e 04 (Anexo 1). Esses abonos também serão inclusos na folha de cálculo do tempo padrão (Anexo 3) que finalmente apresentará o valor do tempo padrão.

### 3.4 Capacidade

O uso mais comum do termo capacidade é no sentido estático, representando o volume físico de uma recipiente ou de um espaço físico. Um tanque, por exemplo, pode ter uma capacidade de 1000 litros em função de suas dimensões físicas de altura, largura e profundidade, porém, esse mesmo tanque pode processar uma mistura de um determinado produto, e o faz a cada uma hora, então sua capacidade produtiva para esse produto é de 1000 litros por hora. Assim, Slack *et al.* (2002) definem capacidade de uma operação como o nível máximo de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo, que o processo pode realizar em condições normais de operação.

O *Census Bureau* define capacidade como o maior nível de produção que uma empresa pode manter razoavelmente, empregando horários de trabalho realista dos funcionários e o equipamento atualmente instalado (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004).

Slack *et al.* (2002) afirmam ser função da administração da produção garantir uma capacidade produtiva que satisfaça uma demanda (atual e futura), e que o equilíbrio adequado entre capacidade e demanda é garantia de altos lucros e satisfação dos clientes. Os autores afirmam ainda, que a ausência deste equilíbrio pode ser desastrosa para os resultados, assim planejar e controlar a capacidade são uma das principais atividades do gerente de produção.

Para Krajewski e Ritzman (2004), o planejamento da capacidade exige um conhecimento da capacidade atual do processo e de sua utilização e apresentam o índice de “utilização” como o grau pelo qual o equipamento, o espaço e a mão de obra estão sendo atualmente utilizados, expressando esta como uma porcentagem através da equação:

$$\text{Utilização} = \frac{\text{Índice de produção média}}{\text{Capacidade Máxima}} \times 100\% \quad (3.2)$$

O índice de utilização indica a necessidade de agregar capacidade extra ou eliminar capacidade desnecessária. A maior dificuldade para o cálculo da utilização reside na definição do denominador da equação, capacidade máxima. Duas definições de capacidade máxima são úteis: A primeira é o Pico de Capacidade (Capacidade Nominal), definida como a produção máxima que um processo (equipamento) pode conseguir em condições ideais. O pico de capacidade pode ser mantido temporariamente, e para ser atingido utiliza-se de métodos marginais de produção, como horas extras excessivas, turnos extras, redução de tempos destinados para a manutenção, excesso de pessoal e subcontratações. A segunda é a Capacidade Efetiva, definida como sendo a produção máxima que o processo pode manter economicamente sob condições normais. A maioria dos processos envolve múltiplas operações e muitas vezes as capacidades efetivas não são idênticas para cada uma delas. Um gargalo é a operação que possui a menor capacidade efetiva de qualquer operação no processo, portanto limita a produção do sistema. Na figura 3.4 a operação 20 é o gargalo do processo e limita a produção em 50 unidades por hora, e na figura 3.5 o processo apresenta-se perfeitamente equilibrado, tornando cada operação um gargalo.

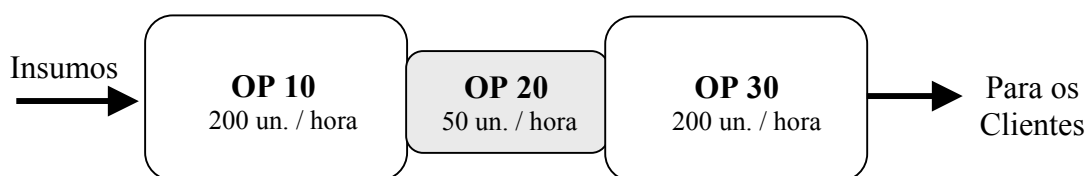


Figura 3.4 Gargalo de capacidade - processo c/ 3 operações - Adaptado Krajewski e Ritzman (2004).

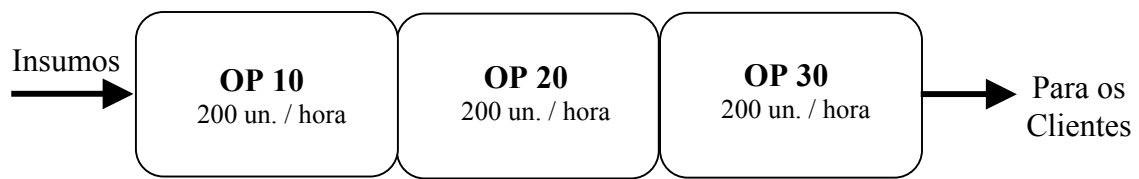


Figura 3.5 Processo perfeitamente equilibrado – cada operação é um gargalo  
Adaptado Krajewski e Ritzman (2004).

Krajewski e Ritzman (2004) sugerem uma abordagem sistemática para decisões de capacidade.

1. Estimar as necessidades futuras de capacidade: O fundamento para estimar as necessidades de capacidade consiste nas previsões de demanda, que deve ser convertido em um número que pode ser comparado diretamente com a medida de capacidade sendo utilizada. Suponha que a medida de capacidade sendo utilizada seja expressa com o número de máquinas disponíveis em uma operação. Então:

$$M = \frac{\text{Horas de Processamento para atender a Demanda}}{\text{Horas disponíveis de uma máquina, deduzida de uma reserva desejada}} \quad (3.3)$$

ou

$$M = \frac{(\text{Demanda Prevista}) \times (\text{Tempo de Processamento})}{\text{Número Total de Horas Disponíveis} \times \text{Reserva de Capacidade}} \quad (3.4)$$

$M$  = Número de máquinas requerido.

Demanda Prevista = A quantidade de produto(s) solicitada pelo(s) cliente(s). Geralmente obtida pelo departamento de marketing.

Tempo de Processamento = depende dos processos e métodos selecionados para realizar o trabalho.

Número Total de Horas Disponíveis = Depende do prazo requerido pela demanda.

Reserva de Capacidade = É uma porcentagem da capacidade efetiva reservada para suportar aumentos inesperados de demandas ou perdas temporárias de capacidade de produção.

Caso existam múltiplos produtos, um tempo adicional nas horas de processamento pode ser necessário. Este tempo corresponde ao tempo de preparação (*setup*) ou tempo requerido para mudar de um produto para o próximo. Assim:

$$M = \frac{\text{Tempo de Processamento e preparação necessários para atender a demanda, somado para todos os produtos}}{\text{Horas disponíveis de uma máquina, deduzida de uma reserva desejada}} \quad (3.5)$$

3. Identificar as faltas, comparando necessidades com a capacidade disponível: É identificar qualquer diferença (positiva ou negativa) entre a demanda prevista e a capacidade atual. Identificar gargalos e verificar se estes podem ser ampliados
4. Desenvolver planos alternativos para eliminar as faltas: Este passo consiste em desenvolver planos alternativos para lidar com as faltas projetadas. Uma alternativa, denominada “caso base”, consiste no ato de não tomar uma atitude e perder pedidos quando a demanda exceder a capacidade atual. Outras alternativas incluem várias opções para adicionar mais capacidade (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004; SLACK *et al.*, 2001). Possibilidades adicionais incluem expandir em um local diferente e adotar opções de curto prazo, como horas extras, trabalhadores temporários e subcontratação.
5. Avaliar cada alternativa, qualitativa e quantitativamente, e fazer uma escolha final: Neste passo final é avaliada cada alternativa, quantitativa e qualitativamente. Em termos qualitativos, avaliam-se as incertezas sobre a demanda, a reação competitiva, mudanças tecnológicas e estimativas de custo. Quantitativamente estima-se a variação nos fluxos de caixa para cada alternativa ao longo do horizonte de tempo de previsão em comparação ao “caso base”.

### 3.5 Arranjo Físico

Arranjo físico refere-se ao planejamento de um espaço físico a ser ocupado e representa a disposição de máquinas e equipamentos necessários à produção dos produtos de uma empresa (CHIAVENATO, 1991).

Arranjo físico é a disposição de máquinas e equipamentos em uma determinada área com o objetivo de minimizar o volume de transporte de materiais no fluxo produtivo de uma fábrica (FRANCISCHINI e FEGYVERES, 1997).

De uma maneira simples e de fácil entendimento, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal de produção (SLACK *et al.*, 2002).

Conforme Duarte (2003), o conceito de arranjo físico é o mesmo para diversos autores, variando apenas na nomenclatura utilizada.

Krajewski e Ritzman (2004) afirmam ter o arranjo físico implicações práticas e estratégicas para as organizações, de modo que uma alteração pode afetar suas prioridades competitivas, como:

- Facilitar o fluxo (materiais e informações);
- Melhorar eficiência (mão de obra e equipamentos);
- Melhorar segurança para trabalhadores;
- Aumentar o moral dos funcionários;
- Melhorar a comunicação.

Nakayama (2005) e Duarte (2003) citam em seus trabalhos, diversos autores que apresentam a mesmos quatro tipos básicos de arranjos físicos, porém com diferentes nomenclaturas. São eles:

1. Arranjo físico posicional;
2. Arranjo físico por processo (ou funcional);
3. Arranjo físico celular;
4. Arranjo físico por produto (ou em linha).

Na figura 2.6 do capítulo 2 foram apresentados os tipos de processos em operações de manufatura apresentados por Slack *et al.* (2002). Porém o autor afirma nesta mesma obra, ser muitas vezes confundidos o conceito de tipos de processos com o arranjo físico, concluindo que “arranjo físico é um conceito mais restrito, mas é uma manifestação física de um tipo de processo”.

A Tabela 3.2, indica como cada tipo de processo pode adotar diferentes tipos básicos de arranjo físico.

O arranjo físico posicional pode ser descrito como uma “manifestação física” do tipo de processo por projeto. Conforme Nakayama (2005), o produto permanece em uma posição fixa durante a fabricação devido ao seu peso/tamanho, e os recursos como pessoas, materiais e máquinas movem-se na medida do necessário para o local onde as operações estão sendo executadas.

As características principais são:

1. os produtos são fabricados em pequenas quantidades e em grandes dimensões;
2. os equipamentos possuem alta flexibilidade.

O arranjo físico por processo é assim chamado porque as necessidade e conveniências dos recursos transformadores dominam a decisão sobre o arranjo físico (SLACK *et al.*, 2002).



Tipos de Processo de Manufatura	Tipos Básicos de Arranjo Físico
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>↑</p> <p>Processo por projeto</p> <p>↓</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>↑</p> <p>Processo tipo <i>jobbing</i></p> <p>↓</p> </div> </div>	Arranjo físico posicional
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>↑</p> <p>Processo em <i>Batch</i></p> <p>↓</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>↑</p> <p>Processo em Massa</p> <p>↓</p> </div> </div>	Arranjo físico por processo
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>↑</p> <p>Processo em Massa</p> <p>↓</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>↑</p> <p>Processo Contínuo</p> <p>↓</p> </div> </div>	Arranjo físico celular
	Arranjo físico por produto

Tabela 3.2 Relação entre tipos de processos e tipos básicos de arranjo físico  
Slack *et al.* 2002)

Segundo Nakayama (2005), o arranjo físico por processo é o tipo mais comum encontrado nas indústrias e sua característica principal é a produção de uma grande variedade de produtos resultando em pequenos lotes de produção. Podendo ainda ser definido como aquele que representa as diversas seções (ou máquinas e equipamentos) e o fluxo que o processo segue desde a matéria-prima inicial até o produto acabado. Deste modo às seções (ou máquinas e equipamentos) figuram como elementos básicos do arranjo físico, enquanto os produtos seguem trajetórias diferentes. Para Duarte (2003), o arranjo físico por processo caracteriza-se pelo agrupamento das máquinas por tipo ou função, por exemplo: seção de tornos, seção de fresadoras, seção de fornos. Duarte (2003) também sugere que este tipo de arranjo melhor se aplica quando o volume de produção é baixo e existe uma grande diversificação de produtos.

O arranjo físico celular segundo Slack *et al.* (2002) representa um compromisso entre a flexibilidade do arranjo físico por processo onde o foco está na localização dos vários recursos dentro da operação, e a simplicidade do arranjo físico por produto onde o foco está nos requisitos do produto, e deve considerar as necessidades de ambos. Ainda segundo o autor, neste tipo de arranjo físico se concentra todos os recursos transformadores necessários para atender as necessidades de processamento do produto, que após serem processados em uma célula podem prosseguir para uma outra célula.

O arranjo físico por produto segundo Nakayama (2005) e Duarte (2003), é o tipo de arranjo caracterizado por altos volumes de produção (grandes lotes) e a utilização de

máquinas para fins específicos normalmente dispostas em linha seguindo um roteiro predefinido. Também para Slack *et al.* (2002), este tipo de arranjo físico envolve localizar os recursos transformadores inteiramente segundo a melhor conveniência do recurso que está sendo transformado, cada produto segue um roteiro predefinido na qual a seqüência de atividades coincide com a seqüência na qual os processos foram arranjados fisicamente, e por esse motivo, este tipo de arranjo físico muitas vezes é chamado de arranjo físico em “fluxo” ou em “linha”. Nos exemplos deste tipo de arranjo incluem as linhas de montagem de automóveis e a seqüência de processo numa operação de manufatura de papel. A Figura 3.6 ilustra um arranjo físico por produto.

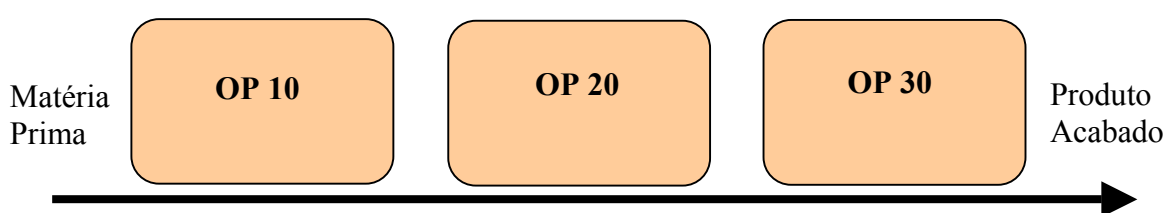


Figura 3.6 Exemplo de um arranjo físico em linha.

A Tabela 3.3 mostra algumas das mais significativas vantagens e desvantagens associadas a cada tipo de arranjo físico apresentada por Slack *et al.* (2002). Ainda segundo o autor, a decisão de qual tipo de arranjo físico adotar raramente irá envolver uma decisão entre os quatro tipos aqui estudados, pois as características de volume e variedade das operações irão reduzir esta escolha, em geral, em dois dos tipos. A Figura 3.7 mostra a influência sobre o arranjo físico das características volume e variedade e conseqüentemente sobre o fluxo dos recursos transformados.

Tipo de arranjo físico	Vantagens	Desvantagens
<b>Posicional</b>	Flexibilidade muito alta de <i>mix</i> e produto Produto não movido ou perturbado Alta variedade de tarefas para mão de obra	Custos unitários muito altos Programação de espaço ou atividades pode ser complexa Pode significar muita movimentação de equipamentos e mão de obra
<b>por Processo</b>	Flexibilidade alta de <i>mix</i> e produto Relativamente robusto em caso de interrupção de etapas Supervisão de equipamentos relativamente fácil	Baixa utilização de recursos Pode ter alto estoque em processo Fluxo complexo pode ser difícil de controlar
<b>Celular</b>	Pode dar um bom equilíbrio entre custo e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta Atravessamento rápido Trabalho em grupo pode resultar em melhor motivação	Pode ser caro reconfigurar o arranjo físico atual Pode requerer capacidade adicional Pode reduzir níveis de utilização de recursos
<b>por Produto</b>	Baixos custos unitários para altos volumes Dá oportunidade para especialização de equipamento Movimentação conveniente de materiais.	Pode ter Baixa flexibilidade de <i>mix</i> Não muito robusto contra interrupções Trabalho pode ser repetitivo

Tabela 3.3 Vantagens e Desvantagens dos tipos de arranjo físico. Slack *et al.* (2002)

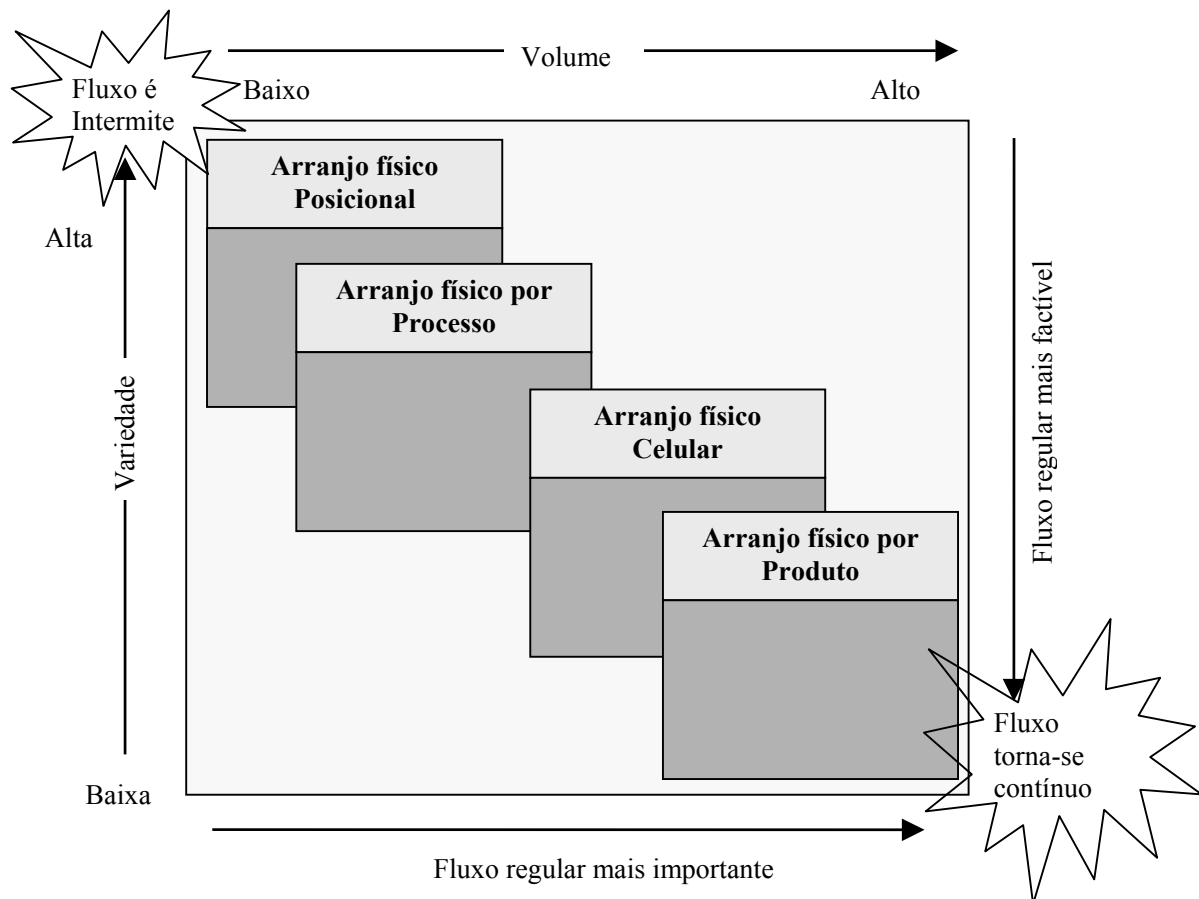


Figura 3.7 Influência sobre o arranjo físico das características volume e variedade.

Slack *et al.* (2002)

### 3.6 Balanceamento de Linha

Para Johnson e Montgomery (1974), o problema de balanceamento de linha consiste em determinar as tarefas individuais para cada estação de trabalho de tal modo que o desempenho da linha seja otimizado. Se uma linha é perfeitamente balanceada então todas as estações têm uma igual quantia de trabalho para desempenhar e o fluxo suave do produto não demora a ser alcançado.

Slack *et al.* (2002) fazem uma observação quanto ao balanceamento que vai além da questão da linha de montagem. Assim, por exemplo, uma empresa que possui uma linha de montagem com capacidade para 800 unidades de um determinado produto, não somente monta estes produtos, mas também fabrica, se não todas, a maior parte das peças que o compõem. Deste modo, a seção de manufatura destas peças deve ser capaz de produzir o volume suficiente de peças para atender a linha de montagem.

Conforme Duarte (2003), o balanceamento de linha consiste em harmonizar todas as atividades ligadas ao processo produtivo, focando o processo de uma forma macro (matéria prima – produto acabado) ou de forma micro (células de manufatura, linha de montagem).

Duarte (2003) cita em seu trabalho um consenso entre diversos autores, que afirmam ser o balanceamento de linha de fundamental importância para a empresa não perder eficiência, produtividade, oportunidades de vendas ou de um modo geral perder dinheiro.

Krajewski e Ritzman (2004) definem balanceamento de linha como “a atribuição de trabalhos a estações de uma linha de modo a obter o índice de produção desejado com o menor número de estações de trabalho”. O balanceamento de linha deve ocorrer quando do início de instalação da linha, quando necessário alterar seu índice de produção horário (rebalanceamento) ou quando se altera o produto ou processo, tendo como meta obter estações de trabalho com cargas de trabalho bem balanceadas.

O objetivo do balanceamento de linha consiste em compatibilizar a produção com a demanda a fim de assegurar a entrega pontual e evitar o acúmulo de estoque indesejável, assim, se a demanda exige 150 unidades por dia e uma linha opera com 8,8 horas por dia, a taxa de produção desejada para esta linha é de 17 unidades por hora (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004). Ainda conforme os autores, depois de definida a taxa de produção (ritmo) pode-se calcular a duração do ciclo de produção (*Takt time*) da linha, que é o tempo máximo de trabalho permitido para uma unidade em cada estação.

$$c = \frac{1}{r} \quad (3.6)$$

Onde

$c$  = duração do ciclo em horas por unidade (*Takt time*)

$r$  = taxa de produção desejada em unidades por hora

segue-se o balanceamento de linha, calculando o mínimo teórico para o número de estações de trabalho.

$$MT = \frac{\sum t}{c} \quad (3.7)$$

onde

$MT$  = mínimo teórico para o número de estações de trabalho

$\sum t$  = tempo total necessário para montar cada unidade (é a soma do tempo-padrão de todos os elementos de trabalho)

$c$  = duração do ciclo

A meta no balanceamento de linha, será minimizar o número de estações de trabalho, assegurando automaticamente:

1) Um tempo ocioso mínimo,

$$\text{Tempo ocioso} = n c - \sum t \quad (3.8)$$

onde

$n$  = número de estações de trabalho

$c$  = duração do ciclo

$\sum t$  = soma do tempo-padrão de todos os elementos de trabalho

2) Uma eficiência máxima,

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\sum t}{nc} (100) \quad (3.9)$$

3) Atraso mínimo no balanceamento.

o desbalanceamento é o valor pelo o qual a eficiência não atinge 100%

$$\text{Desbalanceamento (\%)} = 100 - \text{Eficiência} \quad (3.10)$$

Desde que  $n$  (número de estações) seja fixado, pode-se otimizar todas as três metas, minimizando o  $n$ .

### 3.7 Técnicas de Mapeamento do Processo

O Mapeamento de processo é uma ferramenta recomendada para viabilizar a gestão de desempenho na organização. É utilizada para definir e mostrar visualmente o processo global, sendo que, ao elaborar um mapa de um processo já existente geralmente descobre-se oportunidades não identificadas previamente ou trabalhos redundantes, durante a elaboração a equipe encarregada do mapeamento de processos vislumbrará não apenas os pontos de excelência na realização do produto, mas poderá deparar com oportunidades reais para viabilizar ações corretivas e preventivas de não-conformidades que vierem a ser identificadas de forma a contribuir para a melhoria contínua (QSP, 2004).

Oliveira (2003) analisa o mapeamento de processo como uma ferramenta gerencial para documentar, analisar e desenvolver um plano de melhoria nos processos existentes ou possibilita implantar uma nova estrutura voltada para os processos. Analisa ainda o mapeamento do processo como uma representação gráfica, o qual mostra como os recursos de entrada são processados e transformados em saídas, destacando-se a relação e a conexão entre cada atividade.

Leal (2003) ressalta a importância do mapeamento do processo como ponto de partida para o processo de melhorias e conclui que a visualização clara do processo permite uma análise das atividades sob o ponto de vista de agregação de valor ao cliente seja ele interno ou externo, sendo que, a representação gráfica de processos através de uma seqüência realista das atividades, possibilita esta visualização. O autor afirma ainda, que através da análise do processo é possível propor um gerenciamento no sentido de oferecer melhorias, mediante um

prévio mapeamento, e que a preocupação em atuar em processos de melhoria torna-se visível em boa parte da literatura.

Kumar e Phrommathed (2005), também sugerem o uso de mapeamento de processo para entender as características importantes de uma operação e gerar dados analíticos que serão úteis para análise de um projeto de melhoria.

As funções básicas do mapeamento de processos como: definição, análise, visualização gráfica das atividades, documentação e registro, apresentadas com a preocupação de atuar em melhoria de processos já existentes, ganham ainda mais importância quando juntadas aos avanços tecnológicos disponíveis, pois possibilitam modelar um processo visando reproduzir o seu comportamento, ainda na fase de desenvolvimento, através do uso da simulação computacional. Leal (2003) afirma que a simulação computacional atua como uma poderosa ferramenta, facilitando a visualização do processo e o acompanhamento dos seus resultados.

Pinho *et al.* (2006) concluem em seus trabalhos, que o mapeamento de processo é um procedimento essencial para a construção do modelo computacional, uma vez que as informações pertinentes do processo de produção são efetivamente evidenciadas por esta ferramenta.

Krajewski e Ritzman (2004) apresentam três técnicas eficazes para documentar um processo: fluxograma, mapas de processo e simulação. Slack *et al.* (2002) afirmam haver muitas técnicas que podem ser usadas para documentar processos e que todas elas, entretanto, têm duas características: mostram o fluxo de materiais ou pessoas ou informações por meio de operações produtivas e identificam diferentes atividades que ocorrem durante o processo. Os autores apresentam quatro tipos comuns de técnicas de documentação de processo: diagramas de fluxo simples, folhas de roteiros, diagramas de fluxo de processo e estrutura de processamento do cliente.

Leal (2003) apresenta em seu trabalho algumas técnicas de mapeamento do processo, analisando-as e exemplificando suas aplicações. Conforme o autor, a definição de qual técnica deve ser utilizada depende da qual se encaixa melhor aos objetivos do mapeamento para uma determinada situação.

As literaturas citadas apresentam orientações sobre as utilizações em diversas situações, porém, serão descritas a seguir somente as técnicas que se pretende utilizar neste trabalho.

Será descrito primeiramente o fluxograma do processo, que é a técnica mais comumente usada para documentar e registrar processos. Este tipo de técnica documenta o

fluxo e as diversas atividades usando símbolos diferentes para identificar os diferentes tipos de atividades, permitindo detalhar mais o projeto e sua avaliação (SLACK *et al.*, 2002).

Este trabalho adotará os símbolos gráficos para o fluxograma do processo, conforme padrão JIS Z 820 – 1982, apresentados na Tabela 3.4.



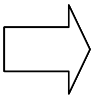





 	<p>Uma <b>operação</b> ocorre quando o produto sofre uma alteração intencional em suas características físicas ou químicas ou é montado ou desmontado. Ao lado do símbolo deve-se colocar informações relevantes a respeito da operação. O seqüenciamento das operações é feito por meio dos números dentro dos círculos. É de interesse destacar o tempo dispendido na operação.</p>
	<p>Um <b>transporte</b> ocorre quando um material é deslocado de um local para outro, exceto quando o movimento é parte integrante da operação ou inspeção. É de interesse destacar o tipo de sistema transportador, o local para onde está se deslocando o material e a distância ou tempo demandado.</p>
	<p>Uma <b>espera</b> ocorre quando a próxima ação planejada não é efetuada. Seja porque o próximo posto está ocupado, ou o transporte não está disponível ou pelo processo exigir uma espera intencional</p>
	<p>Uma <b>inspeção</b> ocorre quando um material é examinado para identificação ou comparação com um padrão de qualidade ou quantidade.</p>
	<p>Este símbolo é uma variação do anterior para exprimir uma <b>inspeção de qualidade</b></p>
	<p>Um <b>armazenamento</b> ocorre quando um material é mantido sob controle e sua retirada requer autorização.</p>
	<p>A <b>operação</b> e a <b>inspeção</b> (quantidade ou qualidade) ocorrem simultaneamente.</p>

Tabela 3.4 Símbolos gráficos - fluxograma do processo - padrão JIS Z 820 – 1982.

Fonte Rosa (2002)

Usualmente o fluxograma inicia-se com a entrada da matéria prima e segue o caminho de fabricação do produto, passando pelas operações de transformação, transporte e inspeção até sua saída como produto acabado. A Figura 3.8 apresenta os exemplos de fluxograma de processo em suas configurações básicas (ROSA, 2002; DUARTE, 2003).

Este trabalho adotará um segundo tipo de fluxograma que será aqui denominado por diagrama de processo, para diferenciá-lo do fluxograma do processo com os símbolos gráfico padrão JIS Z 820, apresentados anteriormente. O diagrama de processo tem por objetivo obter uma visão mais geral do sistema de produção a ser estudado. Cada processo é representado por um símbolo de atividade traçado por um retângulo que é ligado por setas que representam o fluxo de material entrando e saindo neste processo. Quando existente, o estoque de entrada e saída de um processo é representado por um triângulo e são nomeados por letras para

diferenciá-los quanto aos locais em que se encontram dentro do sistema produtivo. A figura 3.9 apresenta um exemplo deste diagrama de processo para a montagem de um subconjunto.

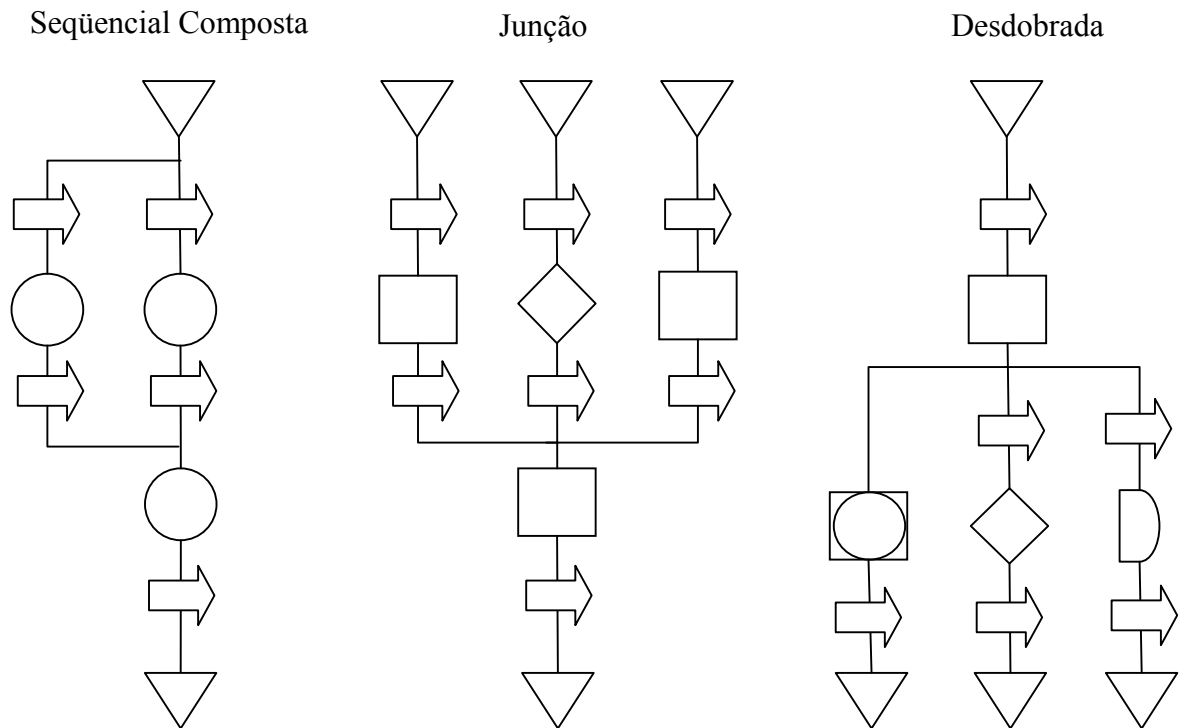


Figura 3.8 Configurações básicas do fluxograma do processo.

Fontes ROSA (2002) e Duarte (2003)

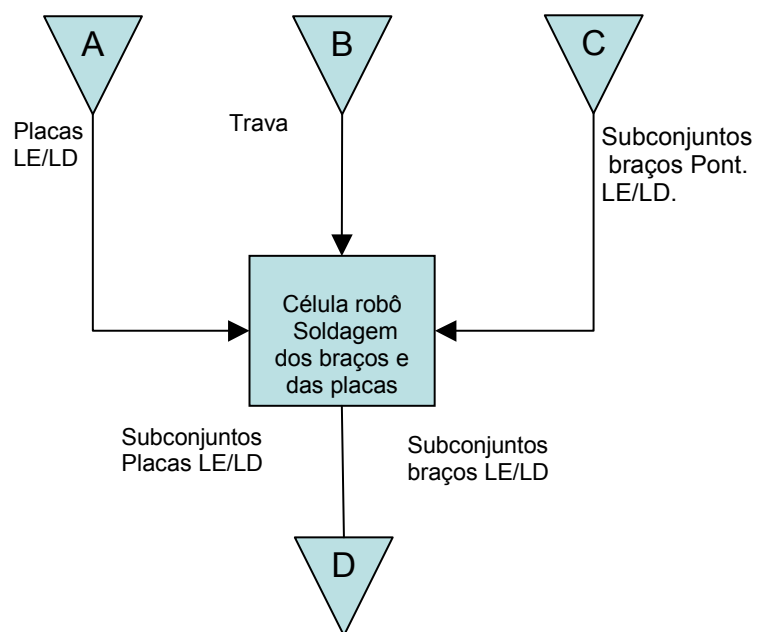


Figura 3.9 Diagrama de processo da montagem de um subconjunto.



A terceira e última técnica que será utilizada neste trabalho é o mapofluxograma. Segundo Barnes (1986), o mapofluxograma é o fluxograma desenhado sobre a planta do edifício ou leiaute para visualizar-se melhor o processo. Para Leal (2003), a grande vantagem do mapofluxograma é a possibilidade de visualizar o processo atrelado ao leiaute da área. Este fator favorece sobretudo aos transportes, que podem ter suas rotas definidas no mapofluxograma. Conforme Rosa (2002), o mapofluxograma complementa o fluxograma do processo, sendo a transposição do fluxograma sobre a planta em escala da fábrica ou oficina onde se realizará o processo. A Figura 3.10 apresenta um exemplo de mapofluxograma.

