

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**O USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE:  
UM ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DE CÂMARAS DE BRONZEAMENTO**

**Luis Fernando Cruz da Costa**

**Porto Alegre, 2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**O USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE:  
UM ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DE CÂMARAS DE BRONZEAMENTO**

**Luis Fernando Cruz da Costa**

**Orientador: Prof. Dr. Leonardo Rocha de Oliveira**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto**

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro**

**Prof. Flávio José Lorini**

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – Modalidade  
Profissionalizante – Ênfase Gerência de Produção e Ergonomia**

**Porto Alegre, 2002**

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

---

**Prof. Leonardo Rocha de Oliveira**

Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Profª. Helena Beatriz Bettella Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Flávio Sanson Fogliato**  
PPGEP/UFRGS

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro**  
PPGEP/UFRGS

**Prof. Flávio José Lorini**  
UNISINOS

## **Dedicatória**

A um grande amigo Davenir Silveira Pinto, in memoriam.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Alcides e Ceni Costa, pelo incentivo, apoio e exemplo de vida.

Ao orientador, Prof. Leonardo Rocha de Oliveira, por toda paciência e dedicação prestada.

Aos professores Flávio Fogliatto e Peter Hansen, pelas oportunas sugestões ao longo do desenvolvimento do trabalho.

À empresa Solare Dermatologia e Estética, na figura de seu diretor, Sr. Cleverson Riggo, que possibilitou este estudo.

De forma especial, dedico este trabalho a minha esposa, Silvana Boneto Costa, que, com toda a compreensão, me apoiou e me incentivou incansavelmente ao longo deste projeto.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	xi
<b>RESUMO</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 A PRODUÇÃO INDUSTRIAL BRASILEIRA .....	1
1.2 NECESSIDADES DE MELHORIA .....	1
<b>1.2.1 Recursos humanos</b> .....	2
<b>1.2.2 Tecnologia</b> .....	3
1.3 OBJETIVO DO TRABALHO .....	4
<b>1.3.1 Objetivos gerais</b> .....	4
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	4
1.4 MÉTODO DE PESQUISA.....	4
<b>1.4.1 Estágios para elaboração do trabalho</b> .....	6
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	6
<b>2 O AMBIENTE EMPRESARIAL</b> .....	8
2.1 A EMPRESA .....	8
2.2 ANÁLISE AMBIENTE EXTERNO .....	8
<b>2.2.1 Variáveis incontroláveis</b> .....	8
2.3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO .....	9
2.4 LINHAS DE MONTAGEM .....	9
2.5 DIFICULDADES OPERACIONAIS DO TRABALHO .....	11
2.6 ANÁLISE DE SOLUÇÕES .....	11
<b>3 PROCESSOS PRODUTIVOS</b> .....	13
3.1 INTRODUÇÃO .....	13
3.2 PRODUÇÃO .....	13
3.3 TIPOS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO .....	14
<b>3.3.1 Sistema de produção contínua (fluxo em linha)</b> .....	14
<b>3.3.2 Sistema de produção intermitente (fluxo intermitente)</b> .....	15
<b>3.3.3 Sistema de produção para grandes projetos</b> .....	16
3.4 CLASSIFICAÇÃO CRUZADA DE SCHROEDER .....	16

3.5 TECNOLOGIA DE GRUPO .....	18
3.6 SISTEMAS DE MANUFATURA .....	20
<b>3.6.1 Layout funcional (<i>Job Shop</i>) .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6.2 Layout em linha (<i>Flow Shop</i>) .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6.3 Layout de posição fixa (<i>Project Shop</i>) .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.4 Processos contínuos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.5 Sistema de manufatura com células interligadas (SMCI) .....</b>	<b>23</b>
3.7 LINHA DE MONTAGEM .....	24
3.8 EVOLUÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM .....	24
3.9 A SIMULAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA FERRAMENTA DE ANÁLISE .....	25
<b>4 SIMULAÇÃO .....</b>	<b>27</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	27
4.2 MODELAGEM DE SISTEMA .....	27
4.3 TIPOS DE MODELOS .....	28
4.4 MODELAGEM DE PROCESSO .....	31
<b>4.4.1 Desenvolvimento de modelos .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4.2 Método de modelagem de processos industriais .....</b>	<b>31</b>
4.5 PRINCÍPIOS DE MODELAGEM .....	32
4.6 SIMULAÇÃO DE SISTEMA .....	33
4.7 TIPOS DE SISTEMA DE SIMULAÇÃO .....	34
4.8 EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO .....	35
4.9 ETAPAS EM ESTUDO DE SIMULAÇÃO .....	39
4.10 VANTAGENS, DESVANTAGENS E ARMADILHAS EM SIMULAÇÃO .....	43
4.11 VALIDAÇÃO EM MODELOS DE SIMULAÇÃO .....	45
4.12 VERIFICAÇÃO EM MODELOS DE SIMULAÇÃO .....	48
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>50</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	50
5.2 LINHAS DE MONTAGEM .....	51
5.3 COLETA DE DADOS .....	52
5.4 ESCOLHA DO PRODUTO .....	52
5.5 FLUXO DE MONTAGEM DO PRODUTO .....	53
5.6 SIMPLIFICAÇÕES .....	58
5.7 MODELAGEM DO SISTEMA PRODUTIVO ESCOLHIDO .....	59
5.8 PROPOSIÇÃO DE UM NOVO SISTEMA .....	65

5.9 ANÁLISE DA MODELAGEM ORIGINAL.....	74
5.10 ANÁLISE DA PROPOSTA .....	80
5.11 COMPARAÇÃO ENTRE AS MODELAGENS ORIGINAL E PROPOSTA .....	85
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>89</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	89
<b>6.1.1 Conclusões sobre o trabalho executado .....</b>	<b>90</b>
<b>6.1.2 Conclusões sobre a utilização da ferramenta PROMODEL .....</b>	<b>90</b>
<b>6.1.3 Resultados do trabalho desenvolvido em relação à prática industrial .....</b>	<b>91</b>
6.2 RECOMENDAÇÕES .....	91
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE FIGURAS

1 Fluxo sistema produtivo original .....	10
2 Tipos de modelos, Gordon (1978) .....	29
3 Etapas num estudo de simulação, Law e Kelton (1999) .....	41
4 Fluxo de produção do modelo <i>Roller Redutore</i> .....	54
5 Fluxo de produção do modelo <i>Dorata</i> .....	55
6 Fluxo do sistema produtivo do modelo <i>Dr. Lapolli</i> .....	56
7 Fluxo do sistema produtivo do modelo <i>Paradiso</i> .....	57
8 Tela de visualização da modelagem da <i>Paradiso</i> .....	60
9 Tela de visualização da modelagem da <i>Dr. Lapolli</i> .....	61
10 Tela de visualização da modelagem da <i>Dorata</i> .....	61
11 Tela de visualização da modelagem do <i>Roller</i> .....	62
12 Tela de visualização da modelagem do sistema produtivo original.. .....	62
13 Tela de visualização do uso da ferramenta <i>Stat Fit</i> .....	64
14 Fluxo de produção do modelo <i>Roller</i> com novos tempos .....	67
15 Fluxo de produção do modelo <i>Dorata</i> com novos tempos .....	68
16 Fluxo de produção do modelo <i>Dr. Lapolli</i> com novos tempos .....	69
17 Fluxo de produção do modelo <i>Paradiso</i> com novos tempos .....	70
18 Fluxo do sistema produtivo proposto .....	72
19 Tela de visualização da modelagem do sistema produtivo proposto .....	73
20 Tela de visualização do gráfico Estado dos Locais ( <i>Single Capacity Location States</i> , Sistema Original) .....	74
21 Percentual de tempo em operação dos locais (Sistema Original) .....	75
22 Percentual de tempo ocioso dos locais (Sistema Original) .....	75
23 Percentual de tempo bloqueado dos locais (Sistema Original) .....	76
24 Percentual de tempo em espera dos locais (Sistema Original) .....	76
25 Tela de visualização do gráfico Estado das Entidades ( <i>Entity States</i> , Sistema Original) .....	77
26 Percentual de tempo operando das entidades (Sistema Original) .....	77
27 Percentual de tempo bloqueado das entidades (Sistema Original) .....	78
28 Percentual de tempo em espera das entidades (Sistema Original) .....	78
29 Tela de visualização do gráfico Utilização dos Locais ( <i>Location Utilization</i> , Sistema Original) .....	79

30 Tela de visualização do gráfico Utilização dos Recursos ( <i>Resource Utilization</i> , Sistema Original) .....	79
31 Tela de visualização do gráfico Estado dos Locais ( <i>Single Capacity Location States</i> , Sistema Proposto) .....	80
32 Percentual de tempo em operação dos locais (Sistema Proposto) .....	81
33 Percentual de tempo ocioso dos locais (Sistema Proposto) .....	81
34 Percentual de tempo em espera dos locais (Sistema Proposto) .....	82
35 Tela de visualização do gráfico Estado das Entidades ( <i>Entity States</i> , Sistema Proposto) .....	82
36 Percentual de tempo em operação das entidades (Sistema Proposto) .....	83
37 Percentual de tempo bloqueado das entidades (Sistema Proposto) .....	83
38 Percentual de tempo em espera das entidades (Sistema Proposto) .....	84
39 Tela de visualização do gráfico Utilização dos Locais ( <i>Location Utilization</i> , Sistema Proposto).....	84
40 Tela de visualização do gráfico de Utilização de Recursos ( <i>Resource Utilization</i> , Sistema Proposto) .....	85
41 Tela de visualização do programa <i>Statdisk</i> .....	87

## LISTA DE QUADROS

1 Classificação cruzada de Schroeder (exemplos) .....	18
2 Evolução dos sistemas de simulação (Lobão e Porto, 1996) .....	35
3 Compilação dos tempos dos fluxos de montagem do sistema produtivo original .....	58
4 Relação das melhorias e suas aplicações .....	65
5 Compilação dos tempos dos fluxos de montagem do sistema produtivo proposto .....	71
6 Tempo gasto para a montagem do equipamento, antes e depois das melhorias.....	71
7 Relação entre total armazenado e indicador de desempenho .....	86

## **RESUMO**

A concorrência nos mercados locais e internacionais tem levado as empresas a tornarem-se cada vez mais competitivas e atentas as mudanças no mercado, possibilitando-lhes melhorias em seus processos produtivos. Este trabalho apresenta a modelagem e análise de melhorias no processo produtivo de uma empresa de montagem de câmaras de bronzeamento. A simulação computacional foi utilizada como ferramenta de análise das possíveis oportunidades de melhorias a serem introduzidas no processo produtivo. O processo original foi modelado com o objetivo de identificar e caracterizar a distribuição de tempos e utilização dos equipamentos e recursos presentes no processo produtivo da empresa. Diferentes propostas de melhorias foram investigadas e uma nova modelagem do processo foi sugerida, considerando exigências do mercado e características do processo produtivo empresarial. Comparações matemáticas entre os resultados foram elaboradas e as conclusões sobre o estudo são apresentadas ao final do trabalho. Os resultados da simulação estão sendo usados para avaliar possíveis alterações no processo produtivo da empresa, bem como para gerar documentos que registram conhecimento corporativo sobre possíveis arranjos na produção.

## **ABSTRACT**

Competition in local and international markets has taken companies to become permanently aware of changes in the market, technology and improving possibilities at the productive processes. This research work presents the modeling and analysis of improvements in the productive process of a company that assembles bronzing chambers. The computational simulation was used as tool for the analysis of possible improvements opportunities to be introduced in the productive process. The original process model was created to identify the total amount of time needed to build its products, analyzing each equipment and resource used by the company's productive process. Different proposals for process enhancement had been investigated and a new productive process model was suggested, considering new market requirements and particular aspects of the enterprise behavior. Mathematical comparisons between the results had been elaborated and the conclusions of the study are presented at the final chapter of this work. The simulation results are being used to evaluate possible changes in the company's productive process, as well as providing documents to be used as corporative knowledge about possible process arrangements.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 A PRODUÇÃO INDUSTRIAL BRASILEIRA

A produção industrial brasileira passou por diversas fases ao longo da história. Essas fases estiveram diretamente relacionadas a estratégias econômicas adotadas no país. Nos últimos vinte anos, observa-se algumas mudanças econômicas importantes que foram refletidas na produção industrial brasileira.

As crises da década de 1980 deixaram como saldo um panorama de deterioração da infra-estrutura de energia elétrica, comunicações, transportes (principalmente rodovias e portos) e tecnologia desatualizada em vários setores industriais (Velloso *et al.*, 1990). Não se definiu, ao longo da década, uma nova estratégia industrial que sucedesse a de 1974, de reação à crise do petróleo. Esse fato impossibilitou o Brasil de seguir o novo ciclo de expansão mundial, iniciado em 1984, influenciado pelas novas tecnologias. Dessa forma, o país ficou atrasado em relação aos NICs da Ásia (*Newly Industrializing Countries* – países de industrialização recente), como Coreia do Sul e Formosa, que passaram ao novo estágio de industrialização.

Na última década, houve uma verdadeira revolução industrial no mundo. O próprio padrão de industrialização se modificou sob a influência vertiginosa da tecnologia. Explorar as novas vantagens comparativas dinâmicas do país, pelo avanço nas trajetórias tecnológicas já iniciadas (eletrônica, informática, mecatrônica, química fina, novos materiais, biotecnologia, etc.), além de fortalecer a competitividade nacional nos setores instalados, inclusive e especialmente corrigindo as distorções decorrentes de um prolongamento excessivo da estratégia de substituição de importações, são as duas grandes linhas de ação apontadas por Velloso *et al.* (1990).

O novo modelo econômico brasileiro tem por objetivo a construção de uma economia internacionalmente competitiva, ajustada à abertura comercial, à globalização (e à regionalização, no caso Mercosul) bem como ajustada ao novo paradigma industrial e tecnológico. A atuação dessas forças é que está levando à indústria brasileira a maior transformação por que já passou, conforme afirma Velloso *et al.* (1990).

### 1.2 NECESSIDADES DE MELHORIA

A necessidade de constantes melhorias está diretamente relacionada com a competitividade globalizada. De acordo com Diniz (2001), mesmo com o atraso tecnológico

em relação aos países industrializados e de outros de rápida industrialização, a exemplo de alguns países asiáticos, observa-se, no Brasil, um rápido processo de modernização tecnológica. Os resultados de aumento de produtividade, as mudanças nos padrões de organização produtiva e gerencial e a emergência de um conjunto de novas áreas industriais com forte presença de indústrias de alta tecnologia são resultados que espelham este processo de modernização.

O aumento da competição internacional pressiona a base produtiva existente no Brasil não só pela presença de produtos importados, mas também pela necessidade de competir no mercado internacional. Isto força o sistema produtivo a reduzir custos e melhorar qualidade. O aumento da importação de bens de capital e de insumos, facilitado com a liberação das importações, são também resultantes desse movimento. Esse processo provoca a tendência de reforçar a região mais desenvolvida do país. Nela está localizada a maior parcela da base produtiva, que se moderniza mais rapidamente e onde estão também as melhores condições geográficas.

### **1.2.1 Recursos humanos**

A busca por melhores resultados de competitividade, através do desenvolvimento de recursos humanos, é um dos caminhos indicados, juntamente com o desenvolvimento tecnológico. Castro *et al.* (1996) consideram a necessidade de melhoria com investimento no desenvolvimento de recursos humanos, mas relatos de presidentes, diretores, gerentes industriais e de recursos humanos indicam não existir um modelo formal para dirigir investimentos em recursos humanos ou para avaliar resultados em termos de ganhos de competitividade.

Para interligar o investimento em recursos humanos e o desenvolvimento do sistema de produção, Castro *et al.* (1996) têm como premissa assumir que é possível definir um nível de desempenho individual e grupal ótimo. O treinamento seria o meio pelo qual os colaboradores atingiriam padrões de desempenho definidos pela gerência. Por outro lado, Castro *et al.* (1996) ponderam que esta abordagem impede os processos de melhoria contínua, desconhece a questão da motivação, superestima a capacidade das gerências, desconhece o novo, seja na forma de novos sistemas de produção, seja na forma de imprevistos, e é incapaz de lidar com médio e longo prazos. Desse modo, a ligação entre investimento em recursos humanos e desempenho do sistema de produção oferecida pela engenharia de produção de corte tradicional é, no mínimo, insuficiente. Na seqüência, Castro *et al.* (1996) comentam a Teoria do Capital Humano, apresentada por S. A. Snell e J. W. Dean Jr. (1992), que parte de algumas premissas, tais como:

- a) Qualificação e conhecimento são capitais porque geram produtividade;
- b) Pessoas adicionam valor às empresas diretamente (transformação) e indiretamente (coordenação, solução de problemas etc.);
- c) O capital humano de uma empresa é o resultado de investimentos feitos (contratação e/ou treinamento);
- d) A contribuição dos empregados depende da sua vontade.

Mesmo sendo próximo das preocupações de melhorias através do investimento em recursos humanos, Castro *et al.* (1996) relatam que os autores não propõem nenhum método para quantificar estas questões. Concluem observando que quantificar a relação de investimento em recursos humanos e desempenho da empresa (competitividade) parece ser tarefa ainda por fazer.

Velloso *et al.* (1990) afirmam que a complexidade e a novidade das novas tecnologias impõem a realização de um esforço de formação e treinamento de recursos humanos para viabilizar, em nível operacional, sua utilização. Além disso, as novas técnicas, como previsível, passam por processos de mudanças intensas e continuadas, o que requer igualmente um processo contínuo de educação e retreinamento do pessoal operacional.

### **1.2.2 Tecnologia**

Segundo Castro *et al.* (1996), a indústria brasileira está vivendo mais um “momento decisivo” de sua história. A sobrevivência à recessão do início da década garantiu a sustentação da difusão de novas técnicas gerenciais e organizacionais. Neste momento, a prosperidade potencial em meio ao novo ambiente competitivo, globalizado, exige a adoção de novas tecnologias, tanto de *hardware* quanto de *software*. Para Castro *et al.*, aceleradores de desenvolvimento obtidos no campo da eletrônica e, posteriormente, da microeletrônica, alteraram a natureza dos produtos e processos de produção, configurando uma verdadeira revolução tecnológica. Salientam também, que a contínua redução de custos por informação processada, armazenada ou transportada, bem como um correspondente processo de miniaturização dos componentes e equipamentos microeletrônicos são impressionantes. Esta nova base técnica viabiliza o aumento da capacidade de tratamento da informação (captação, processamento, armazenamento e transmissão) em face de uma nova convergência tecnológica, agora nucleada pela (micro) eletrônica digital.

Conforme Velloso *et al.* (1990), no mundo contemporâneo, o desenvolvimento das forças produtivas tem sido marcado por três características notáveis:

- a) Interdependência crescente entre o progresso científico e o progresso tecnológico;

- b) Contínua redução do intervalo temporal compreendido entre a data de uma invenção e o momento de sua transformação em produto comercial;
- c) A multidisciplinaridade dos conhecimentos incorporados nas inovações tecnológicas.

Estas características provocaram, sobretudo nas últimas décadas, constantes mudanças na forma de amparar e organizar as atividades de pesquisa e desenvolvimento. Por um lado, o conhecimento científico é usado intensivamente nas rotinas de pesquisa e desenvolvimento, por estar associado à elevação do grau de risco dos projetos e à geração de economias externas. Por outro lado, a multidisciplinaridade dos projetos tem estimulado a realização de pesquisas compartilhadas entre diferentes áreas de conhecimentos, entre empresas e países.

### 1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

#### 1.3.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo a modelagem e análise de melhorias no processo produtivo de empresa de montagem de câmaras de bronzeamento, utilizando a simulação como ferramenta de análise das sugestões indicadas. Simulação esta sendo utilizada para avaliar a possível resposta do sistema produtivo a tal adequação, bem como documentar as propostas indicadas.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar uma visão geral dos sistemas produtivos e suas aplicações por meio da revisão bibliográfica;
- b) Sugerir uma nova proposta, adequando o sistema produtivo do estudo de caso às condições impostas pelo mercado;
- c) Desenvolver modelo de simulação computacional para analisar o sistema produtivo num estudo de caso.

### 1.4 MÉTODO DE PESQUISA

De acordo com Yin (2001), existem várias maneiras de se realizar pesquisas. Alguns exemplos citados são: experimentos, levantamentos, pesquisas históricas, análise de informações em arquivos (como em estudos de economia) e estudo de caso. Suas vantagens e desvantagens dependem basicamente de três condições: o tipo de questão de pesquisa, o controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais efetivos, e o foco em fenômenos históricos, em oposição a fenômenos contemporâneos.

Ao serem colocadas questões do tipo “como” e “por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real em geral, a estratégia preferida é o estudo do caso.

O autor afirma que um projeto de pesquisa constitui a lógica que une os dados a serem coletados e as conclusões a serem tiradas às questões iniciais do estudo. Para um estudo de caso, os cinco componentes importantes de um projeto de pesquisa são: as questões de um estudo; suas proposições, se houver; sua(s) unidade(s) de análise; a lógica que une os dados às proposições; e os critérios para se interpretar as descobertas.

Na condução do estudo de caso, a coleta de evidências pode vir de seis fontes distintas: documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. Seus benefícios podem ser maximizados se forem mantidos presentes três princípios: utilizar várias fontes de evidência, criar um banco de dados para o estudo de caso e manter o encadeamento das evidências.

A análise das evidências de um estudo de caso é uma atividade difícil, se às estratégias e as técnicas não foram muito bem-definidas no passado. Cada pesquisador deve começar seu trabalho com uma estratégia analítica geral, estabelecendo prioridades do que deve ser analisado e por quê.

O autor sugere duas estratégias gerais, baseando-se em proposições teóricas e desenvolvendo uma descrição de caso. A primeira, é seguir as proposições teóricas que levaram ao estudo de caso. Nesta, o objetivo e o projeto original do estudo baseiam-se em proposições que refletem o conjunto de questões de pesquisa, as revisões feitas na literatura sobre o assunto e as novas interpretações que possam surgir. A segunda estratégia, desenvolver uma estrutura descritiva, tem como objetivo organizar o estudo.