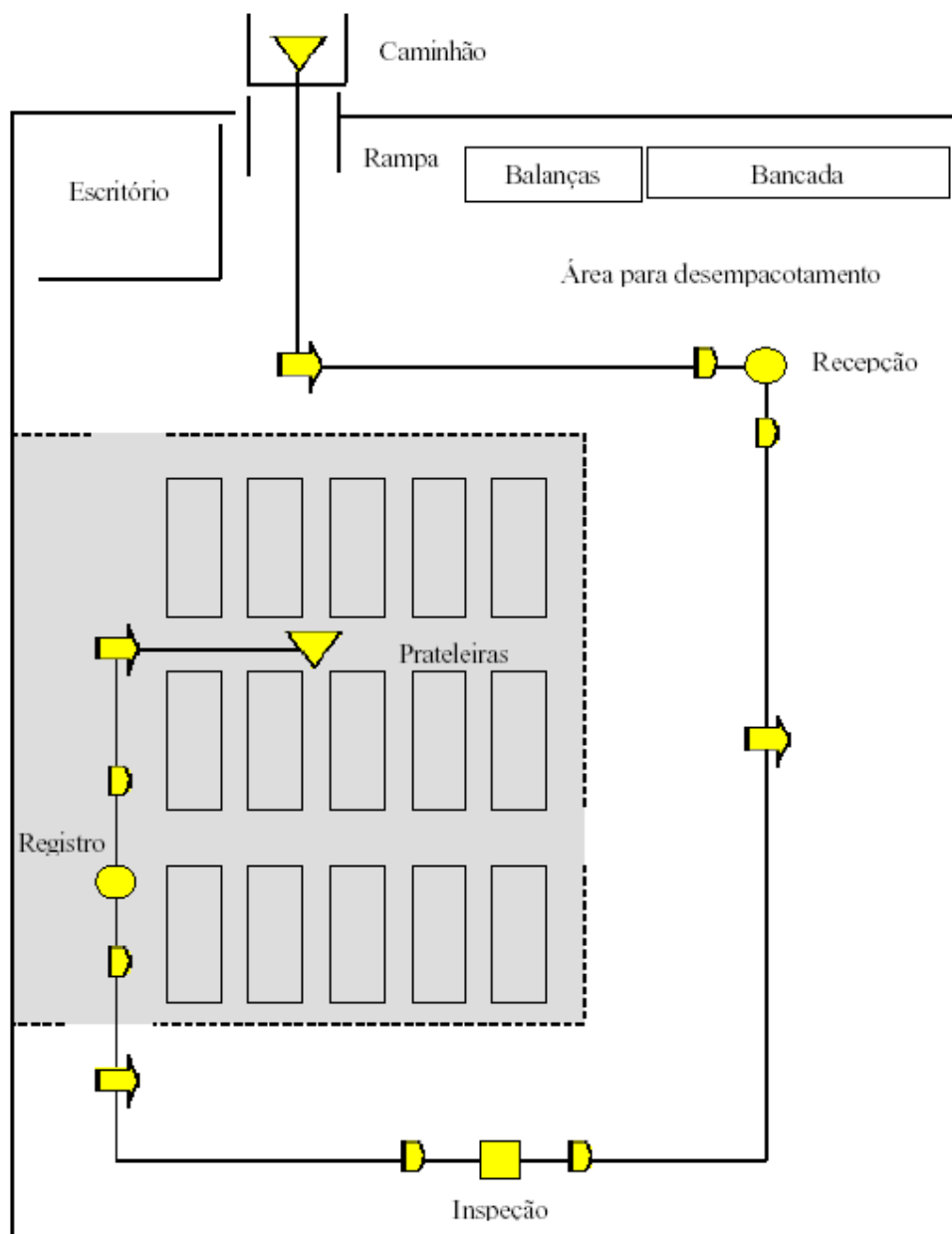


Figura 3.10 Mapofluxograma. Rosa (2002)

### **3.8 Considerações Finais**

Este capítulo apresentou uma revisão bibliográfica dos principais conceitos e ferramentas relacionadas à análise do sistema produtivo e que terão alguma influência na organização do trabalho na fase de desenvolvimento do sistema de manufatura de um novo produto.

Os conceitos e técnicas aqui discutidos serão usados e/ou orientarão no desenvolvimento do capítulo 6. Terão maior destaque as técnicas de mapeamento de processo: diagrama de processo; fluxograma e mapofluxograma, a técnica de cálculo de tempo padrão, os conceitos de capacidade produtiva e arranjos físicos.

## 4 MODELAGEM E A TOMADA DE DECISÕES

### 4.1 Considerações Iniciais

Este capítulo tem a finalidade de abordar uma revisão bibliográfica sobre o conceito geral de modelagem e modelos aplicados na tomada de decisão e solução de problemas. Toda a pesquisa será mantida com foco no relacionamento entre gerenciamento e modelo.

### 4.2 Modelagem, Modelos e a Tomada de Decisões

Conforme Boghi e Shitsuka (2005), “modelagem é a técnica utilizada para criar um modelo cuja finalidade é entender e resolver um problema”.

Para Harrel *et al.* (2002), a modelagem tem como princípio básico o uso de representações simbólicas para melhor entender as interações entre as várias partes de um sistema.

Para Viana (2003), a modelagem de sistemas consiste na construção de modelos para representá-los.

Moore e Weatherford (2005) defendem a aplicação do método de modelagem para dar suporte à decisão gerencial através do desenvolvimento de um modelo da situação gerencial, a utilização de uma ferramenta para a realização de análise do modelo e a tomada de decisão baseada nesta análise.

Boghi e Shitsuka (2005), também defendem a modelagem como técnica para criar modelo para fornecer subsídios à tomada de decisões.

Harrel *et al.* (2002) afirmam que quase todo estudo de mérito sério realizado, usa algum tipo de modelo para facilitar seu entendimento e resolver problemas.

Moore e Weatherford (2005) consideram que o uso direto de modelos como “suporte de decisão” não leva a melhores decisões gerenciais, mas faz com que o gerente obtenha *insights* importantes, permitindo tratar das questões mais importantes de qualquer situação de tomada de decisão, como: determinar quais perguntas básicas a fazer, quais alternativas a investigar e onde focar a atenção.

Ainda segundo Moore e Weatherford (2005), a Figura 4.1 representa uma abordagem de decisão gerencial. Nesta abordagem o gerente se envolve com uma situação de alternativas conflitantes ou competitivas, faz sua análise e toma as decisões que serão implementadas e que trarão as conseqüências em forma de resultados. Para a tomada destas decisões os gerentes contam quase que só com sua própria intuição que embora de grande valor,

principalmente para os mais experientes, não possui, por definição, um processo analítico racional. Na figura 4.2 os autores definem o “Processo de Modelagem” aplicando-o às duas primeiras etapas da abordagem da figura 4.1 – Situação Gerencial e Decisões. Nesta definição, os gerentes utilizam-se de uma ação que complementa, mas não substitui o uso da intuição. Esta ação envolve resumir os aspectos problemáticos da “Situação Gerencial” num modelo quantitativo que represente esta situação.

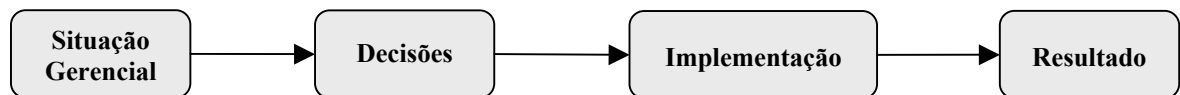


Figura 4.1 Abordagem gerencial p/ tomada de decisão. Moore e Weatherford (2005)

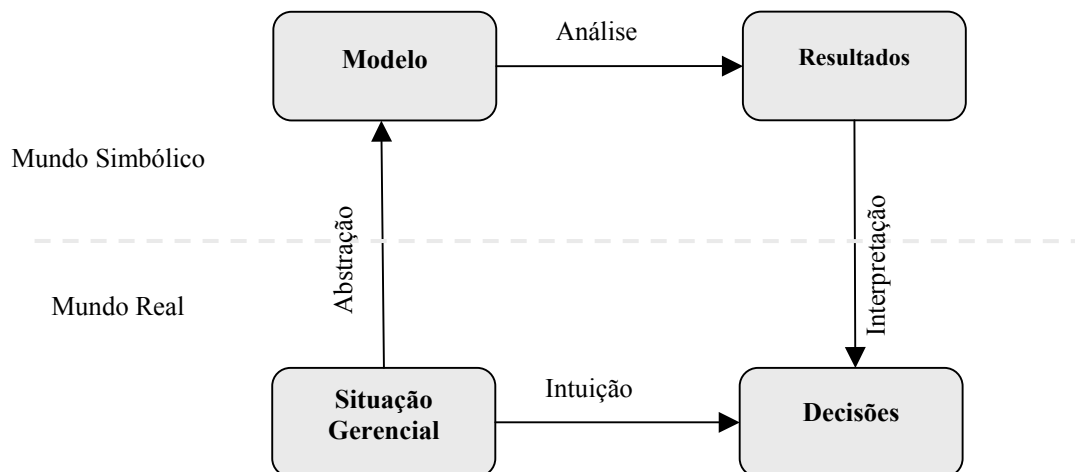


Figura 4.2 O processo de modelagem. Moore e Weatherford (2005)

Moore e Weatherford (2005) fazem ainda um alerta quanto ao processo de modelagem não ser um método científico que possa ser deixado inteiramente nas mãos de especialistas, sendo necessário que o julgamento gerencial com o envolvimento profundo do gerente, esteja presente durante todo o processo de modelagem. Esta participação efetiva ocorre durante a abstração, a formulação do modelo, a interpretação e posterior implementação das decisões. Sendo essencial entender: 1) que tipos de situações gerenciais são receptivos para modelagem; 2) quais são as perspectivas para reunir dados e analisar o modelo para concluir sobre os resultados; 3) o que se pode fazer para extrair do modelo a melhor interpretação e implementação de decisão. A Figura 4.3 ilustra o papel do gerente dentro do processo de modelagem.

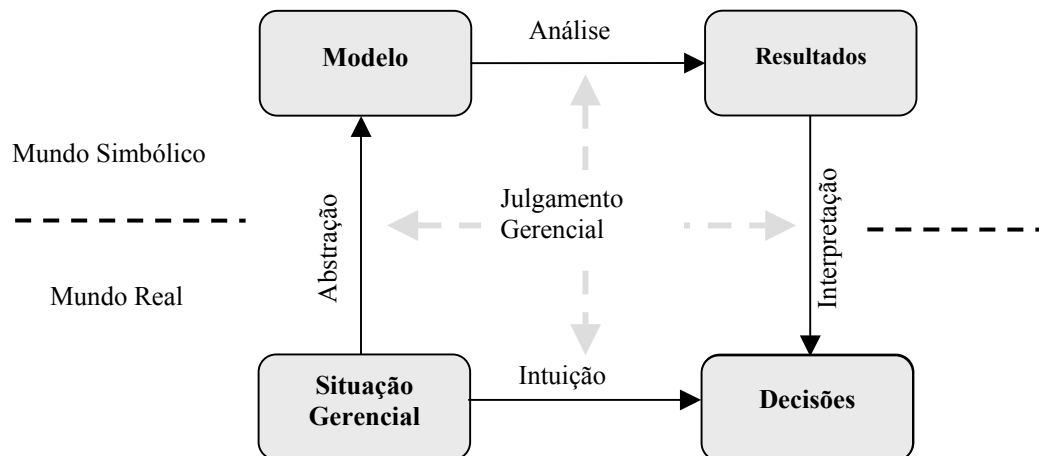


Figura 4.3 Papel do gerente no processo de modelagem. Moore e Weatherford (2005)

Modelos criados pela modelagem podem ser utilizados de tantas maneiras quanto há pessoas para construí-los e todos os modelos fornecem apoio para tomadas de decisão. Como exemplos de modelos, Boghi e Shitsuka (2005) citam: 1) modelo denominado “homem tubo” utilizável na área de saúde para simplificar o estudo simulado de um homem, 2) modelo de fluxo de caixa de uma pessoa ou empresa utilizável no controle da variação temporal de entrada e saída de dinheiro, 3) modelo matemático de “Lucro = Receitas – Despesas” que é praticado nas empresas e uma infinidade de outros modelos que podem representar com maior ou menor precisão, fenômenos e atividades empresariais.

Para Moore e Weatherford (2005), além dos modelos fornecerem uma estrutura para análise lógica e consistente, forçam o gerente:

1. a ser explícito com relação aos objetivos.
2. a identificar e registrar os tipos de decisões que influenciam esses objetivos.
3. a identificar e registrar interações e concessões entre essas decisões.
4. a pensar cuidadosamente sobre variáveis a serem incluídas e suas definições em termos que sejam quantificáveis.
5. a considerar que dados são pertinentes para a quantificação dessas variáveis e a determinar suas interações.
6. a reconhecer restrições nos valores que essa variáveis quantificadas podem assumir.
7. a permitir a comunicação de nossas idéias e percepções para facilitar o trabalho de equipe.

### 4.3 Tipos e Classificações de Modelos

Segundo Moore e Weatherford (2005) existem três tipos de modelos: Modelos físicos; Modelos analógicos; Modelos simbólicos. A Tabela 4.1 resume as características destes três tipos de modelos.

Tipo de Modelo	Características		Exemplos
<b>Físico</b>	Tangível :	Sim	Modelo de Avião, modelo de casa, modelo de cidade
	Compreensão:	Fácil	
	Reproduzir e Compartilhar:	Difícil	
	Modificação e Manipulação:	Difícil	
	Escopo de Uso:	o mais Baixo	
<b>Analógico</b>	Tangível :	Não	Mapa de estrada, velocímetro, gráfico de torta
	Compreensão:	mais Difícil	
	Reproduzir e Compartilhar:	mais Fácil	
	Modificação e Manipulação:	mais Fácil	
	Escopo de Uso:	mais Amplo	
<b>Simbólico</b>	Tangível :	Não	Modelo de Simulação, modelo algébrico, modelo de planilha
	Compreensão:	a mais Difícil	
	Reproduzir e Compartilhar:	o mais Fácil	
	Modificação e Manipulação:	o mais Fácil	
	Escopo de Uso:	o mais Amplo	

Tabela 4.1 Características dos tipos de modelos. Adaptado Moore e Weatherford (2005)

Ainda segundo os autores, o modelo simbólico é o mais abstrato, cujos conceitos são representados por variáveis definidas quantitativamente e todos os relacionamentos representados matematicamente, sendo assim muitas vezes chamados de modelos matemáticos, modelos quantitativos ou modelos de planilhas.

Classificam-se ainda os modelos simbólicos em estáticos ou dinâmicos, sendo que, os modelos estáticos são aqueles que não possuem variáveis relacionadas com o tempo e representa o sistema em um instante determinado, e os modelos dinâmicos possuem variáveis relacionadas com o tempo e representam a evolução do sistema ao longo do tempo (VIANA, 2003; BRESSAN, 2002).

Sob a ótica de modelos fornecendo subsídios para a tomada de decisões gerenciais, nos modelos simbólicos em que algumas variáveis representem decisões que devam ser tomadas são também chamados de “modelos de decisão”. Existe um corpo de conhecimento amplo e diverso para sua classificação, e a tabela 4.2 apresenta alguma destas classificações sendo que o exemplo da classificação quanto à incerteza (modelos determinísticos e modelos probabilísticos) deve ter consideração importante neste trabalho de pesquisa (MOORE e WEATHERFORD, 2005).

Classificação	Exemplos
Função comercial	Finanças, <i>Marketing</i> , Contabilidade de custos, operações
Disciplina	Ciências, engenharia, economia
Setor	Militar, de transporte, telecomunicações, sem fins lucrativos
Estrutura de tempo	Período único, período múltiplos
Nível organizacional	Estratégico, tático, operacional
Matemática	Equações lineares, equações não-lineares
Representação	Planilhas eletrônicas, <i>software</i> especializado, por escrito
Incerteza	Determinístico, probabilístico

Tabela 4.2 Algumas classificações de modelos. Moore e Weatherford (2005)

Modelos determinísticos são aqueles em que se presume que todos os dados relevantes são conhecidos com certeza (MOORE e WEATHERFORD, 2005). Estes modelos são caracterizados por não possuírem quaisquer elementos aleatórios, apresentando equação, variáveis e respostas bem determinadas (VIANA, 2003; BRESSAN, 2002).

Nos modelos probabilísticos ou estocásticos, alguns insumos para o modelo não são conhecidos com certeza (MOORE e WEATHERFORD, 2005). São caracterizados por possuírem pelo menos uma variável aleatória, e suas respostas não são dadas por números exatos devendo ser tratada como uma estimativa (VIANA, 2003). Sistemas de computação, redes de comunicação e de serviços a clientes, entre outros, estão nesta categoria. Em geral utilizam filas de chegada de tarefas em que as chegadas ocorrem de acordo com alguma distribuição de probabilidade (BRESSAN, 2002).

Bressan (2002) apresenta ainda mais quatro modos de classificação dos modelos: modelo contínuo; modelo discreto; modelo de tempo real e modelo de tempo simulado. O modelo contínuo depende de variáveis que assumem valores contínuos, isto é, em um domínio de valores contínuos tais como o conjunto de números reais. O modelo discreto depende de variáveis que assumem valores discretos, isto é, em um domínio de valores finitos ou enumeráveis tais como o conjunto de números inteiros. Os outros dois tipos dependem de como operam os simuladores nas duas modalidades de tempo: no modelo de tempo real a escala de tempo é a real, isto é, os eventos ocorrem e são tratados na mesma escala de tempo correspondente ao sistema real. Nestes sistemas um operador humano interage com o simulador em tempo real. O modelo de tempo simulado não acompanha a escala de evolução do tempo real. Um ano do tempo de simulação pode decorrer em poucos segundos de processamento. São utilizados para análises de desempenho em que o interesse é pelas medidas de desempenho.

#### 4.4 Construção de Modelos

Conforme Arons e Boer (2001), as ferramentas de modelagem nos últimos anos têm reduzido a quantidade de trabalho para construção de modelos, além de que, muitas vezes o modelo que se deseja, já existe ou é muito parecido. Os autores consideram vantajoso armazenar modelos em um banco de dados para uso futuro.

Para Boghi e Shitsuka (2005), a solução de problemas por meios de modelos não garante o sucesso em 100% dos casos, pois o modelo é apenas uma simulação da realidade.

Para Moore e Weatherford (2005), um modelo sempre simplifica a realidade e você pode incorporar detalhes suficientes para que: o resultado do modelo atenda as suas necessidades, seja coerente com os dados disponíveis, possa ser analisado no tempo que você dispõe para se dedicar ao processo. Ainda segundo os mesmos autores um modelo de decisão descreve seletivamente uma situação gerencial, designam variáveis de decisão e medidas de desempenho que refletem o objetivo.

Boghi e Shitsuka (2005) apresentam um ciclo de criação com as fases de desenvolvimento e uso de modelos, conforme mostra a Figura 4.4

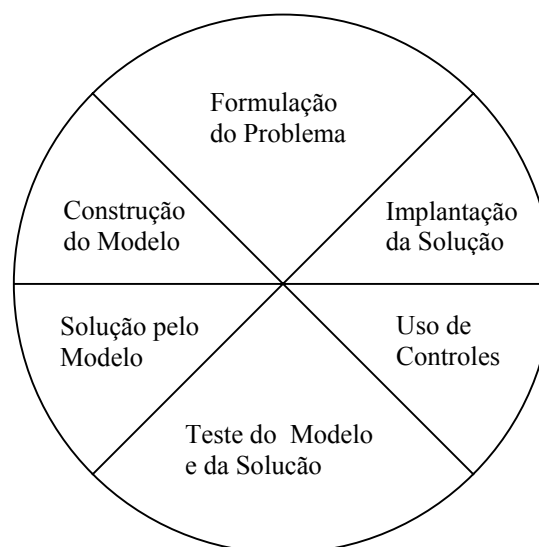


Figura 4.4 Ciclo para criação de modelos. Boghi e Shitsuka (2005)

Moore e Weatherford (2005) sugerem como guia geral, a divisão do processo de construir modelos em três etapas:

1. Estudar o ambiente para enquadrar a situação gerencial: como enquadramento da situação gerencial os autores entendem que o modelador deve desenvolver uma maneira organizada de pensar sobre a situação, uma vez que a maioria das situações gerenciais vem até ao modelador na forma de sintomas e não como



afirmações claras sobre problemas. A arte de ir de um sintoma para a afirmação nítida sobre um problema é o enquadramento e exige que o modelador selecione ou isole do ambiente total os aspectos da realidade que são relevantes para a situação.

2. Formular uma representação seletiva: Por envolverem decisões e objetivos, as situações de gerenciamento que nos dizem respeito devem estar explicitamente identificadas e definidas, assim, todas as suposições e simplificações específicas devem ser realizadas. Nesta fase é feita a identificação dos principais ingredientes conceituais do modelo, portanto crucial para a criação do modelo de decisão gerencial. Devemos nos concentrar em identificar o que precisa ser trabalhado pelo modelo e aquilo que o mesmo deve produzir, ou seja, identificar seus Insumos e Produtos, assim, o modelo neste ponto é chamado de “caixa preta” porque não sabemos até este momento qual a lógica será colocado dentro da caixa. A Figura 4.5 apresenta esta visão do modelo. Depois de identificados, os Insumos e os Produtos têm que ser aperfeiçoados em suas subdivisões. Os Insumos, também chamados de variáveis exógenas, são divididos em: a) Decisões, variáveis que o gerente controla, ou seja, variáveis de decisão, e b) Parâmetros, variáveis que outros controlam, ou variáveis incontroláveis (pelo gerente). Os Produtos, também chamados de variáveis endógenas, são divididos em: a) Medidas de desempenho, variáveis que medem o grau de obtenção dos objetivos, ou seja, funções objetivas, e b) Variáveis conseqüentes, que apresentam outras conseqüências que ajudam a entender e interpretar os resultados do modelo. A estrutura de ingredientes conceituais da “caixa preta” força os gerentes a considerar, no início do processo de modelagem, o que incluir no modelo e o que excluir dele, enquadrando apenas os fatores relevantes.
3. Construir um modelo simbólico (quantitativo): Nesta etapa a dificuldade está no desenvolvimento das equações matemáticas. É necessário ter uma certa prática para desenvolver a matemática correta para inter-relacionar duas ou mais variáveis como parte da lógica do modelo. Uma técnica útil é explorar a criação de um gráfico que dê um quadro da relação desejada entre as variáveis, ou seja, você começa não com a equação matemática final, mas, com um gráfico dela que permita deduzir uma equação aceitável a partir desse gráfico.

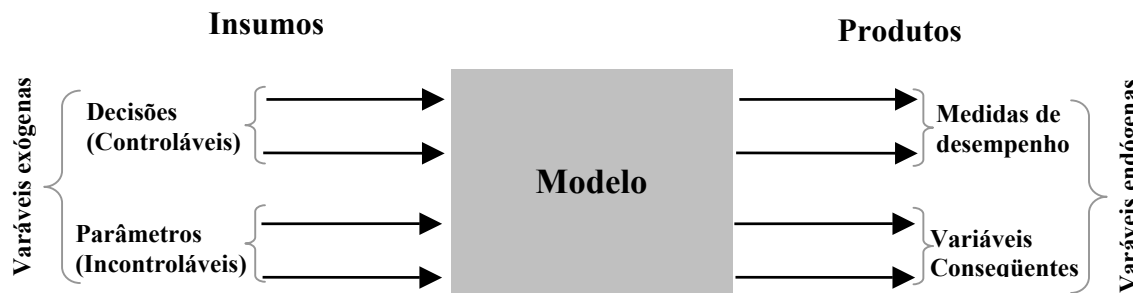


Figura 4.5 A visão “caixa preta” de um modelo. Moore e Weatherford (2005)

Para entender melhor como os modelos se encaixam no seu processo de criação, Moore e Weatherford (2005) sugerem classificar os modelos simbólicos ao longo das dimensões ilustradas pelo losango da Figura 4.6, onde a parte direita *versus* a parte esquerda do losango, refere-se aos extremos polares entre criar um modelo determinístico em contraposição a criar um modelo probabilístico e a parte superior *versus* a parte inferior se referem aos extremos polares da Modelagem Dedutiva *versus* Modelagem Inferencial.

A Modelagem Dedutiva presume que o modelo pode ser desenvolvido focando-se as variáveis propriamente ditas, e inter-relacionando-as a partir de suposições sobre as relações algébricas e os valores de quaisquer parâmetros, valorizando o conhecimento prévio e os julgamentos do modelador (gerente) de relações matemáticas, valores de dados e da futura aplicabilidade desse conhecimento prévio. A Modelagem Inferencial presume que o modelo pode ser desenvolvido focando-se as variáveis a partir da reunião de dados existentes e inter-relacionado-os no modelo ao analisar os dados para determinar os relacionamentos e estimar os valores de quaisquer parâmetros, valorizando dados exatos e facilmente disponíveis, além de julgamentos sobre a futura aplicabilidade dos dados. O losango também ilustra que todas as suas quatro dimensões são tratadas pelo modelador (gerente) no processo de criação de modelo, principalmente nos estágios formativos iniciais. Ou seja, a criação do modelo raramente é feita usando somente uma dimensão ou seguindo uma receita para combinar as dimensões. Mas de outro modo, elementos do modelo são experimentados, testados, avaliados, revisados, testados novamente, e assim por diante, numa maneira interativa de pular de uma face do losango para outra de modo criativo ou a moda *brainstorming*.

#### 4.5 Aplicação de Modelagem para a Tomada de Decisão

Para Johnson e Montgomery (1974), um melhor entendimento dos problemas de tomada de decisão é obtido quando estudados os modelos de vários sistemas de produção nos quais os conceitos de modelagem foram utilizados, e este estudo deve ser realizado a partir dos modelos mais importantes e/ou usuais encontrados na literatura sobre o assunto.

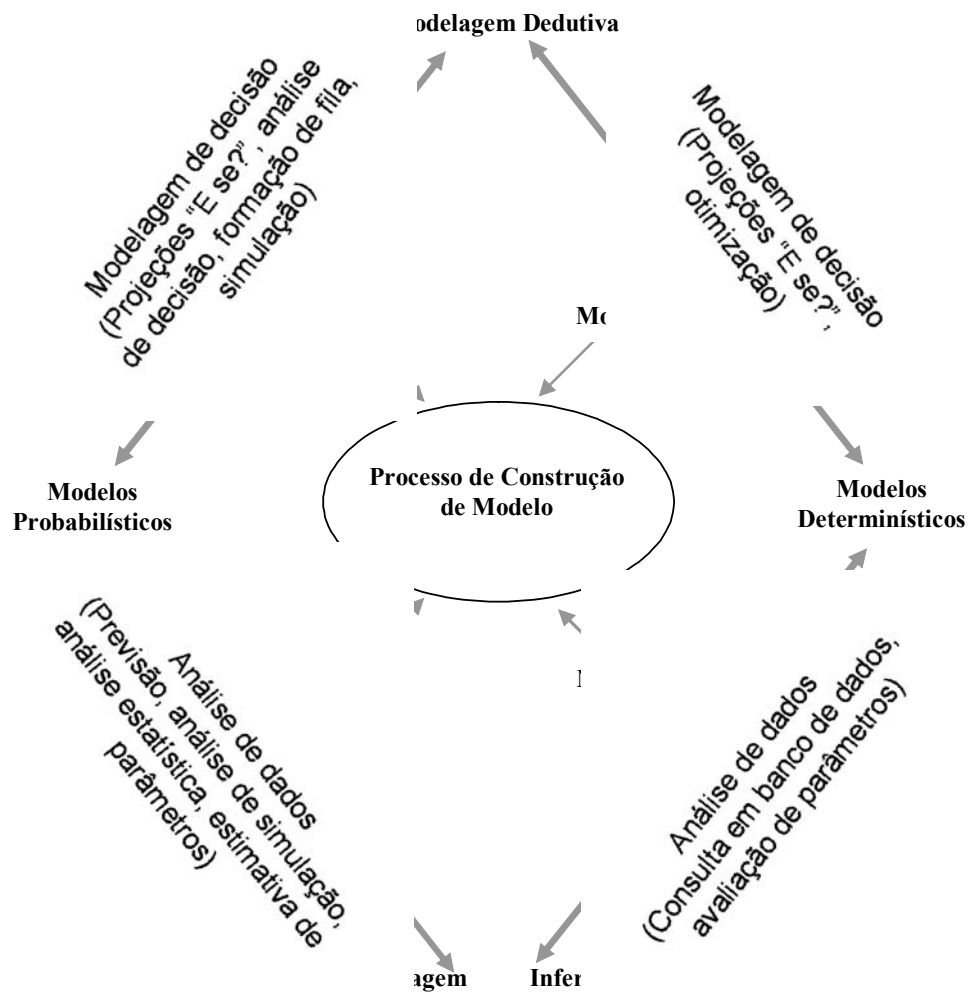


Figura 4.6 Dimensões na criação de modelos. Moore e Weatherford (2005)

Para Moore e Weatherford (2005), a aplicação de modelagem para tomada de decisão no mundo real deve, em geral, ser dividida em quatro estágios:

1. As três etapas de construção de modelo discutida na seção anterior. (estudar o ambiente para enquadrar a situação gerencial; formular uma representação seletiva; construir um modelo simbólico (quantitativo));
2. Análise do modelo para gerar o resultados;
3. Interpretação e validação de resultados do modelo, certificando-se que as informações obtidas da análise estão dentro do contexto da situação do mundo real;
4. Implementação, colocando para funcionar o conhecimento validado obtido anteriormente na interpretação de resultados transformado-os em tomada de decisão no mundo real.

## **4.6 Considerações Finais**

Foi foco deste capítulo a apresentação e discussão da utilização dos conceitos de modelagem e construção de modelos para a tomada de decisão em solução de problemas nos sistemas de produção. Foram apresentadas também as principais características dos tipos de modelos e suas classificações.

Os conhecimentos desenvolvidos neste capítulo serão usados no capítulo 5, para tratamento específico do uso da modelagem e construção de modelos para os fins de simulação.

## **5 MODELO DE SIMULAÇÃO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

### **5.1 Considerações Iniciais**

Este capítulo tem a finalidade de abordar uma revisão bibliográfica sobre o conceito de simulação computacional como método de modelagem e ferramenta para solução de problemas e tomada de decisão, a partir da construção de modelo(s) de simulação para a análise de sistemas industriais complexos conforme os apresentados no capítulo 2 desta pesquisa.

### **5.2 Modelo de Simulação**

Conforme visto no item 4.3 do capítulo anterior, o modelo de simulação é do tipo modelo simbólico, e considerado o mais abstrato dos tipos de modelos apresentados. Bressan (2002), identifica o modelo de simulação como: Estático ou Dinâmico; Determinístico ou Estocástico; Discreto ou Contínuo; Tempo Real ou Simulado.

Para Carson (2004), um modelo é a representação de um sistema ou processo. Um modelo de simulação é a representação de um sistema ou processo que incorpora o tempo e as mudanças que ocorrem com o passar do tempo.

Conforme Barton (2004), modelos de simulação possibilitam obter, de modo relativamente rápido e barato, estimativas do desempenho de configurações de um sistema e/ou alternativas de procedimentos operacionais.

O modelo de simulação é utilizado para descrever o comportamento do sistema, que pode ou não existir e que é geralmente muito maior, custoso e complexo que o modelo. Este modelo geralmente utiliza diversos parâmetros sobre a operação do sistema e uma vez desenvolvido e validado, o modelo pode ser usado para investigar uma grande variedade de questões sobre o sistema, e ainda, quaisquer mudanças no sistema podem ser simuladas a fim de prever o impacto no seu desempenho (MIYAGI, 2004).

Apesar de serem construídos dependentes do problema a resolver, o modelo de simulação requer a utilização de uma estrutura organizada. Assim, uma linguagem para simulação fornece essa estrutura e traduz a descrição do sistema de forma aceitável através de um sistema de computação (GAVIRA, 2003).

Conforme Montevechi (2004), modelos de simulação são modelos de alta acuracidade baseado em computador.

Para Bressan (2002); Moore e Weatherford (2005), modelo de simulação é o estudo do comportamento de sistema através de construção de simulador, que “agirá como” (simulará) o sistema em determinados aspectos importantes de maneira rápida e econômica. Este simulador é um algoritmo ou procedimento que representa o comportamento de um sistema em uma escala de tempo.

Conforme Leal *et al.*, (2006), a construção do modelo computacional é fortemente facilitada pelas informações obtidas com o mapeamento, como os *inputs* e *outputs* de cada atividade e a própria lógica do processo, representada no mapeamento através das conexões.

### 5.3 Simulação Computacional

Este trabalho de pesquisa tem sido focado nos fundamentos que dão base ao uso da simulação em ambientes industriais para auxílio à tomada de decisões gerenciais em sistemas de manufatura. Segundo Lachtermacher (2002), diversos fatores afetam em uma tomada de decisão, como por exemplo: o tempo disponível, a importância da decisão, o ambiente, os riscos certas/incertezas, os agentes decisores e os conflito de interesses. A influência desses fatores na tomada de decisão pode ser minimizada se os gerentes obtiverem previamente fatos e dados confiáveis para somar à suas experiências profissionais. Em uma empresa a necessidade de tomada de decisão ocorre em todos os níveis gerenciais, e quando, os gerentes se vêem diante de uma situação na qual uma decisão deva ser tomada entre uma série de alternativas conflitantes e concorrentes, a opção mais usada é a intuição gerencial baseada na experiência. Nas áreas de produção no nível da execução da operação não são raras as situações em que as decisões como: “leiaute” “fluxo de operações” “procedimentos operacionais” “distribuição de MOD” etc. são tomadas por supervisores, líderes ou coordenadores de produção com base em suas experiências e sob a ação de um dos fatores apresentados acima. Moore e Weatherford (2005) analisam o fato de que apesar de muitas pessoas acreditarem que a experiência é o melhor professor, ter essa experiência real freqüentemente custa caro por consumirem tempo e dinheiro, sendo que, o uso da simulação pode ser uma maneira rápida e barata de adquirir o conhecimento que normalmente se obtém pela experiência.

Geralmente, quando se desenvolve um novo sistema de produção, surgem questões como: “Como a reorganização será feita?” ou “Como será seu desempenho?”. As respostas para perguntas deste tipo podem ser dadas basicamente de três formas: baseadas em opiniões

onde as análises são realizadas com base em crenças e idéias de um indivíduo ou de um grupo, sendo pouco quantificáveis e sujeitas a aprovações por ego; baseadas em modelos matemáticos estáticos que não consideram as características dinâmicas do sistema podendo induzir a erros por não conseguir avaliar estas características do sistema; baseadas em modelos de simulação computacional dinâmico, onde são consideradas as aleatoriedades e interdependências das variáveis do sistema, melhorando assim a capacidade de previsão do comportamento do sistema real (BANKS, 2000; PIDD, 1998).

Carson (2004) sugere o uso de um modelo de simulação para experimentar, avaliar e comparar, qualquer número de alternativas de um sistema. Segundo o autor a avaliação, a comparação e a análise são as razões chaves de se fazer simulação. Predição do desempenho do sistema, identificação de problemas e suas causas, são os resultados chaves.

Nos parágrafos seguintes serão apresentados várias definições e conceitos que dão base para o uso da simulação como ferramenta para aquisição de conhecimentos prévios que ajudarão a responder questões importantes para tomada de decisões e soluções de problemas.

Conforme Sargent (2004), está crescendo o uso de modelos de simulação para ajudar na solução de problemas e tomadas de decisões.

Quanto mais complexo for um problema maior serão as dificuldades dos gerentes para as tomadas de decisões, e maiores serão a importância de obterem informações para auxiliá-los. O'kane *et al.* (2000) afirmam que a simulação tem se tornado uma das técnicas mais populares para se analisar problemas complexos em ambientes da manufatura.

Slack *et al.* (2002) afirma que os gerentes podem ter idéias e explorar possibilidades por meio da simulação. Para os autores a simulação explora as conseqüências da tomada de decisão em vez de aconselhar diretamente sobre ela, sendo então, uma técnica preditiva em vez de otimizadora.

Para Harrel *et al.* (2002), simulação é uma ferramenta para tomada de decisão. Ainda segundo os autores, simulação são processos de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno.

Além de auxiliar na tomada de decisões quando se trabalha com muitas variáveis, a simulação também reduz o custo de experimentação (MONTEVECHI *et al.*, 2003).

A simulação não é uma ferramenta que substitui o trabalho de interpretação humana, mas sim uma ferramenta capaz de fornecer resultados para análises mais elaboradas a respeito da dinâmica do sistema, permitindo desta maneira uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado (BRIGHENTI, 2006).

Simulação é uma técnica que utiliza modelos para representar a essência de uma instalação real ou proposta sob investigação, com o objetivo de avaliar o comportamento deste sistema sob diversas condições (SILVA, 2005).

A simulação computacional vem a ser a representação de um sistema real por meio de um modelo de grande precisão através do computador, trazendo a vantagem de se poder visualizar esse sistema, implementar mudanças, responder questões tipo: “o que aconteceria se” (*what-if*), e desta maneira economizar recursos econômicos e tempo (PEREIRA, 2000). A idéia chave é uma realização alternativa que se aproxima do sistema com o propósito de analisar e entender o comportamento deste em função de ações e decisões alternativas (MIYAGI *et al.*, 2006).

A representação de um sistema real ou de um projeto de sistema feita através de um modelo tem por objetivo estudar desempenho, avaliar mudanças, experimentar e testar o projeto sem que seja necessário construí-los ou alterá-los na realidade. Esta interatividade com o modelo, ou seja, a facilidade de modificá-lo para fins de estudo, analisar os resultados, a rapidez na obtenção desses resultados e a possibilidade de se verificar através da animação como o processo está sendo conduzido, é uma vantagem que se tem com a simulação que vem tornando o seu uso cada vez mais comum no estudo de sistemas complexos (HARREL *et al.*, 2002; PEREIRA, 2000).

#### 5.4 Vantagens e Desvantagens da Simulação

Conforme Bressan (2002) são vantagens do uso da simulação:

- Sistema real com elementos estocásticos pode não ser descrito de forma precisa através de modelos matemáticos que possam ser calculados analiticamente.
- Permite estimar o desempenho de sistemas existentes sob condições de operação projetadas, por exemplo, aumento da demanda de serviço.
- Permite manter maior controle sob as condições dos experimentos o que muitas vezes não é possível com o sistema real.
- Permite estudar o sistema durante um longo período de tempo simulado.

Gavira (2003) apresenta as vantagens da simulação citadas por diversos autores:

- Modelos mais realistas: liberdade na construção do modelo;
- Processo de modelagem evolutivo: modelo vai aumentando de complexidade aos poucos;
- Perguntas do tipo “e se?”: não busca diretamente a solução, mas torna mais claras as possíveis conseqüências de tomadas de decisões;



- Facilidade de comunicação: mais fácil compreensão que os modelos matemáticos;
- Soluções rápidas;
- Grande flexibilidade: aplica-se a variados problemas;
- Visão sistêmica: visualização através de animação;
- Exploração de possibilidades: experiências com o modelo construído;
- Diagnóstico de problemas: melhores entendimentos das interações entre as variáveis;
- Desenvolvimento de entendimento: ajudar a entender como o sistema opera;
- Construção de consenso: depois de validado tem melhor aceitação que a opinião de uma única pessoa;
- Preparação para mudanças e análise de investimentos prudentes;
- Treinamento de equipes.

Bressan (2002) apresenta as seguintes desvantagens do uso da simulação:

- Cada execução da simulação estocástica produz apenas estimativas dos parâmetros analisados.
- O modelo de simulação em geral é caro e consome muito tempo para desenvolver.
- Os resultados da simulação quando apresentados em grandes volumes de dados e com efeitos de animações e gráficos, podem levar a uma confiança nos resultados acima da justificada. Se o modelo não for uma representação válida do modelo em estudo, este não terá utilidade, mesmo que os resultados causem boa impressão.

Gavira (2003) apresenta as desvantagens da simulação citadas por diversos autores:

- Treinamento especial para a construção do modelo;
- Maiores dificuldades para interpretação dos resultados;
- Maior aplicação de recursos e tempo para a modelagem e análise da simulação;
- Uso indevido em problemas que possuem solução analítica factível;
- Dificuldade de modelagem;
- Necessidade de recursos computacionais adequados;
- Nível de detalhamento do modelo além do necessário;
- Grau de precisão requerido que satisfaçam os objetivos.

## 5.5 O Projeto da Simulação

Conforme Silva (2005), simulação é mais que o uso de um *software*. A simulação é um projeto, e deve ser planejado com conhecimento das etapas e suas necessidades, com

conhecimento do sistema, comunicando-se com os clientes e pessoas envolvidas durante o processo.

A maioria de nós acharia inconcebível construir uma casa sem uma planta ou escrever um livro sem um rascunho. Ao começar um estudo de simulação de qualquer importância, deve-se ter a compreensão que construir a estrutura do modelo no computador é apenas uma parte do esforço de proporcionar uma ferramenta útil para a tomada de decisão, e que o cumprimento de cada passo de uma metodologia nos trabalhos de simulação, busca sistematizar o seu desenvolvimento otimizando a integração entre *software*, modelador e usuário, evitando o desperdício de tempo, dinheiro e resultados frustrantes (HARREL *et al.*, 2002; SILVA, 2005).

A maioria dos projetos de simulações mal sucedidos tem a deficiência de planejamento como sua principal causa. Por isso, é necessário ao profissional ou engenheiro não só o conhecimento de um *software* específico, mas também, o conhecimento dos passos a serem seguidos, bem como experiência analítica, estatística, organizacional e de engenharia (SILVA, 2005).

Bressan (2002) apresenta como seguintes às causas de insucesso no desenvolvimento de um projeto de simulação:

- Falha na obtenção de um conjunto bem definido de objetivos no início do estudo da simulação.
- Nível inadequado de detalhes: o Pouco detalhamento ou o Muito detalhamento.
- Falha de comunicação com a gerência do sistema a ser simulado durante o estudo da simulação.
- Interpretações equivocadas por parte da equipe da simulação da operação do sistema a ser simulado.
- Falha de compreensão da simulação por parte da gerencia.
- Tratar a simulação de forma amadora, como um exercício de curso.
- Falha em formar uma equipe com conhecimentos de metodologias e técnicas de simulação.
- Falha na obtenção de dados representativos do comportamento do sistema.
- *Software* de simulação inadequado.
- *Software* de simulação muito complexo e com documentação inadequada.

- Crença de que *software* de simulação sofisticado e com recursos amigáveis, prescindem de conhecimentos técnicos da teoria de simulação.
- Uso inadequado de animação.

Para Hollocks (2001) existe o perigo do uso da técnica da simulação não ser segura quando não são observados alguns aspectos pertinentes da metodologia – criação, validação, experimentação e implementação.

Embora cada estudo de simulação seja único, a maioria vai requerer o cumprimento de cada passo de uma metodologia de trabalho (HARREL *et al.*, 2002). Segundo o *Promodel User's Guide* (2002), a definição dos passos a serem seguidos para se obter bons resultados em simulação com um mínimo dispêndio de recursos varia muito de acordo com o projeto, porém os procedimentos básicos de “como conduzir um projeto de simulação” são essencialmente os mesmos.

Pereira (2000) e Duarte (2003) mostram algumas propostas de metodologias que foram apresentadas ao longo do tempo e que visam tornar o estudo de simulação mais eficiente. Nestas propostas se percebe a preocupação dos autores em estabelecer uma seqüência de trabalho, de modo que se todas as etapas forem cuidadosamente observadas, a metodologia dará ao trabalho maior confiabilidade ao mesmo tempo em que facilita a validação do modelo e a implementação da solução encontrada.

Neste trabalho serão adotadas as “Etapas em um estudo de simulação” desenvolvida por Harrel *et al.* (2002) e mostradas na figura 5.1. Conforme poderá ser observado nos parágrafos seguintes, a metodologia apresenta uma seqüência de trabalho que se adapta bem a um projeto de simulação para sistema de manufatura em fase de desenvolvimento.

A definição do problema: obter uma definição precisa e concisa do problema a ser estudado pode ser mais difícil do que parece, pois, além do modelador outras pessoas podem ter seus próprios interesses com relação às informações do modelo. Engenheiros, gerentes, pessoal operacional e outros podem vir a ter expectativas diferentes, exigindo assim do modelador um esforço para obter um acordo comum sobre a natureza do estudo, o que facilitará conseguir apoio daqueles que devem fornecer dados ou outros tipos de assistência.

Conforme Pereira (2000), é pela definição do problema, num trabalho realizado em conjunto, que todo o esforço despendido será conduzido numa só direção, com a finalidade principal de se evitar a decepção tanto do cliente quanto do modelador com os resultados finais da simulação.

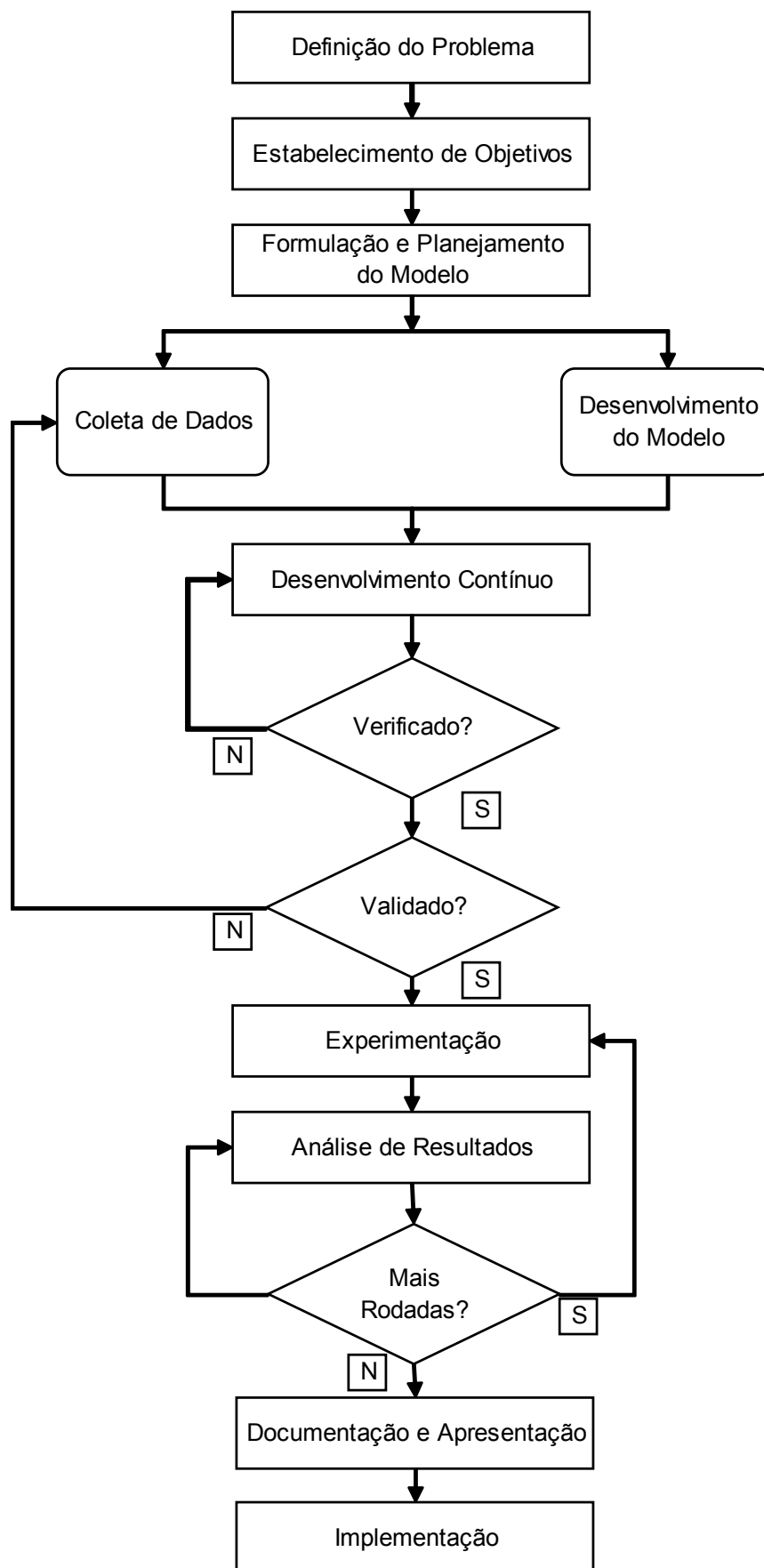


Figura 5.1 Etapas em um estudo de simulação. Harrel *et al* (2002)

Estabelecimento de objetivos: os objetivos de um estudo de simulação fluirão normalmente a partir da definição do problema, uma vez que o propósito de se executar mais tarde uma experimentação será a de resolver o problema. Com os objetivos definidos o modelador já possui uma indicação de quais serão as prováveis questões a serem respondidas na conclusão do projeto de simulação.

Formulação e planejamento do modelo: realizado as etapas anteriores é então desenvolvida uma estrutura conceitual para o modelo. A utilização de desenhos de leiautes ou croquis do sistema a ser estudado proporcionará muitas vantagens. Primeiro, podem ser usados para refletir uma visão do nível geral de detalhes requerido no modelo. Segundo, as representações gráficas podem ser usadas para garantir a coleta sistemática dos dados pertinentes a cada local ou recurso. Terceiro, os fluxos e as interações facilitam o entendimento do sistema. Quarto, o leiaute terá imenso valor para a determinação dos padrões dos movimentos de pessoas (Operadores, Ajudantes, etc).

Conforme Pereira (2000) e Duarte (2003), nesta etapa o modelador deverá elaborar um esboço do modelo do sistema, visando à realização dos primeiros estudos sobre o fluxo de informações, disposição física dos equipamentos, os dados necessários e de que maneira eles serão coletados e tabulados.

Coleta de dados: a ênfase inicial deve ser dada na coleta de fatos fundamentais, informações e estatísticas que se referem a “dados macros”. O propósito de um dado macro é lançar as bases para a determinação dos parâmetros de entrada do modelo e selecionar com acuracidade aqueles parâmetros que irão necessitar de “dados micro”, ou dados mais detalhados. A coleta de dados é um processo contínuo, o modelador pode continuar a receber dados revisados e mais precisos à medida que o estudo de simulação progride. A inclusão de novas e melhores informações é uma das vantagens da simulação e o modelador deve desejar criar modelos com flexibilidade necessária para receber e incorporar estes novos dados.

A obtenção dos dados varia se o sistema já é existente ou não. Em um sistema já existente bastará coletar os dados históricos ou através de medições, já para sistemas não existentes o modelador terá que trabalhar com catálogos de fabricantes, dados de sistemas similares, entrevistas com operadores e especialistas no processo etc. A coleta de dados deve ser compatível com o nível de detalhamento do modelo. Seria uma perda de tempo, por exemplo, tomar-se o tempo de todas as operações de uma linha de produção, quando o que se deseja estudar é somente uma das células (PEREIRA, 2000; SILVA, 2005).

Desenvolvimento do modelo: o modelo normalmente iniciará como uma abstração conceitual do sistema, com crescentes níveis de detalhes adicionados à medida que se realiza

o seu desenvolvimento. Este modelo conceitual construído na etapa de “Formulação e Planejamento do Modelo” irá se tornar um modelo lógico à medida que o processamento de eventos e os relacionamentos entre eles estejam definidos.

Nesta etapa será construído efetivamente o modelo em um *software* de simulação. Surge então, a necessidade da escolha do *software* a ser utilizado. O modelador deverá levar em consideração a necessidade do modelo e a interface oferecida pelo pacote de *software* (Duarte, 2003).

Se o modelador começar a modelagem a partir de modelos simples, e for incrementando-o à medida que o estudo de simulação vai evoluindo, haverá não somente ganho no tempo total de trabalho de modelagem, como também na fase de verificação em que os erros de programação são corrigidos. Dessa forma, no decorrer do estudo vai se refinando esse modelo inicial, até que atenda os objetivos propostos.

Alguns cuidados devem ser tomados durante a construção do modelo:

- Fiscalizar o nível de detalhamento: a modelagem é uma atividade que demanda tempo, e quanto maior o nível de detalhamento, maior o tempo de modelagem e maiores as necessidades de dados para a construção do modelo. Ao se definir o nível de detalhamento do modelo não se pode perder de vista o objetivo específico da modelagem.
- Dividir o modelo: se o modelo for grande, é aconselhável também sua partição em um conjunto de modelos menores, relacionando-os às áreas lógicas do sistema. Esses modelos tornam-se mais simples de serem construídos e interpretados. Assim, num processo produtivo em que se têm vários estágios de fabricação, ou a peça passa por diversas células de fabricação, é interessante, caso se tenha que modular todo o processo, que se faça por partes. Cada um desses módulos que constitui o modelo total é verificado separadamente, e após serem feitas às correções, os modelos são agrupados novamente.
- Verificar e corrigir os erros: a correção dos erros cometidos durante a programação, é tanto mais fácil quanto menor for o modelo, daí a vantagem em subdividi-lo. Alguns *softwares* possuem dispositivos que permitem a verificação e correção de erros (*debug*) com mais facilidade. É importante salientar que a recomendação de se partir de modelos mais simples decorre também da facilidade que se tem para poder verificar e corrigir erros nesses modelos, e à medida que essas incorreções são eliminadas, o modelador adiciona ao modelo maiores detalhes, introduz variáveis que proporcionam mais informações, adiciona

equipamentos, sofisticada a animação (se houver), introduz novos dados do processo, constrói múltiplos cenários, etc. O importante é ter em mente que a verificação e correção de erros, pode ser uma etapa demorada na modelagem, porém é mais segura do que se tentar ganhar tempo iniciando-a com modelos complexos e muito grandes.

A verificação: é dito que um modelo está pronto para ser verificado quando ele funciona da maneira como o modelador pretendia. A verificação pode ser efetuada rodando-se a simulação e monitorando-se de perto a sua operação. A maioria dos modelos complexos vai requerer ao menos uma depuração para assegurar que eles reflitam de maneira acurada a intenção do modelador. A animação é uma ferramenta útil no processo de verificação e depuração de um modelo porque ela pode ser estudada em velocidade suficiente baixa permitindo realizar a análise do movimento das peças, clientes e outras entidades no sistema. Embora útil, a animação não deve ser o único meio de verificação, a apresentação das variáveis e outros contadores na tela da animação ou monitorados por meio de plotagem podem assegurar que as variáveis estejam antecipadamente respondendo ao modelador. Outro passo valioso de verificação é conseguir que outro modelador experiente analise a estrutura do modelo. Em alguns casos, o desempenho do modelo pode ser testado sob uma variedade de diferentes cenários para determinar se a resposta ocorre como prevista.

Conforme Law (2006) é na verificação que se determina se todas as considerações ou suposições feitas durante a formulação do problema e coletas de dados foram traduzidas corretamente para o programa de computador.

A validação: a validação é o processo de se assegurar que o modelo reflita a operação do sistema real em estudo de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido. Todas as pessoas interessadas nos resultados, potenciais usuários e outras pessoas familiarizadas com a operação do sistema real, devem participar junto com o modelador em um esforço cooperativo para fazer a validação do modelo.

Conforme Law (2006), a validação é o processo que determina se um modelo de simulação é uma representação precisa do sistema para os objetivos particulares do estudo, e a facilidade ou a dificuldade deste processo está na existência ou não de uma versão do sistema em estudo. Ainda segundo o autor, a validação não é algo que deva ser realizado somente após o desenvolvimento do modelo, mas também, logo após a formulação do problema e coletas de dados onde foram definidas as considerações ou suposições que serão a base para a construção do modelo.

Segundo Sargent (2004), a validação do modelo conceitual determina se as teorias e suposições do modelo conceitual estão de acordo com o sistema real, e se o modelo representativo do problema está razoável com os propósitos da simulação.

Esta validação poderá ser realizada de diversas formas: a mais comum é confrontar os resultados de saída com os dados reais do sistema; também pode ser feita com o uso de técnicas estatísticas; teste de *Turing*, onde especialistas no sistema estudado recebem dois relatórios – um com os dados simulados e o outro com os dados reais do sistema, sem a identificação de qual é o real e qual o modelado, e discutem as diferenças (PEREIRA, 2000; SILVA, 2005; DUARTE, 2003).

Law (2006) considera que um modelo válido não é necessariamente um modelo com credibilidade, um modelo de simulação só terá credibilidade se alguém responsável pelo projeto de simulação aceitar “oficialmente” o modelo como correto para o propósito do estudo.

Experimentação: o ideal é que todos os envolvidos no projeto de simulação tenham uma idéia acerca das alternativas de soluções a serem avaliadas. Antes de avaliar cada alternativa com o modelo, deve ser avaliado a extensão necessária de tempo a ser simulado e o tempo para se atingir o estado de regime quando isto for necessário. A realização de um projeto experimental seria então, o desenvolvimento de procedimentos e testes para analisar e comparar alternativas, com o propósito de maximizar a utilidade da informação produzida pelas rodadas de simulação, enquanto minimiza o esforço. Sem este planejamento fica difícil realizar comparações eqüitativas entre soluções candidatas.

Conforme Silva (2005), no planejamento experimental alguns itens deverão ser levados em consideração: a) sob quais condições cada simulação será realizada; b) qual a duração de cada simulação; c) quantas replicações deverão ser efetuadas para cada cenário; d) será adotado algum método de planejamento de experimentos.

Análise dos resultados e apresentação: cada configuração do modelo e seus resultados de saída devem ser bem documentados. O armazenamento cuidadoso dos registros irá auxiliar a determinar não apenas que alternativa atende o melhor resultado, como também permitirá observar tendências que podem sugerir alternativas adicionais a serem consideradas. Para a análise dos resultados os pacotes de simulação geram várias informações em forma de tabela e gráficos, sendo que, as informações em forma de gráficos são as mais efetivas para o uso em apresentações.

Para Pereira (2000) fazer anotações de cada experimento tem por objetivo manter uma memória a respeito de cada uma das modificações feitas no modelo, bem como dos resultados



gerados. Essas anotações também devem ser mantidas de maneira a possibilitar que todo o desenrolar da análise possa ser reconstituído se necessário.

Implementação: esta etapa começa na verdade com o início do projeto de simulação. A extensão na qual as recomendações são colocadas em práticas depende amplamente da efetividade de cada uma das etapas anteriores. Se todos os interessados mantiverem-se informados e ativamente envolvidos em todas as etapas ao longo do desenvolvimento do projeto de simulação, eles estarão mais propensos a auxiliar na implantação da solução selecionada.

## 5.6 Aplicações da Simulação

Harrel *et al.* (2002) destacam o modelo de operações bancárias – no qual uma ou mais caixas estão disponíveis para atender aos clientes, os quais chegam com frequência aleatória e requerem diferentes tempos de processamento – como o exemplo mais comum para ilustrar o conceito de simulação. Apesar deste e de outros exemplos de serviços os autores afirmam ser as indústrias de manufatura as maiores usuárias de simulação, e apresentam para isso dois motivos principais: a facilidade de uso e a pressão competitiva.

Também Law & McComas (1999) afirmam ser a manufatura uma das maiores aplicações da simulação, tendo como benefícios, dentre outros, destacar a necessidade e quantidade de maquinário ou funcionários extras, avaliação de desempenho e avaliação dos procedimentos operacionais.

Kumar e Phrommathed (2005) apresentam um estudo com o exemplo de uma aplicação da simulação como ferramenta para avaliar uma proposta de melhoria antes que ela efetivamente fosse implantada, reduzindo os riscos de erros após a implantação.

Conforme Carson (2004), um modelo de simulação é um modelo descritivo de um processo ou sistema, e normalmente inclui parâmetros que permitem o modelo ser configurado para representar vários sistemas um pouco diferente ou várias configurações de um processo. Exemplos simples incluem parâmetros que permitem um usuário variar o número de trabalhadores em uma estação de trabalho, a velocidade de uma máquina ou veículo, as características de um sistema de controle de transportador, e assim por diante.

Harrel *et al.* (2002), ainda apresentam exemplos de aplicações para ilustrar como a simulação pode ser aplicada nas questões de manufatura, serviços, saúde, logística, manutenção e meio ambiente. Quanto aos sistemas de manufatura, os autores apresentam as seguintes questões:

- Tempo: permite a verificação da performance da manufatura. Aplicações relacionadas com redução de tempo em que um elemento gasta no sistema sem agregar valor. (Ex: tempos de espera, tempo de movimentação);
- Movimentação de materiais: simulação de equipamentos de transporte e movimentação de materiais;
- Análise de leiaute: na análise de leiaute os recursos de animação serão bastante úteis, pois permitirão pela maior interação com o usuário, que este veja literalmente quais as mudanças de leiaute que poderão ser feitas de maneira a melhorar o desempenho da produção. Assim, poderá verificar quais as distâncias percorridas pelos operadores para cada uma das alternativas, mudar a posição das máquinas, aumentar ou diminuir os espaços das instalações, verificar quais as áreas de circulação necessárias, qual a movimentação das peças etc. Todas essas mudanças geram variação nos *outputs*, como no fluxo de peças, *WIP*, taxa de ocupação dos equipamentos etc;
- Planejamento de capacidade: análise de capacidade para atender as metas de produção, análise de comportamento nas variações de demanda, análise de gargalos de produção, análise de material em processo (*WIP*), *lead-time*;
- Programação *job shop*: a simulação pode gerenciar prioridades conflitantes e a chegada de componentes em diferentes estações de trabalho;
- Avaliação de investimentos e equipamentos: avaliações da inclusão em um modelo já existente de novas tecnologias, equipamentos ou processos;
- Logística: armazenamento e distribuição, processamento de pedidos;
- Manutenção: os modelos podem ser utilizados para avaliar o impacto das paradas e para desenvolver um regime de manutenção que minimize as perdas na capacidade operacional.

## 5.7 Considerações Finais

Neste capítulo foram discutidos conceitos, vantagens, desvantagens e metodologias para uma aplicação de forma eficaz de um projeto de simulação computacional, a partir da construção de modelo(s) de simulação. O enfoque principal foi dado, na utilização da simulação computacional como uma ferramenta para solução de problemas e tomada de decisão em questões de manufaturas.

A estudo de aplicação da simulação realizado no capítulo 6, utilizará as etapas em um estudo de simulação apresentadas na seção 5.5.

## 6 APLICAÇÃO

### 6.1 Considerações Iniciais

Este capítulo tem por objetivo apresentar a aplicação da simulação computacional em um produto cujo sistema de manufatura está em fase final de desenvolvimento. O estudo segue as “etapas em um estudo de simulação” da metodologia proposta por Harrel *et al.* (2002), apresentada na seção 5.5. Nas primeiras etapas do estudo, será apresentada a empresa onde o estudo é realizado e o produto em desenvolvimento, seguido das demais etapas até a apresentação dos resultados.

### 6.2 Definição do Problema e Estabelecimento de Objetivos

O estudo é desenvolvido em uma das empresas de um grupo de capital nacional no setor de autopeças. A origem desta empresa data de 1918 com suas atividades no ramo madeireiro, tendo ao longo do tempo diversificado suas atividades para o setor financeiro e subseqüentemente para o setor industrial. A partir dos anos 90 centralizou sua atuação no setor industrial, nos segmentos de autopeças e equipamentos ferroviários. Dentre os produtos fabricados pelo grupo, podem-se destacar: vagões de trem, travessas, suportes, chassis, eixos, rodas e longarinas. Este grupo possui três unidades no Brasil e aproximadamente nove mil funcionários. A empresa do grupo que é alvo do estudo atua na área de produtos estruturais e possui três mil e quinhentos funcionários.

O foco deste trabalho está na área da engenharia de desenvolvimento de processo para montagem de chassis e suas partes componentes. O cliente, geralmente uma montadora, envia para a área comercial um pedido de orçamento para a realização de montagem de um determinado conjunto ou subconjunto. A área comercial por sua vez faz uma solicitação de formação de preços (SFP) para engenharia de processo que retorna esta SFP após análise detalhada. Seguida às análises financeiras e considerações comerciais, é enviado para o cliente um orçamento, que aprovado, gera um pedido de compra. Com o pedido de compra em mãos, a área comercial emite uma liberação de desenvolvimento (LD) para a engenharia de desenvolvimento de processos, que então desenvolverá o sistema de manufatura para o produto.

O desenvolvimento do projeto do sistema de manufatura é acompanhado por realizações de reuniões de grupo, utilização do método do APQP, realização de FMEA, elaboração de planos de controle e sistema de medição, desenvolvimento de fluxograma,

arranjo físico, logística, aquisição de equipamentos, máquinas, dispositivos, realizações de *try out's* (teste pré-operação), confecção de protótipos e amostras, até a liberação da produção através da emissão de aprovação do PPAP (Processo de Aprovação da Peça de Produção).

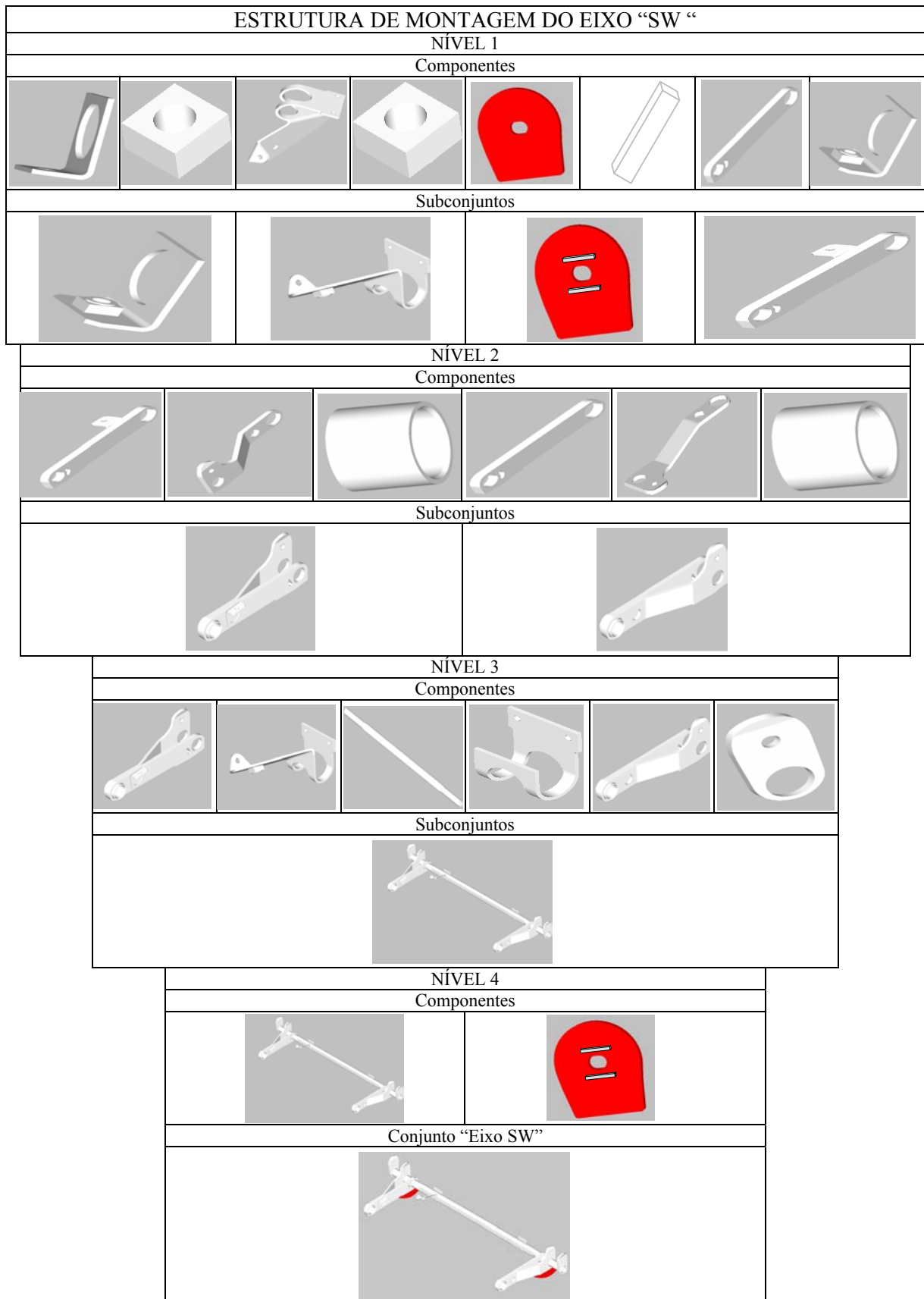
Após a aprovação do PPAP, passa ser de responsabilidade da gerência da produção a fabricação e atendimento das demandas solicitadas pelo cliente através do planejamento e controle da produção. É nesta etapa que a engenharia de desenvolvimento começa a receber retornos, fazer avaliações e tomar ações corretivas. Não é raro surgimento de problemas e reclamações quanto à capacidade de atendimento da demanda, esteja ela acima ou abaixo da capacidade nominal (produção máxima do processo), o surgimento de gargalos, discrepâncias no arranjo físico, itens com alto estoque em processo, grandes variações nas movimentações de operadores, dificuldades no fluxo de informações e materiais, quantidade de mão de obra inadequada seja por excesso ou por falta.

É objetivo deste trabalho desenvolver um estudo de simulação para avaliar o desempenho de um novo sistema de manufatura que está em fase de desenvolvimento, ou seja, ainda não implantado. O uso da simulação durante o desenvolvimento seria como uma técnica preditiva, onde respostas para questões do tipo “o que aconteceria se...?”, irão auxiliar em tomadas de decisões que podem evitar cobranças futuras do tipo “tinha que ter pensado nisso antes!”. Depois que o produto já entrou em produção normal os modelos realizados durante a fase de desenvolvimento poderão se tornar ferramentas a serem usadas pela gerência de produção e/ou engenharia de desenvolvimento na busca de melhorias contínuas e nas soluções de problemas cujas cobranças do tipo “tinha que se ter pensado nisso antes!” foi inevitável.

Nos parágrafos seguintes serão conhecidos: o produto que está sendo objeto deste trabalho; os recursos idealizados para sua fabricação e a fase do desenvolvimento do sistema de manufatura quando a simulação foi aplicada.

O produto é um componente estrutural de grande importância na montagem em chassis de caminhões de uma montadora multinacional, onde sua denominação de projeto é “Eixo SW” e sua estrutura está mostrada no Quadro 6.1. Este quadro foi elaborado de forma a apresentar uma seqüência de formação desde as peças primárias, passando pelos subconjuntos até a formação do conjunto final. Todas as partes componentes são unidas por solda MIG, com exceção das porcas M 8x1,25 que devem ser soldadas por projeção.

Todos os recursos para a fabricação do “Eixo SW” foram definidos e/ou idealizados para atender as características de montagem e qualidade do produto. Estes recursos estão apresentados no Quadro 6.2.



Quadro 6.1 Estrutura de Montagem do “Eixo SW”

<b>RECURSOS DE MONTAGEM DO "EIXO SW"</b>
Máquina de Solda Projeção
Máquina de Usinagem CNC
Máquinas de Solda MIG/MAG
Célula Robotizada
Robôs de Solda
Dispositivo de Montagem Braço Interno LE
Dispositivo de Montagem dos Braços LE/LD
Dispositivo de Solda para Celula Robotizada
Dispositivo de Montagem e Solda do "Eixo SW"
Dispositivo de Solda Manual
Dispositivo de Montagem e Solda das Placas no "Eixo SW"
Equipamentos Pneumáticos e Bancada para Acabamento
Calibres de Inspeção e Controle

Quadro 6.2 Recursos de Montagem do “Eixo SW”

A simulação foi aplicada quando a engenharia de desenvolvimento necessitava fazer dentre outras, as seguintes definições para o sistema de manufatura: arranjos físicos; alocação e utilização de operadores; utilização de máquinas e equipamentos; capacidade de produção e balanceamento de linha. É normal que as técnicas de análises utilizadas neste momento sejam quase sempre definidas pela experiência dos profissionais envolvidos no desenvolvimento e que muitas vezes são baseadas no que eles consideram ser um projeto simples ou complexo, sendo comum que para qualquer que seja o grau de complexidade, as técnicas mais usadas, sejam: cálculos analíticos, históricos de ocorrências, tentativas e erros. Neste projeto, porém, apesar de ser avaliado como um projeto de pequena complexidade foi considerado o uso da simulação com o objetivo de avaliar preventivamente o desempenho do sistema de manufatura em função da posição das áreas livres, onde os recursos devem ser alocados em relação às áreas com recursos já instalados e que serão utilizados na montagem do produto. Como pode ser visto na Figura 6.1, as áreas disponíveis na empresa para o novo sistema de manufatura são distantes uma das outras e mais distantes ainda das áreas onde estão alocados recursos cujas ocupações serão aproveitadas na montagem do produto, e que passam a ser referencial para a alocação dos outros recursos. É consenso entre as gerências da engenharia de desenvolvimento e da engenharia de produção que estas duas situações são causas de divergências quanto ao desempenho que o sistema de manufatura apresentará após sua implantação, e que a realização de modelos de simulação daquilo que se está idealizando poderá auxiliar nas tomadas de decisões.