A fase de composição do “relatório” exige o maior esforço de um pesquisador de estudo de caso. Algumas etapas devem ser obedecidas durante o processo de composição: identificar o público almejado para o relatório, desenvolver uma estrutura de composição e adotar certos procedimentos como pedir para pessoas informadas revisarem o estudo de caso do qual foram objetos de estudo. Para a estrutura de composição, são sugeridas seis alternativas: analítica linear, comparativa, cronológica, de construção da teoria, de “incertezas” e estruturas não-sequenciais.

Este estudo utiliza a abordagem-padrão, de estrutura analítica linear. A seqüência de tópicos inclui o tema ou problema que está sendo estudado, uma revisão da literatura

importante já existente, os métodos utilizados, as descobertas feitas a partir dos dados coletados e analisados e as conclusões e implicações feitas a partir das descobertas.

#### **1.4.1 Estágios para elaboração do trabalho**

Partindo de uma fundamentação teórica relacionada ao estudo de caso, este trabalho visa aplicar os conhecimentos/conceitos na modelagem do sistema produtivo com o uso da simulação como ferramenta de análise de uma nova configuração produtiva.

O estudo se divide em três partes:

- a) Modelagem do sistema produtivo utilizado;
- b) Modelagem do sistema produtivo proposto;
- c) Análise destes sistemas.

A modelagem do sistema produtivo utilizado é referente à situação até então vivida pela empresa. Num primeiro momento, será feito um mapeamento e documentação do sistema produtivo, coletando informações disponíveis a fim de representar o real desempenho do sistema. Após, serão feitas as devidas simplificações para o desenvolvimento do modelo e sua experimentação. Por fim, será feita uma avaliação dos resultados obtidos, identificando e caracterizando os principais problemas verificados no sistema.

Será proposta uma nova modelagem do sistema produtivo levando-se em conta sua adequação às exigências do mercado.

A análise desses sistemas tem como objetivo observar os problemas apresentados e, de acordo com a possibilidade, confrontar seus desempenhos. Serão analisados os resultados obtidos, suas implicações, perdas, ganhos e adequação à nova realidade.

### **1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta um relato da situação vivida pela produção industrial brasileira nos últimos anos.

No segundo capítulo, é observado o ambiente empresarial e sua vulnerabilidade ao ambiente externo. A seguir, no terceiro capítulo, é apresentado um panorama geral dos processos produtivos, suas abordagens e utilizações, através de revisão bibliográfica.

A simulação, sendo uma importante ferramenta de análise nas mudanças impostas apresentadas no estudo de caso, é retratada no quarto capítulo, também através de revisão bibliográfica.

O quinto capítulo contém o estudo de caso. É retratada a empresa com base no capítulo

anterior e apresentada as modelagens do sistema produtivo normal, proposto e análises.

Por fim, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas através do desenvolvimento do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

## **2 O AMBIENTE EMPRESARIAL**

### **2.1 A EMPRESA**

Com a globalização, as empresas em geral sentiram o impacto em suas relações com o mercado. Como consequência, tiveram que ser ágeis para adaptar-se às novas condições. Muitas vezes, estes novos cenários trazem outras condições que podem agravar o problema.

A empresa retratada no estudo de caso, fabricante de produtos de fotoaplicação (solares de bronzamento), também sofreu seu impacto. Além da competição imposta pelo mercado, fatores fora de seu controle (mídia negativa, o que abala a confiança do consumidor) determinam mudanças necessárias para sua sobrevivência.

### **2.2 ANÁLISE AMBIENTE EXTERNO**

Nos últimos anos, a globalização é percebida de forma acentuada. A disputa de mercados tradicionais e mundiais faz com que as empresas se tornem cada vez mais competitivas e atentas a todo e qualquer tipo de mudança.

Tais mudanças podem ser oriundas do ambiente externo e interferir na vida da empresa. Esses efeitos, muitas vezes diretos, ocasionalmente podem ser contundentes na capacidade de geração de receitas, sendo que a empresa não tem controle sobre os mesmos.

#### **2.2.1 Variáveis incontroláveis**

A sobrevivência da empresa passa, muitas vezes, por identificar e interpretar os efeitos potenciais destas variáveis incontroláveis do ambiente externo.

Segundo Semenik & Bamossy (1995), são oito as variáveis incontroláveis: o ambiente demográfico, o ambiente sociocultural, o ambiente econômico, o ambiente político/regulador, o ambiente tecnológico, o ambiente competitivo, o ambiente físico e a confiança do consumidor.

Uma vez ameaçada ou já sob o efeito de variáveis incontroláveis, as organizações devem tomar medidas eficientes para tentar amenizar ou contornar tais problemas. Seguidamente, essas medidas passam pelo setor produtivo. Quer por redução de custos, por adequação do mercado, por desenvolvimento tecnológico ou por outros fatores.

O fato é que o sistema produtivo deve estar preparado e/ou usar ferramentas eficientes que o ajudem a transpor tais obstáculos.

### 2.3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

A empresa em estudo atua no segmento de dermatologia e estética. Como carro-chefe, fabrica produtos de fotoaplicação (solares de bronzeamento). Estas camas de bronzeamento artificial, produzidas pela empresa, estão divididas em três modelos: *Paradiso*, *Dr. Lapolli* e *Dorata*. Também é fabricado pela empresa um equipamento para redução de medidas denominado *Roller Redutore*. Além destes equipamentos, a empresa, também comercializa peças de reposição e outros produtos relacionados a este segmento.

Este estudo enfocará apenas a fabricação (montagem) das camas de bronzeamento e do aparelho redutor de medidas, que representam a maior parte do faturamento da empresa.

### 2.4 LINHAS DE MONTAGEM

O sistema produtivo da empresa consiste na montagem dos produtos. Várias etapas do processo produtivo dos equipamentos em questão são produzidas e/ou fornecidas por terceiros. Na empresa são feitas a montagem elétrica, a mecânica, as instalações, os testes, a embalagem e o armazenamento numa seqüência de montagem como é na Fig. 1.

A Fig. 1 mostra a seqüência de fabricação dos equipamentos em foco. Foi considerado o início do processo a saída dos materiais do almoxarifado, e sua finalização o armazenamento do produto acabado. Esta figura também apresenta o tempo médio de permanência em cada etapa representada do processo, assim como a quantidade de colaboradores necessário para a execução das tarefas em cada ponto verificado.

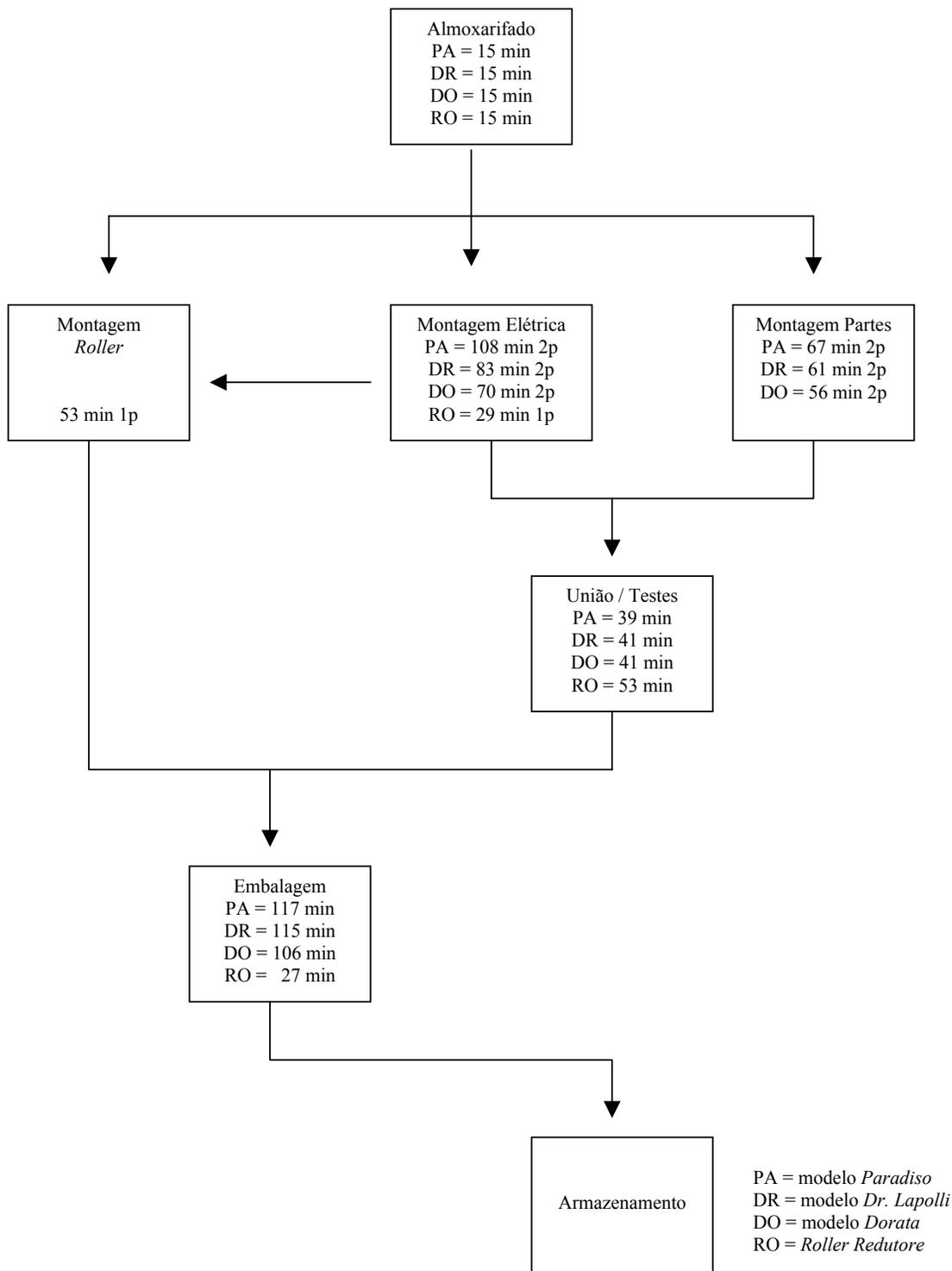


FIGURA 1 – Fluxo sistema produtivo original

## 2.5 DIFICULDADES OPERACIONAIS DO TRABALHO

É variável limitadora deste trabalho o fato de o ajuste do quadro funcional ser inevitável. Desta maneira, são poucas as alternativas para configuração do sistema produtivo.

Outro fator relevante é a situação do mercado que, em virtude das variáveis incontrolláveis (abalo da confiança do consumidor, por meio da mídia negativa), está desfavorável. Há uma séria retração que afeta a empresa como um todo, não garantindo o pleno funcionamento do sistema de manufatura.

Este segmento de atividade é sazonal, o que também contribui para dificultar a compreensão e análise do processo produtivo no período em estudo.

Por outro lado, a simulação do sistema produtivo será de relevância, uma vez que:

- a) Para a modelagem deste sistema, será necessária uma série de considerações; que o tornarão mais simples;
- b) Estas simplificações fazem com que o sistema seja totalmente repensado;
- c) Com a simulação, será possível projetar o sistema com maior ou menor carga de trabalho, juntamente com uma análise da utilização de mão-de-obra fundamental tanto para o período sazonal como de alta.

## 2.6 ANÁLISE DE SOLUÇÕES

A análise tem início com considerações sobre a interpretação dos resultados, seguida da fase de visualização das oportunidades de melhorias e do registro e estruturação das conclusões.

O uso da simulação como ferramenta de análise possibilita desenvolver um novo cenário adequado às necessidades apresentadas. Com ela, será analisada a desenvoltura do sistema produtivo contemplando esta nova situação.

A simulação possibilita a vantagem da análise sem a necessidade de alterações físicas na empresa.

Primeiramente, será analisada a modelagem do sistema produtivo original. Para isto, serão utilizados os recursos gráficos disponíveis no *software* de simulação empregado neste estudo.

A seguir, será analisada a modelagem proposta, também com a utilização dos recursos gráficos disponíveis.

Por fim, será feita uma abordagem comparativa entre as modelagens original e proposta. Com base nisso, será criado um indicador de desempenho cujo objetivo é a comparação destas situações de forma matemática.

### 3 PROCESSOS PRODUTIVOS

#### 3.1 INTRODUÇÃO

A competitividade é fator vital para a sobrevivência das empresas. Em meio à globalização, a competência industrial é decisiva para o bom desempenho empresarial. Para isso, o sistema produtivo deve ser observado de forma ampla.

Shingo (1996) diz que é necessário entender a função produção como um todo, definindo-a como uma rede funcional de processos e operações, em que os processos transformam matérias-primas em produtos e as operações são as ações que executam essas transformações. Somente desta maneira será possível alcançar melhorias efetivas na produção e a tão almejada competitividade necessária para a manutenção da empresa.

#### 3.2 PRODUÇÃO

A administração da produção preocupa-se, entre outras coisas, com o planejamento e o controle do processo de produção. O desenvolvimento satisfatório, no nível desejado, pode garantir a sobrevivência da empresa. O investimento, tipo de produto, materiais, tempo, escolha sobre o uso de pessoas e oferta de mercado são fatores fundamentais na avaliação de um bom arranjo produtivo.

Conforme Maynard (1970), este arranjo está relacionado com a disposição física dos equipamentos industriais, quer instalado, quer em projeto, incluindo também o espaço necessário para a movimentação de material, armazenamento, mão-de-obra indireta e demais atividades e serviços dependentes do equipamento e o pessoal que o opera. Este arranjo pode ser uma instalação real, um projeto ou um trabalho. A escolha deste *layout* está diretamente ligada ao tipo de produto a ser produzido.

Segundo Zaccareli (1990), existem três tipos de *layout* :

- a) Situacional, quando os equipamentos são dispostos em torno de um produto fixo. Este produto, geralmente, tem um tamanho grande;
- b) Por processo, quando os equipamentos similares são agrupados em uma mesma área;
- c) Por produto, quando os equipamentos são alinhados ou agrupados de acordo com

os produtos a serem processados.

A escolha dos parâmetros para o desenho do *layout* é complexa, pois eles podem ser muito numerosos.

A definição do parâmetro é fundamental para diferenciar o *layout*. Como exemplo de alguns parâmetros, podemos citar:

- a) A adequação ao fluxo do processo;
- b) Limpeza das máquinas e locais de trabalho;
- c) Tipos de meios e modos para conseguir produtividade da mão-de-obra;
- d) O sistema de programação da produção.

A abordagem do item perfeição técnica do *layout* sugere estudo usando dados cuidadosamente coletados. Por exemplo, uma linha de montagem pode ser perfeitamente balanceada com um operário em cada ponto de trabalho, sendo o conteúdo de trabalho de cada um racionalizado com os tempos padrões, variando pouco de um ponto para outro. Porém, sem tanto estudo aplicado e não estando balanceada, para compensar, a linha pode ser feita em forma de “U” ou de “S”, possibilitando assim que um operário com folga de tempo vá ajudar seu colega que tenha tempo apertado ou que ocupe dois postos de trabalho simultaneamente.

### 3.3 TIPOS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Moreira (1996) refere-se à classificação tradicional do sistema de produção em função do fluxo de produto, sendo de utilidade na classificação a variedade de técnicas, planejamentos e gestão da produção. Dessa maneira, é possível discriminar grupos de técnicas e outras ferramentas gerenciais em função do particular tipo de sistema. Os sistemas de produção tradicionalmente são agrupados em três grandes categorias:

- a) Sistemas de produção contínua ou de fluxo em linha;
- b) Sistemas de produção por lotes ou por encomenda (fluxo intermitente);
- c) Sistemas de produção de projetos sem repetição.

#### 3.3.1 Sistema de produção contínua (fluxo em linha)

Os sistemas de produção contínua ou fluxo em linha seguem uma seqüência linear para fabricação do produto ou serviço. Os produtos, normalmente bem-padronizados, fluem de um posto de trabalho a outro em uma seqüência prevista. As diversas etapas devem ser

balanceadas para que as mais lentas não retardem a velocidade do processo.

Goldratt (1992, p.133) dizem que “gargalo é aquele recurso cuja capacidade é igual ou menor do que a demanda colocada nele”. Os sistemas de fluxo em linha podem aparecer subdivididos em dois tipos:

- a) Produção em massa, para linhas de montagem de produtos;
- b) Produção contínua propriamente dita, classificação para as chamadas indústrias de processo, como química, papel, aço, etc..

Os processos contínuos tendem a ser altamente automatizados, produzir produtos com elevado grau de padronização, sendo permitida pouca ou nenhuma diferenciação.

É característica comum dos sistemas de fluxo em linha a alta eficiência, assim como a inflexibilidade. A implementação maciça de máquinas resulta na eficiência, bem como na padronização do trabalho em tarefas repetitivas.

Nas linhas de montagem, a produção em massa caracteriza-se pela fabricação em larga escala, de poucos produtos, com um grau de diferenciação relativamente pequeno. Exemplos são automóveis, aparelhos de ar-condicionado e fogões. É chamada de rígida quando existe uma linha ou conjunto de equipamentos específicos para um produto final. É dita produção em massa com diferenciação, quando adaptações na linha permitem a fabricação de produtos com diferenças entre si.

Na adoção de um sistema de fluxo de linha, alguns fatores devem ser ponderados: competição, risco de obsolescência do produto, monotonia das tarefas para os empregados e os riscos de mudança tecnológica no processo.

### **3.3.2 Sistema de produção intermitente (fluxo intermitente)**

Nesse sistema, a produção é feita em lotes. Ao término da fabricação de um lote, outros produtos tomam o seu lugar nas máquinas. O produto inicial só será retomado após algum tempo, o que caracteriza uma produção intermitente de cada um dos produtos. A produção intermitente por encomenda é caracterizada quando os clientes apresentam seus próprios projetos de produtos, devendo-se fabricá-los de acordo com estas especificações.

Tradicionalmente, a mão-de-obra e os equipamentos são organizados em centros de trabalho por tipo de habilidade, operação ou equipamento, ou seja, os equipamentos e as

habilidades dos trabalhadores são agrupados em conjunto definindo um tipo de arranjo físico conhecido como funcional ou por processo. O produto flui de forma irregular, de um centro de trabalho a outro. Os equipamentos utilizados, do tipo geral, permitem adaptações dependendo das características particulares das operações realizadas no produto. A mão-de-obra utilizada é mais especializada, haja vista a exigência pela própria adaptabilidade do equipamento. Uma relativa ineficiência é expressa por causa do tempo que se perde nos constantes rearranjos de máquinas que permitem facilidade para mudança no produto ou volume de produção. Esta flexibilidade leva também a outros problemas, como o controle de estoque, programação da produção e com a qualidade.

Comparativamente, o sistema de produção intermitente ganha em flexibilidade diante da produção contínua, porém perde em volume de produção. Portanto, justifica-se a adoção de um sistema intermitente quando o volume de produção for relativamente baixo. Sistemas comuns, no estágio inicial de vida de muitos produtos, são praticamente obrigatórios para empresas que trabalhem com encomendas ou atuem no mercado de reduzidas dimensões.

### **3.3.3 Sistema de produção para grandes projetos**

Esse sistema diferencia-se dos anteriormente descritos, pelo fato de que cada projeto é um produto único, não havendo um fluxo do produto. Nesse caso, tem-se uma seqüência de tarefas ao longo do tempo, geralmente de longa duração, com pouca ou nenhuma repetição.

Como características marcantes dos projetos, salienta-se o alto custo, dificuldade gerencial no planejamento e controle. A construção de navios, aviões e outras grandes estruturas exemplificam este sistema.

## **3.4 CLASSIFICAÇÃO CRUZADA DE SCHROEDER**

Segundo Schroeder apud Moreira (1996), a classificação apresentada anteriormente leva em conta apenas uma dimensão associada aos sistemas: o tipo de fluxo do produto. Esta dimensão geralmente é suficiente para os sistemas industriais, mas incompleta se aplicada aos serviços. A classificação cruzada ajuda a entender um maior número de casos práticos.

Nessa classificação, são levadas em consideração duas dimensões: “por fluxo de produto”, que coincide com a tipologia clássica já apresentada, e “por tipo de atendimento ao consumidor”. Nesta, existem os seguintes tipos de sistema:

- a) Sistema orientado para o estoque;

b) Sistema orientado para encomenda.

Um sistema orientado para o estoque oferece serviço rápido (atendimento ao consumidor) e a baixo custo. Porém, a flexibilidade do cliente na escolha do produto é evidentemente menor que no caso de um sistema orientado para a encomenda do cliente.

As operações em um processo orientado para a encomenda são ligadas a um cliente em particular, com o qual se discute o preço e o prazo de entrega da mercadoria em questão. Nesta situação, a medida-chave de desempenho é o prazo de entrega, que o cliente deseja saber de antemão.

Para acompanhamento da medida de desempenho, pode ser usada a porcentagem de pedidos entregues dentro dos prazos como uma medida viável de competência.

No sistema orientado para o estoque, certas atividades, como a previsão da demanda, a gerência de estoques e o efetivo planejamento da capacidade de produção são cruciais. A produção padronizada é importante, pois o estoque criado antes da demanda deve ser usado para atender às necessidades dessa demanda ou para suavizar as necessidades de capacidade, segundo o que foi determinado pelo planejamento agregado da produção (geralmente o planejamento anual, considerando a demanda dos produtos agregados em função da capacidade). O foco do sistema orientado para o estoque está na reposição desses estoques.

Na classificação cruzada, os exemplos devem ao mesmo tempo atender os requisitos das dimensões que são levadas em conta. O quadro 1 fornece alguns casos, tanto na área industrial, como no setor de serviços.

Os exemplos tornam claros alguns aspectos da tipologia clássica (por fluxo). A produção contínua, ou fluxo em linha, leva tipicamente a sistema orientado para estoque, enquanto a produção ou fluxo intermitente, por sua vez, leva tanto a um como a outro tipo de sistema. A vantagem da classificação cruzada é mostrar que, embora um sistema seja mais caracterizado de produção para estoque ou para encomendas, ele pode se adaptar a casos especiais.