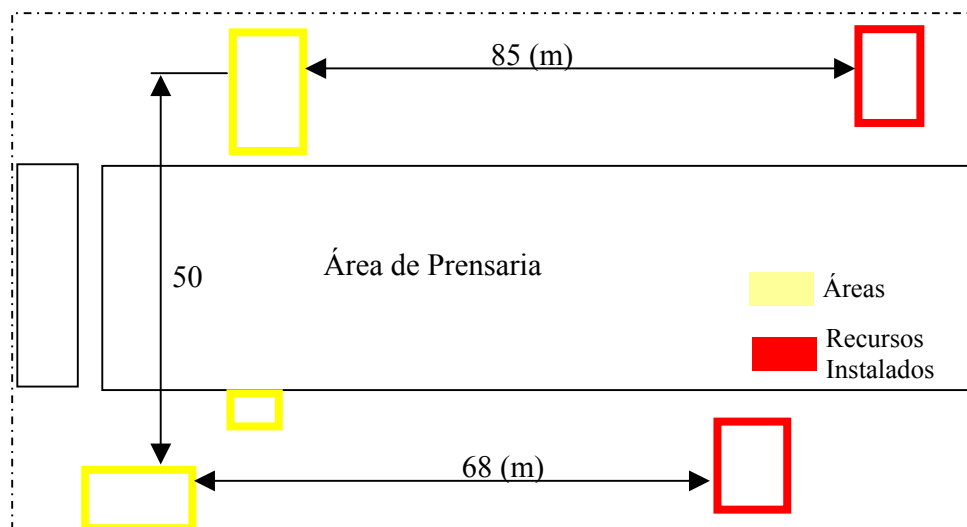


Figura 6.1 Posições entre as áreas livres e as áreas com recursos instalados

### 6.3 Formulação e Planejamento do Modelo

A formulação do problema irá auxiliar ao modelador a não perder o foco do objetivo da realização do trabalho. Para este estudo, o objetivo principal é usar a simulação para analisar preventivamente o desempenho de um sistema de manufatura ainda não implantado, buscando informações para tomada de decisões quanto a alterações em: arranjos físicos; alocação e utilização de operadores; utilização de máquinas e equipamentos; capacidade de produção e balanceamento de linha.

Um estudo de mapeamento do modelo conceitual para o sistema de manufatura do produto, foi realizado por uma equipe de especialistas responsáveis pelo seu desenvolvimento. Inicialmente foi realizado um fluxograma do tipo diagrama de processo, conforme denominado anteriormente no capítulo 3 deste trabalho, com o objetivo de se obter uma visão geral do sistema de manufatura a ser modelado. Este diagrama é mostrado na Figura 6.2.

Modelos grandes ou projetados para abordar vários problemas podem crescer em complexidade e dificultar o processo de validação e experimentação. No trabalho em questão, o sistema em estudo tem uma complexidade imposta por reduzidos espaços físicos destinados ao processo de produção, por estarem localizados em diferentes locais na planta da empresa e pela utilização de recursos já instalados cujos tempos ociosos serão aproveitados, conforme descrito anteriormente. Com base na idéia da divisão de modelo, descrita no capítulo 5, que sugere a partição de um modelo grande em um conjunto de modelos menores, de modo a tornar mais simples a construção do modelo computacional, o diagrama de Figura 6.2 que representa o sistema de manufatura em uma forma geral foi transformado em um fluxograma do processo, com os símbolos gráficos conforme padrão JIS Z 820 – 1982, e que está mostrado na Figura 6.3.

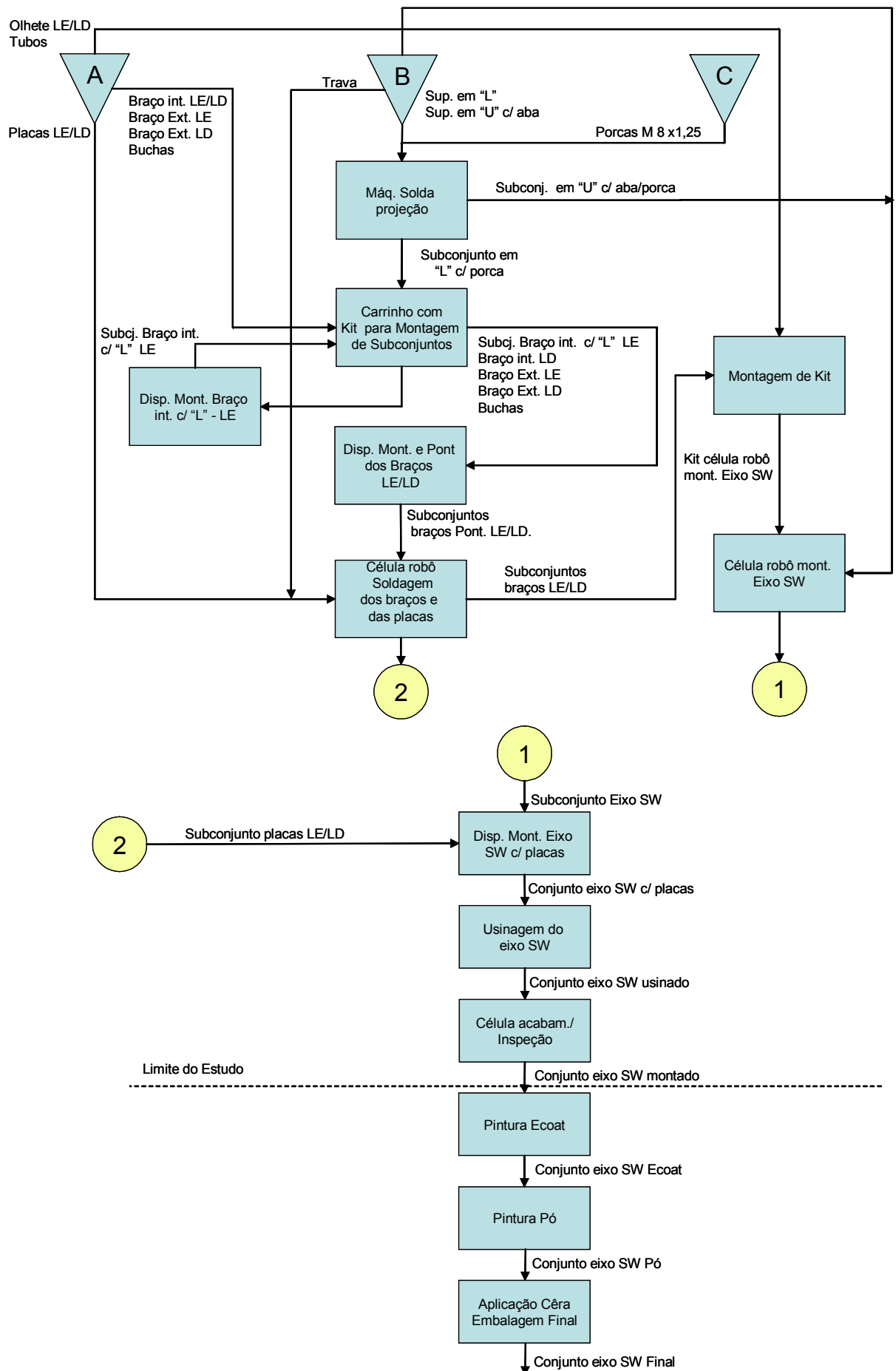


Figura 6.2 Diagrama de Processo do Sistema do Novo Sistema de Manufatura



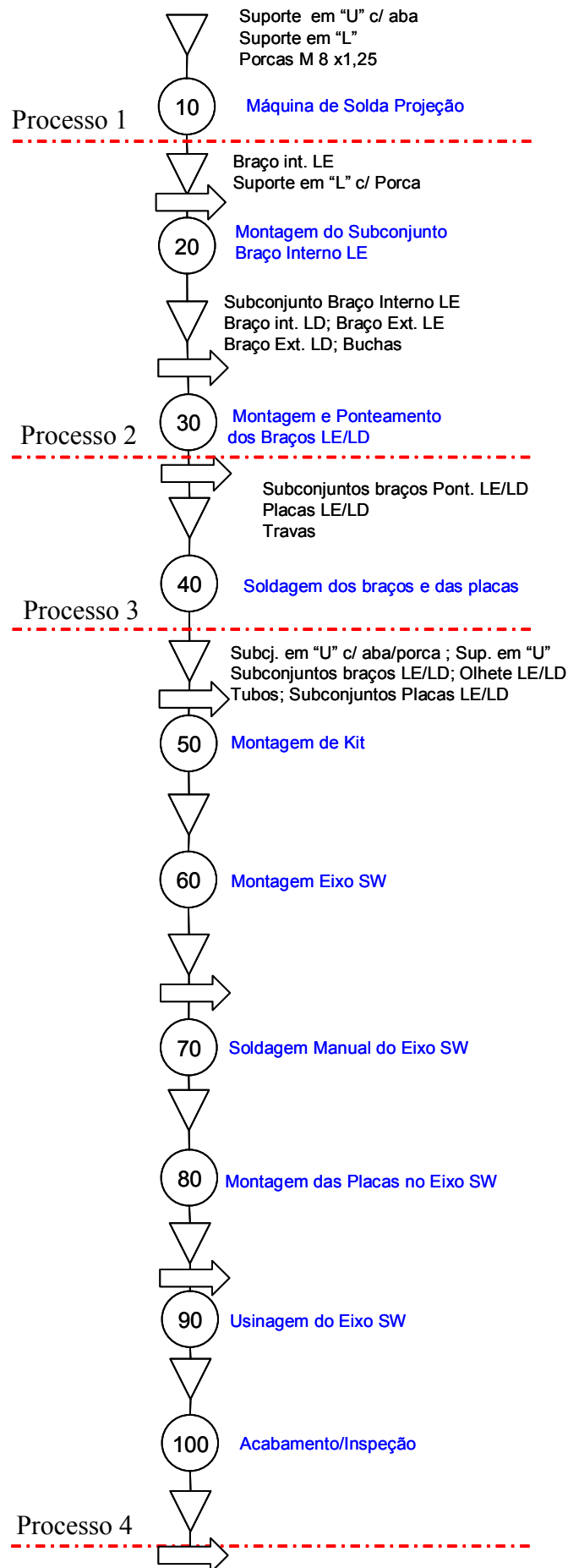


Figura 6.3 Fluxograma de Processo do Sistema do Novo Sistema de Manufatura

Neste fluxograma estão sendo representados de uma maneira compacta e através da simbologia padrão, os 04 processos que formam o novo sistema de manufatura, sendo 03 subprocessos de fabricação de subconjuntos que alimentarão 01 subprocesso, que é a linha de montagem do produto final. Os limites de cada subprocesso estão claramente definidos no mapeamento do processo, além de mostrar, também claramente, a interligação entre eles. A construção de um 01 modelo computacional para cada subprocesso como base na idéia da divisão de modelo, irá facilitar o processo de validação e experimentação mantendo o objetivo final em questão.

Tomando como base o mapeamento do processo representado no fluxograma da Figura 6.3 e o arranjo físico das áreas disponíveis para a alocação de recurso da Figura 6.1, a equipe de especialistas responsáveis pelo desenvolvimento do novo sistema de manufatura construiu um mapofluxograma, distribuindo as operações do fluxograma dentro das áreas livres e tendo como referência às operações realizadas pelos recursos já instalados e que terão os tempos ociosos aproveitados no sistema de produção. As distribuições das operações dentro das áreas livres tiveram como base de análise o fluxo de entrada de materiais, o fluxo do processo de transformação, o fluxo de movimentação entre processos e o fluxo de saída dos produtos e/ou subprodutos. A Figura 6.4 apresenta o mapofluxograma do novo sistema de manufatura.

A Tabela 6.1 apresenta quatros tipos de arranjos físicos que foram formados a partir da distribuição das operações conforme descrita no parágrafo anterior. Os quatros arranjos físicos estão interligados entre si, e juntos formam o novo sistema de manufatura. É necessário ressaltar que o fluxograma da Figura 6.3 evidencia a dependência estabelecida entre cada arranjo físico, sendo que o processo de um não poderá ter início se o seu anterior não tiver começado ou até mesmo já concluído sua produção. Observa-se ainda, na tabela 6.1, que foram determinadas pelos especialistas as quantidades dos principais recursos necessários para executar o processo de fabricação em cada tipo de arranjo físico definido. Essa decisão foi baseada nas observações de tempos registrados durante a execução de protótipos e/ou amostras em processos alternativos e/ou em cálculos com base no ciclo de produção (*Takt time*) desejado para o atendimento da demanda prevista, demanda esta fornecida pelo cliente durante a fase da realização do orçamento.

Os quatros arranjos definidos, e que formam cada subprocesso do novo sistema de manufatura, foram detalhados nas Figuras 6.5 até 6.8, e transformados cada qual em um modelo conceitual de cada subprocesso, que juntos formam o modelo conceitual do novo

sistema manufatura, onde podem ser observadas as “entradas” os “processos de transformações” e a “saídas”.

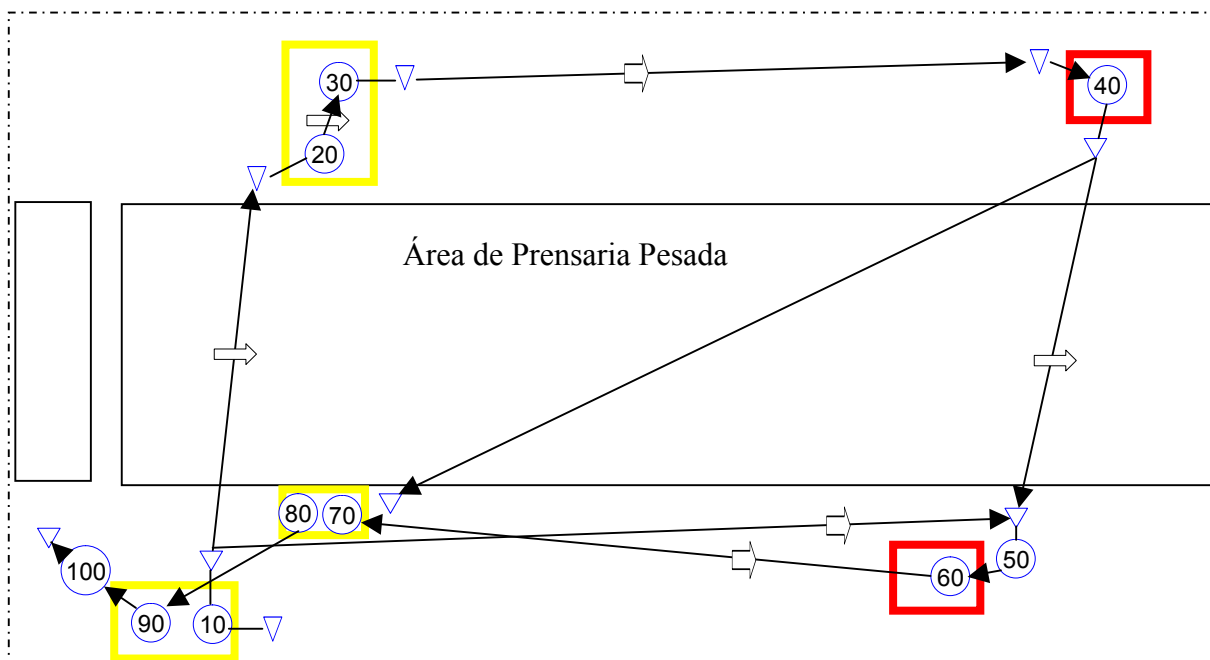


Figura 6.4 Mapofluxograma do Novo Sistema de Manufatura

Operação	Denominação	Tipo de Arranjo Físico	Equipamentos	QTD	MOD	Status
10	Subcjs. Solda Projeção	Por Processo	Máquina de Solda Projeção	1	1	Contratar
De 20 a 30	Subcjs. Montagem dos Braços	Celular	Dispositivo de Montagem Braço Interno LE	1	1	Contratar
			Dispositivo de Montagem dos Braços LE/LD	1		
			Máquinas de Solda MIG/MAG	2		
40	Subcjs. Braços LE/LD e Placas	Celular	Célula Robotizada	1	1	Já Existente
De 50 a 100	Linha de Montagem Final "Eixo SW"	Por Produto	Dispositivo de Solda para Célula Robotizada	1	6	Contratar
			Robôs de Solda	1		
			Dispositivo de Mont. e Solda do "Eixo SW"	1		
			Dispositivo de Solda Manual	1		
			Dispositivo de Montagem e Solda da Placas	1		
			Máquinas de Solda MIG/MAG	2		
			Máquina de Usinagem CNC	1		
			Calibres de Inspeção e Controle	1		
Equip. Pneumáticos e Bancada para Acab.	2					

Tabela 6.1 Arranjos Físicos do Sistema do Novo Sistema de Manufatura

Os espaços físicos livres para os estoques de “entrada” e de “saída” das operações 10 até 50 são suficientes e de dimensionamento facilitado pelas pequenas dimensões das peças, porém, esses espaços são restritos e até inexistente no caso das operações 60 até 100. Foi considerado que todos os pontos de “entrada” de peças e/ou subconjuntos para cada um desses sistemas produtivo são abastecidos antecipadamente e em quantidade suficiente para a produção. Esses abastecimentos serão realizados por operadores do setor produtivo que venham apresentar disponibilidades em suas operações, ou então, por funcionários chamados de “Abastecedores” pertencentes ao setor de logística e destinados especificamente para esta função, sendo que neste ultimo caso haverá o acréscimo de custos.

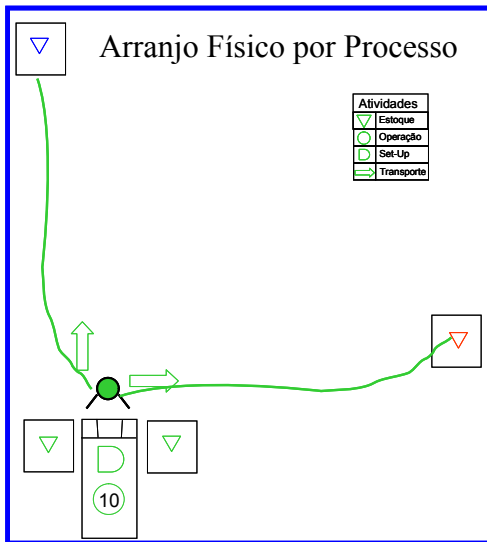


Figura 6.5 Subcjs. Solda Projeção

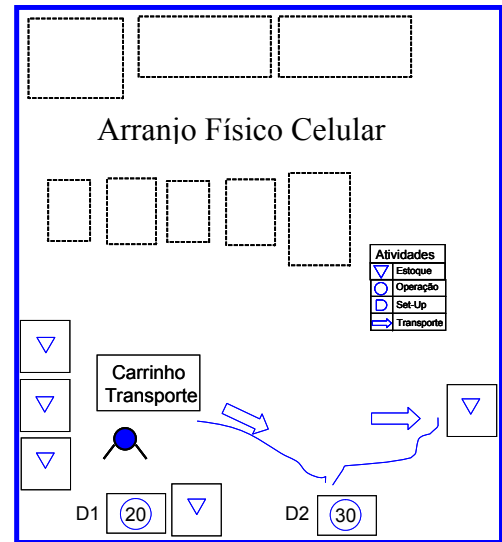


Figura 6.6 Subcjs. Montagem dos Braços

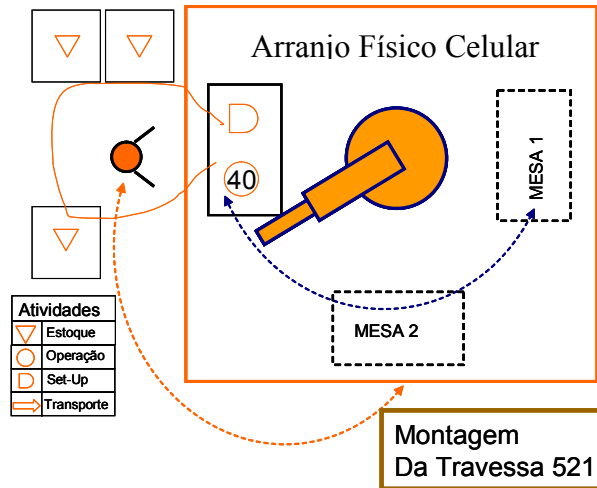


Figura 6.7 Subcjs. Soldagem dos Braços LE/LD e Placas

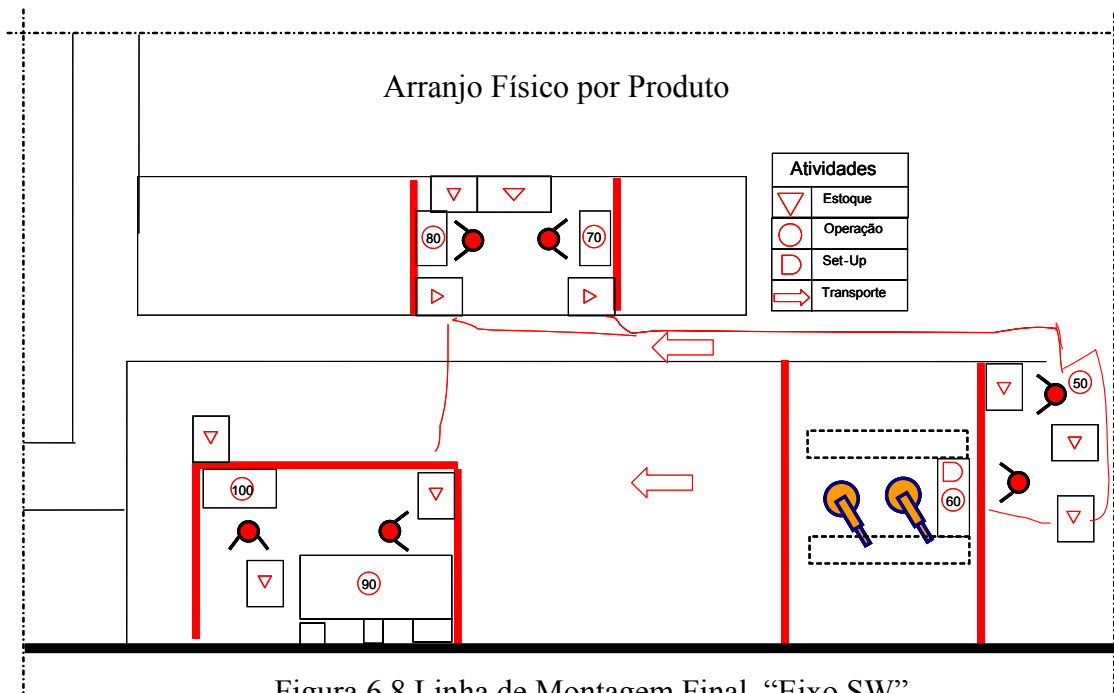


Figura 6.8 Linha de Montagem Final "Eixo SW"

## 6.4 Coleta de Dados

Conforme Silva (2005), o principal dado necessário para a elaboração de um modelo computacional é o tempo padrão de cada processo ou atividade. Tempos de *setup*, movimentação, inspeção e espera, são também importantes e devem ser cuidadosamente coletados.

Este trabalho busca uma análise do desempenho de um novo sistema de manufatura em fase de desenvolvimento, ou seja, um sistema ainda inexistente. No capítulo 5, foi visto que a coleta de dados varia com existência ou não do sistema em estudo, sendo que no caso de inexistência torna esta tarefa mais difícil.

Os tempos coletados para a realização deste trabalho foram tomados durante a fabricação de protótipos em dispositivos alternativos e/ou durante a realização de *try out* (teste pré-operação) de aprovação dos equipamentos. Foram coletados 20 tempos para cada atividade do fluxograma da Figura 6.3, porém as várias condições em que foram realizadas essas tomadas de tempos não permitem a realização de uma análise de distribuição, portanto esses dados serão utilizados de formas determinística.

As folhas de coleta de dados (Anexo 2) apresentam os valores tomados para cada atividade e as condições de *setup*, movimentação e espera nas atividades que estes eventos ocorrem.

Os tempos serão utilizados de forma determinística, porém para o cálculo do tempo padrão de cada atividade, a partir das folhas de coleta de dados (Anexo 2), foram feitas as considerações de habilidade, esforço, monotonia e fadiga, conforme apresentadas na metodologia de cálculo do tempo padrão na seção 3.3 deste trabalho. Estas considerações e o cálculo do tempo padrão de cada atividade estão apresentadas nas planilhas de cálculo de tempo padrão do (Anexo 3).

## 6.5 Desenvolvimento do Modelo

A partir dos modelos conceituais e coletas de dados definidos anteriormente foram desenvolvidos os modelos computacionais. Para isto, foi utilizado o pacote de *software* Promodel® da *Promodel Corporation*, utilizado na disciplina *Simulação* do curso de mestrado em Engenharia de Produção da UNIFEI. Para Leal *et al.* (2006) quando se utiliza o ProModel aproveita-se de sua aceitação científica e seus recursos de animação. Conforme Harrel *et al.* (2002) o ProModel é um produto *for Windows*, que aproveita todas as vantagens do popular ambiente operacional da Microsoft.

Para construção de um modelo computacional, o ProModel® trabalha com a definição de vários elementos, cujo funcionamento dos principais será descrito a seguir:

- *Locations* (Locais): Representam os lugares fixos do sistema, onde se realizam os processos, são usadas para representar elementos como: *workstations*, *buffers*, *conveyors* e *queues*. Neste elemento pode-se definir: capacidade, unidades (simples ou múltiplas), *setups*, manutenção, nível de detalhamento estatístico, além de regra de chegada e saída de matéria.
- *Entities* (Entidades): As *entities* são os itens a serem processados pelo sistema, podendo ser: matéria-prima, produtos, *pallets*, pessoas ou documentos. As *entities* possuem velocidades definidas, além de nível estatístico como as *locations*. Elas podem ser agrupadas ou divididas ao longo do processo produtivo, se movimentando de uma *location* para outra utilizando uma rota definida ou uma rede de trabalho.
- *Arrivals* (Chegadas): Define a entrada das *entities* dentro do modelo. Podendo ser definidas as quantidades, frequência e períodos de chegada, bem com a lógica de chegada. Pode-se também definir as chegadas através de um arquivo externo de chegada de peças referenciado no File Editor.
- *Processing* (Processamento): Consiste em uma tabela onde são definidas as operações de cada *entity* em cada *location* e o *resource* necessário para esta operação, e uma tabela de rotas que define o destino e a movimentação de cada *entity*, bem como o modo pelo qual se dá essa movimentação, e o *resource* necessário.
- *Resource* (Recursos): São os elementos usados para transportar *entities*, executar operações, realizar manutenção sobre as *locations* ou outros, podem ser: pessoas ou equipamentos. Um sistema pode ter um ou mais *resources*, sendo dotado de movimento ou não. Contudo, para cada *resource* deve ter designado uma *pathnetwork*, ou seja, um percurso na qual a movimentação se dará.

Será descrito a seguir o desenvolvimento de cada modelo computacional realizado a partir de cada um dos modelos conceituais definidos anteriormente, ressaltando sempre as definições realizadas durante a modelagem no *software* ProModel e as considerações definidas no modelo conceitual.

O primeiro modelo computacional é referido ao modelo conceitual da Figura 6.5 que representa o subprocesso de solda projeção. Neste modelo, a porca solda M 8x1,25 é montada

nas peças Suporte em “U” c/ aba e Suporte em “L”, para formar os subconjuntos - Subcj. Suporte em “U” com aba/porca e Subcj. Suporte em “L” c/ porca.

Um operador especializado começa realizando o *setup* para a fabricação do Subcj. Suporte em “U” com aba/porca seguido da realização de toda a produção para o atendimento da demanda. Completado a produção, o operador faz o abastecimento de todos os itens produzidos no estoque de entrada da operação 50.

Em uma segunda etapa o operador realiza o *setup* para a fabricação do Subcj. Suporte em “L” c/ porca, e realiza também a fabricação de toda a produção para o atendimento da demanda. Completado a produção, o operador faz o abastecimento de todos os itens fabricados no estoque de entrada da operação 20.

O quadro 6.3 mostra os elementos para a construção do modelo computacional e a Figura 6.9 mostra o leiaute do modelo construído no ProModel.

O segundo modelo computacional é referido ao modelo conceitual da Figura 6.6 que representa o subprocesso de Subcjs. Montagem dos Braços. Neste modelo um soldador especializado começa realizando a montagem do Subcj. Braço Interno LE num volume de produção que atenda a demanda de montagem, e vai colocando todos os subconjuntos produzidos no estoque de entrada da operação 30. Em uma segunda etapa o soldador coloca sobre um carrinho manual todos itens necessários à montagem completa dos Sucjs. Braços LE e LD e transporta o carrinho até próximo ao dispositivo de montagem da operação 30 onde o soldador realiza a montagem de 01 Subcj. Braço LE e 01 Subcj. Braço LD por vez, colocando os subconjuntos montados nos estoques de saídas. O carrinho manual tem capacidade máxima para transportar peças suficientes para a realização da montagem de 30 pares de Sucjs. Braços LE e LD, devendo o operador repetir a operação quantas vezes for necessária para o atendimento da demanda. O transporte para a operação 40 de todo estoque produzido é realizado em uma só vez ao final do turno de trabalho pelo “Abastecedor” do sistema de logística da empresa.

O quadro 6.4 mostra os elementos para a construção do modelo computacional e a Figura 6.10 mostra o leiaute do modelo construído no ProModel.

O terceiro modelo computacional é referido ao modelo conceitual da Figura 6.7 que representa o subprocesso de Subcjs. Braços LE/LD e Placas. Neste modelo será aproveitada a capacidade ociosa de uma célula robotizada que têm seu leiaute idealizado para que o robô não fique parado, ou seja, enquanto o operador realiza a preparação de um produto em um dispositivo na posição “mesa 1” o robô deve estar soldando um outro produto em outro dispositivo na posição “mesa 2”, deste modo, o robô estará sempre soldando em uma das

posições enquanto o operador estará tirando a peça produzida e preparando uma nova peça na outra posição. Atualmente no turno 2, o dispositivo da posição “mesa 1” está sendo utilizado para a fabricação de um produto denominado “Travessa 521” (que não pertence ao nosso sistema de manufatura) e o dispositivo da posição “mesa 2” está ocioso, fazendo com que o robô fique parado durante a etapa de *setup* do operador. Com o objetivo de aproveitar este tempo ocioso o dispositivo na posição “mesa 2” será utilizado para a fabricação dos subconjuntos, sendo que a cada vez será produzido “01 Kit” contendo: 01 Subcj. Braço LE; 01 Subcj. Braço LD e 02 Placas. O transporte para a operação 50 e 70 de todo estoque produzido é realizado em uma só vez ao final do turno de trabalho pelo “Abastecedor” do sistema de logística da empresa.

O quadro 6.5 mostra os elementos para a construção do modelo computacional e a Figura 6.11 mostra o leiaute do modelo construído no ProModel. Apesar de serem necessários para a construção do modelo, os elementos referentes ao produto “Travessa 521” (que não pertence ao nosso sistema de manufatura) não será demonstrado no quadro 6.6 por não serem objeto deste trabalho.

O quarto e último modelo computacional é referido ao modelo conceitual da Figura 6.8 que representa o subprocesso da Linha de Montagem Final “Eixo SW”. Uma “linha de montagem” ou “leiaute em linha” ou “arranjo físico por produto” tem como característica principal à disposição dos equipamentos segundo um roteiro predefinido, sendo que, em um “estágio inicial” ou em uma “primeira operação” o produto começa a ser formado e nos estágios ou operações seguintes vão se acrescentando valores até a formação do produto final. Deste modo, é comum que os equipamentos de um estágio ou operação estejam dispostos próximos dos equipamentos do estágio ou operação seguinte e com uma ligação entre eles que possibilite a transferência do produto, um a um, de um estágio para outro até o estágio ou operação final. Neste modelo as atividades da operação 50 até a operação 100 serão realizadas segundo as características de um arranjo físico por produto e ao chegar na última operação o produto “Eixo SW” estará em seu estado final. A proximidade entre os estágios, característica comum de um arranjo físico por produto, não foi possível neste modelo por causa do aproveitamento de recursos já instalados e das restrições dos espaços físicos disponíveis, criando assim, uma situação especial para a transferência do produto entre os estágios.

O quadro 6.6 mostra os elementos para a construção do modelo computacional e a Figura 6.12 mostra o leiaute do modelo construído no ProModel.

A programação dos quatros modelos inseridos no ProModel, estão mostradas no Anexo 5.



<b>PROCESSO:</b>	<b>MONTAGEM DO SUBCJS. SUP. EM "L" C/ PORCA E SUP. "U" C/ ABA/PORCA</b>		
<b>LOCAL:</b>	<b>SUBCONJUNTOS SOLDA PROJEÇÃO</b>		
<b>LOCATIONS</b>	<b>ENTITIES</b>		<b>ARRIVALS</b>
	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	
Estoque de Entrada			Suporte em U c/ Aba
Estoque de Saida			Suporte em L
Estoque Operação 20			Porcas M 8x1,25
Estoque Operação 50			
Máquina de Solda Projeção	Suporte em U c/ Aba	Subcj. Suporte em "U" com aba/porca ( <b>SSUCAP</b> )	
		Sucj. Suporte em "L" c/ porca ( <b>SSLCP</b> )	
	Porcas M 8x1,26	Lote Subcj. Suporte em "U" com aba/porca	
	Suporte em L	Lote Sucj. Suporte em "L" c/ porca	

Quadro 6.3 Elementos ProModel - Subcjs. Solda Projeção

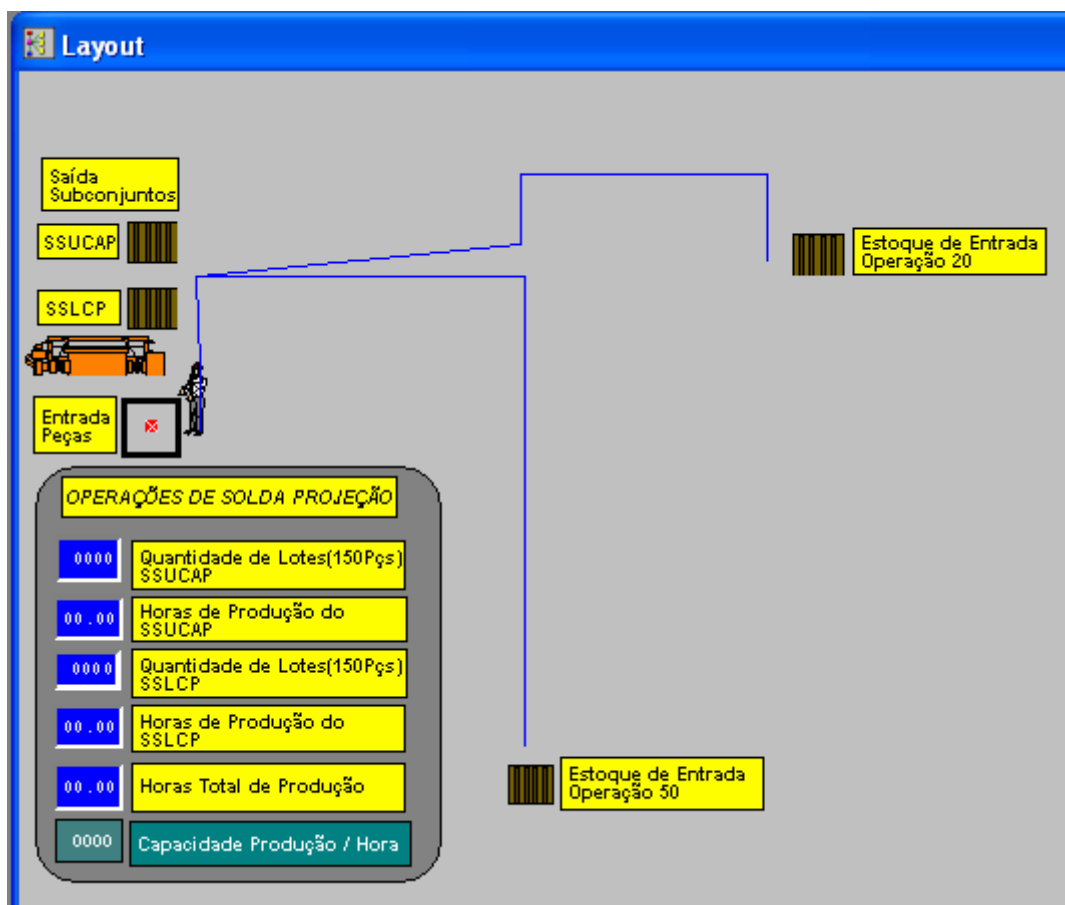


Figura 6.9 Modelo no ProModel – Subcjs. Solda Projeção

<b>PROCESSO:</b>	<b>MONTAGEM DOS SUBCJS. BRAÇOS LE / LD</b>		
<b>LOCAL:</b>	<b>SUBCONJUNTOS MONTAGEN DOS BRAÇOS</b>		
<b>LOCATIONS</b>	<b>ENTITIES</b>		<b>ARRIVALS</b>
	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	
Estoque de Entrada			Sucj. Suporte em "L" c/ porca ( <b>SSLCP</b> )
Estoque de Saida Operação 20			Braço Interno LE
			Subcj. Braço Interno LE ( <b>SBRINLE</b> )
Carrinho Transporte Manual			Braço Esxterno LE
	Braço Esxterno LD		
Estoque de Saida Operação 30	Buchas		
	Braço Interno LD		
Dispositivo Montagem Operação 20	Sucj. Suporte em "L" c/ porca ( <b>SSLCP</b> )	Subcj. Braço Interno LE ( <b>SBRINLE</b> )	Carro Transporte Manual
	Braço Interno LE		
Dispositivo Montagem Operação 30	Braço Externo LE	Subcj. Braço LE ( <b>SBLE</b> )	Carro Transporte Manual
	Braço Externo LD,		
	Buchas		
	Braço Interno LD		
	Lote 30 SBRINLE	Subcj. Braço LD ( <b>SBLD,</b> )	Lote 30 BRINLD
	Lote 30 BELE		
	Lote 30 BELD		
	Lote 30 Buchas		

Quadro 6.4 Elementos ProModel - Subcjs. Montagem dos Braços

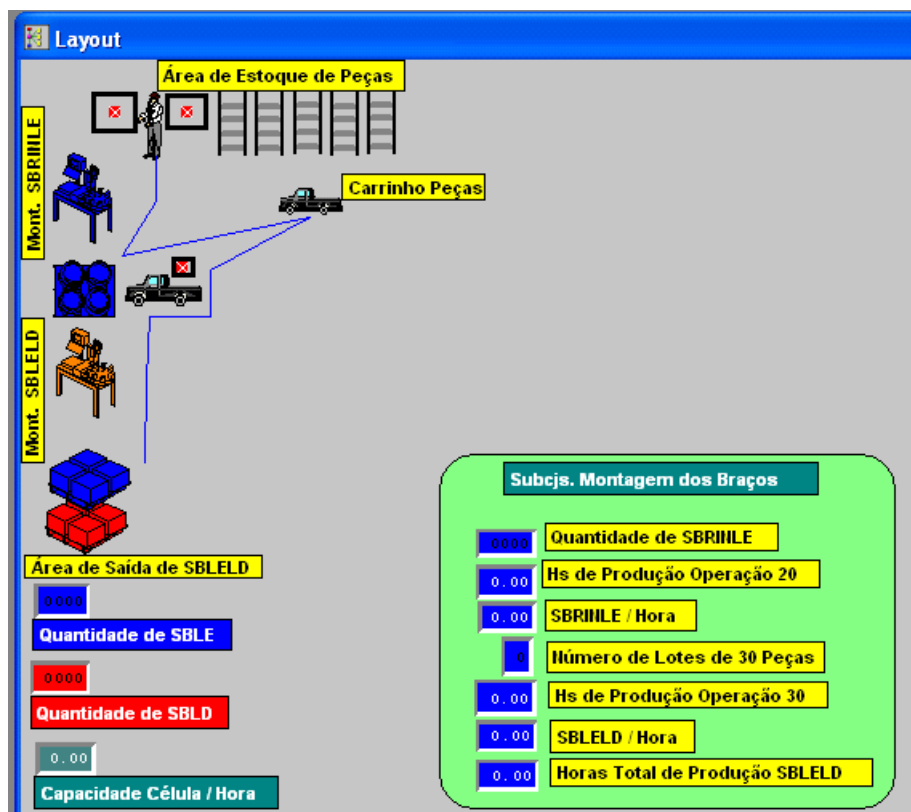


Figura 6.10 Modelo no ProModel – Subcjs. Montagem dos Braços

<b>PROCESSO:</b>	<b>SUBCONJUNTOS BRAÇOS LE/LD E PLACAS</b>		
<b>LOCAL:</b>	<b>CÉLULA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA</b>		
<b>LOCATIONS</b>	<b>ENTITIES</b>		<b>ARRIVALS</b>
	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	
Estoque de Entrada			Subconjunto Braço LE ( <b>SBLE</b> ) Subconjunto Braço LD ( <b>SBLD</b> ) Placas Travas
Estoque de Saída			
Dispositivo Montagem na posição "mesa 2"	Subcj. Braço LE ( <b>SBLE</b> )	Subcj. Braço LE Soldados ( <b>SBLE</b> )	
	Subcj. Braço LD ( <b>SBLD</b> )	Subcj. Braço LD Soldados ( <b>SBLD</b> )	
	Placas		
	Travas	Placas	

Quadro 6.5 Elementos ProModel - Subcjs. Braços LE/LD e Placas

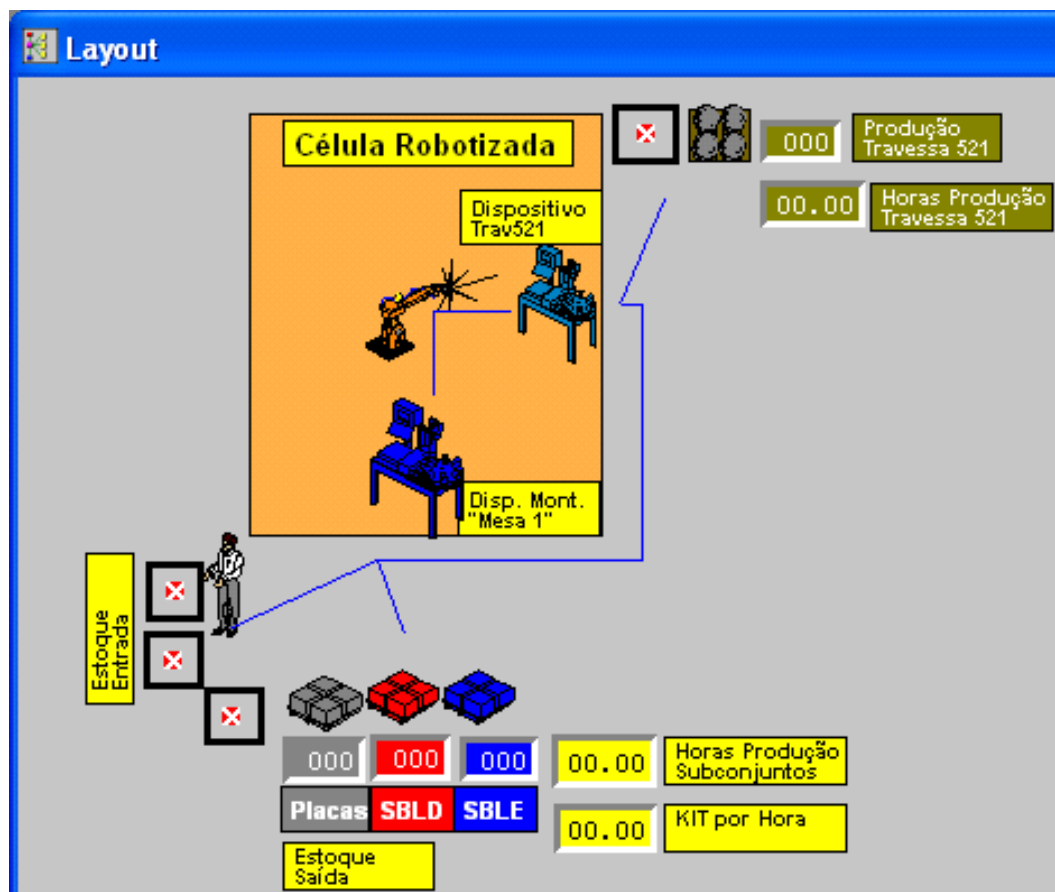


Figura 6.11 Modelo no ProModel – Subcjs. Braços LE/LD e Placas

PROCESSO:	MONTAGEM FINAL DO "EIXO SW"		
LOCAL:	LINHA DE MONTAGEM FINAL "EIXO SW"		
LOCATIONS	ENTITIES		ARRIVALS
	Entrada	Saída	
Estoque de Entrada			Subcj. Braço LE Soldados (SBLE)
			Subcj. Braço LE Soldados (SBLD)
			Subcj. Suporte em "U" com aba/porca (SSUCAP)
Estoque de Saída			Tubos
			Olhetes
			Suporte em "U"
Operação 50 - Montagem de Kit	Subcj. Braço LE Soldados (SBLE) Subcj. Braço LE Soldados (SBLD) Subcj. Suporte em "U" com aba/porca (SSUCAP) Tubos Olhetes Suporte em "U"	Subconjunto "Eixo SW"- KIT (SESW_KIT)	
Operação 60 - Montagem "Eixo SW"	Subconjunto "Eixo SW"- KIT (SESW_KIT)	Subconjunto "Eixo SW"- Sem Placas (SESW_SEM_PLACAS)	
Operação 70 - Soldagem Manual do "Eixo SW"	Subconjunto "Eixo SW"- Sem Placas (SESW_SEM_PLACAS)	Subconjunto "Eixo SW"- Reparado (SESW_Reparado)	
Operação 80 - Montagem das Placas no "Eixo SW"	Subconjunto "Eixo SW"- Reparado (SESW_Reparado)	Subconjunto "Eixo SW"- Completo (SESW_Completo)	
Operação 90 - Usinagem do "Eixo SW"	Subconjunto "Eixo SW"- Completo (SESW_Completo)	Subconjunto "Eixo SW"- Usinado (SESW_Usinado)	
Operação 100 - Acabamento / Inspeção	Subconjunto "Eixo SW"- Usinado (SESW_Usinado)	"Eixo SW" (Eixo_SW)	

Quadro 6.6 Elementos ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW”

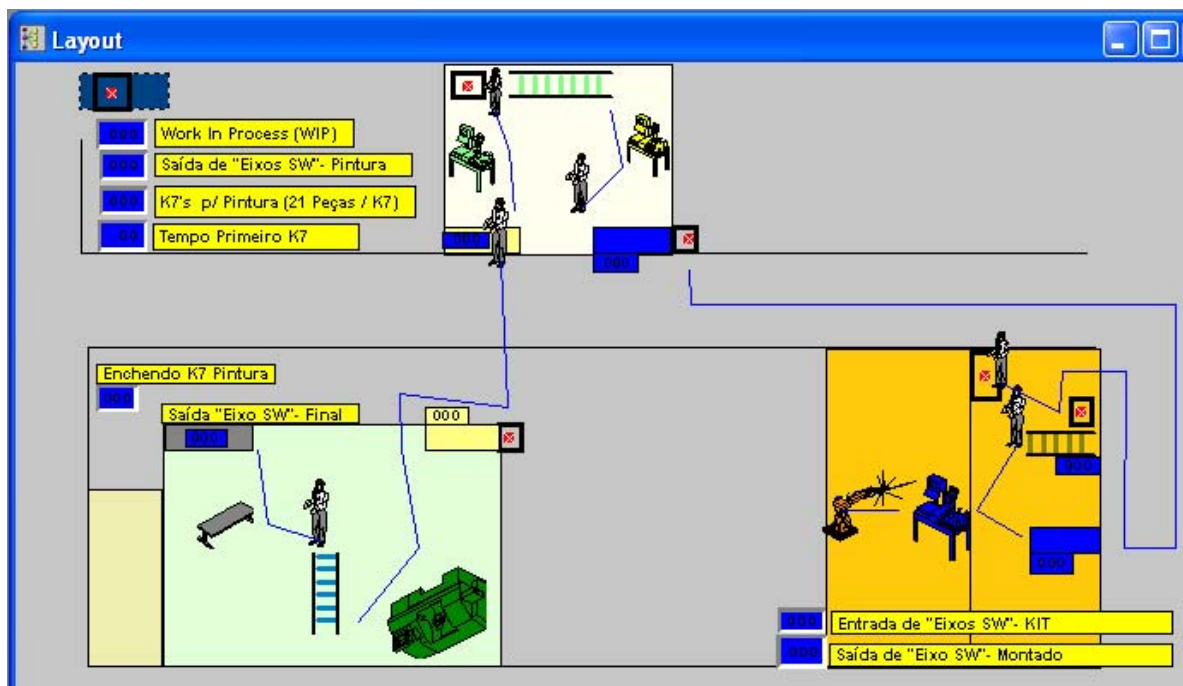


Figura 6.12 Modelo no ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW”

## 6.6 Verificação e Validação dos Modelos

Em todos os passos anteriores da aplicação da simulação houve sempre a participação e envolvimento dos especialistas da engenharia de desenvolvimento responsáveis pela implantação deste novo sistema de manufatura. Após a construção de um modelo era efetuada a simulação, monitorando-se de perto cada operação através do recurso de animação possibilitado pelo *software*, verificando, deste modo, se o modelo funcionava conforme pretendido, sempre com a preocupação de que o modelo refletisse o sistema real que se estava idealizando.

Validar um modelo é avaliar o quanto ele se aproxima do sistema real assegurando que ele sirva para o propósito ao qual foi criado. Neste trabalho, o processo de validação contou com a dificuldade do sistema real ainda não existir, o que tornou impossível validá-lo através desta comparação (*Turing test*).

Buscou-se então validar os modelos através da comparação dos resultados obtidos com a simulação e os resultados esperados pela equipe de especialistas e futuros usuários do sistema, ou seja, foram feitas rodadas de simulação com dados teóricos e/ou suposições feitas pelos participantes da equipe, que analisando os resultados aceitaram que o modelo representativo do problema estava de acordo com os propósitos para o qual foi criado. Nesta fase, foi também utilizado o recurso de animação possibilitado pelo *software*, através do qual, foi possível integrar facilmente os futuros usuários do sistema, além de motivá-los para o envolvimento com o estudo que foi realizado.

Como fechamento final do processo de validação foi realizado um documento de “Aceite” que credencia oficialmente o modelo de simulação criado como aceitável para o propósito do estudo.

## 6.7 Experimentação e Análise dos Resultados

Nesta fase são executadas as simulações e analisados os resultados obtidos de modo a avaliar a performance do novo sistema de manufatura que se pretende implantar. As avaliações da operacionalização do sistema e as necessidades ou não de melhorias ou correções serão analisadas pela equipe de especialistas responsáveis pelo desenvolvimento, com a participação dos futuros usuários do sistema. Deve fazer parte destas análises a capacidade máxima do novo sistema de manufatura, a avaliação na utilização da mão de obra especificada, a avaliação da utilização dos equipamentos adquiridos e/ou a serem adquiridos e os ajustes a serem realizados quando a demanda do cliente for maior ou menor que a capacidade máxima do sistema.

Antes da realização do experimento e análise dos resultados, as seguintes observações devem ser feitas:

- O desenvolvimento do novo sistema de manufatura teve como base uma demanda prevista de 39600 conjuntos por ano. (média de 150 conjuntos / dia), (*Takt time* – 3.5 min / conjunto)
- É esperado que a demanda prevista seja atendida em 01 turno de trabalho de 8,75 horas.
- Para a máquina de solda à projeção, célula robotizada e linha de montagem, existem um tempo de *setup* inicial que será deduzido no tempo de simulação.
- Tempos de *setup* que existam após o início da produção já estão programados no modelo.
- Os estoques intermediários de entrada e saída de peças são todos dimensionados para atender a produção de 01 turno, assim é esperado que não haja estoque em processo.
- O fluxograma da Figura 6.3 obtido no mapeamento do processo foi dividido em 04 arranjos físicos, que resultaram em 04 modelos computacionais com simulações independentes, porém, fica evidente a dependência estabelecida entre os modelos, sendo que o processo de um não poderá ter início se o seu anterior não tiver começado ou até mesmo já concluído sua produção.

Como foi descrito anteriormente na fase de formulação e planejamento do modelo, no fluxograma da Figura 6.3 estão apresentadas todas as atividades que devem ser executadas na fabricação do produto “Eixo SW”. Foram também representados no mesmo fluxograma os limites dos arranjos físicos definidos e as atividades que os compõe, destacando assim, uma interligação entre as atividades realizadas em cada tipo de arranjo físico, e por conseqüência, também uma interligação entre eles.

Como os modelos de simulação foram criados a partir dos modelos conceituais definidos em cada arranjo físico, e como cada arranjo físico está ligado entre si, os experimentos de simulação tiveram início pelo modelo da Figura 6.9 e foram acontecendo sucessivamente até o modelo da Figura 6.12.

Todos os experimentos de simulação foram realizados no *software* ProModel. Este *software* apresenta relatórios onde é possível obter informações sobre o percentual de tempo em que cada máquina ficou em operação (*Operation*), em preparação (*Setup*), inativa (*Idle*), bloqueada (*Blocked*), fora de operação (*Down*) e aguardando operação (*Waiting*), bem como sobre o percentual de tempo em que cada operador esteve trabalhando na produção. Para cada

um dos modelos foram, ainda, definidas variáveis que permitem avaliar a capacidade máxima de produção.

A Figura 6.13 apresenta as telas com os resultados da execução da simulação do modelo da Figura 6.9 - Subcjs. Solda Projeção - realizado no *software* ProModel.

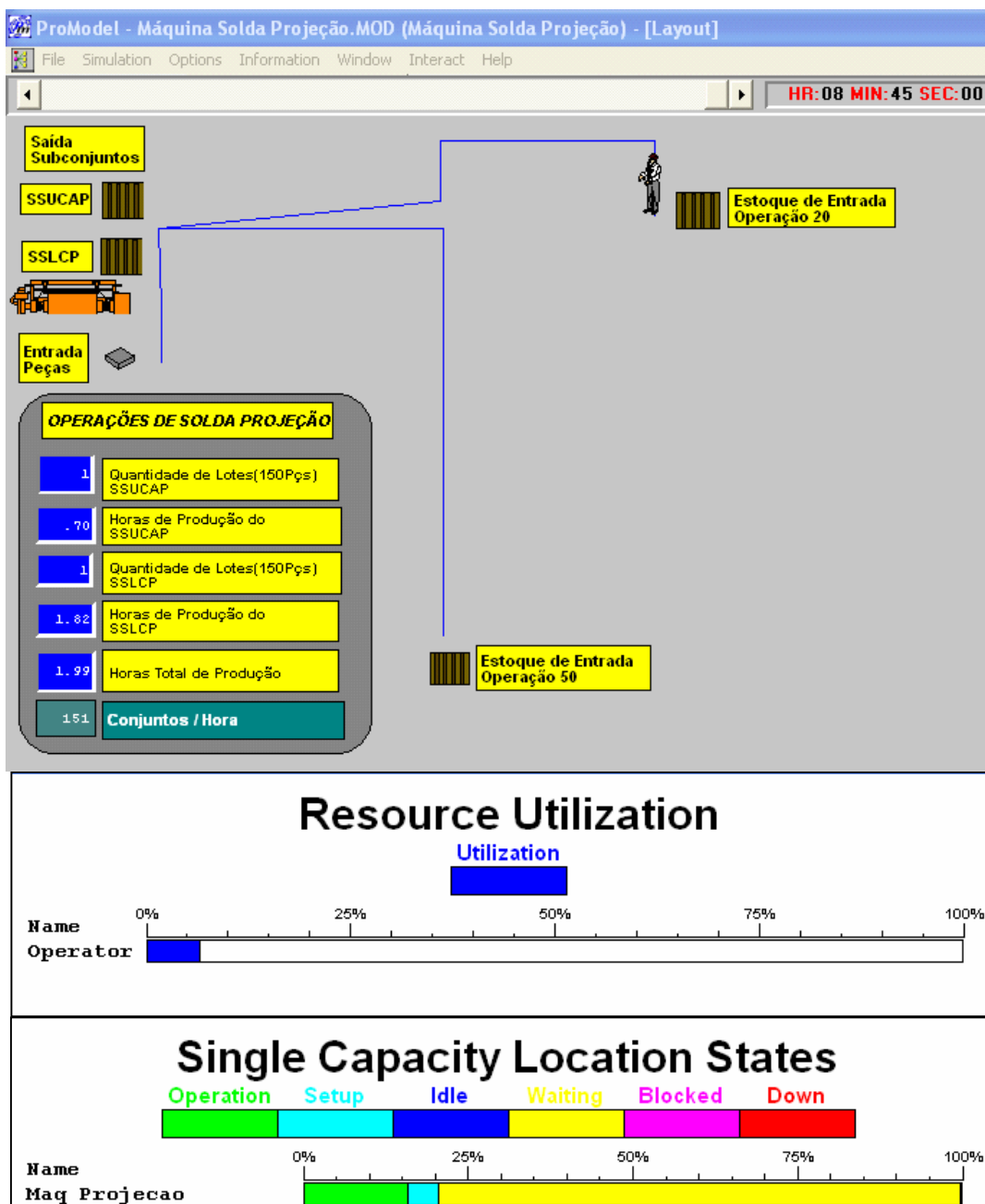


Figura 6.13 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Solda Projeção  
Máquina de Solda a Projeção

Por meio da análise dos resultados apresentados nos relatórios da Figura 6.13, pode-se verificar que para a produção da demanda prevista de 150 Subcjs. Suporte em “U” com

aba/porca (SSUCAP) e 150 Subcj. Suporte em “L” c/ porca (SSLCP) são necessárias 1,99 horas de disponibilidade da máquina de solda projeção e o mesmo tempo de utilização de uma mão de obra direta (MOD) para a execução do serviço. Pode-se observar também que é grande o percentual de tempo de inatividade tanto para a máquina quanto para o operador.

A Figura 6.14 apresenta as telas com os resultados da execução da simulação do modelo da Figura 6.10 - Subcjs. Montagem dos Braços - realizado no *software* ProModel.

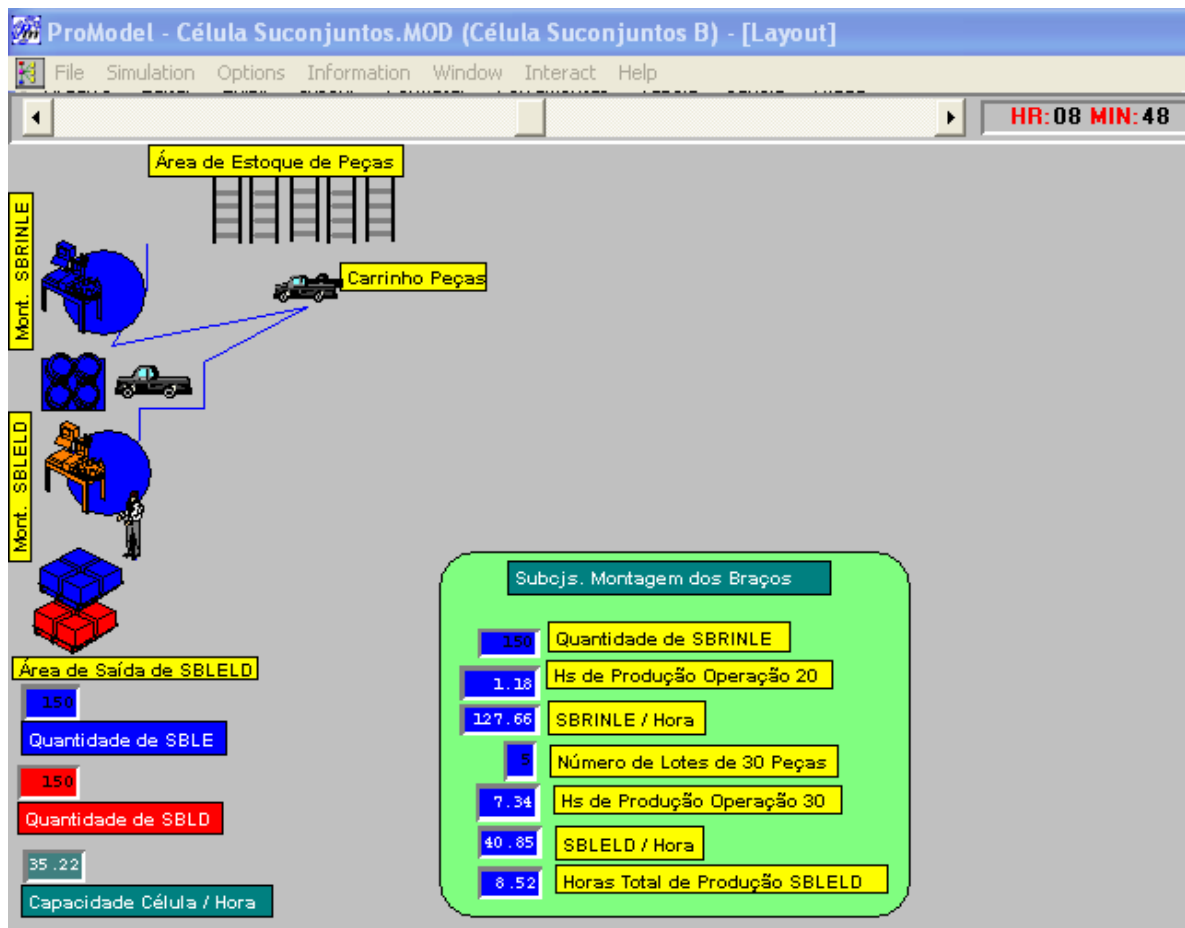


Figura 6.14 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Montagem dos Braços  
Célula de Montagem

Por meio da análise dos resultados apresentados na Figura 6.14, pode-se verificar que para a produção da demanda prevista de 150 Subcj. Braço LE (SBLE) e 150 Subcj. Braço LD (SBLD) são necessárias 8,52 horas de produção e que para isso é necessário a utilização de uma mão de obra direta (MOD) durante um turno de trabalho. Pode-se observar também que a parte da célula utilizada para a soldagem do Subcj. Braço Interno LE (SBRINLE) tem sua ocupação encerrada com 1,18 horas de trabalho, despertando assim para uma oportunidade de melhoria, onde um rearranjo da célula possibilite a liberação do equipamento de solda para utilização em outros serviços.



A Figura 6.15 apresenta as telas com os resultados da execução da simulação do modelo da Figura 6.11 - Subcjs. Braços LE/LD e Placas - realizado no *software* ProModel.

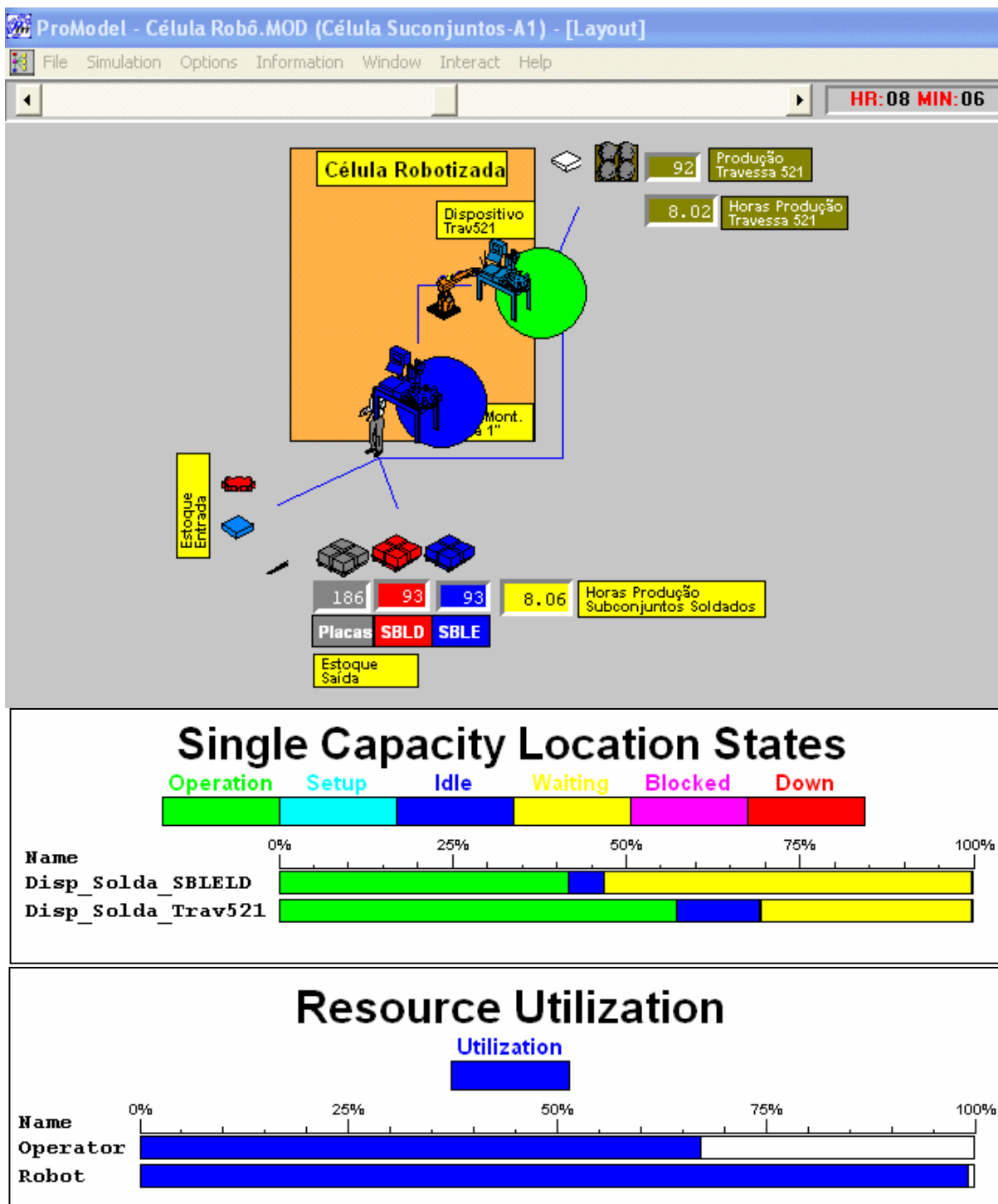


Figura 6.15 Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Braços LE/LD e Placas  
Célula Robotizada

Por meio da análise dos resultados apresentados nos relatórios da Figura 6.15, pode-se verificar que não foi possível atender a demanda prevista de 150 Subcj. Braço LE Soldados (SBLE) e 150 Subcj. Braço LD Soldados (SBLD). Pode-se observar também que a ocupação

de 100% do robô conforme previsto foi atendida, porém, o tempo de utilização exigido pelo produto “Travessa 521” impossibilita que as metas de produção para os novos produtos sejam alcançadas. Uma segunda execução de simulação foi realizada, agora considerando a célula trabalhando somente na montagem dos subconjuntos objetos deste trabalho, e sua análise é feita a seguir com o auxílio da Figura 6.16.

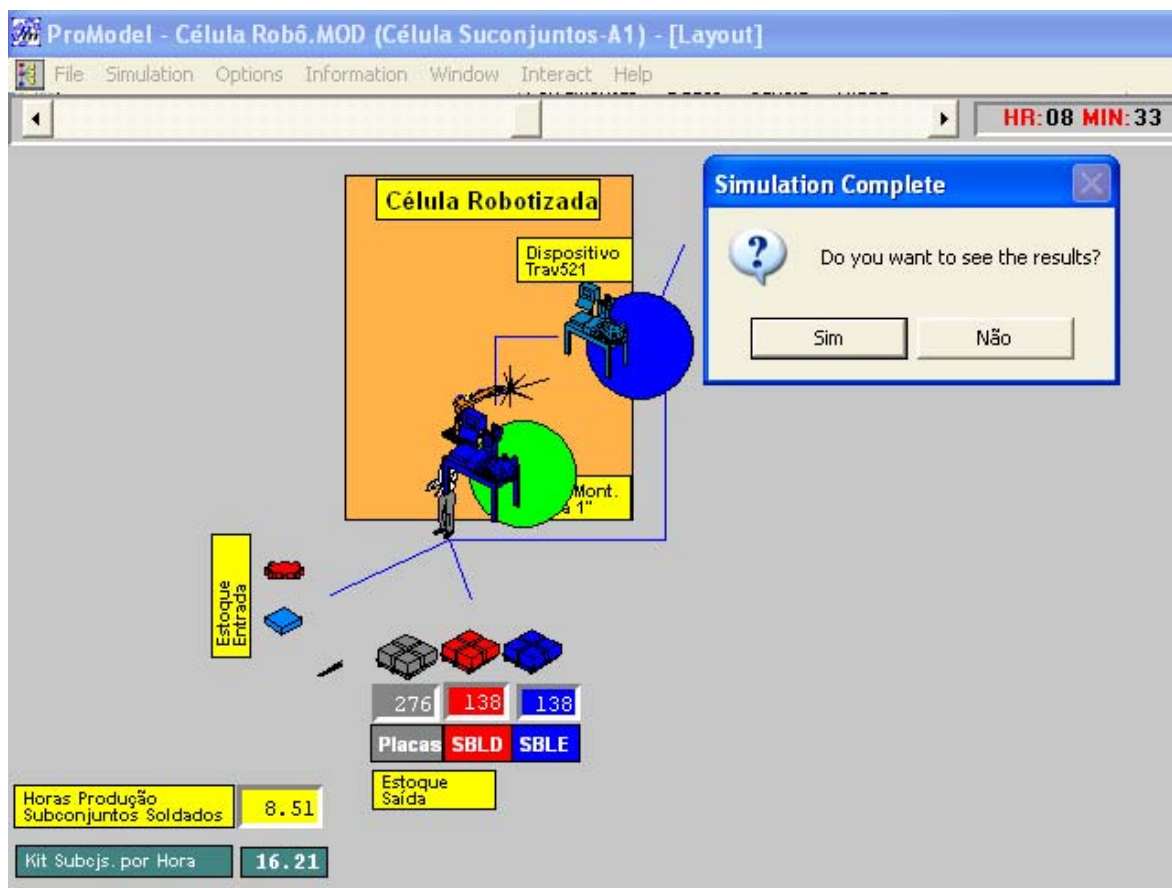


Figura 6.16 Resultados da Segunda Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Braços e Placas Célula Robotizada

Para esta segunda simulação foram desabilitadas todas as definições anteriormente realizadas para o produto “Travessa 521”, e através da análise dos resultados apresentados na tela da Figura 6.16, pode-se verificar que ainda não foi possível atender totalmente a demanda prevista de 150 Subcj. Braço LE Soldados (SBLE) e 150 Subcj. Braço LD Soldados (SBLD). Porém, fica identificada que desta maneira é possível a fabricação de 16,12 kits de subconjuntos por hora, portanto é necessário trabalhar mais 3,5 horas para atendimento da demanda prevista.

A Figura 6.17 apresenta as telas com os resultados da execução da simulação do modelo da Figura 6.12- Linha de Montagem Final “Eixo SW” - realizado no *software* ProModel.