QUADRO 1 – Classificação cruzada de Schroeder (exemplos)

	Orientação para Estoque	Orientação para Encomenda
Fluxo em Linha	Refinaria de petróleo; Indústrias químicas de grandes volumes; Fábrica de papel.	Veículos especiais; Companhia telefônica; Eletricidade; Gás.
Fluxo Intermitente	Móveis; Metalúrgicas; Restaurantes <i>Fast Food</i> .	Móveis sob medida; Peças especiais; Restaurante.
Projeto	Arte para exposição; Casas pré-fabricadas; Fotografia artística.	Edifícios; Navios; Aviões.

Na realidade, o que é determinante na classificação dos *layouts* é o volume de produção e o grau de customização dos produtos.

### 3.5 TECNOLOGIA DE GRUPO

De acordo com Moreira (1996), por razões competitivas, existe cada vez mais a necessidade de se produzir em lotes pequenos produtos com características diferenciadas e, ainda assim, conservar elevados níveis de produtividade. Duas funções são de crucial importância dentro da indústria: a função do projeto do produto e a da produção. Ambas necessitam de um nível maior de integração, que poupe tempo e esforços. A tecnologia de grupo é uma filosofia de manufatura na qual peças similares são identificadas e agrupadas para se tirar vantagens de sua similaridade em manufatura e projeto. As peças similares são agrupadas em famílias de peças. Cada família possui, portanto, projeto e características de manufatura semelhantes, em que o processamento de cada membro de uma família é parecido com os demais, o que resulta em eficiência na produção. Essa eficiência é obtida dispondo o equipamento de produção em grupos de máquinas conhecidos como células de manufatura, para facilitar o fluxo de trabalho. No caso do projeto do produto, há também vantagens ao se agrupar as peças em famílias classificando-as de acordo com o gerador de código.

Os principais tipos de similaridades nas peças são: atributos de projeto, como formato geométrico, tamanho, atributos de manufatura e seqüência de processamento para fazer-se a peça. Uma família de peças é um conjunto dessas, que são consideradas similares por causa de seu formato geométrico e tamanho e /ou seqüência de passos de processamento da sua produção.

No arranjo físico tradicional por processo, com máquinas agrupadas por sua função, existe um considerável manuseio de material, grande quantidade de material em processo e longos tempos de preparação das máquinas para a fabricação. O conjunto desses fatores operam no sentido de elevar os custos de produção. A mesma capacidade produtiva pode ser obtida arranjando-se as máquinas em células, cada qual especializada na manufatura de uma particular família de peças.

Algumas células podem ser projetadas para operar como verdadeiras linhas de produção, com transportadores movendo as peças entre as máquinas.

A dificuldade para agrupar-se as peças em família é o obstáculo de ordem prática para adotar-se a tecnologia de grupo. Funcionam dois métodos para tanto, eles são demorados e envolvendo a participação de pessoas com treinamento adequado, são eles:

- a) Inspeção visual, é o menos sofisticado e o mais barato dos métodos, com classificação feita observando-se a peça em si ou sua fotografia;
- b) Classificação e codificação por exame dos dados do projeto e da produção. Esse método parece ser o mais comum de todos. Examina-se o projeto individual e as características de manufatura de cada peça, o que resulta em um número de código que identifica seus atributos. O esquema pode ser levado a efeito sobre uma amostra representativa de peças para obter-se o conjunto das famílias;

O termo célula de manufatura indica um conjunto de máquinas organizadas para fabricar uma determinada família de peças ou algumas poucas famílias. Porém, às vezes, o termo manufatura celular é usado para indicar a operação de tais máquinas organizadas em células.

De acordo com o número de máquinas e o grau no qual o fluxo entre elas é mecanizado, têm-se os seguintes tipos de células:

- a) Células com uma só máquina, opera com apenas uma máquina (mais os acessórios e ferramental) para fazer uma ou mais famílias de peças;
- b) Células com várias máquinas e movimentação manual, neste caso, embora opere com mais de uma máquina, o manuseio de materiais é feito por operadores dos equipamentos;
- c) Células com várias máquinas e manuseio semi-integrado, as peças são movidas entre as máquinas através de um sistema mecanizado;

- d) Sistemas flexíveis de manufatura (*Flexible Manufacturing Systems*) são células mais automatizadas com um sistema de manuseio de materiais totalmente integrado.

Num ambiente disputado, os sistemas flexíveis de manufatura adquirem importância pelo que proporcionam em termos de produtividade e competitividade. Um sistema flexível de manufatura consiste em um grupo de unidades de processamento interconectadas através de um sistema automatizado de estocagem e manuseio de material controlado por um sistema integrado de computador. É “flexível” pela capacidade de processar uma variedade de diferentes tipos de peças, simultaneamente, nas várias unidades de trabalho.

Componentes básicos de um sistema flexível de manufatura:

- a) Estações de processamento que desempenham operações em famílias de peças;
- b) Manuseio e estocagem de material com vários tipos de equipamentos utilizados para transportar as peças e submontagens entre as unidades de processamento, algumas vezes incorporando a estocagem na função;
- c) Sistema de controle por computador, usado para coordenar as atividades das unidades de processamento e sistema de manuseio de material.

Um sistema flexível de manufatura pode ser descrito como restrito (*dedicated*), quando é usado para produzir uma quantidade limitada de configurações de peças. Há pequenas diferenças de geometria entre os itens e o seu projeto de configurações, o projeto do produto é considerado estável. A seqüência de máquina é idêntica, ou quase, para todas as peças processadas.

Um sistema flexível de ordem aleatória é mais versátil que o sistema anterior e útil quando a família de peças for grande e quando existem muitas variações na configuração das mesmas, ou, ainda, quando há freqüentes mudanças de projeto e a programação da produção varia com grande freqüência. É capaz de processar peças em seqüências variadas.

### 3.6 SISTEMAS DE MANUFATURA

De acordo com Black (1998), podemos identificar cinco projetos de sistemas de manufatura:

- a) *Layout* funcional (*job shop*);
- b) *Layout* em linha (*flow shop*);

- c) *Layout* de posição fixa (*project shop*);
- d) Processo contínuo;
- e) Fábricas com células interligadas.

### **3.6.1 *Layout* funcional (*Job Shop*)**

É característica deste a produção de uma variedade de produtos com pequenos lotes de produção. As máquinas de uso genérico são agrupadas por função. A produção é, normalmente, feita para pedidos específicos de clientes. Na verdade, muitos *Jobs Shops* produzem para completar os estoques de mercadorias prontas. Os trabalhadores devem ser de nível técnico relativamente alto para realizar várias tarefas diferentes.

A vantagem deste *layout* é a sua flexibilidade. Cada peça diferente requer sua própria seqüência de operação por ser direcionada através dos respectivos departamentos na ordem apropriada.

Normalmente, o *layout* funcional desenvolve-se para o *layout* funcional produtivo (LFP) com o crescimento da empresa. Este novo *layout* fica difícil de administrar à medida do crescimento da empresa. Longos tempos de passagem de produtos e altos níveis de estoque em processo são alguns resultados deste fato. O *layout* funcional produtivo tem como característica a produção de grandes volumes com grupos ou lotes médios de 50 a 200 unidades, que podem ser produzidas de uma só vez ou com intervalos regulares.

A estimativa é de que cerca de 75% de toda a produção de peças é feita em lotes de 50 peças ou menos, fazendo do *layout* funcional produtivo uma parte importante no total das manufaturas.

### **3.6.2 *Layout* em linha (*Flow Shop*)**

Caracterizado por grandes lotes, máquinas para fins específicos, menor variedade e maior mecanização, os *layouts* em linha podem ser contínuos ou interrompidos. Têm uma disposição física voltada para o produto. Quando o volume se torna grande, especialmente na linha de montagem, ele é chamado de produção em massa.

Máquinas diferentes são agrupadas em uma linha contínua. O comum é existir uma máquina de cada tipo, exceto quando máquinas em duplicidade são necessárias para balancear o fluxo.

Os itens são produzidos seguindo uma seqüência de operações por meio de dispositivos para manuseio do material (esteiras, correias móveis, dispositivos para transferência, etc.). Os itens passam pelas operações um de cada vez.

Um balanceamento de linha ideal significa que o total de trabalho realizado em cada estação seja o mesmo, de maneira a reduzir o tempo ocioso em cada estação.

No sistema de manufatura de *layout* em linha, as instalações são organizadas de acordo com as seqüências lógicas de operações do produto. A linha é organizada pela seqüência de produto necessária para fabricar um único produto ou uma combinação (*mix*) regular de produtos.

De acordo com Black (1998), a maioria das fábricas combinam de sistemas de *layout* funcional e *layout* em linha. A demanda por produtos pode precipitar uma mudança de produção em lotes para grandes volumes e muita produção destas empresas é consumida por aquela demanda fixa. Linhas de submontagens e linhas de montagem final são extensões adicionais do *layout* em linha, a primeira normalmente exigindo maior intensidade de trabalho.

### **3.6.3 *Layout* de posição fixa (*Project Shop*)**

Este tipo de *layout* é caracterizado pela imobilidade dos itens em fabricação. Neste, trabalhadores, máquinas e materiais vão para o local de trabalho. Pontes e rodovias são bons exemplos da indústria de construção.

Sendo um típico sistema de manufatura por projeto, o produto deve permanecer numa posição ou lugar fixo durante a fabricação, por causa do seu peso e /ou tamanho. O produto é grande, o equipamento de construção e a mão-de-obra devem ser levados até ele. Quando o trabalho está terminando o equipamento é removido do local da construção.

### **3.6.4 Processos contínuos**

O processo contínuo lida primariamente com líquidos, pós e gases (tal como uma refinaria de petróleo), em vez de peças separadas. Neste, o produto flui fisicamente. As refinarias de petróleo, usinas de processamentos químicos e operações de processamento de alimentos são alguns exemplos. Esse sistema é também chamado de produção em fluxo, quando refere-se à fabricação de peças únicas e complexas (como operações de enlatar) ou de produtos montados (como televisões). Entretanto, estes não são processos contínuos, mas linhas com fluxo de grandes volumes.

Sendo o mais eficiente, o processo contínuo é também o menos flexível sistema de manufatura. Ele normalmente tem o mais enxuto e simples sistema de produção, tornando-se o mais fácil de controlar.

### **3.6.5 Sistema de manufatura com células interligadas (SMCI)**

Composto de células de manufatura interligadas (ou conectadas), esse sistema usa uma forma única de estocagem e controle de informações (Kanban). Uma maneira simples de formar uma célula é fazendo uso da tecnologia de grupo, através de fluxo de produção ou sistemas de classificação.

SMCI é o mais novo sistema de manufatura, conforme Black (1998). Ele é composto de células de produção e montagem interligadas por um sistema de controle de material de “puxar”. Nas células, operações e processos são agrupados de acordo com a seqüência de produção que é necessária para fazer um grupo de produtos. Esta disposição se parece com o *layout* em linha, mas é projetada para ter flexibilidade. A célula é muitas vezes configurada em forma de “U”, permitindo aos trabalhadores moverem-se de uma máquina para outra, carregando e descarregando peças.

A fabricação de fluxo contínuo em células de manufatura envolve a produção de uma peça de cada vez seguindo as seqüências e normas do tempo do ciclo.

Os pontos-chaves são:

- a) Máquinas são dispostas na seqüência do processo;
- b) A célula é projetada em forma de “U”;
- c) Uma peça de cada vez é feita dentro da célula;
- d) Os trabalhadores são treinados para lidar com mais de um processo;
- e) O tempo do ciclo para um sistema dita a taxa de produção para a célula;
- f) Os operadores trabalham em pé e caminhando;
- g) São usadas máquinas mais lentas e específicas, que são menores e mais baratas;
- h) Células são tipicamente operadas manualmente, mas células sem operadores (mecanizadas) estão emergindo, com um robô substituindo o trabalhador.

Para formar células, o primeiro passo é reestruturar partes do *layout* funcional, convertendo-as gradualmente em células manuais. Células são projetadas para fabricar grupos específicos ou famílias de peças.

### 3.7 LINHA DE MONTAGEM

Consoante Maynard (1970), há vários tipos de linha de produção. Uma linha de produção completa é composta pela fabricação, tratamentos e montagem. Ele classifica a linha de montagem como uma linha de produção onde as etapas de fabricações e tratamentos são feitas em outros departamentos.

Nestas, o problema é a sincronização das linhas secundárias de alimentação ou de submontagem. Esse problema é reduzido com o ajuste de velocidade de todas as linhas à velocidade adequada. Então, o sistema só necessitará ser abastecido por componentes de acordo com o programa e a seqüência de produtos executados.

De outra maneira, Schonberger (1992), ao comentar sobre a moderna configuração de fábrica, refere-se às linhas de montagem como não-constituindo o último grau de eficiência. Apresentando alta concentração de mão-de-obra, os montadores estão sujeitos às inconsistências humanas. São linhas que, segundo ele, por vezes possuem estoques de segurança entre determinados estágios. O grau mais elevado é a produção contínua e não a produção em linha de montagem. O processamento contínuo é automatizado em alto grau, evitando as inconsistências humanas e a necessidade de estoques de segurança.

Schonberger (1992) afirma que nos setores que se têm conseguido automatizar a montagem final (engarrafadoras e enlatadoras) o resultado aproxima-se tanto do processamento contínuo que a denominação de “indústria de processo” é justificada. Porém, para a maioria das empresas produtoras de produtos de consumo e produtos industriais, as linhas automatizadas de montagem ainda constituem um sonho para o futuro. Antes de ter suas fábricas altamente automatizadas, este setor precisará percorrer numerosos estágios no aperfeiçoamento de configuração das mesmas, estágios esses que deverão estender-se por muitos anos.

### 3.8 EVOLUÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM

A evolução das linhas de montagem é verificada com o aumento do uso da automatização, tornando-as mais eficientes. No entanto, no setor automobilístico, a revolução não é apenas com base na automação.

Segundo o relato de Rebouças (2000), a *General Motors* do Brasil (projeto Arara Azul) avança fabricando carro juntamente com 17 sistemistas num condomínio industrial. Para o autor o projeto Arara Azul pretende romper com o modelo industrial inaugurado por Henry

Ford ao introduzir a linha de montagem em série. Ele pretende reverter o modelo de produção em massa para a produção individual, o do carro construído exatamente como o cliente quer. Como parte dessa evolução, a linha de produção e o sistema de vendas via Internet estão interligados funcionando simultaneamente.

Essa configuração é altamente automatizada, com 120 robôs controlados por computadores, tendo um alto valor de investimento, mas a operação completa é tão enxuta que a redução de custos e estoques ainda é mantida em sigilo.

A evolução foi marcada pela empresa *Dell Computers*, fabricante de computadores com sede em *Round Rock*, cidade próxima a Austin, nos Estados Unidos. Consagrou-se no mercado pelo seu modelo de distribuição direta ao consumidor final, sem uso de canais tradicionais de distribuição. Essa foi a maior transformação da manufatura desde a linha de montagem de Henry Ford. A linha só se movimenta quando um cliente faz um pedido, com isso a empresa conseguiu reduzir os estoques de componentes de trinta e um para apenas seis dias e fazer entregas num prazo de sete dias.

A principal inovação da GM está no conceito de condomínio industrial. A GM e 17 fornecedores compartilham o mesmo terreno, usam os mesmos planos de saúde e benefícios, dividem os custos da produção, as contas de luz e de água e impostos municipais. Em vez de emitir um papel a cada movimentação de produtos, o registro é feito *on-line*, na rede de computadores que une a GM aos fornecedores. O condomínio parece ser uma empresa só, mas são várias. Por causa disso, o fornecedor deixou de ser fornecedor e recebeu o nome de sistemista, porque fornece partes quase inteiras, ou sistemas, para o carro.

### 3.9 A SIMULAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA FERRAMENTA DE ANÁLISE

Estamos vivendo a era da informação global. Este período é caracterizado pela difusão das informações, competitividade, inovações e principalmente velocidade da divulgação dos acontecimentos. O que pode ser verificado com a rapidez entre a invenção e a sua difusão global.

Com esta velocidade de acontecimentos, as transformações acontecem rapidamente. Assim, estar preparado para assimilar estas mudanças é fundamental para qualquer empresa na atualidade.

A simulação se apresenta como ferramenta alternativa para analisar as possíveis

mudanças, desempenhos, treinamentos, etc. No sistema produtivo, muitas vezes, mudanças representam um alto grau de investimento, o qual deve ser devidamente analisado.

Tendo a faculdade de representar situações reais virtualmente, a simulação torna-se uma ferramenta de importância na análise das mais diversas situações reduzindo custos e erros.

Hoje, a simulação é vista como uma saída obrigatória, em face à intensificação explosiva de mudanças de produtos e processos, integrando-se às técnicas tradicionais como uma das ferramentas indispensáveis na moderna condução da produção.

## 4 SIMULAÇÃO

### 4.1 INTRODUÇÃO

A simulação é uma poderosa ferramenta disponível para análise de projetos, operações de processo ou sistemas. Segundo Lobão e Porto (1996), esta técnica permite inferências sobre atividades nos sistemas de manufaturas tais como: identificações de problemas, análise de capacidade instalada, níveis de inventário, lógica de controle, comparações com o desempenho de outros sistemas, refinamento de projeto, integração, alternativas de seqüenciamento, inicialização de equipamentos, treinamento.

A possibilidade de antecipar situações antes de eventuais efetivações, torna o processo de simulação muito importante. É possível ver o funcionamento de sistemas no tempo, permite a aceleração deste funcionamento, possibilitando, então, prever possíveis problemas que possam ocorrer numa real implantação do sistema.

A simulação também pode ser útil em qualquer uma das fases do ciclo de vida de um sistema de manufatura. Desde a fase de análise de um problema e definição de requisitos, até as fases de projeto, justificação, implementação e operação.

Essa ferramenta, de grande versatilidade e flexibilidade, é muito utilizada em operações técnicas e atividades de pesquisa. Suas áreas de aplicação são as mais diversas. Sistemas de manufatura, sistemas de computação, área militar, negócios, entidades governamentais, ecologia e meio ambiente, sociedade e comportamento, biociências, área financeira/econômica etc.

### 4.2 MODELAGEM DE SISTEMA

Barton (1973) define modelo como sendo a expressão construída específica de uma teoria ou de uma ou mais hipóteses. Qualquer teoria dada pode conduzir a números quase ilimitados de diferentes modelos e aplicações.

Seguidamente, aplicações reais são precedidas de diversos modelos que foram empregados para explorar diversos aspectos antes da escolha de um projeto final. Logo, o modelo não precisa representar coisa alguma que exista. Muitos representam projetos hipotéticos que são acontecimentos futuros que jamais existirão.

Segundo Gordon (1978), não é necessário considerar todos os detalhes do sistema. Dessa forma, um modelo não pode ser visto somente como um substituto para o sistema, mas ele também é uma simplificação do sistema.

O autor define o modelo como um corpo de informações reunidas sobre um sistema por um motivo de estudo deste sistema. Uma vez determinado o problema de estudo, será determinada a natureza das informações reunidas.

Não existe um único modelo de sistema. Diferentes modelos para o mesmo sistema podem ser produzidos por diferentes analistas interessados em diferentes aspectos do sistema ou pelo mesmo analista com o seu entendimento da mudança do sistema.

Um modelo de um sistema pode ser dividido, amplamente, dentro de duas subtarefas: estabelecimento da estrutura do modelo e abastecimento dos dados. Estabelecer a estrutura relaciona-se com a determinação do limite, fronteira, do sistema, identificação de identidades, atributos e atividades do sistema. Os dados fornecem os valores, podem ser atributos e seu relacionamento complicado com as atividades. Os dois trabalhos, criação da estrutura e de fornecimento de dados, definem as partes de uma tarefa, tanto como duas tarefas separadas, porque elas estão, freqüentemente, tão intimamente relacionadas que nenhuma pode ser feita sem a outra. Suposições sobre o sistema, podem ser feitas, diretamente reunindo os dados. Por outro lado, muitas vezes, os dados reunidos não geram suspeitas da relação que mudou a estrutura do modelo.

#### 4.3 TIPOS DE MODELOS

Gordon (1978) também diz que modelos usados em estudos de sistemas, têm sido classificados de muitas maneiras. Ele usa a classificação conforme ilustrada na Fig. 2.

Os modelos são, primeiramente, divididos em físicos e matemáticos. Os modelos matemáticos estão baseados em alguma analogia entre sistemas semelhantes como mecânico e elétrico ou elétrico e hidráulico. No modelo físico de sistema, os atributos são representados por medidas semelhantes como a voltagem ou a posição do eixo. As atividades do sistema são refletidas nas leis da física que dirigem o modelo. Por exemplo, a razão na qual o eixo da direção da corrente de retorno do motor depende da subida da voltagem aplicada no motor. Se a voltagem aplicada é usada para representar a velocidade do veículo, então o número de voltas do eixo está medindo a distância que o veículo tem viajado. A mais alta voltagem ou velocidade é proporcional ao maior ou menor aumento de número de voltas ou a distância

coberta no tempo.

O modelo matemático usa notações simbólicas e equações matemáticas para representar um sistema. Os atributos do sistema são representados por variáveis e as atividades são representadas por funções matemáticas que se relacionam com suas variáveis.

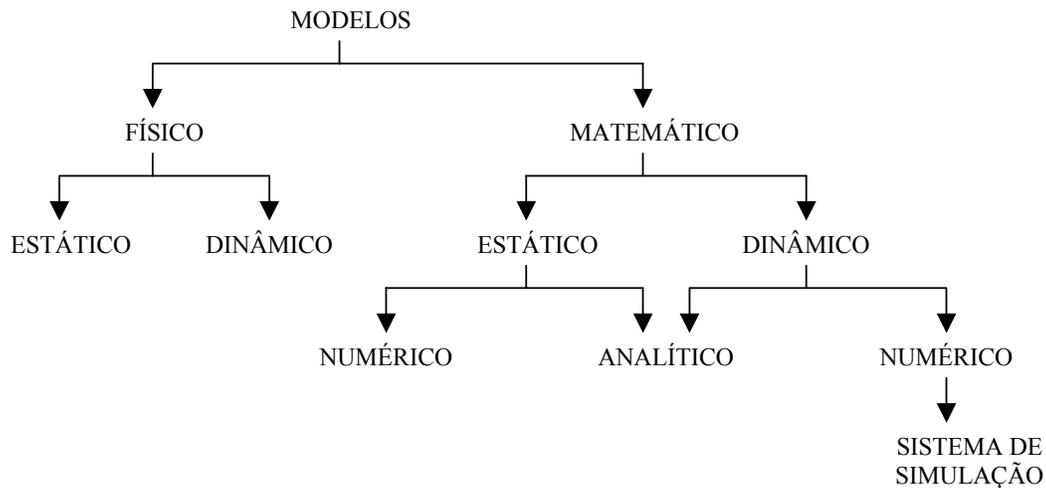


FIGURA 2 – Tipos de modelos, Gordon (1978)

A segunda distinção está entre o modelo estático e o dinâmico. O modelo estático pode somente mostrar os valores que os atributos do sistema aceitam quando o sistema está em balanço. O modelo dinâmico, por outro lado, segue as mudanças de resultados das atividades do sistema a todo o tempo.

No caso do modelo matemático, a terceira distinção está na técnica pela qual o modelo é resolvido. Os valores exatos são indicados para os atributos do sistema. A distinção é feita entre o método analítico e numérico.

A aplicação da técnica analítica é principalmente usada na dedução de argumentação da teoria matemática para resolver o modelo. Na prática, somente certas formas de equações podem ser resolvidas. Usando técnicas analíticas, por conseguinte, é um problema descobrir o modelo que pode ser resolvido e melhor se ajusta ao estudo do sistema. Por exemplo, equações diferenciais lineares podem ser resolvidas. Sabendo disso, um engenheiro descreve as restrições de um sistema que a forma derivará em um modelo que poderá ser resolvido analiticamente.

O método numérico envolve o emprego de procedimentos computacionais para resolver as equações. Fazer uso de uma simulação analítica, na verdade, requer uma considerável

quantidade de uso de recurso computacional. Por exemplo, a solução pode ser derivada na forma de uma complicada integral, necessitando, então, para ser expandida, uma série de potência para avaliações. Contudo, a teoria matemática pode fazer tais expansões matemáticas existirem e, principalmente, com algum grau de exatidão na solução.

A simulação de sistema é considerada uma técnica numérica computacional usada em conjunto com modelos dinâmicos matemáticos. Modelos de simulação, portanto, estão apresentados na Fig. 2.

Ainda, outra distinção pela qual os modelos são muitas vezes classificados está entre, determinísticos e estocásticos, conforme Gordon (1978). Principalmente este último são progressões randômicas no sistema. A introdução do processo estocástico no modelo de simulação complica a tarefa de interpretação de resultados, o que aumenta o trabalho a ser feito. Isto não é, contudo, troca da técnica básica por aplicação da simulação, logo, esta distinção não pode ser feita na Fig. 2.

Para Barton (1973), os modelos de simulação também são dinâmicos envolvendo sempre uma mudança de estado do modelo através do tempo. Estado do modelo, para ele, significa os valores existentes para as variáveis em algum momento no tempo. O autor também distingue tempo real de tempo simulado. Tempo real é o tempo em que vivemos, é aquele marcado em relógios onde se passam horas reais, dias, meses e anos. O tempo simulado é uma variável em modelos de simulação que pretende representar o tempo real. Não é necessário que o tempo simulado tenha uma razão constante para o tempo real.

Barton (1973) também menciona que um modelo de simulação tem as seguintes propriedades:

- a) Pretende-se que ele represente todo ou uma parte de um sistema-objeto;
- b) Pode ser executado ou manipulado;
- c) O tempo ou uma contagem de suas repetições é uma de suas variáveis;
- d) Seu objetivo é o de ajudar na compreensão do sistema-objeto, o que significa ser um ou mais dos seguintes:
  - É uma descrição (parcial) do sistema-objeto.
  - Seu emprego tenta explicar o comportamento passado do sistema-objeto.
  - Seu emprego tenta prever o comportamento futuro do sistema-objeto.
  - Seu emprego tenta ensinar a teoria existente através da qual o sistema-objeto pode ser compreendido.

#### 4.4 MODELAGEM DE PROCESSO

Pidd (1998) discorre sobre a importância de encontrar maneiras de explorar as possíveis consequências das decisões e planos antes de tomar qualquer ação. Ele sugere usar uma abordagem que seja baseada em modelos externos e explícitos que capturam a essência de algumas situações. Esses modelos são simplificações. Devem conter as características tidas como importantes de maneira que garantam sua validade. Os modelos e a modelagem, quando usados de modo apropriado, fornecem uma maneira de gerenciar o risco e a incerteza. Dessa maneira, a modelagem pode ser vista como uma ferramenta de análise.

##### 4.4.1 Desenvolvimento de modelos

Pidd (1998) descreve um modelo como sendo uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar este modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte desta realidade. Desse modo, o desenvolvimento de modelos pode ser visto como uma “ferramenta para pensar”. Aumenta a alavancagem do pensamento humano e sua capacidade de análise.

O autor salienta que não há substitutos para a inteligência, para a humanidade e para o rigor intelectual no desenvolvimento de modelos apropriados e no uso adequado deles.

Os modelos são simplificações e isto é parte do seu poder de atração. Dessa maneira, sempre existem coisas que se perdem ao longo de um desenvolvimento de um modelo, sendo assim, tanto o analista quanto aqueles que usam os modelos necessitam sempre estar cientes disso. Assim, mesmo que um modelo seja substancialmente válido para uma determinada tarefa que está sendo desenvolvida, pode haver coisas que não foram levadas em consideração. Uma análise baseada nelas pode ser ignorada.

Assim os modelos devem retratar as seqüências racionais e lógicas que são conhecidas ou esperadas como resultado de certas ações.

##### 4.4.2 Método de modelagem de processos industriais

Pidd (1998) ressalta que, com a globalização do mercado industrial, a competição entre as empresas tem crescido numa velocidade acelerada. Os fabricantes têm se esforçado para produzir em massa produtos customizados. Há uma busca por economia de escala através do desenvolvimento de produtos que terão o apelo global e podem ser vendidos em vários países. Simultaneamente, esses produtos devem atender às preferências locais. Desse modo, deverão

sofrer algumas alterações no projeto global do produto para atender determinadas regiões. Essa competição tem pressionado os produtores a desenvolverem e instalar sistemas de manufatura que possam entregar grandes volumes de produto com qualidade a um preço baixo para atender às preferências locais. Isso tem levado a grandes investimentos em fábricas e em seus sistemas de controles. Por isso, é importante a certeza que estes sistemas irão operar como o esperado. Por esse motivo, a simulação computacional tem sido utilizada no processo de projeto e implementação destas fábricas e destes sistemas, buscando avaliar as possíveis alternativas.

A modelagem do processo industrial tem sido utilizada através da simulação por permitir que planos alternativos e políticas de controle sejam testados no modelo antes da construção física da planta. Isso ajuda a reduzir os custos e os riscos. A simulação também é utilizada em plantas existentes para encontrar melhores maneiras de operação. Esses estudos podem ser realizados através de um único exercício ou fazer parte de uma verificação periódica do sistema atual.

#### 4.5 PRINCÍPIOS DE MODELAGEM

Segundo Pidd (1998), algumas abordagens de modelagem são consideradas úteis nas ciências administrativas. Alguns princípios gerais podem ser aplicados ao desenvolver um modelo. Seu foco é claramente prático. Porém, é importante ter em mente que alguns desses princípios são quase questões de estilo.

Modele simples, pense de forma rigorosa. Modelos simples são mais fáceis de entender do que os complexos. Não há necessidade de o modelo ser tão complicado quanto o sistema que está sendo modelado, pois o modelo terá sido construído com algum uso pretendido em mente. Contudo, é muito importante que o modelo seja criticamente avaliado e submetido a pensamento rigoroso.

Seja parcimonioso, comece pequeno e acrescente. A idéia é que os modelos deveriam, idealmente, ser desenvolvidos gradualmente, começando com considerações simples e adicionando complicações apenas à medida que elas se tornassem necessárias. A intenção é ter a compreensão desse simples modelo e então refiná-lo gradativamente, sempre que necessário. Antes de tentar construir um modelo completo a partir de um rabisco, é muito melhor proceder de uma maneira gradativa, preferivelmente a partir de um modelo geral em direção a um que se torne realista e válido o suficiente para o propósito em mãos.

Divida e conquiste, evite megamodelos. Este princípio está relacionado à necessidade

de construir um modelo a partir de componentes, cada um dos quais deveria ser desenvolvido parcimoniosamente. De certa maneira, é uma extensão do princípio da parcimônia. A idéia é que pode ser muito melhor construir modelos pequenos, autocontidos, que podem ser facilmente entendidos, do que alvejar um modelo totalmente inclusivo que tenha pouca chance de ser usado.

Use metáforas, analogias e similaridades. Ao invés de ficar restrito a uma consideração direta do problema abordado, pode ser útil tentar obter uma outra perspectiva das coisas. Esse uso de outras perspectivas deveria ser distinguido do uso de um modelo para entender diferentes pontos de vista e interpretações. A idéia é que recursos como metáforas, analogias e problemas relacionados podem ser de grande ajuda. Tentar pensar sobre novas coisas usando quaisquer *insights* que experiências anteriores podem trazer. Uma maneira muito útil de fazer isso é imaginar-se como parte do modelo que está sendo modelado.

Não se apaixone pelos dados. Esse princípio cobre muitos erros possíveis de omissão e execução. A idéia básica é que o modelo conceitual dirija a coleta e análise dos dados, e não o contrário. Dados não são o substituto para o pensamento cuidadoso e crítico.

A construção do modelo pode ser como se desenredar. Ninguém deveria imaginar que a modelagem, como atividade, é aquela na qual progressos suaves são feitos e na qual tudo se encaixa perfeitamente. De fato, muitos modeladores experientes pulam de tópico para tópico enquanto modelam e precisam manter-se refinando suas idéias. Mas eles sentem prazer e produzem algo útil.

#### 4.6 SIMULAÇÃO DE SISTEMA

De acordo com Barton (1973, p. 9), “simular significa dar aparência de alguma outra coisa”. Uma simulação, apesar de ser uma “coisa” em si mesma, só é significativa para seus criadores e utilizadores em função de outras coisas. Simular também quer dizer ter o efeito de outra coisa, de maneira que o significado e a utilidade de uma simulação não residem somente na sua presença visual ou sensorial, mas também numa similitude de idéias ou semelhança conceitual.

A simulação é simplesmente a execução ou manipulação dinâmica de um modelo de um sistema-objeto com um objetivo qualquer.

Uma simulação de um sistema-objeto nunca tenta tornar-se parte do próprio sistema-

objeto. Assim, esta definição exclui o comportamento camaleão que simulou seu meio ambiente com o propósito de parecer fazer parte dele.

Gordon (1978) refere-se à técnica de simulação dizendo que, dado um modelo matemático de um sistema, algumas vezes é possível obter informações sobre o sistema por meio analítico. Onde isso não é possível, é necessário o uso de método de computação numérica para resolver as equações. O que distingue o método analítico do método numérico é que métodos analíticos produzem diretamente soluções gerais, métodos numéricos produzem soluções em partes. Cada parte da solução por uma parte das condições e o cálculo será repetido para expandir o leque de soluções.

Algumas vezes, o termo simulação é usado para descrever algum processo de estabelecimento de um modelo e derivando numericamente as soluções. No caso de modelos dinâmicos, entretanto, poderá ser feita uma distinção.

Modelos dinâmicos podem ser resolvidos analiticamente. Se o modelo precisa ser resolvido numericamente, a técnica particular, chamada de simulação, é o processo de resolver equações de um modelo, parte por parte, com o movimento de valores no tempo. Como os resultados, valores correntes em qualquer parte, para representar, com o computador, o estado do sistema. Será, então, modelado um ponto no tempo.

#### 4.7 TIPOS DE SISTEMA DE SIMULAÇÃO

Gordon (1978) distingue entre discretos e contínuos os tipos de sistemas de simulação. Afirma que a importância dessa distinção, do ponto de vista de um sistema analítico, é se o modelo selecionado para representar o sistema é contínuo ou discreto, desde que não exista uma única correspondência entre tipos de sistemas e modelos.

Contudo, a distinção entre modelos contínuos e discretos não foi feita na classificação dos modelos mostrada na Fig. 2, tipos de modelos, porque esta distinção não determina se a técnica aplicada ao modelo será analítica ou numérica.

A distinção entre modelos contínuos e discretos torna-se importante quando isso é decidido para o uso de simulação, particularmente, quando a simulação é para ser processada no computador e o sistema de programação é para selecionar o desempenho da tarefa. As técnicas computacionais, em geral, usam dois tipos de modelos significativamente diferentes.

Law e Kelton (1999) afirmam que o processo discreto é aquele onde o estado das

variáveis se altera instantaneamente em diferentes postos de tempo. No processo contínuo, o estado das variáveis se altera continuamente em relação ao tempo. Porém, poucos processos podem ser considerados como exclusivamente contínuos ou discretos. Na realidade, geralmente um tipo de variável é predominante. Dessa forma, podem ser classificados com predominância discreta ou contínua.

#### 4.8 EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

Lobão e Porto (1996) retratam a evolução das técnicas de simulação confrontando com a tecnologia disponível, onde a evolução está diretamente ligada com a tecnologia de suporte (*hardware* e *software*) disponíveis no momento de sua implantação. A evolução tem ocorrido desde os modelos físicos em escala reduzida e os modelos matemáticos, até a tendência de simuladores inteligentes e interativos com interface gráfica.

O Quadro 2 mostra essa evolução dos sistemas de simulação, de acordo com o desenvolvimento da tecnologia de suporte.

QUADRO 2 – Evolução dos sistemas de simulação (Lobão e Porto, 1996)

<b>Classificação</b>	<b>Tecnologia Disponível</b>	<b>Ferramentas de Simulação</b>
<b>Tipo I</b>	Conhecimentos científicos, matemáticos, estatísticos e habilidades manuais.	Modelos matemáticos e modelos físicos em escala reduzida.
<b>Tipo II</b>	Computadores de grande porte ( <i>main frames</i> ), primeiros microcomputadores.	Linguagens de simulação: gpcss, slam, simam, etc, simuladores de interface por diálogo.
<b>Tipo III</b>	Microcomputadores.	Simuladores de interface gráfica: arena, automod, promodel, etc.
<b>Tipo IV</b>	Estações de trabalho de alto desempenho e grande capacidade de memória.	Simuladores de interface gráfica, interativos (utilizando recursos de realidade virtual) e inteligentes (utilizando sistemas especialistas e inteligência artificial).

A modelagem matemática e modelagem em escala reduzida foram as primeiras técnicas de modelagem empregadas em simulação. Essas técnicas estavam de acordo com a tecnologia disponível na época.

Os modelos físicos em escala reduzida são reproduções do sistema real, cujas

características construtivas devem reproduzir, em menor escala, às do modelo real. Com os dados obtidos a partir de estudos realizados sobre esses modelos, podem-se realizar inferências sobre o sistema real. Como ressalva, na redução de escala, deve-se considerar que as relações de interação em nível molecular não mais correspondem ao comportamento do sistema real, como, por exemplo, no caso da interação das moléculas de ar no estudo do fluxo aerodinâmico de uma asa de avião.

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

A demanda por sistemas de simulação foi acentuada em virtude do acirramento da competitividade em decorrência do processo de globalização da economia. A concorrência faz com que as empresas aumentem a eficiência de seus sistemas produtivos. Para isto, há necessidade de modernização das plantas industriais, de reposição dos equipamentos obsoletos, de alterações de *layouts*, e de uso de novas ferramentas.

O custo é cada vez mais alto para inicialização de sistemas, construções de protótipos, treinamentos, etc., decorrentes das necessidades de aumento de eficiência imposta pela globalização. A necessidade de reduzir custos, diminuir tempos e riscos para os equipamentos e operadores, sem ser preciso a parada da produção foram alguns argumentos para o aumento da demanda por sistemas de produção.

Inicialmente, os sistemas de simulação foram desenvolvidos sobre linguagens de programação de propósito geral (*Basic, Pascal, C*, etc.). No entanto, isso demandava um grande esforço para a construção de modelos e conhecimentos profundos de programação de computadores do profissional responsável pela simulação. Visando facilitar o processo de construção dos modelos, surgiram, então, as linguagens de programação de computadores dedicadas à simulação, tais como GPSS, SIMAN, SLAM, SIMSCRIPT, etc.. Na realidade, tais linguagens eram bibliotecas compostas de conjuntos de macrocomandos de outras linguagens de propósito geral, na maioria das vezes FORTRAN. Alguns dos simuladores gráficos da geração seguinte são desenvolvidos sobre a plataforma dessas linguagens, como no caso do ARENA, construído sobre a linguagem SIMAN.

A evolução tecnológica e a redução de custos de *hardware* e *software*, juntamente com o aparecimento das linguagens específicas para desenvolvimento de modelos de simulação, contribuíram para o aumento do número de usuários e de aplicações da técnica de simulação de sistemas. Esses fatores tornaram viável o desenvolvimento de programas simuladores específicos para determinado sistema, como, por exemplo, simuladores de manufatura, simuladores de vôo, circuitos eletrônicos, simuladores de tráfego, etc..

Os simuladores específicos, pacotes projetados para facilitar modelagens de sistemas em determinados ambientes, têm seu escopo de aplicação reduzido a esses ambientes.

Apesar de serem mais flexíveis, as linguagens de simulação não apresentam vantagens como: interação usuário e computador mais amigável, possibilidade de utilização de biblioteca de rotinas já previamente construídas e a dispensa de o usuário ter conhecimentos profundos de computadores, verificadas com o emprego dos simuladores.

Com o desenvolvimento tecnológico proporcionando o aumento do poder de processamento dos computadores pessoais, tais como aumento de velocidade de processamento, aumento de capacidade de memória, facilidade de desenvolvimento de sistemas de interface gráfica sobre o Windows, foi promovida a colocação de vários sistemas simuladores comerciais no mercado. ARENA, PROMODEL, AUTOMOD são alguns exemplos desses simuladores, que apresentam as seguintes características:

- a) Interface gráfica de comunicação com o usuário;
- b) Desenvolvimento de modelos orientados a objeto;
- c) Capacidade de animação do modelo;
- d) Fornecimento de relatórios sobre a simulação executada;
- e) Ferramentas estatísticas para tratamento dos dados utilizados na simulação, etc..

Sistemas interativos e inteligentes são a tendência apontada para os sistemas simuladores. Serão empregadas técnicas de realidade virtual, inteligência artificial e sistemas especialistas. Os novos simuladores tendem a tornar-se um “Shell”, composto por vários módulos que interagem entre si e auxiliam no processo de simulação, desde a determinação das especificações do processo e do modelo a ser construído até a obtenção dos dados finais e sua posterior análise.

Com essa evolução, diversos módulos do simulador adquirem relevante importância. Também é importante a relação entre eles e os usuários do sistema. Sistema especialista, editor

gráfico, compilador, módulo de animação e módulo de tratamento de dados são alguns módulos a serem citados, sobre os quais será feito um breve comentário.

Os resultados de um processo de simulação estão totalmente relacionados com a maneira como é representado o modelo real. Modelos inadequados, seguramente produzirão resultados que não descrevem de maneira adequada a realidade. É fundamental a melhor representação do modelo real. Os sistemas especialistas têm como principal função transferir os conhecimentos que poucos especialistas possuem sobre um determinado assunto a um vasto grupo de usuários. Dessa maneira, os simuladores de nova geração deverão contar com um sistema especialista para auxílio no início do processo de modelagem, visando representar o modelo de forma mais real possível.

Após o fornecimento dos dados, pelo pessoal de operação de sistema, o responsável pelo desenvolvimento do modelo estabelece os dados de entrada necessários e os experimentos de simulação a serem realizados, com o auxílio do sistema especialista. Wichimann, citado por Lobão e Porto (1996), sugere a classificação dos sistemas especialistas em quatro categorias:

- a) Sistema especialista como sistema consultivo separado. Um sistema especialista não totalmente integrado com o sistema de simulação atua como um “manual de usuário inteligente”;
- b) Sistema especialista integrado e “interfaceado” com uma linguagem convencional de simulação. Atua como um *front-end* para preparação do modelo, especificação dos dados de entrada e definição dos experimentos de simulação. Pode conter informações do tipo como interpretar resultados, quais medidas são apropriadas, quantas replicações são necessárias, etc.;
- c) Sistema especialista integrado e “interfaceado” com um sistema simulador existente. Contém conhecimentos dentro do escopo do simulador com o qual está integrado. Necessita, geralmente, de conhecimentos do tipo “estrutural” sobre o simulador; “estratégico” sobre o processo simulado e de “raciocínio” características de inteligência artificial;
- d) Linguagem de simulação baseada no conhecimento. Está um passo adiante das metodologias convencionais de simulação. Apresenta estruturas separadas para base de dados, base de conhecimento e estrutura de controle, permitindo que cada um desses módulos possa ser modificado sem afetar os outros.

Isto permite que a construção do modelo seja executada de uma forma orientada “a

objeto”, dispensando, dessa forma, a necessidade de o usuário possuir conhecimentos mais profundos de programação em computadores. Desse modo, o editor gráfico é, então, um módulo de interface entre o usuário e a linguagem de baixo nível (muitas vezes uma linguagem de simulação, como por exemplo, o SIMAN). Conforme Strandhagen, referido por Lobão e Porto (1996), a abordagem de orientação “a objeto” também permite otimizar o processo de construção dos modelos, visto poderem ser construídos como uma coleção de objetos, da forma como realmente vistos. Esses objetos atuam como caixas pretas parametrizadas onde o usuário tem apenas que fornecer os parâmetros de entrada de determinado objeto.