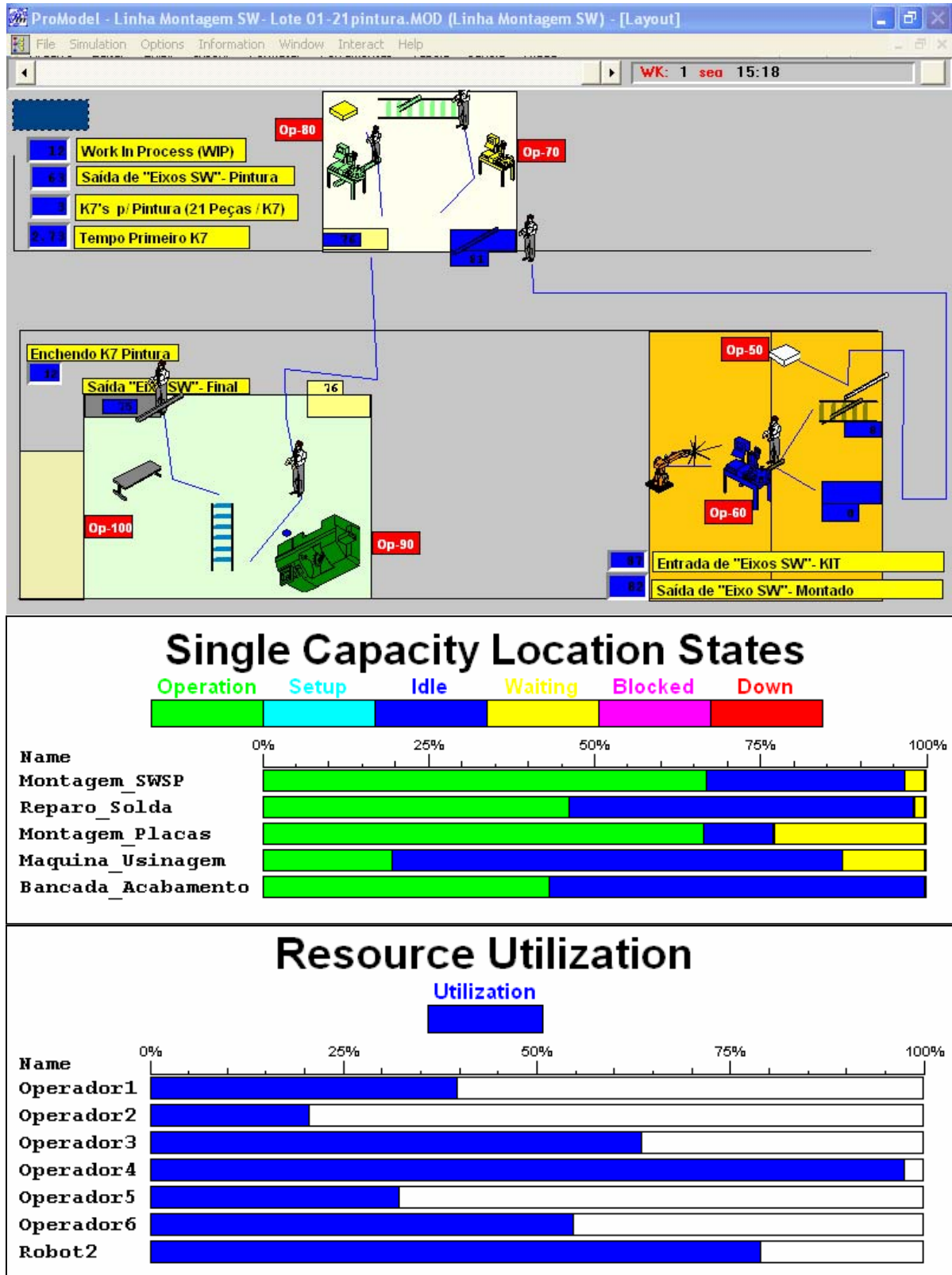


Figura 6.17 Resultados da Execução da Simulação ProModel  
Linha de Montagem Final “Eixo SW”

Por meio da análise dos resultados apresentados nos relatórios da Figura 6.17, pode-se realizar as seguintes observações:

- Não é possível atender a demanda prevista de 150 “Eixos SW” em apenas um turno de trabalho.
- Os operadores 1,2,5 e 6 tem suas utilizações abaixo de 50 % do tempo disponível.
- As operações 60 e 80 estão apresentando “saídas” menores que as “entradas”.
- A tarefa de transferência de produtos um a um entre as operações 60 e 70 foi considerada como cansativas para o operador.

Conforme pode ser visto no Anexo 4, o cálculo para o balanceamento desta linha de montagem apresenta como 07 a indicação para o número de postos de trabalho para um tempo de ciclo (*Takt time*) de 3,5 min por conjunto “Eixo SW” montado. Como pode ser observado pelos tempos disponíveis nas folhas de coleta de dados os tempos das operações 60, 70 e 80 estão distantes do tempo de ciclo de produção (*Takt time*), portanto o resultado de não atendimento da demanda já era esperado. Pode-se notar também que o número de postos de trabalho disponíveis para o sistema produtivo é 06 e que o aumento de 01 posto de trabalho é indicado no cálculo de balanceamento da linha, o que possibilitaria a divisão das tarefas destas operações, porém, devido às condições restritas de área livre esta possibilidade foi descartada.

Considerando que neste momento nenhuma melhoria técnica será realizada para diminuir os tempos das operações e observando os resultados de utilização dos operadores apresentados na Figura 6.13 e 6.17, foram analisadas e sugeridas as mudanças apresentadas no Quadro 6.7 para melhorar a utilização dos operadores do sistema de manufatura e aumentar capacidade da linha de montagem.

Operador	Mudanças Sugeridas
1	Retirado do sistema produtivo
2	Passou a executar também a operação 50
3	Passou a realizar parte do Trabalho da Operação 80
4	Dividiu sua operação com o operador 3
5	Passou a realizar também a operação 10 - Máquina de Solda Projeção
6	Passou a fazer o transporte de peças da Operação 60 para a Operação 70

Quadro 6.7 Mudanças Sugeridas – Linha de Montagem Final “Eixo SW”

Essas mudanças foram colocadas no modelo da Figura 6.11 - linha de montagem “Eixo SW”, e uma nova rodada de simulação foi realizada.

A Figura 6.18 apresenta as telas com os resultados da execução da simulação do modelo modificado da Figura 6.12, realizado no *software* ProModel.

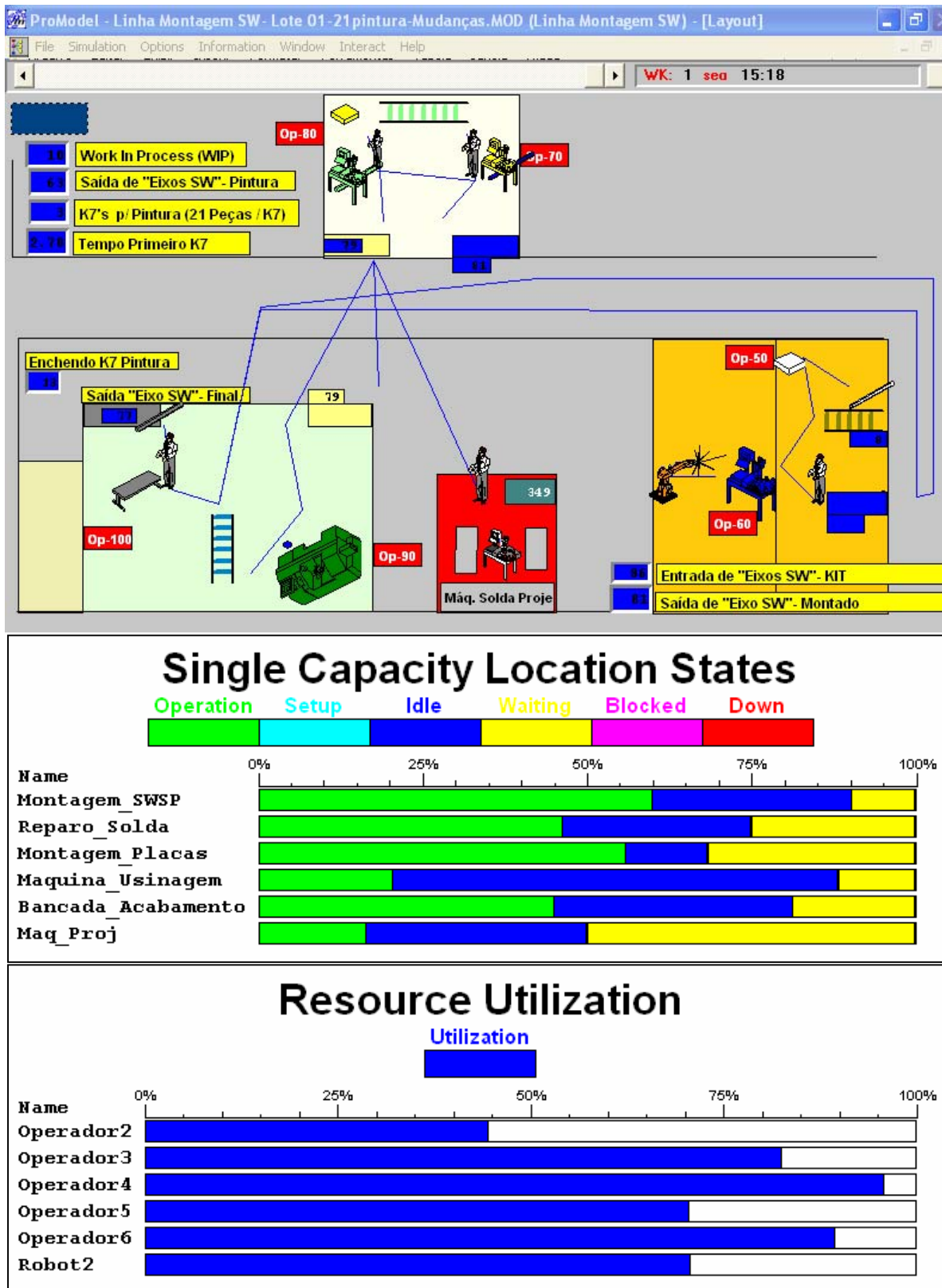


Figura 6.18 Resultados da Execução da Simulação ProModel  
Linha de Montagem Final “Eixo SW” com Modificações

Por meio da análise dos resultados apresentados nos relatórios da Figura 6.18, pode-se verificar que as mudanças sugeridas apresentaram os seguintes resultados:

- Aumento médio de 3,9% na capacidade de produção da linha de montagem.
- Em função da redistribuição das tarefas os operadores 2,5 e 6 apresentam uma elevação média de 20% em suas utilizações.
- O operador 1 pode ser retirado do sistema sem causar problemas no funcionamento do sistema.
- A produção de Subcjs. Solda Projeção (Figura 6.13) cuja demanda prevista é de 300 subconjuntos (SSUCAP) e (SSLCP) foi realizada pelo operador 5 durante o período de funcionamento da linha, o que elimina a previsão de contratação de 01 mão de obra direta para execução de trabalho na máquina de solda projeção.

Até agora todas as experiências de simulação para a linha de montagem foram realizadas com um operador realizando o transporte de peças em lote unitário. Por um outro lado, é necessário ressaltar que se a capacidade da linha é 79 conjuntos por turno, então o operador 5 que está realizando o transporte da operação 60 para 70 vai realizar este movimento 158 vezes, fazendo em média um percurso de 10 Km ao final da jornada de trabalho.

Uma solução a ser considerada para este problema é a realização de uma defasagem no início da jornada de trabalho da operação 60 em relação às operações posteriores, possibilitando desta forma o transporte em lotes maiores. A questão neste momento é definir o tamanho do lote e conseqüentemente o tempo de defasagem na jornada de trabalho. Não é difícil calcular a partir dos resultados apresentados na Figura 6.18, que a quantidade média de peças produzidas na operação 70 é de 20 peças por hora, e que a operação 60 consome 2 horas e 07 min para produzi-las.

A Figura 6.19 apresenta as telas com os resultados da execução da simulação considerando que o operador 3 iniciou sua jornada de trabalho 2 horas defasadas dos outros operadores da linha de montagem, e que o operador 6 realizou o transporte em lote de 20 conjuntos.

Se realizada a comparação dos resultados apresentados na Figura 6.18 e os resultados da Figura 6.19, pode-se verificar que o operador 6 teve sua utilização diminuída consideravelmente em função da redução do número de movimentos de transporte realizados. Pode-se observar também que a realização do transporte em lote de 20 peças não trouxe mudanças significativas no desempenho da linha.

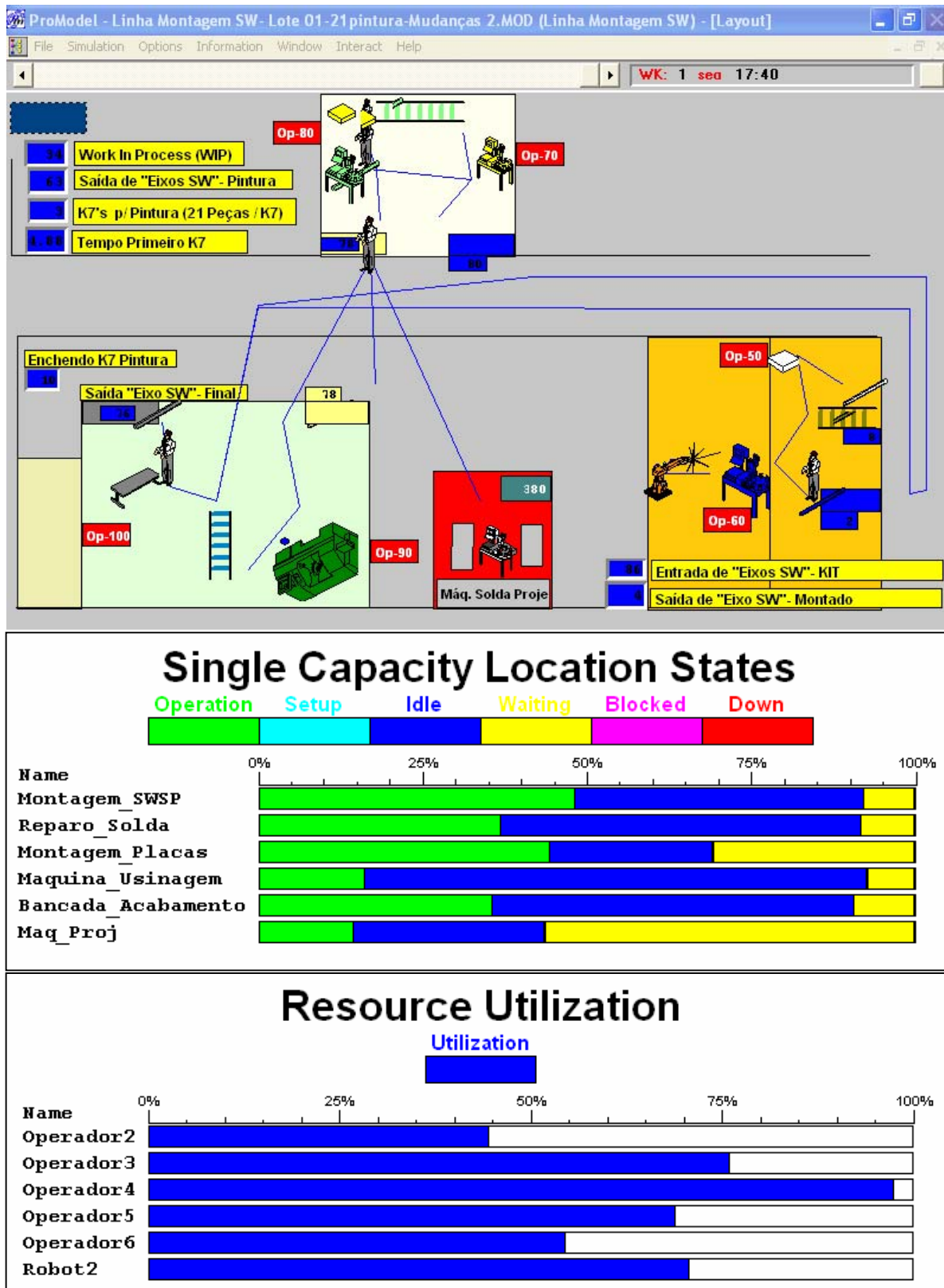


Figura 6.19 Resultados da Execução da Simulação ProModel  
 Linha de Montagem Final “Eixo SW” Transporte em Lote de 20 Peças

Até este momento o trabalho foi realizado buscando informações e fazendo ajustes para que o novo sistema de manufatura fosse implantado para atender a demanda prevista de 150 conjuntos por dia. Porém, junto com a informação de aprovação do PPAP o cliente enviou um programa de produção para o primeiro ano apresentando uma demanda 67% menor do que a prevista. Nesta nova condição, o sistema deve ser ajustado para produzir 50 conjuntos por dia em um turno de 8,8 horas (5,7 conjuntos por hora) (*Takt time* – 10,5 min por conjunto). Considerando estas alterações e estando o novo sistema de manufatura em fase final de implantação, foi solicitado pelo gerente de produção aos responsáveis pelo desenvolvimento, que ajudassem com informações para as seguintes decisões:

- Quantos funcionários devem ser contratados?
- Quantos devem ser soldadores e quantos devem ser ajudantes?
- Como esses funcionários devem ser distribuídos?
- Qual será o nível de utilização de cada funcionário?
- Por quanto tempo os equipamentos e os postos de trabalhos poderão ser utilizados em outras tarefas?
- É possível alterar o modelo de simulação com vista à realização de treinamentos?

É comum nesta fase de implantação que funcionários sejam contratados e colocados em postos de trabalho sem conhecer ou entender completamente o sistema de produção do qual faz parte, portanto não se integrando ou interagindo completamente com os diversos tipos de tarefas executadas dentro deste sistema. Quando a gerência de produção necessita realizar remanejamento de serviços, redistribuição de tarefas e/ou melhorias na utilização destes funcionários, eles apresentam resistência e/ou insatisfação muitas vezes por não conseguirem entender os motivos das alterações. Este trabalho pretende considerar neste momento que o recurso de animação apresentado pelo *software* de simulação é um meio de fácil entendimento que pode ser usado na integração e treinamento de novos funcionários com o sistema produtivo no qual vão trabalhar.

A Figura 6.20A até 6.20D apresenta as telas com os resultados da execução da simulação no *software* ProModel, para cada um dos modelos e de acordo com as novas condições de demanda.

O operador 1 em vermelho teve seu turno de trabalho dividido nos postos de trabalhos onde estão indicados. A partir dos resultados obtidos, foi montado o Quadro 6.8 com um relatório de resultado da simulação. Pode-se observar que neste relatório estão todas as informações para as tomadas de decisões necessárias à implantação do novo sistema de manufatura. O operador 3 da célula robotizada é um operador pertencente a outro sistema de



manufatura e que tem seu tempo disponível aproveitado para este novo sistema, portanto ele é presente em qualquer que seja o volume de demanda e não está indicado no quadro.

Relatório de Resultados de Simulação																
Software Utilizado		ProModel - Versão 4.22			Data de Realização		03/003/2007									
Sistema de Manufatura		Montagem "Eixo SW"			Data de Revisão		03/003/2007									
Produto Final		"Eixo SW"			Responsável Simulação		José Benedito									
Cliente					Responsável Produção		Mário Coura									
Demanda		13200 - Conjuntos por ano			Total de Funcionários		4									
Oper.	Operadores			Contratar?		Jornada de Trabalho		Jornada por Posto		Modo de Operação						
	Simulação	Soldador	Ajudante	Sim	Não	Início	Fim	Início	Fim							
100	Operador1	Sim		X		05:30	15:18	10:30	15:18	Executa todo lote até o fm da jornada de trabalho						
10									05:30	06:40	Executa a operação e realiza o transporte					
20									06:40	10:30	Executa todo o lote e vai para a operação 100					
30																
40	Operador4		Sim		X	15:18	01:06	15:18	19:50	Executa todo o Lote						
50	Operador2	Sim		X		05:30	15:18	05:30	15:18	Executa a operação em lotes de 25 conjuntos - a cada lote segue para operação 70						
60																Executa a operação em lotes de 25 conjuntos
70																
80	Operador3	Sim		X		07:40	15:18	07:40	15:18	Executa a operação em lotes de 10 conjuntos						
90																Executa a operação em lotes de 10 conjuntos

Quadro 6.8 Relatório de Resultado de Simulação – Sistema de Manufatura “Eixo SW”

Informações para Implantação - Demanda 50 Conjuntos/dia

## 6.8 Considerações Finais

Este capítulo fez uma aplicação de simulação computacional que avaliou a performance de um sistema de manufatura que ainda não existe, ou seja, avaliou como este novo sistema deverá funcionar futuramente.

A aplicação permitiu verificar na prática a importância do uso de uma metodologia para o desenvolvimento de um estudo de simulação. Para o caso deste trabalho foi usada a metodologia proposta de Harrel *et al.* (2002) “etapas em um estudo de simulação”.

Foi realizado também um estudo de caso para o atendimento de uma condição especial de demanda, 67% menor do que aquela definida para a criação do novo sistema de manufatura.

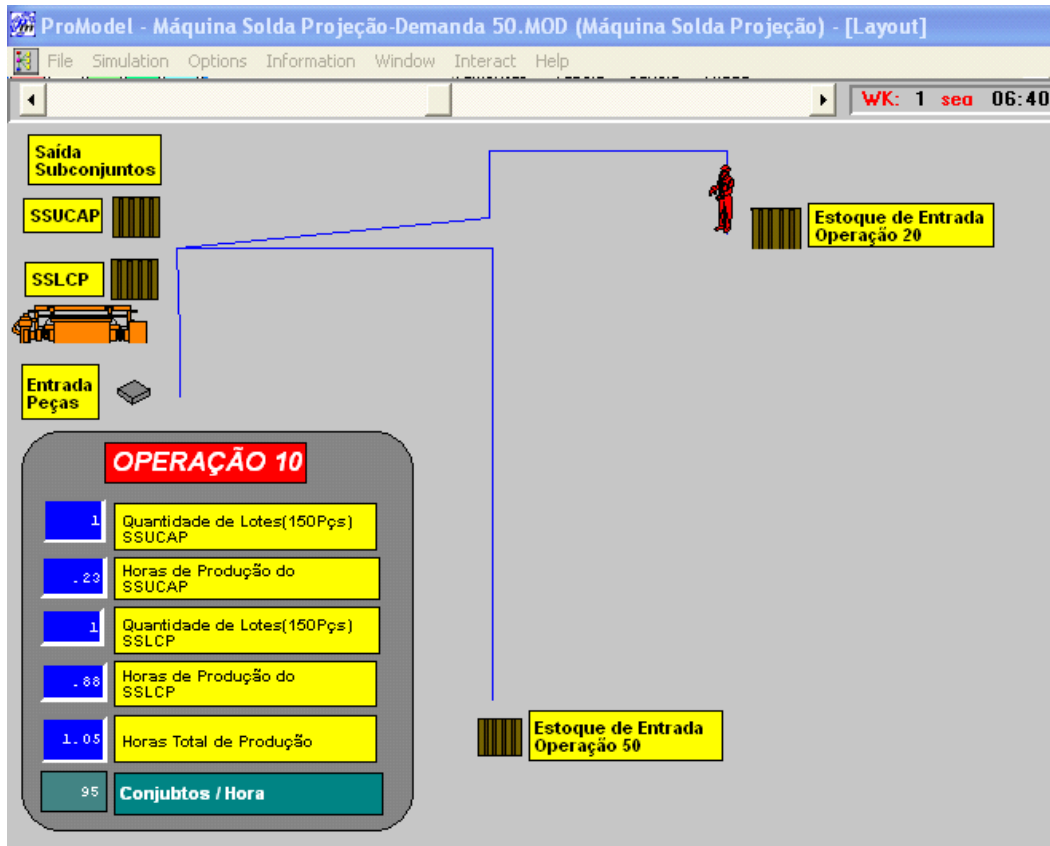


Figura 6.20A - Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Solda Projeção - Demanda 50 Conjuntos/dia

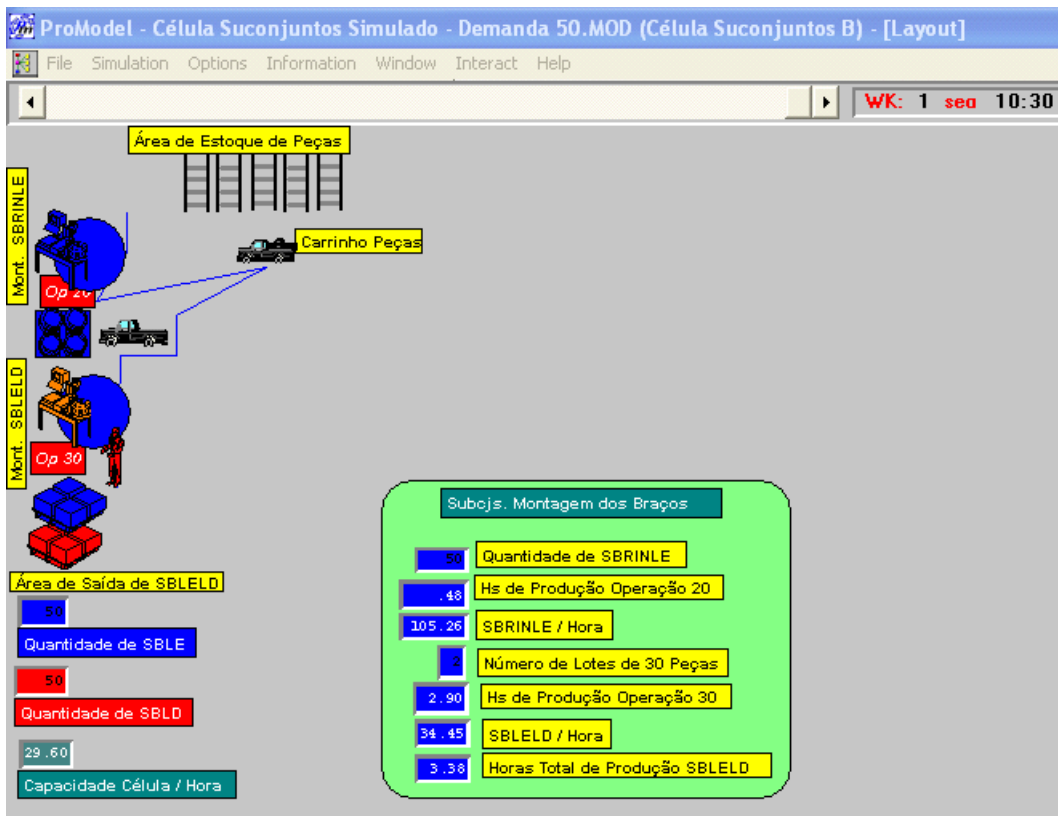


Figura 6.20B - Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Montagem dos Braços - Demanda 50 Conjuntos/dia

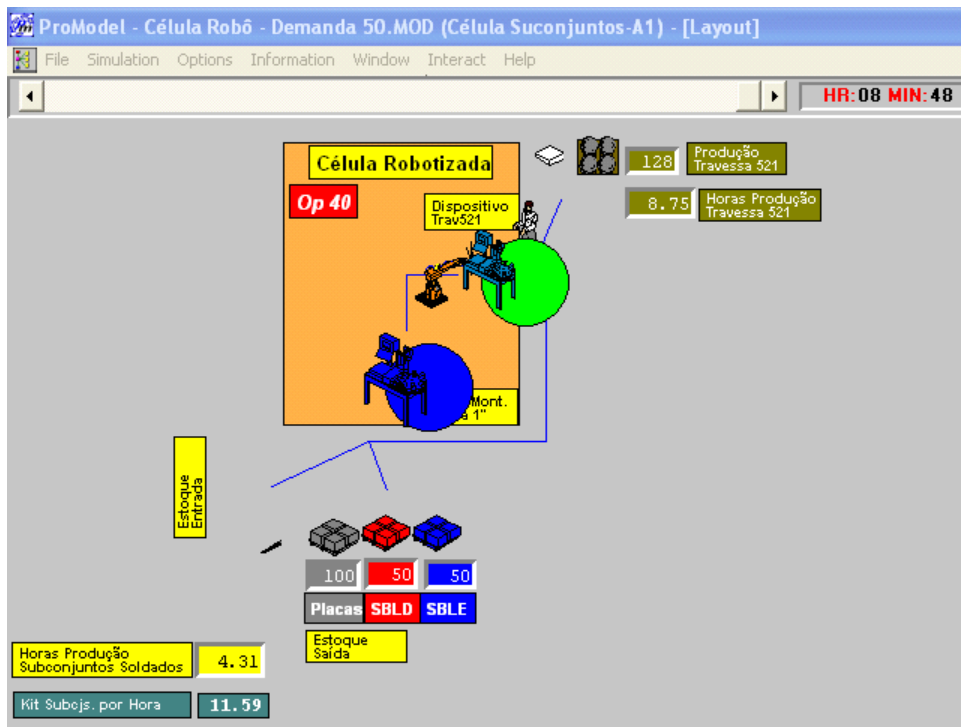


Figura 6.20C - Resultados da Execução da Simulação ProModel – Subcjs. Braços LE/LD e Placas - Demanda 50 Conjuntos/dia

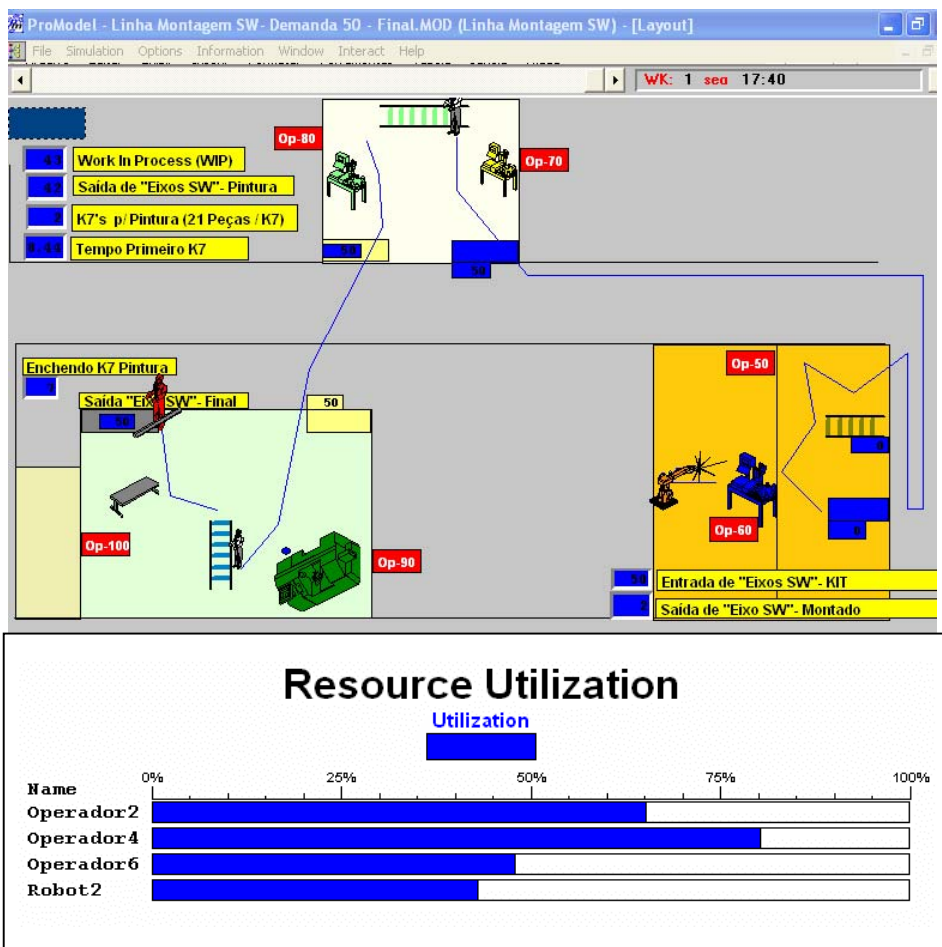


Figura 6.20D - Resultados da Execução da Simulação ProModel – Linha de Montagem Final “Eixo SW” - Demanda 50 Conjuntos/dia

## 7 CONCLUSÃO

### 7.1 Considerações Iniciais

O presente capítulo tem por objetivo apresentar as conclusões sobre o trabalho. Primeiramente serão feitos alguns comentários sobre o objetivo que norteou o estudo e os resultados obtidos, em seguida serão propostas algumas sugestões para trabalhos futuros e por último, será feita uma consideração final.

### 7.2 Comentários e Contribuição do Trabalho

Conforme foi definido anteriormente, é objetivo deste trabalho o uso da simulação para realizar uma avaliação preventiva do desempenho de um sistema de manufatura em fase de desenvolvimento, ou seja, ainda não implantado. Antes da aplicação da simulação, era dúvida entre os responsáveis pela implantação e uso do novo sistema de como seria o comportamento e desempenho durante a operação. Sabia-se quais equipamentos e máquinas seriam utilizados e quantos operadores deveriam ser contratados. Tinha-se concebido como os equipamentos deveriam ser distribuídos nas áreas livres disponíveis. Tinha-se também conhecimento das capacidades médias de cada posto de trabalho (inclusive daqueles que não atenderiam a demanda prevista em um único turno de trabalho), porém, existiam dúvidas de como tudo isso seria integrado.

A simulação computacional mostrou ser uma ferramenta extremamente eficaz para a previsão de resultados onde ainda não é possível obter dados reais. É importante ressaltar que o recurso de animação apresentado pelo *software* foi decisivo durante a elaboração, verificação, validação e execução dos modelos, pois foi através dele que todos os envolvidos foram tendo uma melhor percepção de como o novo sistema de manufatura funcionaria na realidade, assim, sugestões de melhorias e mudanças foram ocorrendo e sendo testadas rapidamente em novos modelos.

Ao final do trabalho obteve-se uma dimensão bem próxima da realidade de como seria o funcionamento e a performance do novo sistema, e quais seriam os desafios a serem enfrentados. O relatório de resultados de simulação apresentados no Quadro 7.1 foi elaborado a partir da análise dos resultados obtidos após a realização dos experimentos, conforme apresentados no capítulo 6, e comparando com que foi previsto pelos especialistas na Tabela 6.1 da seção 6.3. É importante ressaltar que a economia anual de R\$ 102.389,61 é referente a

gastos com recursos que foram inicialmente considerados necessários que fizeram parte do orçamento apresentado durante a participação da concorrência e que podem ser eliminados antes da implantação do novo sistema de manufatura.

Relatório Final de Resultados de Simulação do Novo Sistema de Manufatura							
Software Utilizado	ProModel - Versão 4.22		Data de Realização	03/003/2007			
Sistema de Manufatura	Montagem "Eixo SW"		Data de Revisão	03/003/2007			
Produto Final	"Eixo SW"		Responsável Simulação	José Benedito			
Cliente			Responsável Produção	Mário Coura			
Postos de Trabalho	Turnos Necessários	Capacidade Prod. Conjuntos / Hora	Equipamentos	Investimentos		Economia	
				Orçados	Necessários	R\$ em 1 Ano	
Subcjs. Solda Projeção	0,25	151	Máquina de Solda Projeção	1	Sim	-	
			Operador (Horas /Ano)	600	0	R\$ 20.661,16	
Subcjs. Montagem dos Braços	1	35	Dispositivo de Montagem Braço Interno LE	1	Sim	-	
			Dispositivo de Montagem dos Braços LELD	1	Sim	-	
			Máquinas de Solda MIG/MAG	2	1	R\$ 1.666,67	
				Operador (Horas /Ano)	4650	2325	R\$ 80.061,98
Subcjs. Braços LE/LD e Placa	2	11	Célula Robotizada	1	Sim	-	
			Dispositivo de Solda p/ Cleula Robotizada	1	Sim	-	
			Operador (Horas /Ano)	1	Sim	-	
na de Montagen Final "Eixo S	2,6	9	Robôs de Solda	1	Sim	-	
			Dispositivo de Montagem e Solda do "Eixo SW	1	Sim	-	
			Dispositivo de Solda Manual	1	Sim	-	
			Dispositivo de Montagem e Solda das Placas n	1	Sim	-	
			Máquinas de Solda MIG/MAG	2	Sim	-	
			Máquina de Usinagem CNC	1	Sim	-	
			Calibres de Inspeção e Controle	1	Sim	-	
			Equipamentos Pneumáticos e Bancada p/ Acat	2	Sim	-	
				Operador (Horas /Ano)	13939	Sim	-
				Total		R\$ 102.389,81	

Quadro 7.1 Relatório Final de Resultado de Simulação – Novo Sistema de Manufatura

Em função de uma mudança nas expectativas do cliente o sistema será implantado em uma condição de utilização 67% menor do que era previsto inicialmente, porém, como os modelos de simulação já estavam prontos, foi possível realizar “rapidamente” as mudanças necessárias para a realização dos ajustes, fornecendo detalhes no nível de modos de operação. Esses resultados foram apresentados no Quadro 6.8 do capítulo anterior e confirmam as afirmações de que a simulação é uma ferramenta para a tomada de decisões.