O compilador é o interpretador do módulo gráfico onde foi construído o modelo orientado “a objeto”. É, geralmente, uma linguagem de mais baixo nível, tal como SIMAN, GPSS, SLAM (linguagens de simulação) ou *C, Pascal, Fortran* (linguagens de propósito geral).

A nova geração de simuladores tem como tendência a adoção de ambientes de realidade virtual. Isso permite ao usuário não somente interagir com os componentes do sistema durante o seu “funcionamento virtual” bem como, muitas vezes, imergir no interior do modelo, dando mais realismo ao sistema e permitindo uma exploração mais rica do mesmo. Para isso, o uso do módulo de animação é indispensável. Ele é a parte do software que realiza a ligação entre o editor gráfico e compilador com o usuário, mostrando, assim, a interação entre os diversos componentes do modelo durante a execução de uma “corrida” de simulação. Como exemplo de alguns módulos animadores, podem ser citados: CINEMA e o PROOF ANIMATOR.

O módulo de tratamento de dados tem como objetivo auxiliar o analista na interpretação dos dados resultantes da simulação do modelo, com isso, desobrigando-o da necessidade de possuir profundos conhecimentos estatísticos. Esse módulo deve contar com recursos de inteligência artificial e uma base de conhecimento de forma a permitir inferências sobre os resultados obtidos.

#### 4.9 ETAPAS EM ESTUDO DE SIMULAÇÃO

Segundo Dietz, citado por Giani *et al.* (1998), para que um projeto computacional seja reconhecido e implantado, independente da área em que seja aplicado, deve-se observar e executar alguns passos básicos, assim descritos:

- a) Definição do Plano: nesse passo, é necessário uma clara definição das metas, indicadores, objetivo e escopo do estudo que deve ser especificamente modelado.

Também devem ser considerados e identificados problemas de desempenho, fontes de dados de entrada, modelo que será usado, o processo de tomada de decisões e o tempo requerido para a conclusão do projeto;

- b) Coleta de Dados: quanto melhores forem os dados de entrada, melhor será o modelo de simulação. A escolha e a coleta de dados pode ser um trabalho caro e consumir muito tempo para o projeto. Minimiza-se este problema coletando os dados de maneira inteligente;
- c) Documentos de Premissas: todos os dados, assim como qualquer premissa antecipada deve ser compilada num documento. Esse tipicamente contém tabela de dados, roteiros, narrativa do sistema e áreas de análise junto com campos para se apresentar os resultados da simulação;
- d) Modelagem e Verificação: nessa etapa, o primeiro passo é esboçar o sistema ou conseguir um *layout* do mesmo, onde os elementos serão mapeados e nomeados. Pode-se, para facilitar, “quebrar” o sistema em áreas lógicas e modelá-las seqüencialmente. Dessa maneira, será reduzida a complexidade na construção, *debugging* e verificação do modelo;
- e) Período de Aquecimento e duração da Corrida de Simulação: nesse passo, é importante que cada rodada de simulação dure o tempo suficiente para que sejam captados efeitos de longo prazo e valores médios de processos cíclicos;
- f) Desempenho do Modelo: nessa fase do projeto, devem no mínimo ser feitas duas validações. Na primeira, o processo e as suas descrições devem ser revisados de acordo com os documentos de premissas. Numa validação final, o modelo e seus resultados revistos devem ser apresentados numa validação final para assegurar que o modelo esteja respondendo corretamente;
- g) Analisando os Resultados: na análise de um sistema, é usualmente utilizada a média, o desvio padrão e o intervalo de confiança dos resultados. A maioria dos projetos de simulação requer comparação dos resultados entre cenários alternativos “o que aconteceria se ...”.

De acordo com Law e Kelton (1999), os processos de modelagem e criação do modelo computacional são apenas partes do trabalho envolvido no entendimento do projeto ou processo. Também devem ser direcionados esforços a uma série de outras atividades. A Fig. 3 mostra as etapas que compõem um típico estudo de simulação e o relacionamento entre eles. Cada etapa está precedida de um número, representando, assim, o estágio em que se encontra neste estudo.

Nem todos os estudos contêm, necessariamente, estas etapas e na ordem apresentada. Alguns estudos podem conter etapas que não se encaixam dentro do diagrama apresentado. Além disso, um estudo de simulação não é um simples processo seqüencial. Com o melhor entendimento do sistema de interesse, muitas vezes é desejável voltar etapas anteriores. Por exemplo, uma nova percepção sobre o sistema obtida durante o estudo poderá tornar necessária a reformulação do problema para ser resolvido.

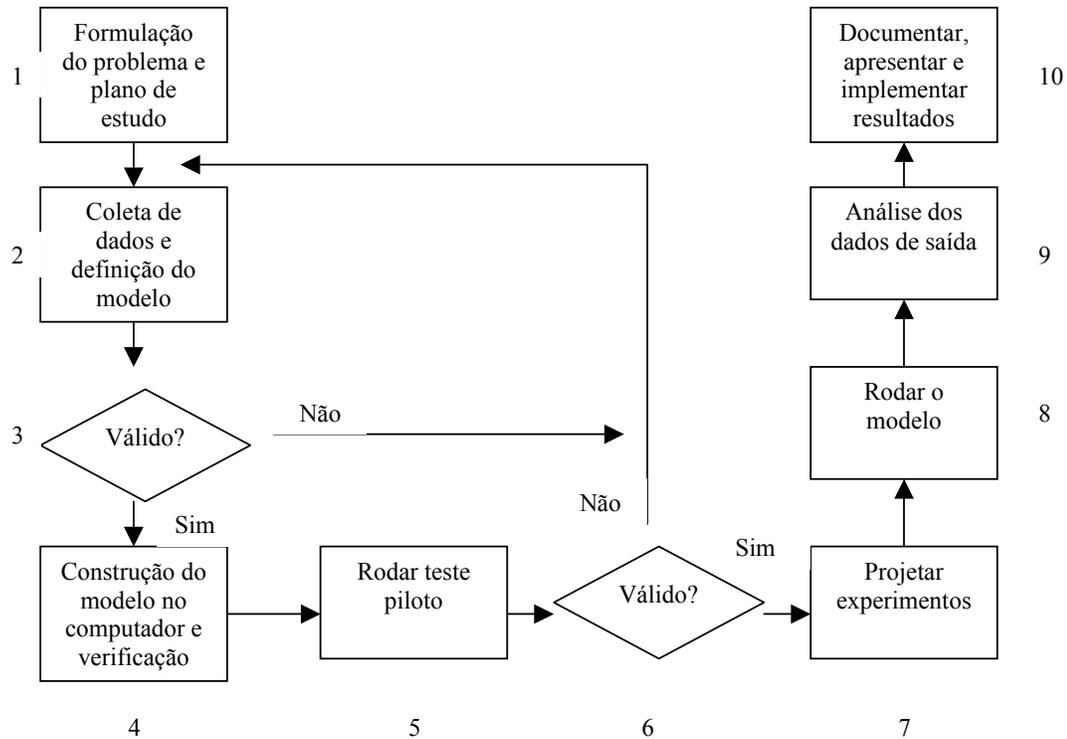


FIGURA 3 – Etapas num estudo de simulação, Law e Kelton (1999)

As etapas sugeridas por Law e Kelton (1999), conforme Fig. 3, são assim apresentadas:

1. Formulação do problema e plano de estudo: todo estudo deve começar com uma clara definição de objetivos e questões específicas que devem ser endereçadas. Sem essa definição, um estudo tem poucas chances de sucesso. Nessa etapa, devem ser definidas as alternativas para a criação dos modelos, como, também, critérios para avaliar a eficiência dessas alternativas. Neste estudo, deve ser planejado, definido aspectos como o número de pessoas a ser envolvido no processo, o custo e o tempo requerido para cada aspecto do estudo;

2. Coleta de dados e definição do modelo: as informações e dados podem ser coletadas no sistema de interesse, quando este existe, e usadas para especificar operações, processos e distribuições de probabilidade para criação das entidades e seus relacionamentos. Por exemplo, na modelagem de um processo de atendimento bancário, devem ser coletados

dados de tempos de chegada dos clientes, tempos de atendimento, a distribuição destes dados ao longo do tempo. Também devem ser colhidos dados de performance do sistema real, como, por exemplo, o tempo de espera em filas relacionando com o número de operadores. A definição dos modelos matemáticos e lógicos é considerada por Law e Kelton (1999) como sendo mais uma arte do que uma ciência. Um ponto de consenso na literatura com referência a regras de modelagem diz respeito ao fato de que deve se iniciar com modelos simplificados, só então adicionar complexidades. Um modelo pode conter somente detalhes suficientes para capturar a essência do sistema proposto. Assim, não é necessário ter correspondência um por um entre elementos do modelo e do sistema. Um sistema excessivamente detalhado, além de extenso, pode, também, ser caro e difícil para implementar e rodar no computador;

3. Validar: avaliações devem ser feitas ao longo logo de todo o estudo de simulação, porém, em alguns pontos são, particularmente, apropriadas. Na construção do modelo, é de fundamental importância que as pessoas envolvidas no estudo estejam intimamente envolvidas com as operações do atual sistema, assim como também aquelas que serão responsáveis pela tomada de decisão com base nos resultados do modelo. Desse modo, aumentam as chances de criação de um modelo capaz de fornecer a validade e credibilidade necessárias para o bom desempenho de um projeto de simulação;

4. Construção do modelo no computador e verificação: nessa etapa, é decidido pelo uso de linguagem de objetivo geral, tais como *Fortran*, *C*, *C++* e *Pascal* ou pelo uso de pacotes computacionais, especialmente criados para desenvolvimento de modelos de simulação, tais como GPSS, SIMAN, SIMSCRIP II.5, SLAN II, Arena, ProModel. Linguagens comuns de programação são mais baratas e exigem programador(es) para o desenvolvimento de projetos de simulação. Por outro lado, pacotes especiais de simulação possuem uma série de atributos que facilitam a criação dos modelos e podem reduzir de maneira significativa o tempo necessário para desenvolver projetos de simulação;

5. Rodar teste-piloto: nessa etapa, uma vez que o modelo computacional tenha sido criado, é necessário rodar o programa gerando resultados para validação do mesmo;

6. Validar: rodar testes-pilotos pode ser usado para avaliar a sensibilidade do modelo, conforme a variação nos parâmetros de entrada. A irregularidade do modelo será facilmente identificada caso os resultados numéricos esperados estejam explicitamente fora. Há situações em que análises estatísticas são necessárias para analisar os resultados do modelo. A melhor situação é quando existe um sistema real similar ao modelo, podendo, então, comparar-se os resultados. É esperado nesse estágio, um acordo entre o pessoal envolvido no projeto para que este seja uma boa representação do processo real;

7. Projetar experimentos: nessa etapa, são definidos quais os projetos que serão

simulados, considerando que, na prática, verifica-se geralmente existir mais do que uma alternativa a ser simulada. Para cada projeto de sistema a ser simulado, devem ser avaliadas questões como as condições iniciais, período para que as máquinas possam entrar em ação e o número de replicações para obtenção de resultados em cada alternativa de projeto;

8. Rodar o modelo: é rodado, nesse estágio, o modelo com a intenção de fornecer os dados de performance do projeto do sistema em estudo, com as várias alternativas e parâmetros de simulação definidos na etapa anterior;

9. Análise dos dados de saída: normalmente, nessa etapa, são usadas técnicas estatísticas para analisar os dados de saída. É objetivado, especificamente, obter intervalos de confiança para a medida de performance para cada modelo projetado ou para decidir qual o projeto é relativamente melhor para alguma medição específica de performance;

10. Documentar, apresentar e implementar resultados: modelos de simulação são frequentemente utilizados para mais de uma aplicação. Dessa maneira, é importante documentar as suposições dos modelos, bem como também os programas destes quando for o caso. Finalmente, um estudo de simulação cujos resultados não são implementados são mais passíveis de falha. Além disso, resultados aceitáveis de modelos o tornam provável de utilização.

#### 4.10 VANTAGENS, DESVANTAGENS E ARMADILHAS EM SIMULAÇÃO

Atualmente, a simulação é uma técnica cada vez mais usada, tornando-se popular para estudo de sistemas complexos. Além de vantagens e desvantagens, esta técnica apresenta algumas ciladas (armadilhas) ao longo do caminho, que devem ser conhecidas para o completo sucesso de um estudo de simulação. Algumas possíveis vantagens, que podem contar para a difusão desta técnica são destacadas a seguir:

- a) A complexidade de processos reais, com elementos estocásticos, muitas vezes, não pode ser descrita com precisão por modelos matemáticos para que possa ser avaliada analiticamente. Dessa maneira, a simulação é o único tipo de investigação possível;
- b) A simulação permite uma estimativa de performance de um sistema com alguma condição de operação projetada;
- c) Projetos alternativos de processos (ou alternativas políticas operacionais para um processo único) podem ser comparados via simulação. Dessa maneira, visualizando qual o melhor para especificações pré-requeridas;
- d) Na simulação, é possível conservar muito melhor todo o controle das condições

experimentais que geralmente não são possíveis ou de difícil experimentação com o processo real;

- e) A simulação permite o estudo de sistemas em diferentes espaços de tempo. Portanto, permite estudar com antecipação ou ainda em curtos e longos períodos de trabalho.

A simulação também apresenta algumas desvantagens. A seguir são descritos alguns perigos:

- a) Cada rodada de um modelo de simulação estocástica produz somente estimativas das verdadeiras características de um modelo por ressaltar um particular parâmetro de entrada. Dessa forma, várias rodadas de um modelo serão provavelmente requeridas para cada entrada de parâmetro a ser estudada. Por essa razão, modelos de simulação geralmente não devem ser tão bem otimizados, pois eles estariam comparando um número fixo de desígnios de alternativas especificadas do processo. Por outro lado, um modelo analítico, se apropriado, pode facilmente produzir a verdadeira característica de um modelo para uma variedade de parâmetros de entrada. Assim, se um modelo analítico válido está disponível ou pode ser facilmente desenvolvido, geralmente será preferível a um modelo de simulação;
- b) Modelos de simulação freqüentemente são caros e demorados para desenvolver;
- c) Grande volume de números produzidos por um estudo de simulação ou o convincente impacto de uma animação realística, muitas vezes produz uma tendência para colocar maior confiança nos resultados de um estudo. Se o modelo não for uma “representação válida” do projeto em estudo, independente de quanto impressionante for, pouco útil serão as informações providas sobre o processo atual.

Quando é considerado apropriado um estudo de simulação para uma dada situação, é aconselhável ter em mente estas vantagens e desvantagens, assim como todas as outras facetas pertinentes a cada situação particular. Por fim, nota-se que, em alguns casos, ambos simulação e modelo analítico podem ser úteis. Em particular, a simulação pode ser utilizada para verificar a validade das suposições necessárias de um modelo analítico. Por outro lado, um modelo analítico pode sugerir alternativas razoáveis para investigação num estudo de simulação.

Partindo do pressuposto que foi decidido pelo uso da técnica de simulação, é prudente

achar que há várias armadilhas, ciladas no caminho a ser percorrido num estudo de simulação. A seguir, são descritas algumas dessas armadilhas:

- a) Falha em obter uma boa definição dos objetivos no início da simulação;
- b) Nível inadequado de detalhes no modelo;
- c) Falha em comunicar para a administração em uma base regular durante todo o curso no estudo de simulação;
- d) Tratar um estudo de simulação como se fosse, principalmente, um complicado exercício de programa de computação;
- e) Falha na obtenção de pessoal de pesquisa operacional e com treinamento estatístico na equipe, ajudando nas tarefas de modelagem;
- f) Inconseqüente uso de software comercial de simulação que contenha erros ou de operações de macro complexas que não estejam bem-documentadas, podendo causar a não-implementação da lógica desejada no modelo;
- g) Dependência de simuladores amigáveis, que façam acessíveis simulações para quem quer que seja;
- h) Uso abusivo de animação;
- i) Falha para representar corretamente os dados randômicos da realidade do processo;
- j) Utilizar arbitrariamente distribuições, por exemplo, normal ou uniforme, como fontes aleatórias de dados de entrada para o modelo de simulação;
- k) Analisar os dados de saída de uma única rodada de simulação usando fórmulas estatísticas que assumem independência;
- l) Fazer uma única replicação de um projeto particular e tratar as respostas estatisticamente como as verdadeiras respostas;
- m) Comparar alternativas de projeto de processo com base em replicações diferentes para cada exercício do modelo;
- n) Utilizar medidas equivocadas para análise de desempenho.

Essas armadilhas são um inconveniente ao uso apropriado da técnica de simulação, assim como à exploração do seu real potencial de utilização como ferramenta indicada para auxílio em muitos casos.

#### 4.11 VALIDAÇÃO EM MODELOS DE SIMULAÇÃO

Na análise de modelos de simulação, uma das tarefas mais difíceis é determinar se o modelo representa precisamente o processo estudado. Esta idéia é o conceito de validação em

modelos de simulação. Logo, se um modelo não é válido, qualquer conclusão derivada de uma análise terá um valor no mínimo duvidoso.

Será apresentado, nesta seção, um breve comentário de algumas técnicas de validação mais usadas na prática, conforme são mostradas por Law e Kelton (1999). Essas técnicas não são oriundas exclusivamente da literatura, são também oriundas de entrevistas com profissionais da área e da implantação e desenvolvimento de trabalhos em empresas.

Alguns conceitos serão apresentados para ter-se uma melhor compreensão do seu entendimento, como também, do relacionamento entre eles. São a verificação, a validação e a credibilidade.

A verificação identifica se o modelo representa apropriadamente o ambiente estudado, o relacionamento entre entidades. Por sua vez, a validação identifica se o modelo reproduz resultados similares ao ambiente estudado, estimativa de resultados. E a credibilidade identifica se as variações no modelo são representativas do ambiente estudado, médias de performance.

Dessa maneira, a verificação faz a avaliação do modelo computacional, a validação do modelo conceitual enquanto a credibilidade faz a avaliação dos resultados do modelo.

Não existem regras determinadas que possam ser aplicadas à criação de todo e qualquer modelo de simulação. Porém, em linhas gerais, serão apresentados alguns procedimentos para determinação do nível de detalhe exigido em modelos de simulação.

Identificar aspectos de interesse na modelagem. Modelos podem, algumas vezes, fornecer estimativas precisas de alguns fatores e não de outros. Portanto, é muito importante especificar medidas de interesse. O usuário final do modelo deve antecipar os requerimentos de utilização, incluindo o tipo de interface que este deve utilizar para gerar seus resultados. Por fim, é importante conhecer as necessidades do cliente do modelo. Desta maneira, a formulação do problema deve ser feita com todos os profissionais envolvidos no projeto e que possam contribuir com a criação do modelo conceitual.

Especificar unidades para medição de performance. Análises de sensibilidade podem ser usadas para determinar os parâmetros, distribuições ou subsistemas que serão de maior impacto nas requeridas medidas de performance. Portanto, fica evidente que a atenção deve ser focada sobre os fatores mais importantes da simulação.

Avaliar a relação custo-benefício no sistema de informação para modelagem. Alguns

estudos de simulação mostram que tempo e custo são fatores importantes na determinação do nível de detalhes do modelo.

Iniciar com um modelo simples e incrementar. É um freqüente engano, entre os iniciantes em modelagem, a inclusão de um excessivo nível de detalhe na modelagem. É recomendado, portanto, que se inicie com um nível “simples/moderado”, o qual pode ser incrementado no futuro, quando necessário.

Envolver a gerência da empresa no processo. Gerentes devem envolver-se durante a formulação, criação e implementação dos modelos. Para isso, devem estar cientes de que estudos de simulação bem-sucedidos exigem engajamento e esforços além de tempo e recursos financeiros.

Capacitar pessoal para a análise de resultados. Normalmente, é usado pessoal técnico da própria organização.

Law e Kelton (1999) também comentam algumas filosofias gerais do processo de validação, que devem se ter em mente durante o processo de desenvolvimento de modelos de simulação. Algumas dicas gerais em processos de validação de modelos são expostas a seguir:

- a) Ter em mente que a experimentação com modelos de simulação está subjugada à experimentação com o processo real de trabalho e operação. Um modelo deve ser bom o suficiente para ser utilizado como um auxílio à tomada de decisões em situações cujo processo original permitisse as mesmas conclusões, se fosse possível analisar como modelo;
- b) A complexidade do modelo criado dita o grau de dificuldade no processo de validação, assim como também a existência de um processo para comparação;
- c) Por maior que seja o esforço empregado na criação do modelo para simulação de processos complexos estes serão apenas uma aproximação do processo real. Dessa maneira, não pode ser vista como um modelo absolutamente válido. A partir de um certo nível, aumentar a validade de um modelo pode ser caro devido à quantidade excessiva de dados que podem ser necessários;
- d) Modelos de simulação devem sempre ser criados com um propósito bem-definido. Nota-se que os modelos são geralmente melhores para comparar alternativas do que para providenciar respostas absolutas;
- e) É importante manter e atualizar regularmente registros do resultado do modelo de simulação. Eles podem vir a fazer parte do relatório final da criação do modelo.

Este relatório pode também conter detalhes do potencial de utilização do modelo em áreas distintas daquela para a qual ele foi inicialmente criado;

- f) As medidas de performance devem ser a ênfase da validade do modelo. Por exemplo, um gerente de produção que deve escolher entre diferentes projetos baseados unicamente na capacidade geral de produção não pode usar como auxílio um modelo válido para auxiliar em decisões relativas ao tempo necessário para iniciar o processo produtivo;
- g) A criação e validação de modelos devem ser executadas ao longo do processo de modelagem. Portanto, não é uma tarefa a ser feita após o modelo ter sido criado e somente se houveram recursos disponíveis.

#### 4.12 VERIFICAÇÃO EM MODELOS DE SIMULAÇÃO

Neste item, será discorrido sobre algumas técnicas comuns para identificação de problemas com programas computacionais para simulação de processos, comentadas por Law e Kelton (1999).

Dividir modelos complexos em modelos menores. Sendo mais difícil encontrar erros em modelos complexos do que em diversos modelos pequenos, é coerente que seja dividido o modelo em partes menores e testá-las individualmente. Adicionando-as em partes, sempre verificando como cada adição funciona dentro do modelo integrado.

Não deixar a criação do modelo sob responsabilidade de uma única pessoa. O programador pode se envolver demais com a criação do modelo e perder uma visão macroscópica do processo. Partes do processo podem ser passadas a especialistas para cada um emitir seu parecer e também analisar o resultado final do modelo.

Analisar a compatibilidade dos resultados de acordo com a variedade de configuração de parâmetros e dados de entrada ao rodar o modelo. Algumas vezes, medidas simples para análise de performance podem ser computadas e usadas para comparação. Pode ser necessário uma quantidade maior de replicação do modelo para que os resultados obtidos estejam próximo do esperado.

Criar uma lista de eventos que mantém registro do estado das variáveis, contadores e resultados estatísticos. Faz-se, então, manualmente os cálculos para acompanhamento enquanto a simulação é rodada por partes e os resultados das alterações são mostrados na tela. Atualmente, a maioria das linguagens e aplicativos para desenvolvimento de modelos de

simulação possuem elementos para facilitar este tipo de técnica de verificação.

Rodar o modelo assumindo, sempre que possível, valores simples para que suas verdadeiras características sejam conhecidas e facilmente computadas. Uma vez que as estimativas sejam parecidas com os valores reais, deve-se obter um bom grau de confiabilidade de que o sistema esteja correto.

É útil, em alguns tipos de modelos de simulação, a observação de uma simulação gráfica dos resultados. Isso possibilita a identificação de erros que não podem ser detectados matematicamente, por exemplo.

Para verificar se os valores da distribuição estão sendo gerados corretamente, é usada a técnica de entrar com as médias de amostras e médias de variância para cada distribuição de probabilidade na simulação e comparar os resultados com dados históricos de médias e variâncias.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 INTRODUÇÃO

Modernizações no sistema produtivo das organizações são, na maioria das vezes, inevitáveis. Seus motivos podem ser os mais variados e, quando não resolvidos de forma apropriada, podem custar a sobrevivência da empresa.

Este estudo foi realizado na empresa Solare Dermatologia e Estética Ltda, localizada em Bento Gonçalves – RS. A empresa é a maior fabricante de equipamentos para bronzamento artificial no país. Tem forte atuação na região Sul e relativa penetração nas regiões Sudeste e Centro Oeste.

A empresa tem como atividade a produção de equipamentos, cuja finalidade, em primeira análise, é a aplicação de raios ultravioleta no corpo humano para a produção de efeitos biológicos e estéticos. Esse segmento foi afetado de forma incisiva por uma variável incontrolável, seja através de mídia contrária, regulamentações ou até mesmo abalando a confiança do consumidor. Essa situação fez com que a geração de receita fosse significativamente reduzida.

Este quadro problemático remete a uma necessidade de reestruturação em todas as áreas da empresa. O sistema produtivo, como as demais áreas, deve rapidamente adequar-se às novas exigências.

A produção deve ajustar-se à nova realidade, tendo como meta:

- a) Redução de estoque de produtos acabados, uma vez que não existe uma clara sincronia entre produção e vendas;
- b) Redução de quadro funcional, para adequação ao custo.

Como resultado, espera-se uma rápida adequação do sistema à nova situação, sem perder capacidade de pronta resposta a vendas.

Todas essas mudanças com vistas a melhorias precisam ser criteriosamente analisadas e avaliadas. A simulação computacional foi a ferramenta que se apresentou como a mais adequada para efetivar estas análises.

O uso da simulação como ferramenta de análise possibilita avaliar novas configurações para o processo produtivo e, com os resultados obtidos, avaliar o impacto destas mudanças em termos de uma relação entre capacidade e recurso humano utilizado. Isso ajuda a preparar a empresa para este novo desafio.

## 5.2 LINHAS DE MONTAGEM

A empresa possui alguns setores que na seqüência do fluxo de material, formam a linha de montagem, como visto no item 2.4.

Os componentes necessários para os equipamentos são fornecidos por terceiros, razão pela qual a empresa possui poucos operadores na sua linha de montagem. O quadro original apresenta sete operadores dispostos, conforme a Fig. 1, do segundo capítulo. Esses operadores apresentam alguma flexibilidade nas tarefas a serem realizadas, podendo se deslocar quando necessário.

A venda do produto sofre oscilação conforme a sazonalidade deste mercado. No caso, cinco meses de alta produção e o restante do ano com médias e fracas produções. Este fato associado com a queda de vendas, conforme argumentado no item 2.1, provoca necessidade de mudança.

Por se tratar de uma empresa jovem, seu sistema produtivo, até então, acostumado com aumento crescente de produção, não dispunha de documentação do processo ou dados referentes ao processo produtivo.

Na alta produção há o consumo exagerado de horas extras para atender a demanda. Os operadores trabalham com foco somente na produtividade. Não há uma visão voltada para a qualidade.

O sistema produtivo não apresenta estoques intermediários. Também é verificado algum atraso na entrega em virtude da falta de sincronia entre produção e vendas. Desse modo, em certos momentos, há estoque de alguns modelos e falta de outros.

Na baixa temporada, há um estoque exagerado de produtos acabados, ocasionando gasto desnecessário à empresa.

A produção segue uma previsão semanal de vendas, que determina a quantidade a ser produzida para cada modelo.

A montagem dos componentes elétricos é feita no mesmo local, independente do tipo de equipamento. Porém, na montagem das estruturas há uma separação. As camas de bronzeamento são montadas em um local e os aparelhos de redução de medidas são montados em outro. Na seqüência, ocorre a união da estrutura com a parte elétrica, testes e embalagem.

### 5.3 COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados, foi necessário fazer a documentação do processo e cronometragem dos tempos de montagens. Nesse período, foi criado um histórico dos dados coletados. Havia divergência entre os dados de produção registrados nos setores comercial e industrial. Houve a necessidade de confrontação destes dados.

Durante a documentação do processo, foi cronometrado o tempo médio para cada operação. Por isso, foram tomados, no mínimo, cinco tempos por atividade. Também foi considerado o fato de diferentes operadores realizarem a atividade assim como a possibilidade de outros fatores influenciarem estes tempos. Também foi considerada nesta cronometragem a quantidade de operadores.

Após a documentação, foi realizado um estudo e efetuadas mudanças no processo buscando um melhor desempenho. Estes novos tempos foram registrados de modo a permitir seu uso no novo modelo proposto.

### 5.4 ESCOLHA DO PRODUTO

Neste estudo, foi considerada, em consenso com a direção da empresa, a análise do comportamento do sistema produtivo. Durante a produção dos quatro modelos de equipamentos (três modelos de camas de bronzeamento e o equipamento redutor de medidas), foi analisada a concorrência entre eles no uso dos recursos.

Com a perspectiva de adequação da mão-de-obra, optou-se por modelar o sistema produtivo reproduzindo seu comportamento durante a passagem dos diversos modelos de equipamentos citados. Desse modo, com a análise, será proposto um novo sistema contemplando a redução de mão-de-obra.

Essa visão global do sistema tem como objetivo verificar o impacto da redução de mão-de-obra neste sistema.

## 5.5 FLUXO DE MONTAGEM DO PRODUTO

A montagem dos equipamentos tem como padrão um equipamento montado de cada modelo para verificação de eventuais dúvidas. Porém, a seqüência de montagem não estava documentada.

Com a tomada dos tempos médios de cada tarefa, também foi formalizado o processo produtivo e criado um fluxograma de montagem para cada modelo. Após o estudo e melhorias nesses processos, foram novamente documentados os fluxos de montagem de cada modelo contemplando essas melhorias.

As Fig. 4, 5, 6 e 7 mostram, respectivamente, o fluxo de produção dos modelos *Roller Redutore*, *Dorata*, *Dr. Lapolli* e *Paradiso*. Esses fluxos mostram cada tarefa do processo de montagem associada ao seu tempo médio de execução e a quantidade necessária de operadores para a execução destas operações.

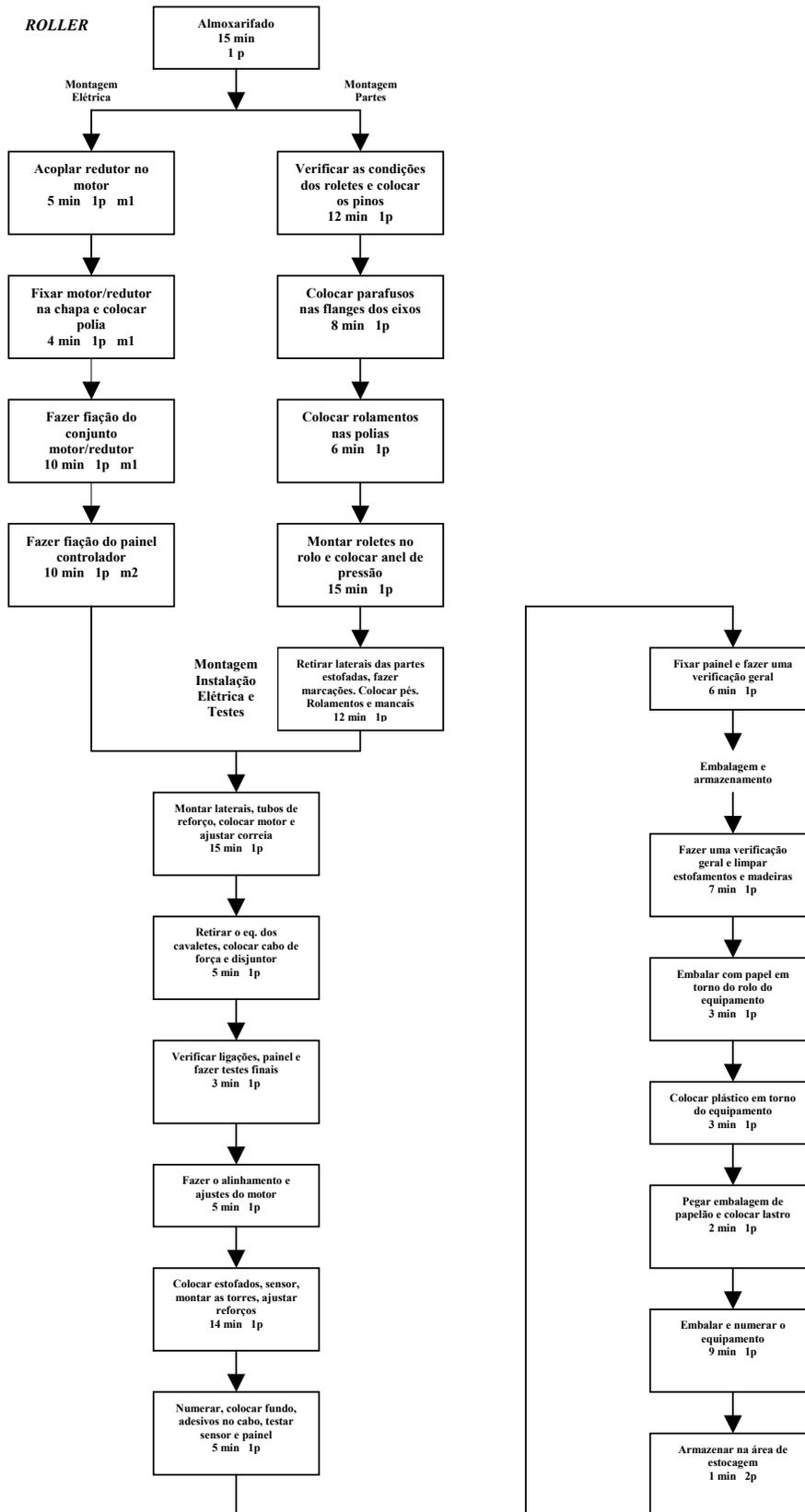


FIGURA 4 – Fluxo de produção do modelo *Roller Reductore*

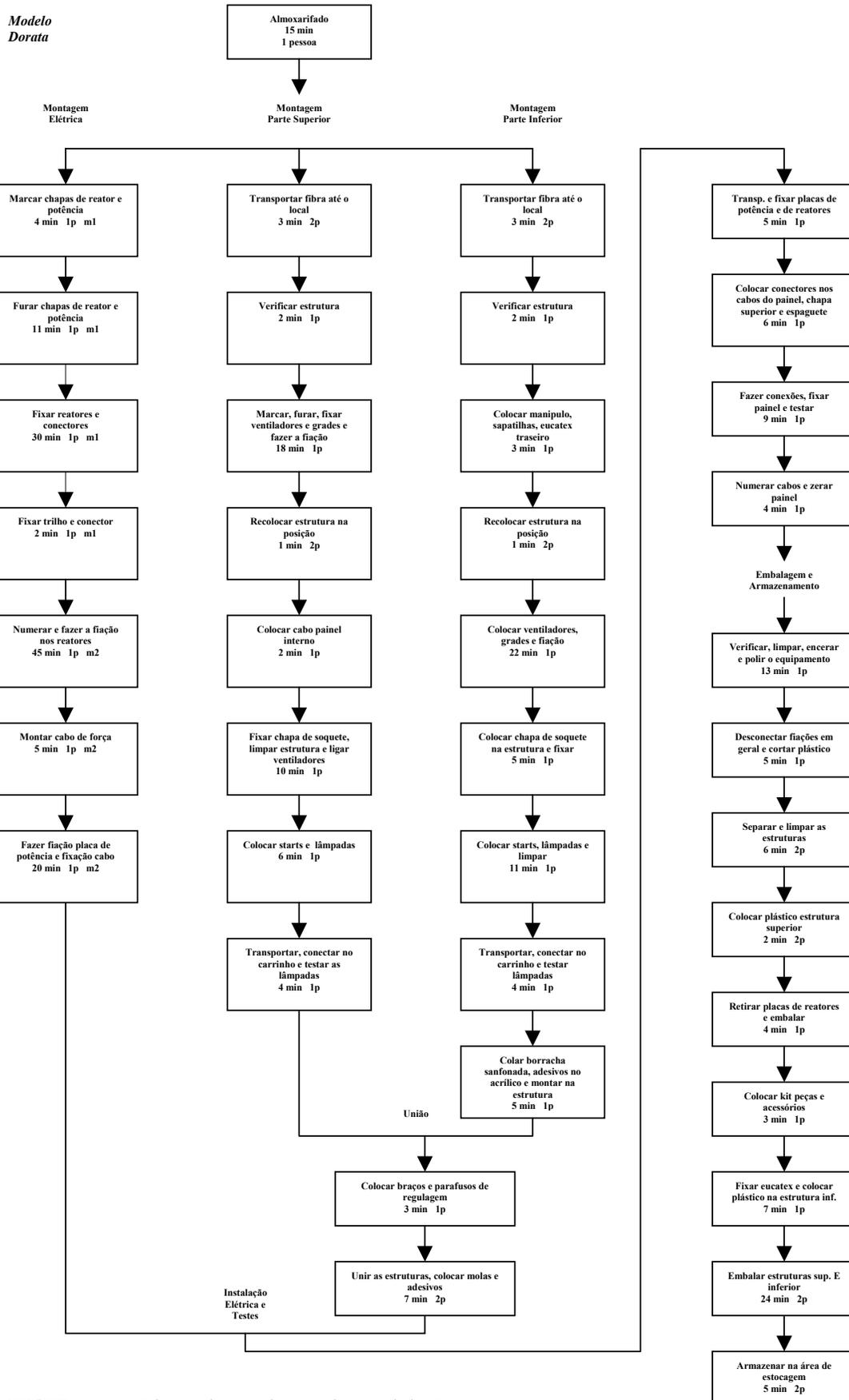
FIGURA 5 – Fluxo de produção do modelo *Dorata*



FIGURA 6 – Fluxo do sistema produtivo do modelo *Dr. Lapolli*



FIGURA 7 - Fluxo do sistema produtivo do modelo *Paradiso*

A partir dos fluxos de montagem apresentados, foi desenvolvido o Quadro 3, que compila os tempos de montagem relacionando os operadores com os locais e o modelos de equipamentos produzidos.

QUADRO 3 – Compilação dos tempos (minutos) dos fluxos de montagem do sistema produtivo original

R – Roller P – Paradiso L – Lapolli D – Dorata		ENTRADA				MONTAGEM ELÉTRICA				MONTAGEM ROLLER	MONTAGEM PARTES				UNIÃO				ARMAZENAMENTO						
		R	P	L	D	R	P	L	D		R	P	L	D	R	P	L	D	R	P	L	D			
Almoxarife		15	15	15	15																				
Montador E1						19	59	59	47																
Montador E2						10	108	83	70																
Montador R										53															
Montador P1											67	61	46												
Montador P2											61	42	56												
Montador U1														53	34	35	34								
Montador U2	Tempo União														05	06	07								
	Tempo Aux Mont																	02	37	35	37				
Montador A																		25	80	80	69				

Este quadro facilita a visualização e a programação dos tempos gastos na modelagem original por operador nos devidos locais considerando os diversos tipos de modelos dos equipamentos fabricados.

## 5.6 SIMPLIFICAÇÕES

De acordo com Pegden *et al.* (1990), o pior erro é o detalhamento excessivo, onde discutem o princípio denominado *Kiss (Keep it Small and Simple)*, ou seja, mantenha o modelo pequeno e simples, uma vez que o detalhamento, se necessário, pode ser agregado; ao passo que ser retirado significa desperdício de recursos.

Neste estudo, foi considerado este princípio tratado por Pegden *et al.* (1990) em que eles sugerem que se mantenha o modelo pequeno e simples mantendo uma representação da situação real.

Com a documentação e cronometragem dos fluxos de montagem dos equipamentos, foi possível dividir o sistema produtivo por áreas (estações) de montagem. Desse modo, a partir da

liberação da matéria-prima pelo almoxarifado, foram agrupadas as tarefas pertinentes a cada área. Assim, foram obtidas as diversas áreas: de Montagem do *Roller*, Montagem Elétrica, Montagem das Partes, União/Testes e Embalagem.

Nas estações, levou-se em conta o tempo de permanência do produto no local considerando a quantidade de operadores. Este tempo foi obtido com a soma dos tempos médios para a execução de cada tarefa.

Com o objetivo de tentar visualizar de forma global as relações entre utilização das estações pelos diversos modelos, e sendo a distância entre as estações pequena, foi adotado um tempo mínimo comum de movimentação entre as estações como simplificação referente à movimentação das peças ou equipamentos entre estas áreas. Também o fluxo do sistema produtivo original, apresentado no segundo capítulo, Fig. 1, será considerado como uma simplificação do *layout* da área industrial.

#### 5.7 MODELAGEM DO SISTEMA PRODUTIVO ESCOLHIDO

O processo nesta modelagem foi visto como a seqüência de tarefas por estação (área de montagem). Desse modo, foi considerado como estação uma etapa característica onde os produtos param para ser trabalhados (Montagens, Montagens Elétricas, Testes e Embalagens).

Considerando esta seqüência de estações, a visualização do processo é vista de forma simples. Existe a possibilidade de ver a concorrência pelos recursos dos quatro modelos de produtos ao longo do processo.

Para a modelagem do sistema produtivo, foi utilizado o programa PROMODEL, citado por Lobão e Porto (1996), conforme Capítulo 4.

Para a modelagem do sistema de manufatura, foi considerado o fluxo do sistema produtivo original mostrado na Fig. 1. A partir desse fluxo, considerado como o *layout* de forma simplificada, foram definidos como entidades as estruturas de cada modelo de equipamento assim como a parte elétrica destes modelos. Destarte, temos como entidades: *Paradiso*, *Dr. Lapolli*, *Dorata*, *Roller*, *Elétrica-Paradiso*, *Elétrica-Lapolli*, *Elétrica-Dorata* e *Elétrica-Roller*.

Como locais, foram consideradas as áreas (estações) de trabalho. Assim, os locais criados foram: Entrada, Montagem *Roller*, Montagem Elétrica, Montagem das Partes, União e Armazenamento.

O almoxarifado é considerado o local de entrada de parte das entidades. Entram por esse local as estruturas e partes mecânicas. Na Montagem Elétrica, ocorre a chegada de materiais elétricos dos equipamentos para a Montagem Elétrica. Na área de Montagem das Partes, são montadas as estruturas e demais peças das camas de bronzeamento, que após estarem prontas seguem para a área de União/Testes. A Montagem do *Roller* é feita em sua própria área. A União/Testes é a área que recebe as estruturas (partes mecânicas) de Montagem das Partes e material elétrico da Montagem Elétrica. Nessa área, é feita a montagem final das camas e os devidos testes. Na área de Embalagem, são feitas as embalagens dos diversos tipos de equipamentos para posterior Armazenamento.

Não foi considerado turno de trabalho, pois a empresa trabalha em turno único.

O processo foi visto como a construção do fluxo das entidades dentro do modelo. A elaboração deste modelo foi iniciada de forma simplificada. Primeiro, modelou-se cada tipo de equipamento individualmente, conforme Fig. 8, 9, 10 e 11.