Apesar de não ter sido um objetivo, este trabalho também vislumbrou como importante o uso do recurso de animação apresentado pelo *software* como ferramenta para facilitar a comunicação entre a supervisão e a mão de obra direta. Este recurso possibilita transmitir facilmente, de maneira clara e objetiva, como se deseja que uma tarefa seja executada e qual o desempenho esperado, buscando o comprometimento e a participação do funcionário.

Uma outra visão deste trabalho é quanto à utilização da simulação na fase de realização de orçamentos. Nesta fase é realizado um pré-desenvolvimento, ou seja, o sistema de manufatura é inicialmente idealizado, muitas vezes baseado apenas na experiência do orçamentista, a partir de desenhos e especificações técnicas fornecidas pelo cliente. Quanto

mais o orçamento se aproximar da realidade maior será a competitividade em relação ao que se estiver sendo orçado.

### 7.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros seguindo a mesma linha desta dissertação, propõe-se:

- Após implantação do sistema de manufatura, realizar novos levantamentos de tempos e refazer a simulação com dados estocásticos;
- Realizar uma nova simulação do sistema de manufatura, avaliando investimentos e ganhos com a construção ou liberação de uma área própria para operar o sistema;
- Realizar um trabalho de simulação em um projeto de sistema produtivo em fase de orçamento para o cliente.
- Realizar um trabalho com enfoque do uso da simulação, como ferramenta para motivação comportamental na realização de tarefas.

### 7.4 Considerações finais

O presente trabalho buscou aplicar de forma sistematizada as técnicas de simulação em um sistema de manufatura de um produto em fase de desenvolvimento. A aplicação do estudo da simulação não se limita ao uso dos recursos apresentados pelo *software* de simulação, mas depende totalmente do conhecimento e da sinergia entre a equipe de responsáveis pelo sistema que está sendo simulado (usuários dos resultados obtidos) e pelo responsável pela realização do modelo (modelador), mesmo que este último seja também parte da equipe e profundo conhecedor do sistema. Esta participação possibilita uma elaboração rápida e representativa do modelo, uma melhor qualidade dos dados inseridos e a obtenção de resultados confiáveis. Por não ser uma tarefa simples, a aplicação da simulação exige disciplina e organização, valendo ressaltar neste momento a importante contribuição do “mapeamento de processo” como uma ferramenta de definição, análise, visualização gráfica de atividades, documentação e registro. Outro fato relevante é o de se ter obtido resultados significativos com a aplicação da simulação em um sistema considerado simples e ainda não existente, possibilitando correções de diretrizes, melhor visualização de problemas futuros e tomadas de decisões que poderiam levar a cobranças do tipo “tinha que se ter pensado nisso antes!”.

Como Vantagens do uso da simulação, este trabalho pode destacar:

1. Estimativa de desempenho de sistemas ainda não implantados.

2. Facilidade de visualização do sistema através do recurso de animação.
3. Ajuda a visualizar o funcionamento do sistema, facilitando treinamento e entendimentos.
4. Processo de modelagem evolutivo: modelo vai aumento de complexidade aos poucos.
5. Facilidade para a realização de mudanças de condições de operação do sistema.

É importante também destacar algumas desvantagens do uso da simulação, observadas durante o estudo:

1. Desenvolvimento de modelos consome muito tempo.
2. Necessidade de treinamento especial para a realização do modelo.
3. Uso em situações cuja solução analítica é mais simples.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONS, H. S.; BOER, C. A. *Storage and retrieval of discrete-event simulation models*. Faculty of Economics, Erasmus University, Rotterdam, Netherlands. *Simulation Practice and Theory*, n.8, pp. 555-576. 2001.

BANKS, J. Introduction to simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Atlanta, 2000.

BARNES, R. M. *Estudo de Movimentos e de Tempos: Projeto e Medida de Trabalho*. Tradução da sexta edição americana. Editora Edgard Blucher Ltda, 1986.

BARTON, R. R. *Designing Simulation Experiments*. Proceedings of the Winter Simulation Conference, USA, 2004.

BERENDS, P. e ROMME, G. *Simulation as a research tool in management studies*. *European Management Journal*, vol 17, n.6, 1999.

BLACK, J.T. *O projeto da fabrica com futuro*. Porto Alegre, Bookman, 1998.

BOGHI C. e SHITSUKA R., *Aplicações Práticas com Microsoft Office Excel 2003 e Solver: Ferramentas Computacionais para Tomada de Decisão*. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2005.

BRESSAN, G. *Modelagem e Simulação de Sistemas Computacionais*. LARC, PCS/EPUSP 2002.

BRIGHENTI, J. R. N. *Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto*. Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2006.

CARSON, J. S. *Introduction to Modeling And Simulation*. Proceedings of the Winter Simulation Conference, U.S.A, 2004.

CHIAVENATO, I. *Iniciação a administração da produção*, São Paulo, Makron, 1991.

DICESARE, F.; HARHALAKIS, G.; PROTH, J. M.; VERNADAT, F. *Practice of Petris Nets in Manufacturing*. Chapman and Hall, London, 1993.

DUARTE, R. N. *Simulação computacional: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças*. Dissertação de mestrado em engenharia de produção. UNIFEI, Itajubá, MG, 2003.

FRANCISCHINI, P. G.; FEGYVERES, A. *Arranjo Físico. Gestão de Operações*. São Paulo: Edgar Blücher, 1997.

GAVIRA, Muriel O. *Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento*. Dissertação de mestrado em engenharia de produção. USP, São Carlos, SP, 2003.



GONÇALVES, J. E. L. *As empresas são grandes coleções de processos*. 6 RAE - Revista de Administração de Empresas, São Paulo, Jan./Mar. 2000.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOOG, T. J. *Simulação: Otimizando os Sistemas*. Belge Engenharia e Sistemas Ltda, IMAM, 2 ed. São Paulo, SP, 2002.

HOLLOCKS, W. B. *Discrete-event simulation: an inquiry into user practice*. Simulation Practice and Theory, 8, 451-471, 2001.

JOHNSON A. L. & MONTGOMERY C. D., *Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control*. Georgia Institute of Technology, 1974.

JUNG, C. F. *Metodologia Científica: Ênfase em Pesquisa Tecnológica*, 3ª Edição Revisada e Ampliada, FACCAT, 2003.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Prentice Hill, 2004.

KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. *Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations*. College of Business, University of St. Thomas, Minneapolis, Minnesota, USA. Journal of Manufacturing Technology Management Vol. 17, No. 1, pp. 104-132, 2006.

LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. *Simulation of Manufacturing Systems*. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Tucson, 1999.

LAW, A. M. *How to Build Valid and Credible Simulation Models*. WSC, EUA, Dezembro 2006.

LEAL, F. *Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento de processo e simulação computacional*. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.

LEAL, F.; MUSSIO F. B.; ALMEIDA, D. A. *Processo iterativo de aprendizagem do cálculo do Tempo padrão através de uma ferramenta visual*. Artigo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2004.

LEAL, F.; MONTEVECHI, J. A. B.; ALMEIDA, D. A.; PINHO, A. F.; MARINS F. A. S.; OLIVEIRA, J. B. *Análise da Capacidade de Produção e Dimensionamento de Estoques no Estudo de um Novo Processo de Manufatura Através da Simulação de Eventos Discretos*, Artigo SOBRAPO, 2006.

LACHTERMACHER, Gerson. *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. 3. Ed. Rio de Janeiro: Editora Campos Ltda., 2002.

MIYAGI, P. E.; FILHO, D. J. S.; MARUYAMA, N. *Curso de ProModel*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP 2006.

MIYAGI, P. E. *Introdução a Simulação Discreta*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, SP 2004.

MONTEVECHI, J.A.B.; DUARTE, R.; NILSON, G.V. *O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura*. Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, 2003.

MONTEVECHI, J.A.B. *Apostila do curso de simulação*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2004.

MOORE H. J. & WEATHERFORD R. L. *Tomada de Decisão em administração com Planilhas Eletrônicas*. 6. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MOREIRA, Daniel A. *Administração da Produção e Operações*. Editora Pioneira, São Paulo 1993.

NAKAYAMA, A. Y. *Análise de margem de contribuição e capacidade produtiva por programação linear e simulação para apoio em tomada de decisão num sistema de manufatura*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2005

OLIVEIRA, F. A. de. *A gestão baseada em atividade (ABM) aplicada em ambientes celulares : uma abordagem metodológica*. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.

O'KANE, J.F.; SPENCELEY, J.R.; TAYLOR, R. *Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems*. Journal of Materials Processing Technology, 107, pp. 412-424, 2000.

PALOMINO, R. C. *Um modelo para o planejamento e a programação da produção em ambientes job shop baseado em Redes de Petri*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2001.

PERALES, W. *Classificações dos sistemas de produção*. UFRN / CT / DEPT, Campus Universitário, Natal RN. 2006.

PEREIRA, I. C. *Proposta de Sistematização da Simulação para Fabricação em Lotes*. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2000.

PIDD, M. *Modelagem empresarial*. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PINHO, A. F.; LEAL, F.; MONTEVECHI, J. A. B.; MARINS, F. A. S.; MAPA, S. M. S.; RIBEIRO, M. J. C. *Aumento de Produtividade em uma Linha de Montagem de Chassis Automotivos Através da Simulação Computacional*. Artigo ENEGEP - Encontro Nac. de Eng. de Produção - (2006).

PROMODEL USER'S GUIDE. ProModel Corporation, 2002.

QSP - Boletim Qualidade. Revista eletrônica: Últimas Notícias. - ANO II - Número 69 - Abril de 2004.

ROSA, E. B. *Racionalização da produção*. Apostila do curso de Pós-Graduação Especialização em Produtividade e Qualidade – UNIFEI, 2002.

RUSSOMANO, V. H. *Planejamento e controle da produção*. 6 ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SARGENT, R. G. *Validation and Verification of Simulation Models*. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. R. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, 2004.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. *Metodologia de pesquisa e elaboração da dissertação*, 3 ed. Revisada e Atualizada, Florianópolis, UFSC, 2001.

SILVA, A.V.; COIMBRA, R.R.C.. *Manual de Tempos e Métodos: Princípios e técnicas do estudo de tempos*. Editora Hemus, 1980.

SILVA, W. A. da. *Otimização de parâmetros da Gestão Baseada em Atividades (ABM) aplicada em uma célula de manufatura*. Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2002.

SOUSA, J. S. S. *Tipos de Produção & Automação*. Automação Industrial, 2003.

SOUZA A. C. de. *Sistemas de manufatura*. São José dos Campos, São Paulo, 2002.

STONER, J. *Administração*. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1995.

TAGLIARI, V. A. *Análise da utilização do sistema kanban: multi estudos de casos em empresas da indústria automobilística da região de Curitiba*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção de Sistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

VIANA, H. L. *Método para dimensionamento da quantidade ótima de sondas de produção em um campo de petróleo – estudo de caso – Florianópolis , UFSC, 2003.*

ZACARELLI, S. B. *Programação e Controle da Produção*. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1979.

ZANCUL, E. de S.; MARX , R.; METZKER, A. *Organização do trabalho no processo de desenvolvimento de produtos: A aplicação da engenharia simultânea em duas montadoras de veículos*. Departamento de engenharia de produção, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 2005.

## ANEXO 1

### Tabelas para Cálculo do Tempo Padrão

Tabelas para avaliação do ritmo de trabalho

CLASSIFICAÇÃO	HABILIDADE	ESFORÇO
<b>Fraca</b>	Não adaptado ao trabalho, comete erros e seus movimentos são inseguros	Falta de interesse ao trabalho e utiliza métodos inadequados
<b>Regular</b>	Adaptado Relativamente ao trabalho, comete erros e seus movimentos são quase	As memsas tendências, porém com menos intensidade.
<b>Normal</b>	Trabalha com exatidão satisfatória e ritmo se mantém razoavelmente constante	Trabalha com constância e se esforça razoavelmente
<b>Boa</b>	Tem confiança em si mesmo e ritmo se mantém constante com raras hesitações	Trabalha com constância e confiança, muito pouco ou nenhum tempo perdido.
<b>Excelente</b>	Precisão nos movimentos, menhuma hesitação e ausência de erros	Trabalha com rapidez e com movimentos precisos.
<b>Superior</b>	Movimentos sempre iguais, mecânicos, comparáveis ao de uma máquina	Se lança numa marcha impossível de manter. Não serve para estudo de tempos.

VALORES FE			HABILIDADE										
			S		E		B		N	R		F	
			A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E1	E2	F1	F2
<b>ESFORÇO</b>			<b>0,15</b>	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,05</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,22</b>
<b>S</b>	<b>A1</b>	<b>0,13</b>	1,28	1,26	1,24	1,21	1,19	1,16	1,13	1,08	1,03	0,97	0,91
	<b>A2</b>	<b>0,12</b>	1,27	1,25	1,23	1,20	1,18	1,15	1,12	1,07	1,02	0,96	0,90
<b>E</b>	<b>B1</b>	<b>0,10</b>	1,25	1,23	1,21	1,18	1,16	1,13	1,10	1,05	1,00	0,94	0,88
	<b>B2</b>	<b>0,08</b>	1,23	1,21	1,19	1,16	1,14	1,11	1,08	1,03	0,98	0,92	0,86
<b>B</b>	<b>C1</b>	<b>0,05</b>	1,20	1,18	1,16	1,13	1,11	1,08	1,05	1,00	0,95	0,89	0,83
	<b>C2</b>	<b>0,02</b>	1,17	1,15	1,13	1,10	1,08	1,05	1,02	0,97	0,92	0,86	0,80
<b>N</b>	<b>D</b>	<b>0,00</b>	1,15	1,13	1,11	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,90	0,84	0,78
<b>R</b>	<b>E1</b>	<b>-0,04</b>	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,99	0,96	0,91	0,86	0,80	0,74
	<b>E2</b>	<b>-0,08</b>	1,07	1,05	1,03	1,00	0,98	0,95	0,92	0,87	0,82	0,76	0,70
<b>F</b>	<b>F1</b>	<b>-0,12</b>	1,03	1,01	0,99	0,96	0,94	0,91	0,88	0,83	0,78	0,72	0,66
	<b>F2</b>	<b>-0,17</b>	0,98	0,96	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,78	0,73	0,67	0,61

## Tabelas para avaliação de fadiga e monotonia

FADIGA MENTAL		FADIGA FÍSICA	
GRAU	ABONO %	GRAU	ABONO %
		Muito Leve ML	1,80
Leve L	0,60	Leve L	3,60
Médio M	1,80	Médio M	5,40
Pesado P	3,00	Pesado P	7,20
		Muito Pesado MP	9,00

RECUPERAÇÃO DA FADIGA		ABONO POR MONOTONIA	
% TEMPO	FATOR	CICLO min	ABONO %
00 - 05	1,00	0,00 - 0,05	7,80
06 - 10	0,90	0,06 - 0,25	5,40
11 - 15	0,80	0,26 - 0,50	3,60
16 - 20	0,71	0,51 - 1,00	2,10
21 - 25	0,62	1,00 - 4,00	1,50
26 - 30	0,54	4,00 - 8,00	1,00
31 - 35	0,46	8,00 - 12,00	0,60
36 - 40	0,39	12,00 - 16,00	0,30
41 - 45	0,32	> 16,00	0,10
46 - 50	0,26		
51 - 55	0,20		
56 - 60	0,15		

## ANEXO 2

## Folhas para Coleta de Dados

FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	1		Nr da Operação	10		DATA:	10/5/2006			
Operação:	Montagem do Subconjunto Supote em "U" c/ aba e porca e Subconjunto Suporte em "L" c/ Porca									
Descrição resumida da operação:	É introduzido o suporte em "L" ou em "U" com aba e porca, e em seguida é acionado a soldagem. Após a soldagem da porca no suporte, retira-se o sub-conjunto formado e repete-se a operação.									
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	78	76	71	72	71	77	75	71	77	
Qtidade de pçs:	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
72	74	78	76	76	72	77	71	72	78	78
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tempo total [seg]:	1492		Qtidade total operada [unid]:	100						
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	14,92		Desvio Padrão:	2,798						
Operações adicionais:										
Observações gerais:	Preferencia pela soldagem dos suportes em "L". Parada da linha de 10 minutos para ginastica. Suporte com porcas e suportes ao lado da maquina fica mais facil e rapido o processo. Necessita-se de uso de mascara.									
Tempo de Set Up Inicial = 30 min.										
Tempo de Set Up p/ Troca de Modelo = 15 min.										
Tempo de Transporte de SSUCAP = 5 min.										
Tempo de Transporte de SSLCP = 10 min.										
FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	2		Nr da Operação	20		DATA:	10/5/2006			
Operação:	Montagem do Subconjunto Braço Interno LE									
Descrição resumida da operação:	É fixado o braço int LE e o subconj. no dispositivo e em seguida feita a soldagem manual. Retira-se o conjunto formado e repete-se a operação.									
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	27	24	27	23	25	23	19	22	34	
Qtidade de pçs:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
27	24	23	25	24	27	27	25	22	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo total [seg]:	499		Qtidade total operada [unid]:	20						
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	24,95		Desvio Padrão:	3,034						
Operações adicionais:										
Observações gerais:	Colocar caixa de peças proximo ao dispositivo.									

FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	2	Nr da Operação	30	DATA:	10/5/2006					
Operação:	Montagem dos Subconjuntos Braços LE / LD									
<b>Descrição resumida da operação:</b> É fixado os braços LE/LD e buchas no dispositivo e em seguida são realizados pontamentos de solda. Retira-se o conjunto e repete-se a operação.										
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	138	124	125	119	125	122	111	130	129	
Qtidade de pçs:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
118	124	119	122	130	118	138	125	124	113	128
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo total [seg]:	2482	Qtidade total operada [unid]:	20							
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	124,1					Desvio Padrão:	6,988			
Operações adicionais:										
<b>Observações gerais:</b> Ao se dizer uma unidade em cada observação, refere-se a uma unidade de subconj. braços LE e um subconj. de braços LD. (Total 40 Peças)										
Ao se tirar o tempo, percebe-se um ritmo acelerado do operador.										

FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	3	Nr da Operação	40	DATA:	24/5/2006					
Operação:	Soldagem dos Braços LE/LD e Subconjuntos Placas LE/LD na Célula Robotizada									
<b>Descrição resumida da operação:</b> Coloca-se um par placas LE/LD e um par subconj. de braços LE/LD no dispositivo do robo. Fecha a porta e aciona a soldagem. Após soldagem, retira-se se o par de placas e braços e repete-se a operação.										
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	186	212	216	206	211	215	213	197	208	
Qtidade de pçs:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
211	182	215	189	209	214	210	202	207	201	212
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo total [seg]:	4116	Qtidade total operada [unid]:	20							
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	205,8					Desvio Padrão:	10,03467672			
Operações adicionais:										
<b>Observações gerais:</b> Qts peças = 1 ( par de braços e par de placas)										
Tempo de Set Up Inicial = 20 min.										
Tempo de Set Up Final = 20 min.										
Tempo de Preparação das Peças no Dispsoitivo = 1,0 min (16 movimentos)										
Tempo de Desmontagem dass Peças do Dispsoitivo = 0,5 min (6 Movimentos)										
Tempo de Operação de Solda do robô=1,93										
Tempo de Preparação da Travessa 521 no Dispsoitivo = 1,8 min (6 movimentos)										
Tempo de Desmontagem dass Peças do Dispsoitivo = 0,6 min (2 Movimentos)										
Tempo de Operação de Solda do robô=3,0										

FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	4	Nr da Operação	50	DATA:	10/5/2006					
Operação:	Montagem de Kit - preparação para a operação de solda									
Descrição resumida da operação: Pega-se um tubo e coloca em cima do dispositivo										
Em seguida pega-se os subconj. braços LE e LD e olhetes e Suportes e os coloca junto ao tubo.										
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	29	28	31	28	28	29	25	27	27	
Qtidade de pcs:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
28	30	28	29	27	28	29	31	28	25	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo total [seg]:	562	Qtidade total operada [unid]:	20							
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	28,1			Desvio Padrão:	1,586					
Operações adicionais:										
Observações gerais:	Operação simples.									

FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	4	Nr da Operação	60	DATA:	17/5/2006					
Operação:	Montagem e Soldagem do Eixo SW com o robô de solda									
Descrição resumida da operação: Pega-se o kit montado e coloca-o no dispositivo.										
Fixa todas as partes do kit e adiciona o subconj. suporte em "U" com porca. Em seguida é feitos ajustes do kit e é acionado o robô para a soldagem. Após a soldagem, retira-se o conjunto formado e repete-se a operação.										
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	384	408	368	373	375	393	380	363	369	
Qtidade de pcs:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
353	402	376	392	366	382	377	384	372	367	388
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo total [seg]:	7572	Qtidade total operada [unid]:	20							
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	378,6			Desvio Padrão:	13,481					
Operações adicionais:	Retirada de carrinhos cheios e abastecimento de carrinhos vazios. Marcação dos olhetes.									
Observações gerais:										
Tempo Médio de Set Up Inicial = 40 min										
Tempo Médio de Set Up Final = 30 min										
Tempo de Operação de Solda= 5min										
Tempo de Montagem e Desmontagem= 1,5min (4 movimentos)										
Tempo Médio de Transporte da Operação 60 p/ a Operação 70 = 2,0 min (2 Movim.)										



FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	4	Nr da Operação	70	DATA:	3/5/2006					
Operação:	Soldagem manual do Eixo SW									
Descrição resumida da operação: É colocado o subconjunto Eixo SW num suporte e é feito soldas neste. Em seguida é feito uma inspeção visual e passa para o proximo estagio.										
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	183	198	213	186	234	215	233	212	224	
Qtidade de pçs:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	198	212	239	232	201	222	204	208	220	197
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo total [seg]:	4259	Qtidade total operada [unid]:	20							
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	212,95			Desvio Padrão:	16,133					
Operações adicionais:	Transporte de carrinhos vazios									
Observações gerais: Varias paradas rapidas para reparo do bico de solda. Em 13, houve uma parada devido ao acumulo no estagio seguinte.										

FOLHA DE COLETA DE DADOS										
SETOR:	4	Nr da Operação	80	DATA:	3/5/2006					
Operação:	Montagem e Soldagem das placas no Eixo SW									
Descrição resumida da operação: Fixa as placas no dispositivo e em seguida pega o subconj. Eixo SW e o fixa no dispositivo tambem. Em seguidas é feito varias soldagens no conjunto. Após a soldagem, retira-se o conjunto formado e o coloca no carinho. Repete-se a operação.										
Número de funcionários: 1										
Observações:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tempo [seg]:	324	343	358	372	368	363	338	334	382	
Qtidade de pçs:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	340	348	344	371	338	373	394	368	346	356
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo total [seg]:	7132	Qtidade total operada [unid]:	20							
Tempo Médio por unid [seg/unid]:	356,6			Desvio Padrão:	18,308					
Operações adicionais:										
Observações gerais: Tempo de fixar placas e eixo SW no dispositivo longo. Analisar a diminuição desse tempo e tirar o tempo de fixação e retirada.										
Tempo Médio p/ Transporte até operação 90 = 1,3 min (2 Movimentos)										



## ANEXO 3

### Folhas de Cálculos de Tempo Padrão

Operação:		Calculo Tempo Padrão - Operação - 10										
EI	DESCRIÇÃO											
1	É introduzido o suporte em "L" ou em "U" com aba e uma porca na maquina de solda, e em seguida é acionado a soldagem. Após a soldagem da porca no suporte, retira-se o sub-conjunto formado.											
2												
3												
4												
5												
Obs.:	1	2	3	4	5	6	7	Data: 10/05/2006				
1	78								Folha nº:			
2	76								HAB		ESF	
3	71								S	A1	S	A1
4	72									A2		A2
5	71								E	B1	E	B1
6	77									B2		B2
7	75								B	C1	B	C1
8	71									C2		C2
9	77								N	D	N	D
10	72								R	E1	S	E1
11	74									E2		E2
12	78								F	F1	S	F1
13	76									F2		F2
14	76								COND		ESTAB	
15	72								Ideal		Ideal	
16	77								Ótima		Ótima	
17	71								Boa		Boa	
18	72								Normal		Normal	
19	78								Regular		Regular	
20	78								Má		Má	
	1492								Soma			
	20								Observações			
	74,60								Tempo Médio			
	1								Fator Eficiência			
	74,6								Tempo Normal			
	10,26%								Fadiga			
	0%								Ajustes Trocas Ferrame			
	5%								Tolerâncias Pessoais			
	15,26%								Total Abonos			
	84,1488								Tempo Normal + Abono			
	1/5								Frequência			
	16,8298								Tempo Padrão			
Tempo Padrão do Processo de Produção:		0,28						min				
Observações: Foram realizadas 20 observações (Tomada de Tempo) com a frequência de 5 peças por observação – O tempo cronometrado deve ser dividido por 5 para obter a tempo por peça. Na planilha acima isto é feito quando definido a "Frequência igual 1/5"												

Operação:		Calculo Tempo Padrão - Operação - 20										
EI	DESCRIÇÃO											
1	É colocado o braço int LE e o subconj. no dispositivo e em seguida realizada a soldagem manual. Retira-se o subconjunto formado.											
2												
3												
4												
5												
6												
Obs.:	1	2	3	4	5	6	7	Data: 10/05/2006				
1	27							Folha nº:				
2	24							HAB		ESF		
3	27							S	A1	S	A1	
4	23								A2		A2	
5	25							E	B1	E	B1	
6	23								B2		B2	
7	19							B	C1	B	C1	
8	22								C2		C2	
9	34							N	D	N	D	
10	27							R	E1	S	E1	
11	24								E2		E2	
12	23							F	F1	S	F1	
13	25								F2		F2	
14	24							COND		ESTAB		
15	27							Ideal		Ideal		
16	27							Ótima		Ótima		
17	25							Boa		Boa		
18	22							Normal		Normal		
19	24							Regular		Regular		
20	27							Má		Má		
	499							Soma				
	20							Observações				
	24,95							Tempo Médio				
	1							Fator Eficiência				
	24,95							Tempo Normal				
	9,0%							Fadiga				
	0%							Ajustes Trocas Ferrame				
	5%							Tolerâncias Pessoais				
	14,0%							Total Abonos				
	28,44							Tempo Normal + Abono				
	1							Frequência				
	28,443							Tempo Padrão				
Tempo Padrão do Processo de Produção:		0,47					min					
Observações: Colocar as peças proximo ao dispositivo												

<b>Operação:</b>		Calculo Tempo Padrão - Operação - 30										
<b>EI</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>											
1	É fixado os braços LD/LE e 2 buchas no dispositivo, e em seguida são realizados os pontamentos de solda. Retira-se o conjunto formado.											
2												
3												
4												
5												
6												
<b>Obs.:</b>	1	2	3	4	5	6	7	<b>Data: 10/05/2006</b>				
1	138							<b>Folha nº:</b>				
2	124							<b>HAB</b>		<b>ESF</b>		
3	125							S	A1	S	A1	
4	119								A2		A2	
5	125							E	B1	E	B1	
6	122								B2		B2	
7	111							B	C1	B	C1	
8	130								C2		C2	
9	129							N	D	N	D	
10	118							R	E1	S	E1	
11	124								E2		E2	
12	119							F	F1	S	F1	
13	122								F2		F2	
14	130							<b>COND</b>		<b>ESTAB</b>		
15	118							Ideal		Ideal		
16	138							Ótima		Ótima		
17	125							Boa		Boa		
18	124							Normal		Normal		
19	113							Regular		Regular		
20	128							Má		Má		
	2482							<b>Soma</b>				
	20							<b>Observações</b>				
	124,1							<b>Tempo Médio</b>				
	1							<b>Fator Eficiência</b>				
	124,1							<b>Tempo Normal</b>				
	8,7%							<b>Fadiga</b>				
	0,0%							<b>Ajustes Trocas Ferrame</b>				
	5,0%							<b>Tolerâncias Pessoais</b>				
	13,7%							<b>Total Abonos</b>				
	141,102							<b>Tempo Normal + Abono</b>				
	1							<b>Frequência</b>				
	141,102							<b>Tempo Padrão</b>				
<b>Tempo Padrão do Processo de Produção:</b>		<b>2,35</b>					<b>min</b>					
Observações: Ao se dizer uma unidade neste caso, refere-se a uma unidade de subconj. braço LD e um subconj. de braço LE ( o par)												

<b>Operação:</b>		Calculo Tempo Padrão - Operação - 40										
<b>EI</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>											
1	Coloca-se um par de placas LD/LE e um par de subconj. de braços LD/LE no dispositivo do robô. Fecha a porta e aciona a soldagem. Após soldagem, retira-se com conjuntos soldados.											
2												
3												
4												
<b>Obs.:</b>	1	2	3	4	5	6	7	<b>Data: 24/05/2006</b>				
1	186							<b>Folha nº:</b>				
2	212							<b>HAB</b>		<b>ESF</b>		
3	216							S	A1	S	A1	
4	206								A2		A2	
5	211							E	B1	E	B1	
6	215								B2		B2	
7	213							B	C1	B	C1	
8	197								C2		C2	
9	208							N	D	N	D	
10	211							R	E1	S	E1	
11	182								E2		E2	
12	215							F	F1	S	F1	
13	189								F2		F2	
14	209							<b>COND</b>		<b>ESTAB</b>		
15	214							Ideal		Ideal		
16	210							Ótima		Ótima		
17	202							Boa		Boa		
18	207							Normal		Normal		
19	201							Regular		Regular		
20	212							Má		Má		
	4116							<b>Soma</b>				
	20							<b>Observações</b>				
	205,8							<b>Tempo Médio</b>				
	1							<b>Fator Eficiência</b>				
	205,8							<b>Tempo Normal</b>				
	2,58%							<b>Fadiga</b>				
	0%							<b>Ajustes Trocas Ferrame</b>				
	5%							<b>Tolerâncias Pessoais</b>				
	7,58%							<b>Total Abonos</b>				
	221,40							<b>Tempo Normal + Abono</b>				
	1							<b>Frequência</b>				
	221,4							<b>Tempo Padrão</b>				
<b>Tempo Padrão do Processo de Produção:</b>		<b>3,69</b>					<b>min</b>					
Observações: A saída de cada ciclo é igual a um par de placas com travas (LD/LE) e um par de braços (LD/LE)												

<b>Operação:</b>		Calculo Tempo Padrão - Operação - 50									
<b>EI</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>										
1	Pega-se o tubo e coloca sobre o dispositivo, e em seguida coloca-se junto ao tubo os subconj. Braços LD/LE e olhetes, montado um kit.										
2											
3											
4											
5											
6											
<b>Obs.:</b>	1	2	3	4	5	6	7	<b>Data: 10/05/2006</b>			
1	29							<b>Folha nº:</b>			
2	28							<b>HAB</b>		<b>ESF</b>	
3	31							S	A1	S	A1
4	28								A2		A2
5	28							E	B1	E	B1
6	29								B2		B2
7	25							B	C1	B	C1
8	27								C2		C2
9	27							N	D	N	D
10	28							R	E1	S	E1
11	30								E2		E2
12	28							F	F1	S	F1
13	29								F2		F2
14	27							<b>COND</b>		<b>ESTAB</b>	
15	28							Ideal		Ideal	
16	29							Ótima		Ótima	
17	31							Boa		Boa	
18	28							Normal		Normal	
19	25							Regular		Regular	
20	27							Má		Má	
	562							<b>Soma</b>			
	20							<b>Observações</b>			
	28,1							<b>Tempo Médio</b>			
	1							<b>Fator Eficiência</b>			
	28,1							<b>Tempo Normal</b>			
	0%							<b>Fadiga</b>			
	0%							<b>Ajustes Trocas Ferrame</b>			
	0%							<b>Tolerâncias Pessoais</b>			
	0%							<b>Total Abonos</b>			
	28,1							<b>Tempo Normal + Abono</b>			
	1							<b>Frequência</b>			
	28,1							<b>Tempo Padrão</b>			
<b>Tempo Padrão do Processo de Produção:</b>		<b>0,47</b>					<b>min</b>				
Observações: Operação muito simples.											