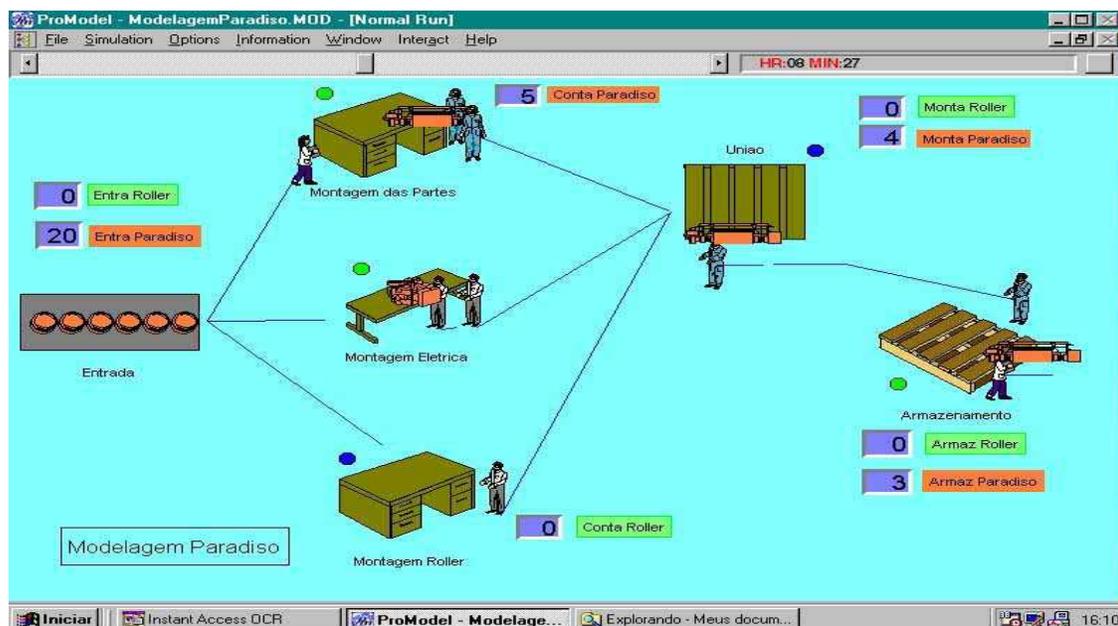


FIGURA 8 – Tela de visualização da modelagem da *Paradiso*

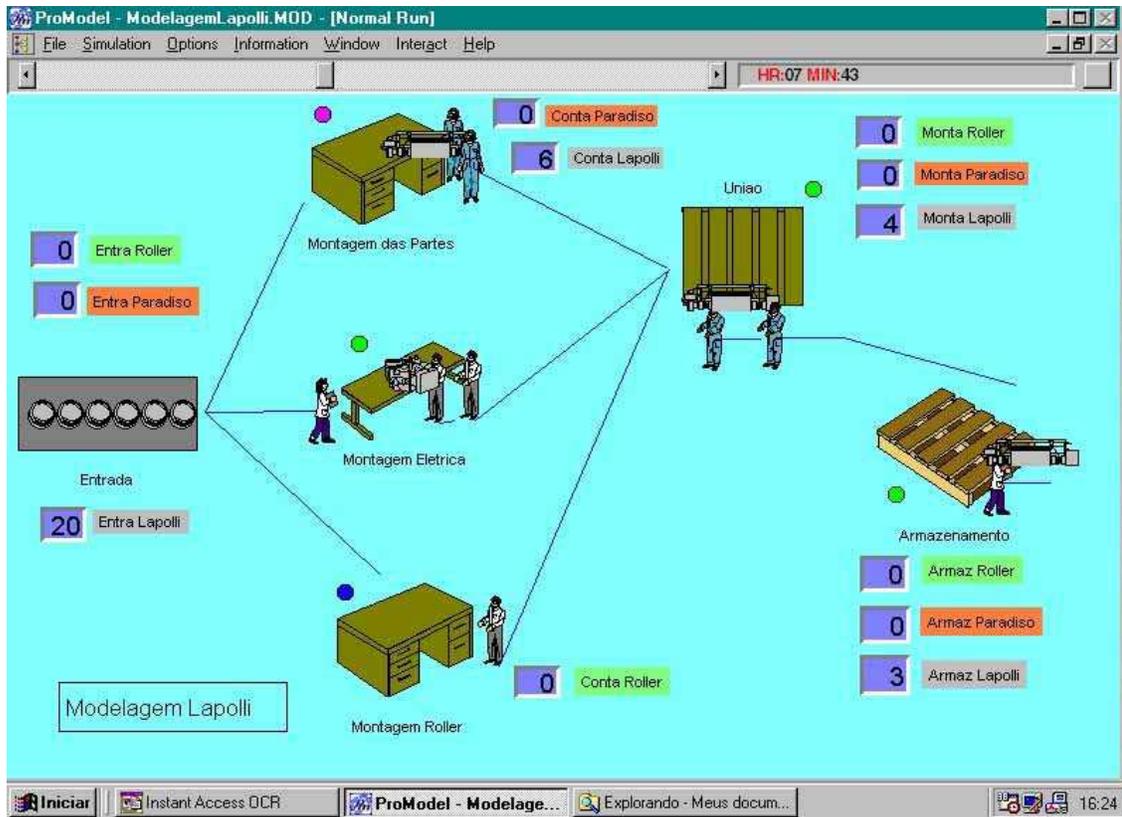


FIGURA 9 – Tela de visualização da modelagem da Dr. Lapolli

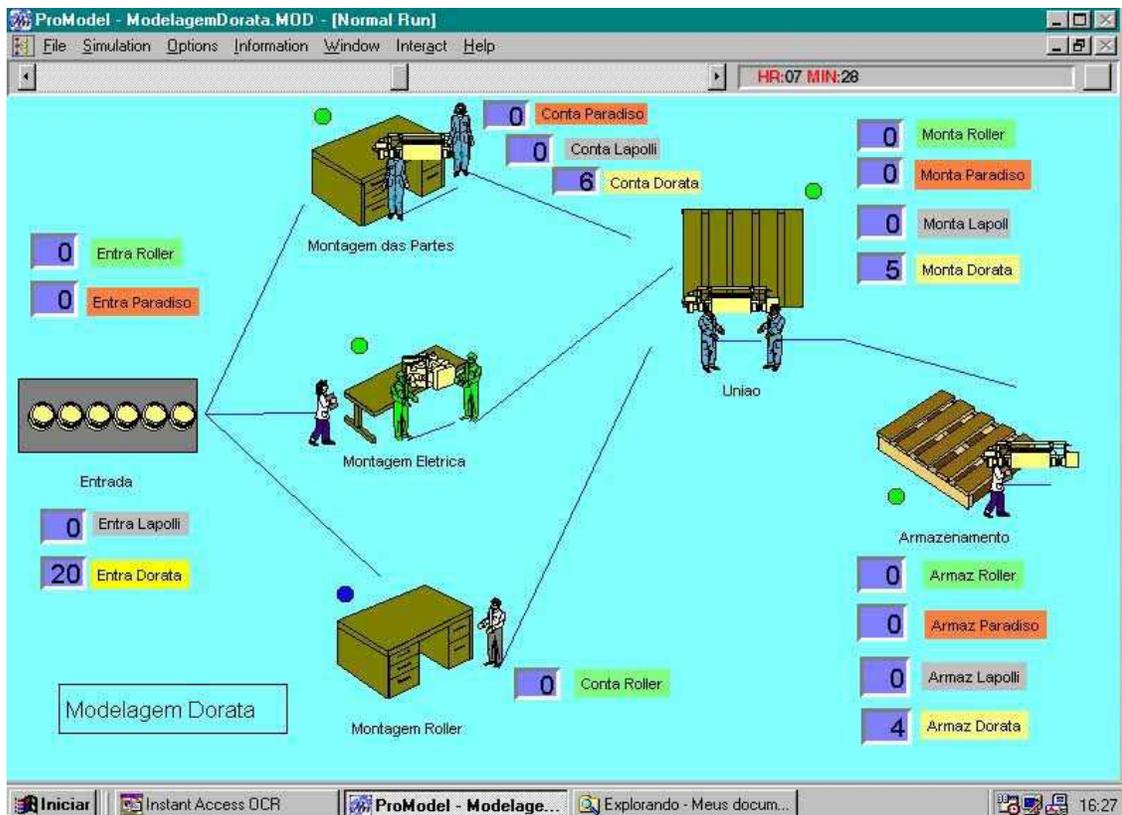


FIGURA 10 – Tela de visualização da modelagem da Dorata

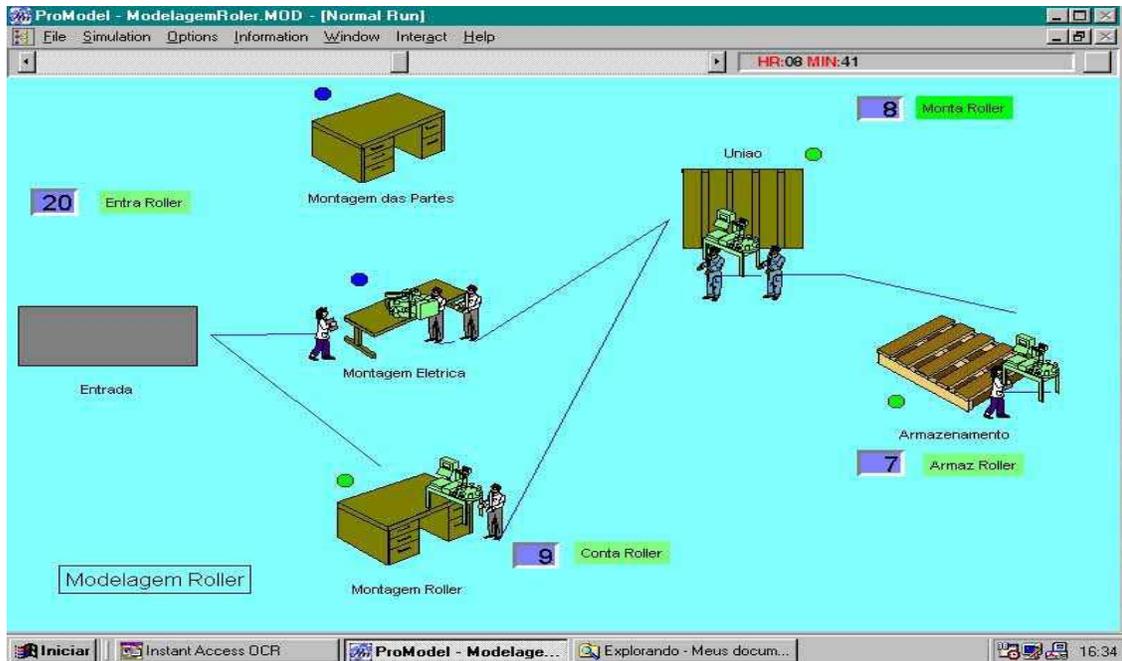


FIGURA 11 – Tela de visualização da modelagem do *Roller*

As Fig. 8, 9 10 e 11 mostram respectivamente as telas de visualização da modelagem da *Paradiso*, *Dr. Lapolli*, *Dorata* e *Roller*.

A etapa seguinte foi a modelagem dos equipamentos por grupos. Ou seja, foi sendo acrescentado ao modelo cada equipamento até completar sua totalidade. A Fig. 12 mostra a tela de visualização da modelagem completa do sistema produtivo original.

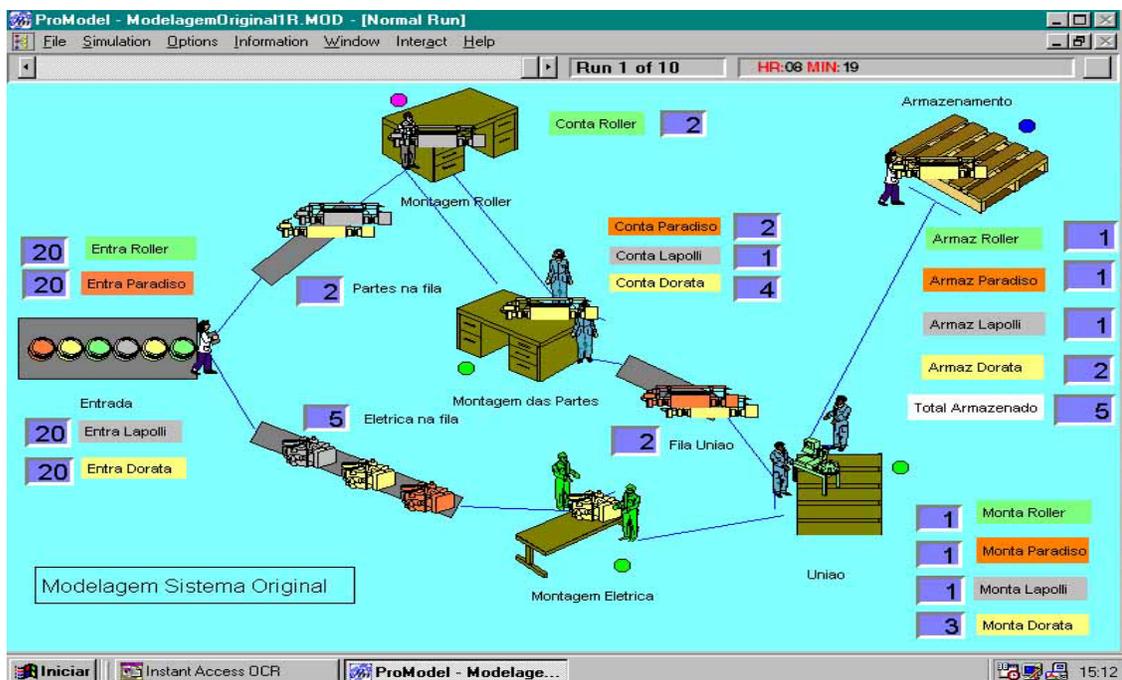


FIGURA 12 – Tela de visualização da modelagem do sistema produtivo original

Durante a construção do modelo, cada parte foi verificada e testada com o objetivo de

evitar possíveis correções do modelo como um todo na etapa posterior, como sugere Law e Kelton (1999).

Também foi executado o modelo e acompanhada a animação gráfica na tentativa de analisar erros de programação, técnica também proposta por Law e Kelton (1999).

Outra técnica mencionada por Law e Kelton (1999), verificação por rastreamento, também foi utilizada. Foi analisada cada atividade em função do tempo de simulação e verificada a real seqüência dos fatos na tentativa de buscar erros e suas causas.

Durante o estudo de caso, a venda dos produtos ocorreu de forma muito inferior a que se esperava. Talvez um efeito de variáveis incontroláveis, tratadas por Semenik & Bamossy (1995), como visto no segundo capítulo. De qualquer forma, esse fato trouxe vários inconvenientes para este estudo.

A validação do modelo ficou, de certa forma, prejudicada. A empresa não possui um histórico para possíveis comparações e com as vendas baixas também não é possível uma comparação direta.

Na tentativa de contornar este problema, foi efetuado o teste de validade visual, conforme considerações feitas por Law e Kelton (1999). Foi observado durante a animação gráfica se o modelo parecia coerente e correto.

O teste de comportamento sintomático busca produzir no modelo comportamentos conhecidos e previsíveis do sistema real. Se as dificuldades encontradas atualmente no sistema são adequadamente reproduzidas no modelo, ou, ainda, se mudanças feitas no passado, das quais já se sabiam os resultados, sendo feitas no modelo, reproduzem o mesmo comportamento observado, no caso real é um forte indício de validade.

Durante a coleta de informações, com os colaboradores mais antigos, foi possível observar que o sistema possuía um gargalo bem-definido na Montagem Elétrica, sendo necessário de horas extra para compensar essa deficiência.

Durante a animação gráfica do modelo, é possível a observação do gargalo na Montagem Elétrica, fato que leva a crer no indício de validade do modelo.

Como dados de entrada, foi considerado o número de equipamentos, por tipo, produzidos no ano anterior ao estudo de caso. Esses dados sofreram um tratamento para ajuste

de distribuição estatística através da ferramenta STAT FIT, que acompanha o programa PROMODEL. Esta facilidade permite comparações de diferentes distribuições de probabilidade e compara a aderência das mesmas aos dados de origem por meio de três critérios diferentes: *Kolgomorov-Smirnov*, *Chi Quadrado* e *Anderson Darling*.

Como exemplo, a Fig. 13 apresenta a tela do *Stat Fit* com as diversas possibilidades de distribuições estatísticas para os dados de entrada do equipamento *Dr. Lapolli*.

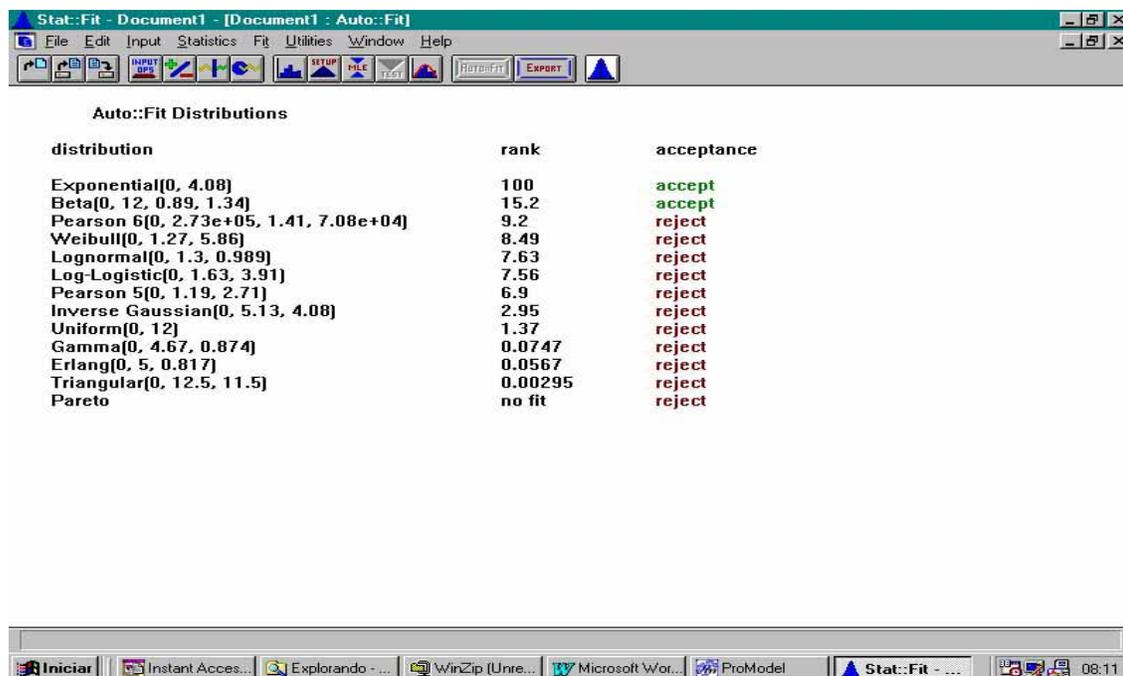


FIGURA 13 – Tela de visualização do uso da ferramenta *Stat Fit*

A modelagem do sistema produtivo, em primeira análise, tem como objetivo verificar a concorrência pelos recursos dos diversos tipos de modelos durante a animação gráfica. Assim sendo, para esta estimativa aproximada de desempenho, é sugerida pela *ProModel Corporation* de três a cinco replicações, como relatado por Barronio (2000).

Nas replicações, foi usada a distribuição estatística obtida com o tratamento dos dados de entrada, conforme mencionado anteriormente. Em todas as replicações, foi observado o gargalo na Montagem Elétrica. Também foi verificada a falta de sincronia entre a Montagem das Partes e a Montagem Elétrica. O confronto desses resultados com as informações obtidas com os operadores mais antigos possibilitou verificar semelhanças entre estas situações.

Na alta temporada, o sistema produtivo apresentava um gargalo na Montagem Elétrica. Ela não acompanhava a Montagem das Partes, ocasionando uma ociosidade nas etapas subsequentes: União/Testes e Embalagens. Essa anomalia era mascarada pelo uso excessivo de

horas extras. Por exemplo, havia trabalho aos sábados, turno não-trabalhado normalmente, apenas para compensar as montagens elétricas, além de horas adicionais durante a semana.

Durante o estudo, este fato não foi comprovado em virtude da queda de vendas registrada. Dessa forma, foram apenas comparadas as informações obtidas com os colaboradores antigos.

## 5.8 PROPOSIÇÃO DE UM NOVO SISTEMA

Durante a documentação do sistema produtivo, foram observadas diversas possibilidades de melhorias. Essas possibilidades foram visualizadas em todas as áreas de montagem.

O passo seguinte foi formar equipes multidisciplinares para desenvolverem e implementarem as melhorias. Foi dada prioridade à estação de Montagem Elétrica, gargalo verificado durante as animações da simulação do sistema produtivo.

Dentro das áreas de montagem, o enfoque era para as tarefas que consumiam maior tempo e, na seqüência, as que ofereciam alguma oportunidade de melhoria.

O processo produtivo foi revisto e várias melhorias foram implementadas em todas as áreas. Os ganhos, em geral, foram de qualidade e produtividade. O quadro 4 apresenta, de forma resumida, a relação entre as melhorias e suas aplicações.

QUADRO 4 – Relação das melhorias e suas aplicações

<i>MELHORIAS</i>	<i>MODELOS</i>			
	<i>PARADISO</i>	<i>DR. LAPOLLI</i>	<i>DORATA</i>	<i>ROLLER</i>
Fornecimento de chapas de reatores e potência furadas.	x	x	x	
Substituição da chapa (de potência) de madeira por chapa de metal.	x	x	x	
Padronizar fiação.	x	x	x	x
Pré-montagem de chicotes.	x	x	x	x
Pré-montagem do cabo de força	x	x	x	x
Fixação de ventiladores, trocado parafusos por rebites.	x	x	x	

<b>MELHORIAS</b>	<b>MODELOS</b>			
	<b>PARADISO</b>	<b>DR. LAPOLLI</b>	<b>DORATA</b>	<b>ROLLER</b>
Troca de posição dos ignitores e fixação por rebites.	X			
Colocação de grades de proteção em baixo da máquina.	X	X	X	
Substituído espuma por espuma não-inflamável.	X	X		
Substituída embalagem por outra mais resistente e de menor custo.	X	X	X	X
Substituído plástico-bolha usado na embalagem por saco plástico.	X	X	X	X
Otimizado sistema de embalagem.	X	X	X	X
Criada mesa de apoio para montagem do eixo.				X
Criado dispositivo para colocação rápida e padronizada dos rolamentos.				X
Criado dispositivo para colocação padronizada de pinos nos roletes.				X
Desenvolvidos pinos-guias para colocação rápida dos roletes na polia.				X
Desenvolvimento de ferramenta adequada para fixação rápida das polias.				X

As mudanças foram registradas e os operadores foram treinados com os novos procedimentos. Com a nova documentação do processo, obtemos uma padronização. Essa seqüência de ações é um dos itens indicados por Falconi (1992), na busca da excelência no gerenciamento.