Operação:		Calculo Tempo Padrão - Operação - 60										
EI	DESCRIÇÃO											
	Pega-se o kit montado e coloca-o no dispositivo.											
	Fixa todas as partes do kit e adiciona o subconj em "U" com porca											
	Em seguida faz ajustes do kit no dispositivo e aciona o robô											
1	Após soldagem, retira-se o conjunto e o coloca no carrinho											
2												
3												
4												
Obs.:	1	2	3	4	5	6	7	Data: 03/05/2006				
1	384							Folha nº:				
2	408							HAB		ESF		
3	368							S	A1	S	A1	
4	373								A2		A2	
5	375							E	B1	E	B1	
6	393								B2		B2	
7	380							B	C1	B	C1	
8	363								C2		C2	
9	369							N	D	N	D	
10	353							R	E1	S	E1	
11	402								E2		E2	
12	376							F	F1	S	F1	
13	392								F2		F2	
14	366							COND		ESTAB		
15	382							Ideal		Ideal		
16	377							Ótima		Ótima		
17	384							Boa		Boa		
18	372							Normal		Normal		
19	367							Regular		Regular		
20	388							Má		Má		
	7572							Soma				
	20							Observações				
	378,6							Tempo Médio				
	1							Fator Eficiência				
	378,6							Tempo Normal				
	0%							Fadiga				
	0%							Ajustes Trocas Ferrame				
	0%							Tolerâncias Pessoais				
	0%							Total Abonos				
	378,6							Tempo Normal + Abono				
	1							Frequência				
	378,6							Tempo Padrão				
Tempo Padrão do Processo de Produção:		6,31					min					
Observações:												



Operação:		Calculo Tempo Padrão - Operação - 70										
EI	DESCRIÇÃO											
1	Coloca-se o subconjunto Eixo SW no suporte e realiza as soldas necessarias											
2	Faz uma inspeção visual e repete a operacao											
3												
4												
5												
6												
Obs.:	1	2	3	4	5	6	7	Data: 17/05/2006				
1	183							Folha nº:				
2	198							HAB		ESF		
3	213							S	A1	S	A1	
4	186								A2		A2	
5	234							E	B1	E	B1	
6	215								B2		B2	
7	233							B	C1	B	C1	
8	212								C2		C2	
9	224							N	D	N	D	
10	198							R	E1	S	E1	
11	212								E2		E2	
12	239							F	F1	S	F1	
13	232								F2		F2	
14	201							COND		ESTAB		
15	222							Ideal		Ideal		
16	204							Ótima		Ótima		
17	208							Boa		Boa		
18	220							Normal		Normal		
19	197							Regular		Regular		
20	228							Má		Má		
	4259							Soma				
	20							Observações				
	212,95							Tempo Médio				
	1							Fator Eficiência				
	212,95							Tempo Normal				
	8,7%							Fadiga				
	0%							Ajustes Trocas Ferrame				
	5%							Tolerâncias Pessoais				
	13,7%							Total Abonos				
	242,124							Tempo Normal + Abono				
	1							Frequência				
	242,124							Tempo Padrão				
Tempo Padrão do Processo de Produção:		4,04					min					
Observações:												

Operação:		Calculo Tempo Padrão - Operação - 80						
EI	DESCRIÇÃO							
	Fixa as placas no dispositivo e em seguida pega o subconj Eixo SW e o fixa no dispositivo							
	Em seguida faz as soldagens especificadas							
1	Tira o subconj do dispositivo e o coloca no carrinho							
2								
3								
4								
5								
Obs.:	1	2	3	4	5	6	7	Data: 03/05/2006
1	324							Folha nº:
2	343							HAB
3	358							ESF
4	372							S A1
5	368							S A2
6	363							E B1
7	338							E B2
8	334							B C1
9	382							B C2
10	340							N D
11	348							R E1
12	344							R E2
13	371							F F1
14	338							F F2
15	373							COND
16	394							ESTAB
17	368							Ideal
18	346							Ótima
19	356							Boa
20	372							Normal
	7132							Regular
	20							Má
	356,6							Soma
	1							Observações
	356,6							Tempo Médio
	8,7%							Fator Eficiência
	0%							Tempo Normal
	5%							Fadiga
	13,7%							Ajustes Trocas Ferrame
	405,4542							Tolerâncias Pessoais
	1							Total Abonos
	405,4542							Tempo Normal + Abono
								Quantidade de peças
								Tempo Padrão
Tempo Padrão do Processo de Produção:		6,76				min		
Elementos Estranhos:								

<b>Operação:</b>		Calculo Tempo Padrão - Operação - 90										
<b>EI</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>											
	Pega-se o conjunto SW e o coloca no torno											
	Aciona a usinagem											
	Após usinar, passar ar comprimido no conjunto retirando o fluido e retira o eixo sw do torno											
<b>1</b>	Coloca o eixo sw na mesa para a etapa de acabamento/inspeção											
<b>2</b>												
<b>3</b>												
<b>4</b>												
<b>Obs.:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>Data: 24/05/2006</b>				
<b>1</b>	158							<b>Folha nº:</b>				
<b>2</b>	166							<b>HAB</b>		<b>ESF</b>		
<b>3</b>	165							S	A1	S	A1	
<b>4</b>	182								A2		A2	
<b>5</b>	144							E	B1	E	B1	
<b>6</b>	152								B2		B2	
<b>7</b>	157							B	C1	B	C1	
<b>8</b>	164								C2		C2	
<b>9</b>	154							N	D	N	D	
<b>10</b>	182							R	E1	S	E1	
<b>11</b>	177								E2		E2	
<b>12</b>	170							F	F1	S	F1	
<b>13</b>	186								F2		F2	
<b>14</b>	168							<b>COND</b>		<b>ESTAB</b>		
<b>15</b>	180							Ideal		Ideal		
<b>16</b>	150							Ótima		Ótima		
<b>17</b>	156							Boa		Boa		
<b>18</b>	169							Normal		Normal		
<b>19</b>	161							Regular		Regular		
<b>20</b>	167							Má		Má		
	3308							<b>Soma</b>				
	20							<b>Observações</b>				
	165,4							<b>Tempo Médio</b>				
	1							<b>Fator Eficiência</b>				
	165,4							<b>Tempo Normal</b>				
	1,51%							<b>Fadiga</b>				
	0%							<b>Ajustes Trocas Ferrame</b>				
	5%							<b>Tolerâncias Pessoais</b>				
	6,51%							<b>Total Abonos</b>				
	176,1614							<b>Tempo Normal + Abono</b>				
	1							<b>Quantidade de peças</b>				
	176,1614							<b>Tempo Padrão</b>				
<b>Tempo Padrão do Processo de Produção:</b>		<b>2,94</b>					<b>min</b>					
<b>Elementos Estranhos:</b>												

Operação: Calculo Tempo Padrão - Operação - 100											
EI	DESCRIÇÃO										
1	É realizado lixamentos e o acabamento superficial de algumas partes (soldas e furos) Em seguida realiza-se uma inspeção do conjunto										
2											
3											
4											
5											
6											
Obs.:	1	2	3	4	5	6	7	Data: 24/05/2006			
1	210							Folha nº:			
2	117							HAB		ESF	
3	102							S	A1	S	A1
4	156								A2		A2
5	164							E	B1	E	B1
6	191								B2		B2
7	240							B	C1	B	C1
8	204								C2		C2
9	208							N	D	N	D
10	201							R	E1	S	E1
11	211								E2		E2
12	222							F	F1	S	F1
13	214								F2		F2
14	212							COND		ESTAB	
15	206							Ideal		Ideal	
16	199							Ótima		Ótima	
17	224							Boa		Boa	
18	210							Normal		Normal	
19	204							Regular		Regular	
20	213							Má		Má	
	3908							Soma			
	20							Observações			
	195,4							Tempo Médio			
	1							Fator Eficiência			
	195,4							Tempo Normal			
	8,7%							Fadiga			
	0%							Ajustes Trocas Ferrame			
	5%							Tolerâncias Pessoais			
	13,7%							Total Abonos			
	222,1698							Tempo Normal + Abone			
	1							Quantidade de peças			
	222,1698							Tempo Padrão			
Tempo Padrão do Processo de Produção:		3,70					min				
Elementos Estranhos:											

## ANEXO 4

### Balanceamento da Linha Montagem “Eixo SW”

Demanda = 150 conjuntos por dia

Tempo diário de operação = 8,8 horas por dia

Taxa de produção – r = 17 conjuntos por hora

Calculo de duração do ciclo

$$c = \frac{1}{r} * 60 \text{ (min/conjunto)} = (1/17)*60 \rightarrow 3,5 \text{ min / conjunto (Takt time)}$$

Calculando o mínimo teórico para o número de estações.

$$MT = \frac{\sum t}{c} = 23,77 / 3,5 \rightarrow 6,79 \text{ postos de trabalho}$$

A meta será minimizar o número de estações assegurando automaticamente

- (a) um tempo ocioso mínimo,
- (b) uma eficiência máxima,
- (c) atraso mínimo no balanceamento.

$$\text{Tempo ocioso} = nc - \sum t = 7*3,5 - 23,77 = 0,73 \text{ minutos} \rightarrow \text{Tempo Ocioso}$$

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\sum t}{nc} (100) = (23,77 / (7*3,5)) * (100) = 97\%$$

$$\text{Desbalanceamento (\%)} = 100 - \text{Eficiência} = 100 - 97 = 3 \% \rightarrow \text{Desbalanceamento}$$

O ideal para esta linha são 07 postos de trabalho.



```

*****
*                               Entities                               *
*****

Name          Speed (mpm)  Stats      Cost
-----
Suporte_em_U_com_Aba  50          Time Series
Porcas          50          Time Series
Suporte_em_L      50          Time Series
Sbjc_Sup_U_Aba_Porca  50          Time Series
Sbjc_Sup_L_Porca   50          Time Series
Lote_SSUCAP       50          Time Series
Lote_SSLCAP        50          Time Series

*****
*                               Path Networks                          *
*****

Name  Type      T/S          From  To      BI  Dist/Time  Speed Factor
-----
Net1  Passing    Time          N1    N2      Bi   0
      N2        N3          N3    N4      Bi  300
      N3        N6          N3    N6      Bi  600

*****
*                               Interfaces                              *
*****

Net    Node      Location
-----
Net1   N1         Entrada_de_Pecas
      N2         Maq_Projecao
      N3         Estoque_Sbjc_Sup_U_Aba_Porca
      N3         Estoque_Sbjc_Sup_L_Porca
      N4         Estoque_Robo
      N6         Estoque_Subconjuntos

```

```
*****
*                               Resources                               *
*****
```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
Operator 1		By Unit	Closest	Oldest	Net1 Home: N1	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	



```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

		Process		Routing			
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Suporte_en_U_con_Aba	Entrada_de_Pecas		1	Suporte_en_U_con_Aba	Maq_Projecao	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Porcas	Entrada_de_Pecas		1	Porcas	Maq_Projecao	JOIN 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Suporte_en_L	Entrada_de_Pecas		1	Suporte_en_L	Maq_Projecao	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Suporte_en_U_con_Aba	Maq_Projecao	JOIN 1 Porcas WAIT 16.83 SEC GET Operator FREE Operator					
			1	Sbjc_Sup_U_Aba_Porca	Estoque_Sbjc_Sup_U_Aba_Porca	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Sbjc_Sup_U_Aba_Porca	Estoque_Sbjc_Sup_U_Aba_Porca	COMBINE 150 INC Estoque_SSUCAP, 1 Horas_Prod_SSUAP = CLOCK( HR)	1	Lote_SSUCAP	Estoque_Robo	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Lote_SSUCAP	Estoque_Robo		1	Lote_SSUCAP	EXIT	FIRST 1	
Suporte_en_L	Maq_Projecao	JOIN 1 Porcas WAIT 16.83 SEC GET Operator FREE Operator					
			1	Sbjc_Sup_L_Porca	Estoque_Sbjc_Sup_L_Porca	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Sbjc_Sup_L_Porca	Estoque_Sbjc_Sup_L_Porca	COMBINE 150 Horas_Prod_SSLAP = CLOCK( HR) INC Estoque_SSLCP, 1					
			1	Lote_SSLCAP	Estoque_Subconjuntos	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Lote_SSLCAP	Estoque_Subconjuntos	Horas_Prod_Tota] = CLOCK( HR) Capacidade_Por_hora = (Estoque_SSUCAP+Estoque_SSLCP)*150/Horas_Prod_Tota]					
			1	Lote_SSLCAP	EXIT	FIRST 1	

```

*****
*                               Arrivals                               *
*****

Entity          Location          Qty each  First Time Occurrences  Frequency  Logic
-----
Suporte_em_U_com_Aba  Entrada_de_Pecas  150       0           INF           1
Porcas             Entrada_de_Pecas  300       0           INF           1
Suporte_em_L       Entrada_de_Pecas  150       0           INF           1

*****
*                               Variables (global)                       *
*****

ID              Type          Initial value  Stats
-----
Estoque_SSUCAeP  Integer      0              Time Series
Estoque_SSLcP   Integer      0              Time Series
Horas_Prod_SSUAP  Real        0              Time Series
Horas_Prod_SSLAP  Real        0              Time Series
Horas_Prod_Total  Real        0              Time Series
Capacidade_Por_hora Integer      0              Time Series

```

## Programa 2 – Subcjs Montagem dos Braços

```

*****
*
*                               Formatted Listing of Model:
* D:\Pós Graduação\...\Dissertação do Didito\Célula Suconjuntos Simulado.MOD
*
*****

Time Units:                      Minutes
Distance Units:                  Meters

*****
*                               Locations
*
*****

Name          Cap      Units  Stats      Rules      Cost
-----
Ent_SSLCP     150       1      Time Series Oldest, ,
Ent_BRINLE    300       1      Time Series Oldest, ,
Estoque_SBRINLE 150       1      Time Series Oldest, ,
Disp_Mont_BRINLE 1         1      Time Series Oldest, ,
Disp_Mont_SBLELD 1         1      Time Series Oldest, ,
Estoque_SBLD  150       1      Time Series Oldest, ,
Estoque_SBLE  150       1      Time Series Oldest, ,
Carrinho_de_Peca 1000      1      Time Series Oldest, ,
Carrinho      5000      1      Time Series Oldest, ,
Entr_SBRINLE  INFINITE  1      Time Series Oldest, FIFO,
Entr_SBELE    INFINITE  1      Time Series Oldest, FIFO,
Entr_Buchas   INFINITE  1      Time Series Oldest, FIFO,
Entr_SBRINLD  INFINITE  1      Time Series Oldest, FIFO,
Entr_SBELD    INFINITE  1      Time Series Oldest, FIFO,
Descarregamento 1         1      Time Series Oldest, ,

```

```
*****
*                               Entities                               *
*****
```

Name	Speed (mpm)	Stats	Cost
SCSLCP	50	Time Series	
BRINLE	50	Time Series	
BELE	50	Time Series	
BELD	50	Time Series	
Buchas	50	Time Series	
SBLE	50	Time Series	
SBLD	50	Time Series	
SBRINLE	50	Time Series	
BRINLD	50	Time Series	
Lote30_SBRINLE	50	Time Series	
Lote30_BRINLD	50	Time Series	
Lote30_BELE	50	Time Series	
Lote30_BELD	50	Time Series	
Lote30_Buchas	50	Time Series	
Carro	50	Time Series	

```
*****
*                               Path Networks                               *
*****
```

Name	Type	T/S	From	To	BI	Dist/Time	Speed Factor
Net1	Passing	Time	N1	N2	Bi	0	
			N2	N3	Bi	0	
			N3	N4	Uni	0	
			N4	N5	Bi	10	
			N5	N6	Bi	10	
			N6	N7	Bi	0	
			N7	N8	Bi	0	

```
*****
*                               Interfaces                               *
*****
```

Net	Node	Location
Net1	N1	Ent_SSLCP
	N1	Ent_BRINLE
	N2	Disp_Mont_BRINLE
	N3	Estoque_SBRINLE
	N4	Carrinho_de_Peca
	N5	Descarregamento
	N6	Carrinho
	N7	Disp_Mont_SBLELD
	N8	Estoque_SBLE
	N8	Estoque_SBLD

```
*****
*                               Resources                               *
*****
```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
Operator 1	1	By Unit	Closest	Oldest	Net1 Home: N1	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	

```

.....
*                               Processing                               *
.....

                Process                                Routing

Entity   Location   Operation   Blk Output   Destination   Rule   Move Logic
-----
SCSLCP   Ent_SSLCP                1   SCSLCP   Disp_Mont_BRINLE  FIRST 1   MOVE WITH Operator THEN FREE

BRINLE   Ent_BRINLE                1   BRINLE   Disp_Mont_BRINLE  JOIN 1   MOVE WITH Operator THEN FREE

SCSLCP   Disp_Mont_BRINLE  JOIN 1 BRINLE
          GET Operator
          WAIT 0.47 MIN
          FREE Operator

          1   SBRINLE   Estoque_SBRINLE  FIRST 1   MOVE WITH Operator THEN FREE

SBRINLE   Estoque_SBRINLE  INC Quantidade_de_SBRINLE, 1
          COMBINE 150
          Tempo_Processo = CLOCK( HR)
          SBRINLE_porHora= Quantidade_de_SBRINLE / Tempo_Processo

SBRINLE   Entr_SBRINLE     COMBINE 30
BRINLD   Entr_SBRINLD     COMBINE 30
          1   SBRINLE   EXIT              FIRST 1
          1   Lote30_SBRINLE Carrinho_de_Peca  LOAD 1   MOVE FOR 0 MIN
          1   Lote30_BRINLD Carrinho_de_Peca  LOAD 1   MOVE FOR 0 MIN

BELE     Entr_SBELE       COMBINE 30
BELE     Entr_SBELE       COMBINE 30
Buchas   Entr_Buchas      COMBINE 30
Carro    Carrinho_de_Peca  LOAD 6
          1   Carro     Descarregamento  FIRST 1   MOVE WITH Operator THEN FREE

Carro    Descarregamento  INC Lote_30pcs, 1
          UNLOAD 6
          1   Carro     Carrinho_de_Peca  FIRST 1   MOVE FOR 0 MIN

Lote30_SBRINLE Descarregamento  1   Lote30_SBRINLE Carrinho     FIRST 1   MOVE FOR 0 MIN
Lote30_BRINLD  Descarregamento  1   Lote30_BRINLD Carrinho     FIRST 1   MOVE FOR 0 MIN
Lote30_BELE    Descarregamento  1   Lote30_BELE   Carrinho     FIRST 1   MOVE FOR 0 MIN
Lote30_BELE    Descarregamento  1   Lote30_BELE   Carrinho     FIRST 1   MOVE FOR 0 MIN
Lote30_Buchas  Descarregamento  1   Lote30_Buchas Carrinho     FIRST 1   MOVE FOR 0 MIN
Lote30_SBRINLE Carrinho          1   SBRINLE       Disp_Mont_SBELE  FIRST 30  MOVE WITH Operator THEN FREE

```

Lote30_BRINLD	Carrinho	1	BRINLD	Disp_Mont_SBLELD	JOIN 30	MOVE WITH Operator THEN FREE
Lote30_BELE	Carrinho	1	BELE	Disp_Mont_SBLELD	JOIN 30	MOVE WITH Operator THEN FREE
Lote30_BELD	Carrinho	1	BELD	Disp_Mont_SBLELD	JOIN 30	MOVE WITH Operator THEN FREE
Lote30_Buchas	Carrinho	1	Buchas	Disp_Mont_SBLELD	JOIN 30	MOVE WITH Operator THEN FREE
SBRLNLE	Disp_Mont_SBLELD	JOIN 1 BELE JOIN 1 Buchas JOIN 1 BRINLD JOIN 1 BELD JOIN 1 Buchas GET Operator WAIT 1.175 MIN FREE Operator Tempo_Processo_T = CLOCK( HR)				
		1	SBLE	Estoque_SBLE	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
		2*	SBLD	Estoque_SBLD	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
SBLE	Estoque_SBLE	INC Quant_SBLE, 1 COMBINE 150 Horas_Op30=Tempo_Processo_T-Tempo_Processo				
			1	SBLE	EXIT	FIRST 1
SBLD	Estoque_SBLD	INC Quant_SBLD, 1 COMBINE 150 SBLELD_por_hora=(Quant_SBLD+Quant_SBLE)/Horas_Op30 Capc_Celula=(Quant_SBLD+Quant_SBLE)/Tempo_Processo_T				
			1	SBLD	EXIT	FIRST 1

```
*****
*                               Arrivals                               *
*****
```

Entity	Location	Qty each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
SCSLCP	Ent_SSLCP	150	0	1	0	
BRINLE	Ent_BRINLE	150	0	1	1	
BELE	Entr_SBELE	30	70.8	5	60	
BELD	Entr_SBELD	30	70.8	5	60	
Buchas	Entr_Buchas	60	70.8	5	60	
BRINLD	Entr_SBRINLD	30	70.8	5	60	
SBRINLE	Entr_SBRINLE	30	70.8	5	60	
Carro	Carrinho_de_Peca	1	70.8	1	1	

```
*****
*                               Variables (global)                       *
*****
```

ID	Type	Initial value	Stats
Tempo_Processo	Real	0	Time Series
Tempo_Processo_T	Real	0	Time Series
Quantidade_de_SBRINLE	Integer	0	Time Series
SBRINLE_porHora	Real	0	Time Series
Lote_30pçs	Integer	0	Time Series
Quant_SBLE	Integer	0	Time Series
Quant_SBLD	Integer	0	Time Series
Horas_Op30	Real	0	Time Series
SBLELD_por_hora	Real	0	Time Series
Capc_Celula	Real	0	Time Series



### Programa 3 – Subcjs Braços LE/LD e Placas

```

*****
*
*                               Formatted Listing of Model:
* D:\Pós Graduação\.....\Célula Robô.MOD
*
*****

Time Units:                      Minutes
Distance Units:                   Meters

*****
*                               Locations
*
*****

Name                               Cap  Units  Stats          Rules          Cost
-----
Disp_Solda_SBLELD                  1    1      Time Series  Oldest, ,
Entr_Braços                         1000 1      Time Series  Oldest, ,
Entr_Placas                         1000 1      Time Series  Oldest, ,
Entr_Travas                         2000 1      Time Series  Oldest, ,
Cacamba_SPLACAS                    2000 1      Time Series  Oldest, ,
Cacambas_SBLE                      1000 1      Time Series  Oldest, ,
Cacambas_SBLD                      1000 1      Time Series  Oldest, ,
Disp_Solda_Trav521                  1    1      Time Series  Oldest, ,
Entr_Trav521                       1000 1      Time Series  Oldest, ,
Cacamba_Trav521                    1000 1      Time Series  Oldest, ,

*****
*                               Entities
*
*****

Name                               Speed (mpm)  Stats          Cost
-----
SBLE                               50           Time Series
SBLD                               50           Time Series
Placas                             50           Time Series
Travas                             50           Time Series
SBRLESOLD                          50           Time Series
SBRLDSOLD                          50           Time Series
SPlacas_Travas                     50           Time Series
Travessa                           50           Time Series
Terminal                           50           Time Series
Travessa521                        50           Time Series

```

```

*****
*                               Path Networks                               *
*****

Name      Type      T/S      From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
Net1      Passing    Time      N1        N2      Bi      0.0625
          N2        N3      Bi      0.0625
          N4        N5      Bi      0
          N2        N5      Bi      0
Net2      Passing    Time      N1        N2      Bi      0.0
          N1        N3      Bi      0.0

*****
*                               Interfaces                               *
*****

Net      Node      Location
-----
Net1     N1        Entr_Braços
          N1        Entr_Placas
          N1        Entr_Travas
          N2        Disp_Solda_SBLELD
          N3        Cacamba_SPLACAS
          N3        Cacambas_SBLD
          N3        Cacambas_SBLE
          N4        Entr_Trav521
          N5        Disp_Solda_Trav521
          N4        Cacamba_Trav521
Net2     N2        Disp_Solda_SBLELD
          N3        Disp_Solda_Trav521

*****
*                               Resources                               *
*****

Name      Units  Stats      Res      Ent      Path      Motion      Cost
-----
Operator  1      By Unit  Closest Oldest Net1      Empty: 50 mpm
          Home: N1      Full: 50 mpm

Robot     1      By Unit  Closest Oldest Net2      Empty: 50 mpm
          Home: N1      Full: 50 mpm
          (Return)

```

```

.....
* Processing *
.....

```

Process			Routing				
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
SBLE	Entr_Braços		1	SBLE	Disp_Solda_SBLELD	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
SBLD	Entr_Braços		1	SBLD	Disp_Solda_SBLELD	JOIN 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Placas	Entr_Placas		1	Placas	Disp_Solda_SBLELD	JOIN 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Travas	Entr_Travas		1	Travas	Disp_Solda_SBLELD	JOIN 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
SBLE	Disp_Solda_SBLELD	JOIN 1 SBLD JOIN 1 Placas JOIN 2 Travas JOIN 1 Placas JOIN 2 Travas GET Robot WAIT 2.19 MIN FREE Robot					
			1	SBRLESOLD	Cacanbas_SBLE	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
			2*	SBRDLSOLD	Cacanbas_SBLD	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
			3*	SPlacas_Travas	Cacanba_SPLACAS	FIRST 2	MOVE WITH Operator THEN FREE
SBRLESOLD	Cacanbas_SBLE	INC Prod_SBLE, 1	1	SBRLESOLD	EXIT	FIRST 1	MOVE FOR 0 MIN
SBRDLSOLD	Cacanbas_SBLD	INC Prod_SBLD, 1	1	SBRDLSOLD	EXIT	FIRST 1	MOVE FOR 0 MIN
SPlacas_Travas	Cacanba_SPLACAS	INC Prod_Placas, 1 Horas_Producao_Arvin = CLOCK( HR) Subcl_por_hora = (Prod_SBLE) / Horas_Producao_Arvin	1	SPlacas_Travas	EXIT	FIRST 1	
Travessa	Entr_Trav521		1	Travessa	Disp_Solda_Trav521	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Terminal	Entr_Trav521		1	Terminal	Disp_Solda_Trav521	JOIN 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Travessa	Disp_Solda_Trav521	JOIN 2 Terminal GET Robot WAIT 3 MIN FREE Robot					
			1	Travessa521	Cacanba_Trav521	FIRST 1	MOVE WITH Operator THEN FREE
Travessa521	Cacanba_Trav521	INC Prod_Trav521, 1 Horas_Producao_Trav = CLOCK( HR)	1	Travessa521	EXIT	FIRST 1	

```
*****
*                               Arrivals                               *
*****
```

Entity	Location	Qty each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
SBLE	Entr_Braços	150	0	1	1	
SBLD	Entr_Braços	150	0	1	1	
Placas	Entr_Placas	300	0	1	1	
Travas	Entr_Travas	1200	0	1	1	
Travessa	Entr_Trav521	150	3	1	1	
Terminal	Entr_Trav521	300	3	1	1	

```
*****
*                               Variables (global)                       *
*****
```

ID	Type	Initial value	Stats
Prod_Trav521	Integer	0	Time Series
Prod_SBLE	Integer	0	Time Series
Prod_SBLD	Integer	0	Time Series
Prod_Placas	Integer	0	Time Series
Horas_Producao_Trav	Real	0	Time Series
Horas_Producao_Arvin	Real	0	Time Series
subcj_por_hora	Real	0	Time Series

**Programa 4 – Linha de Montagem Final “Eixo SW”**

```

*****
*
*                               Formatted Listing of Model:
* D:\Pós Graduação\.....\Linha Montagem SW- Lote 01-21pintura.MOD
*
*****

Time Units:                      Minutes
Distance Units:                  Meters

*****
*                               Locations
*****

Name          Cap      Units  Stats      Rules          Cost
-----
Entrada_Pecas      10000    1      Time Series Oldest, ,
Montagem_Kit       4         1      Time Series Oldest, ,
Fila_KitSW         4         1      Time Series Oldest, FIFO,
Montagem_SWSP      1         1      Time Series Oldest, ,
Fila_SWSP          4         1      Time Series Oldest, FIFO,
Desfazer_Lote1     10000    1      Time Series Oldest, ,
Fila_SWSPREPAR     INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,
Reparo_Solda       1         1      Time Series Oldest, ,
Esteira_Pecas_Repar INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,
Entr_SPLACAS       10000    1      Time Series Oldest, ,
Montagem_Placas    1         1      Time Series Oldest, ,
Fila_SW_Soldado    INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,
Desfazer_Lote2     10000    1      Time Series Oldest, ,
Fila_SW_Usinagem   INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,
Maquina_Usinagem   1         1      Time Series Oldest, ,
Fila_SW_USINADO    INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,
Bancada_Acabamento 1         1      Time Series Oldest, ,
Fila_SW            INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,
Pintura            10000    1      Time Series Oldest, ,
Loc1               INFINITE 1      Time Series Oldest, ,

```

```
*****
*                               Entities                               *
*****
```

Name	Speed (mpm)	Stats	Cost
SBLE	50	Time Series	
SBLD	50	Time Series	
Tubos	50	Time Series	
Olhetes	50	Time Series	
SSUCAP	50	Time Series	
SUPU	50	Time Series	
SPLACAS	50	Time Series	
SESW_KIT	50	Time Series	
SESW_SEM_PLACAS	50	Time Series	
Rack20_SESW_SEM_PLACAS	50	Time Series	
SESWSP_REPARADO	50	Time Series	
SESW_Completo	50	Time Series	
Rack20_SESW_Completo	50	Time Series	
SESW_Usinado	50	Time Series	
Eixo_SW	50	Time Series	
Rack20_Eixo_SW	50	Time Series	

```
*****
*                               Path Networks                          *
*****
```

Name	Type	T/S	From	To	BI	Dist/Time	Speed Factor
Net1	Passing	Time	N1	N2	Bi	0.0333	
			N2	N3	Bi	0.25	
			N3	N4	Bi	0.75	
Net2	Passing	Time	N1	N2	Bi	0.5	
			N2	N3	Bi	0.15	
Net3	Passing	Time	N1	N2	Bi	0.167	
			N2	N3	Bi	0.167	
Net4	Passing	Time	N1	N2	Bi	0.167	
			N2	N3	Bi	0.167	
Net5	Passing	Time	N1	N2	Bi	0.25	
			N2	N3	Bi	0	
			N3	N4	Bi	0	
			N4	N5	Bi	0.125	
Net6	Passing	Time	N1	N2	Bi	0.08	
			N2	N3	Bi	0.07	
Robot	Passing	Time	N1	N2	Bi	0.06	1

```

*****
*                                     Interfaces                                     *
*****

```

Net	Node	Location
Net1	N1	Entrada_Pecas
	N2	Montagem_Kit
	N3	Fila_SWSP
	N4	Desfazer_Lote1
Net2	N1	Fila_KitSW
	N2	Montagem_SWSP
	N3	Fila_SWSP
Net3	N1	Fila_SWSPREPAR
	N2	Reparo_Solda
	N3	Esteira_Pecas_Repar
Net4	N1	Entr_SPLACAS
	N1	Esteira_Pecas_Repar
	N2	Montagem_Placas
Net5	N3	Fila_SW_Soldado
	N1	Fila_SW_Soldado
	N2	Desfazer_Lote2
	N3	Fila_SW_Usinagem
	N4	Maquina_Usinagem
Net6	N5	Fila_SW_USINADO
	N1	Fila_SW_USINADO
	N2	Bancada_Acabamento
Robot	N3	Fila_SW
	N2	Montagem_SWSP

```
*****
*                               Resources                               *
*****
```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
Operador1	1	By Unit	Closest	Oldest	Net1 Home: N1	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador2	1	By Unit	Closest	Oldest	Net2 Home: N1	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador3	1	By Unit	Closest	Oldest	Net3 Home: N1	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador4	1	By Unit	Closest	Oldest	Net4 Home: N1	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador5	1	By Unit	Closest	Oldest	Net5 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador6	1	By Unit	Closest	Oldest	Net6 Home: N1	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Robot2	1	By Unit	Closest	Oldest	Robot Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	



Processing							
Processing							
Process				Routing			
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Tubos	Entrada_Pecas		1	Tubos	Montagem_kit	FIRST 1	MOVE WITH Operador1 THEN FREE
SBLE	Entrada_Pecas		1	SBLE	Montagem_kit	JOIN 1	MOVE WITH Operador1 THEN FREE
SBLD	Entrada_Pecas		1	SBLD	Montagem_kit	JOIN 1	MOVE WITH Operador1 THEN FREE
Olhetes	Entrada_Pecas		1	Olhetes	Montagem_kit	JOIN 1	MOVE WITH Operador1 THEN FREE
SSUCAP	Entrada_Pecas		1	SSUCAP	Montagem_kit	JOIN 1	MOVE WITH Operador1 THEN FREE
SUPU	Entrada_Pecas		1	SUPU	Montagem_kit	JOIN 1	MOVE WITH Operador1 THEN FREE
Tubos	Montagem_Kit	JOIN 1 SBLE JOIN 1 SBLD JOIN 2 Olhetes JOIN 1 SSUCAP JOIN 1 SUPU INC Contador_Fila_Entr, 1					
			1	SESM_KIT	Fila_kitSM	FIRST 1	MOVE FOR 0.00001 MIN
SESM_KIT	Fila_kitSM	INC Entrada_de_SM, 1 Rack=21 Rack_Incompleto = ((Entrada_Fila_SM / Rack) -Racks_para_Pintura)*Rack WIP = (Entrada_de_SM-(Saida_de_SM + Rack_Incompleto))	1	SESM_KIT	Montagem_SMSP	FIRST 1	MOVE WITH Operador2 THEN FREE
SESM_KIT	Montagem_SMSP	GET Robot2 WAIT 4.81 MIN FREE Robot2	1	SESM_SEM_PLACAS	Fila_SMSP	FIRST 1	MOVE WITH Operador2 THEN FREE
SESM_SEM_PLACAS	Fila_SMSP	DEC Contador_Fila_Entr, 1 COMBINE 1	1	Rack20_SESM_SEM_PLACAS	Desfazer_Lote1	FIRST 1	MOVE WITH Operador1 THEN FREE
Rack20_SESM_SEM_PLACAS	Desfazer_Lote1	INC Racks_Saindo_Robô, 1	1	SESM_SEM_PLACAS	Fila_SMSPREPAR	FIRST 1	MOVE WITH Operador3 THEN FREE
SESM_SEM_PLACAS	Fila_SMSPREPAR		1	SESM_SEM_PLACAS	Reparo_Solda	FIRST 1	MOVE WITH Operador3 THEN FREE
SESM_SEM_PLACAS	Reparo_Solda	INC Entrada_Retoque_Placas, 1 GET Operador3 WAIT 3.37 MIN FREE Operador3	1	SESMSP_REPARADO	Esteira_Pecas_Repar	FIRST 1	MOVE WITH Operador3 THEN FREE
SESMSP_REPARADO	Esteira_Pecas_Repar		1	SESMSP_REPARADO	Montagem_Placas	FIRST 1	MOVE WITH Operador4 THEN FREE
SPLACAS	Entr_SPLACAS		1	SPLACAS	Montagem_Placas	JOIN 1	MOVE WITH Operador4 THEN FREE
SESMSP_REPARADO	Montagem_Placas	JOIN 2 SPLACAS GET Operador4 WAIT 5.15 MIN FREE Operador4	1	SESM_Completo	Fila_SM_Soldado	FIRST 1	MOVE WITH Operador4 THEN FREE
SESM_Completo	Fila_SM_Soldado	INC Saida_Montagem_Placas, 1 COMBINE 1	1	Rack20_SESM_Completo	Desfazer_Lote2	FIRST 1	MOVE WITH Operador5 THEN FREE
Rack20_SESM_Completo	Desfazer_Lote2		1	SESM_Completo	Fila_SM_Usinagem	FIRST 1	MOVE FOR 0.00001 MIN
SESM_Completo	Fila_SM_Usinagem	INC Entrada_Maquina_Usinagem, 1	1	SESM_Completo	Maquina_Usinagem	FIRST 1	MOVE WITH Operador5 THEN FREE

SESM_Completo	Maquina_Usinagem	GET Operator5 WAIT 1.55 MIN FREE Operator5						
SESM_Usinado	Fila_Sm_USINADO		1	SESM_Usinado	Fila_Sm_USINADO	FIRST 1	MOVE WITH Operator5 THEN FREE	
SESM_Usinado	Bancada_Acabamento		1	SESM_Usinado	Bancada_Acabamento	FIRST 1	MOVE WITH Operator6 THEN FREE	
Eixo_Sm	Fila_Sm	GET Operator6 WAIT 3.4 MIN FREE Operator6	1	Eixo_Sm	Fila_Sm	FIRST 1	MOVE WITH Operator6 THEN FREE	
Rack20_Eixo_Sm	Pintura	INC Entrada_Fila_Sm, 1 COMBINE 21	1	Rack20_Eixo_Sm	Pintura	FIRST 1	MOVE FOR 0 MIN	
		INC Racks_para_Pintura, 1 Saida_de_Sm =Racks_para_Pintura * Rack IF Racks_para_Pintura = 1 THEN { BEGIN Horas_Primeiro_K7 = CLOCK( HR) END }						
			1	Rack20_Eixo_Sm	EXIT	FIRST 1		

```
*****
*                               Arrivals                               *
*****
```

Entity	Location	Qty each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
Tubos	Entrada_Pecas	1	0	INF	1	
SBLE	Entrada_Pecas	1	0	INF	1	
SBLD	Entrada_Pecas	1	0	INF	1	
Olhetes	Entrada_Pecas	2	0	INF	1	
SSUCAP	Entrada_Pecas	1	0	INF	1	
SUPU	Entrada_Pecas	1	0	INF	1	
SPLACAS	Entr_SPLACAS	2	0	INF	1	

```
*****
*                               Shift Assignments                       *
*****
```

Locations	Resources	Shift Files	Priorities	Disable Logic
	Operador1	D:\Pós Graduação\Professor Jos	99,99,99,99	No
	Operador2			
	Operador3			
	Operador4			
	Operador5			
	Operador6			
	Robot2			

```
*****
*                               Attributes                               *
*****
```

ID	Type	Classification
Rack	Integer	Entity

```
*****
*                               variables (global)                               *
*****
```

ID	Type	Initial value	Stats
Racks_para_Pintura	Integer	0	Time Series
Horas_Primeiro_K7	Real	0	Time Series
Racks_Saindo_Robô	Integer	0	Time Series
Entrada_de_SW	Integer	0	Time Series
Saida_de_SW	Integer	0	Time Series
Entrada_Fila_SW	Integer	0	Time Series
WIP	Integer	0	Time Series
Entrada_Maquina_Usinagem	Integer	0	Time Series
Saida_Montagem_Placas	Integer	0	Time Series
Entrada_Retoque_Placas	Integer	0	Time Series
Rack_Incompleto	Integer	0	Time Series
Contador_Fila_Entr	Integer	0	Time Series

```
*****
*                               External Files                               *
*****
```

ID	Type	File Name
(null)	shift	D:\Pós Graduação\Professor Jose Arnaldo\Curso de Simulação-BCK 26-0-2006\Dissert