As Fig. 14, 15, 16 e 17 demonstram o fluxo de produção dos modelos *Roller Redutore*, *Dorata*, *Dr. Lapolli* e *Paradiso*, respectivamente, contemplando as melhorias e os novos tempos médios de cada operação. Esses fluxos mostram cada tarefa do processo de montagem associada ao seu tempo médio de execução e a quantidade necessária de operadores para a execução de tais operações.

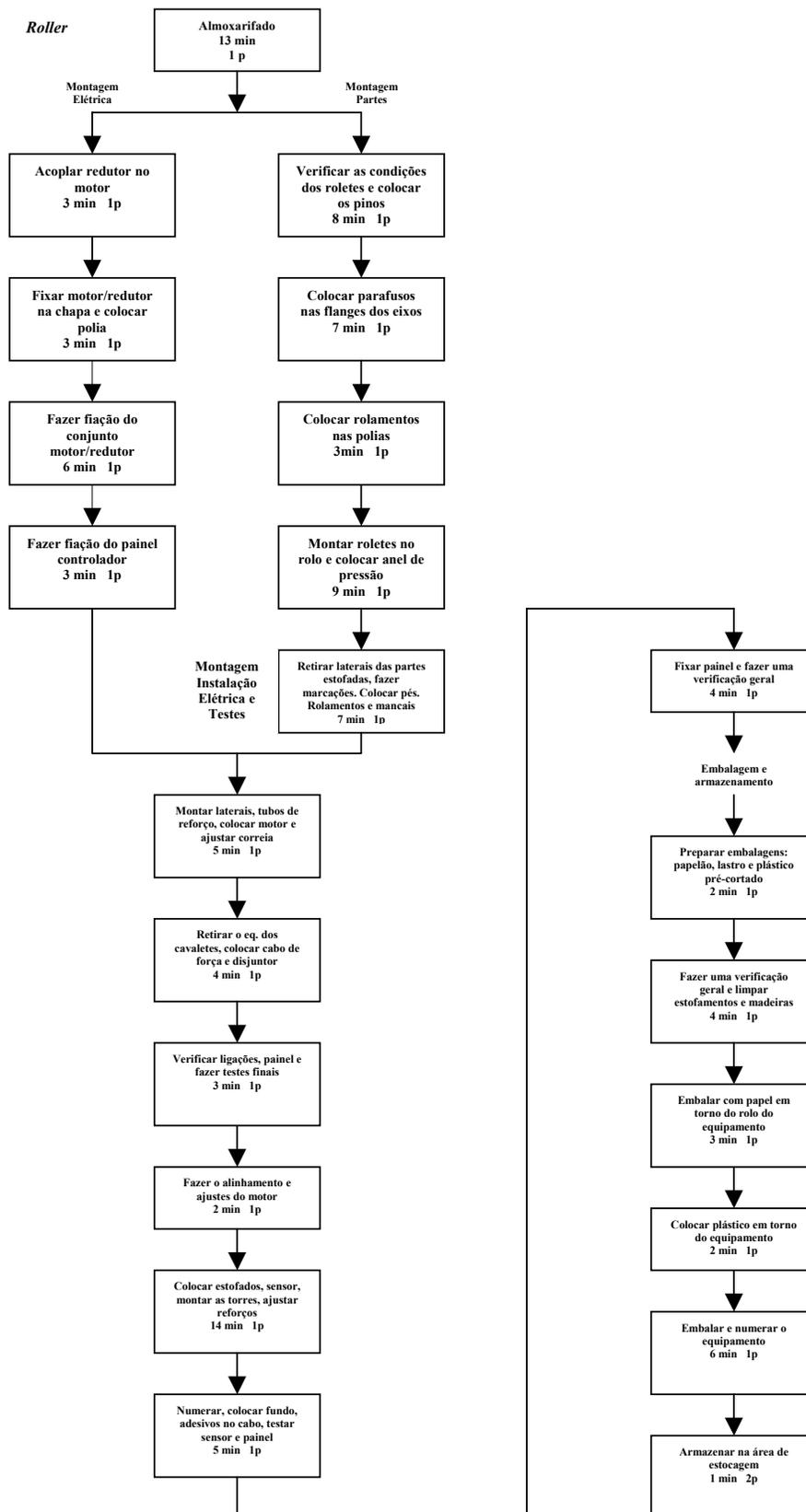


FIGURA 14 – Fluxo de produção do modelo *Roller* com novos tempos

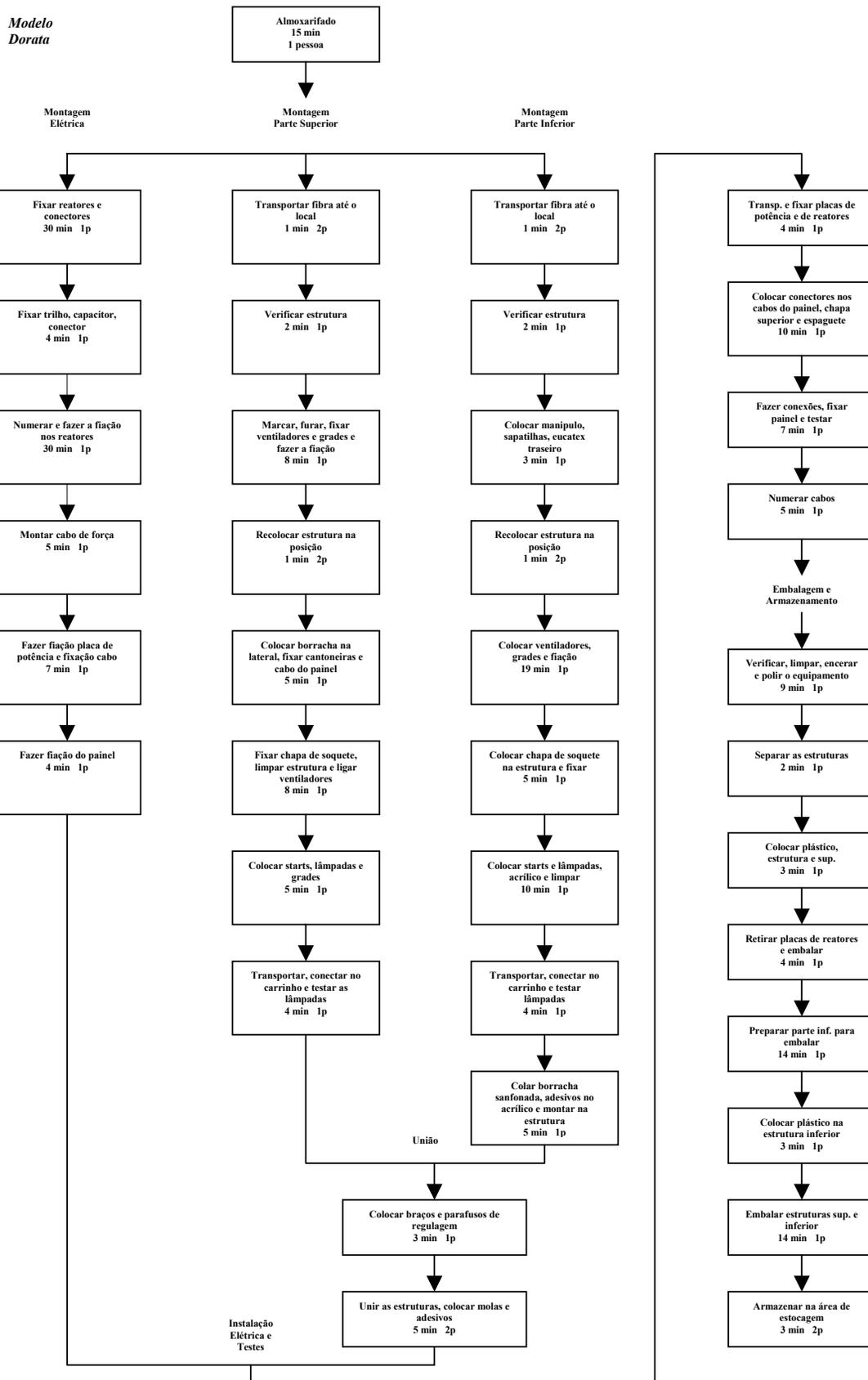


FIGURA 15 – Fluxo de produção do modelo *Dorata* com novos tempos

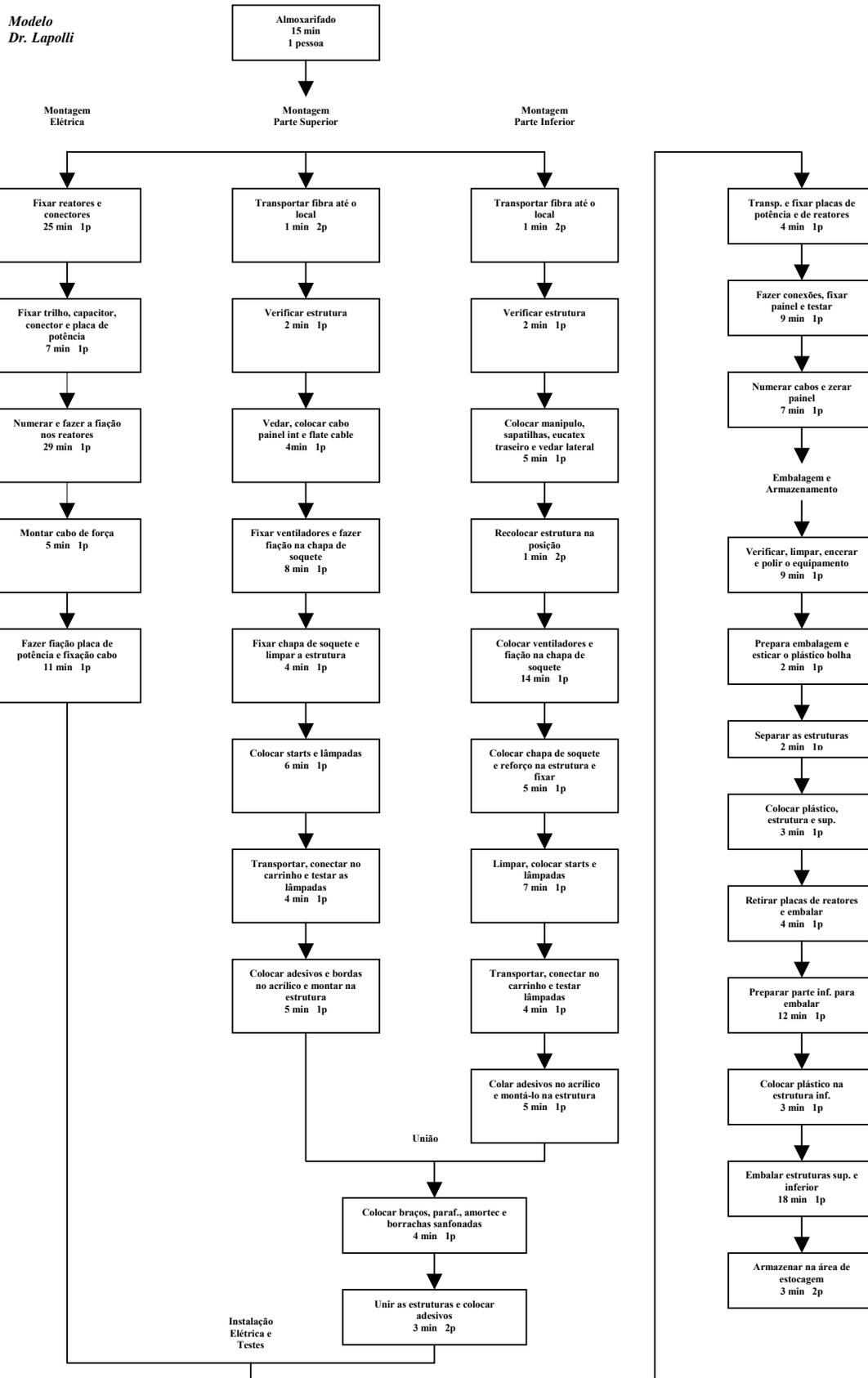


FIGURA 16 – Fluxo de produção do modelo *Dr. Lapolli* com novos tempos



FIGURA 17 – Fluxo de produção do modelo *Paradiso* com novos tempos

A partir desses novos fluxos de montagem apresentados, foi desenvolvido o Quadro 5, que compila os tempos de montagem relacionando os operadores com os locais e os modelos de equipamentos produzidos.

QUADRO 5 – Compilação dos tempos (minutos) dos fluxos de montagem do sistema produtivo proposto

R – <i>Roller</i> P – <i>Paradiso</i> L – <i>Lapolli</i> D – <i>Dorata</i>		ENTRADA				MONTAGEM ELÉTRICA				MONTAGEM				EMBALAGEM/ARMAZENAMENTO			
		R	P	L	D	R	P	L	D	R	P	L	D	R	P	L	D
Almoxarifado		13	15	15	15												
Montador E						15	107	77	80								
Montador	Tempo Montagem									34	109	81	88				
	Tempo União									37	31	30	39				
	Tempo Total									71	140	111	127				
Montador A														19	55	59	59

Este quadro apresenta os tempos gastos na montagem, por operador, nos devidos locais, considerando os diversos tipos de modelos dos equipamentos fabricados, o que facilita a visualização e também a programação da modelagem proposta.

A observação do tempo gasto para a montagem por tipo de equipamento, antes e depois das melhorias, mostrou um ganho considerável, cujos resultados são apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 – Tempo gasto para a montagem do equipamento, antes e depois das melhorias

Equipamento	Tempo gasto para a montagem		% Ganho
	Antes das melhorias	Depois das melhorias	
<i>Paradiso</i>	466	321	31,11
<i>Dr. Lapolli</i>	416	262	37,01
<i>Dorata</i>	381	277	27,29
<i>Roller</i>	177	118	33,33

Os novos tempos obtidos foram documentados para ser usados na modelagem proposta.

Para a proposição do novo sistema, foi considerado o processo de modelagem bem como a seqüência de tarefas por estação (área de montagem). Dessa forma, sua visualização é

vista de forma simples, mantendo a possibilidade de verificar a concorrência pelos recursos dos quatro modelos de produtos ao longo do processo.

Na nova situação, foi considerada a área de montagem englobando outras áreas do sistema original. Assim, o novo sistema terá as áreas de entrada (almoxarifado), Montagem Elétrica, Montagem e Embalagem, como pode ser observado na Fig. 18.

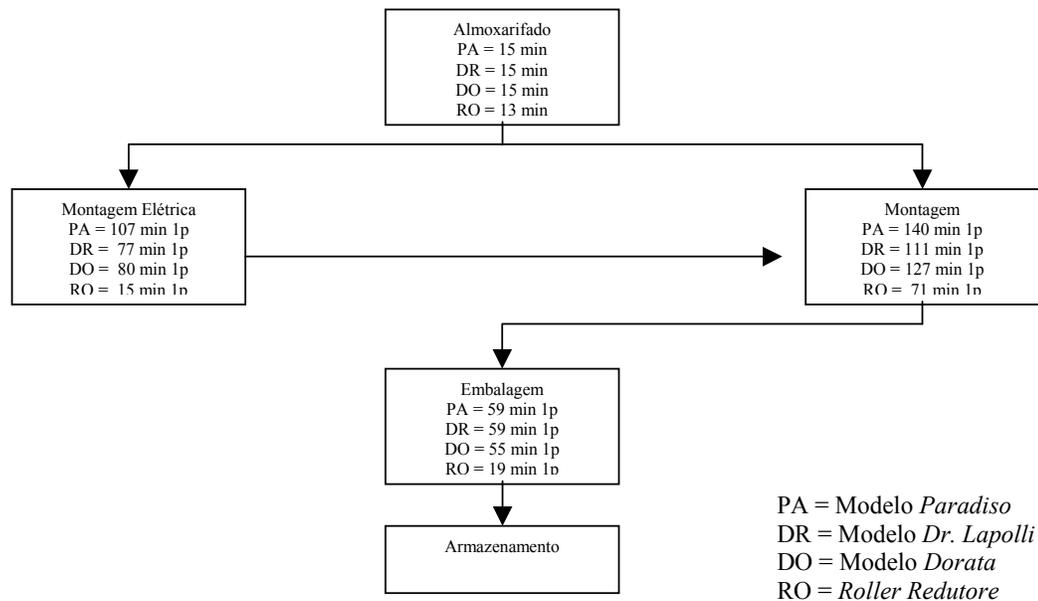


FIGURA 18 – Fluxo do sistema produtivo proposto

No fluxo do sistema produtivo proposto, apresentado na Fig. 18, foi considerado o *layout* de forma simplificada para a nova modelagem.

Algumas entidades foram mantidas: *Paradiso*, *Dr. Lapolli*, *Dorata* e *Roller*.

As melhorias e padronizações obtidas no processo possibilitaram, no período de baixa nas vendas, a antecipação nas montagens elétricas. Este fato contribuiu para a área de Montagem Elétrica atender plenamente o sistema.

Os locais, consideradas as áreas (estações) de trabalho, na nova modelagem, foram definidos como: Entrada, Montagem Elétrica, Montagem e Embalagem/Armazenamento.

O almoarifado continua sendo considerado o local de entrada de parte das entidades. Nele entram as estruturas, partes mecânicas e material elétrico.

A montagem engloba as estruturas e demais peças das camas de bronzeamento, a montagem da estrutura do *Roller*, a montagem final dos equipamentos e testes.

As embalagens dos diversos tipos de equipamentos continuam sendo feitas no mesmo local.

Em face à redução das vendas, nessa proposição foi considerado o número mínimo de um operador por local. Portanto, este novo modelo prevê somente três montadores no sistema produtivo.

A redução do número de montadores foi considerada na tomada dos tempos. Desse modo, ao totalizar os tempos por estação de montagem, foi observada essa nova situação, representada no modelo pelo tempo que o equipamento aguarda na área para a montagem.

Com base na modelagem do sistema produtivo original, foi modelado o sistema proposto. A Fig. 19 apresenta a tela de visualização da modelagem do sistema proposto.

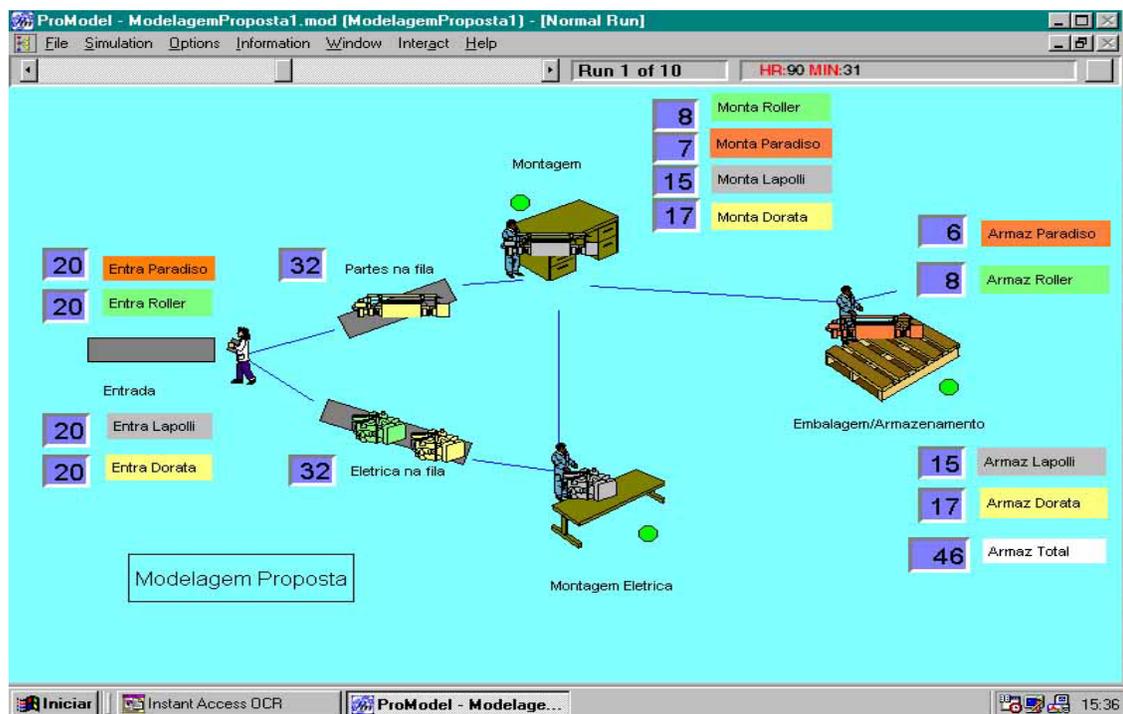


FIGURA 19 – Tela de visualização da modelagem do sistema produtivo proposto

Novamente, durante a construção do modelo do sistema proposto, cada parte foi verificada e testada com o objetivo de evitar possíveis correções do modelo como um todo na etapa posterior, como sugerem Law e Kelton (1999).

Da mesma forma, foi executado o modelo e acompanhada a animação gráfica na tentativa de analisar erros de programação, técnica também proposta por Law e Kelton (1999).

Também foi analisada cada atividade em função do tempo de simulação e verificada a real seqüência dos fatos na tentativa de buscar erros e suas causas. Técnica de verificação por rastreamento, mencionada por Law e Kelton (1999).

Com as vendas abaixo da expectativa, como mencionado anteriormente, não foi possível fazer a validação da modelagem do sistema proposto no período de estudo do caso.

## 5.9 ANÁLISE DA MODELAGEM ORIGINAL

A modelagem do sistema produtivo original tem como objetivo verificar a utilização dos recursos nos diversos tipos de modelos durante a animação gráfica.

Conforme Barronio (2000), a *ProModel Corporation* sugere de três a cinco replicações para uma estimativa aproximada de desempenho. Neste estudo, foram utilizadas dez replicações, conforme recomendações de Pegden *et al.* (1990), de que é sempre melhor superestimar o número de replicações. Para cada replicação, foi utilizada a quantidade de 100 horas de execução do programa.

Através do Programa *ProModel*, foram obtidos os seguintes gráficos das replicações: Estado dos Locais (*Single Capacity Location States*), Estado das Entidades (*Entity States*), Utilização dos Locais (*Location Utilizations*) e Utilização dos Recursos (*Resource Utilization*).

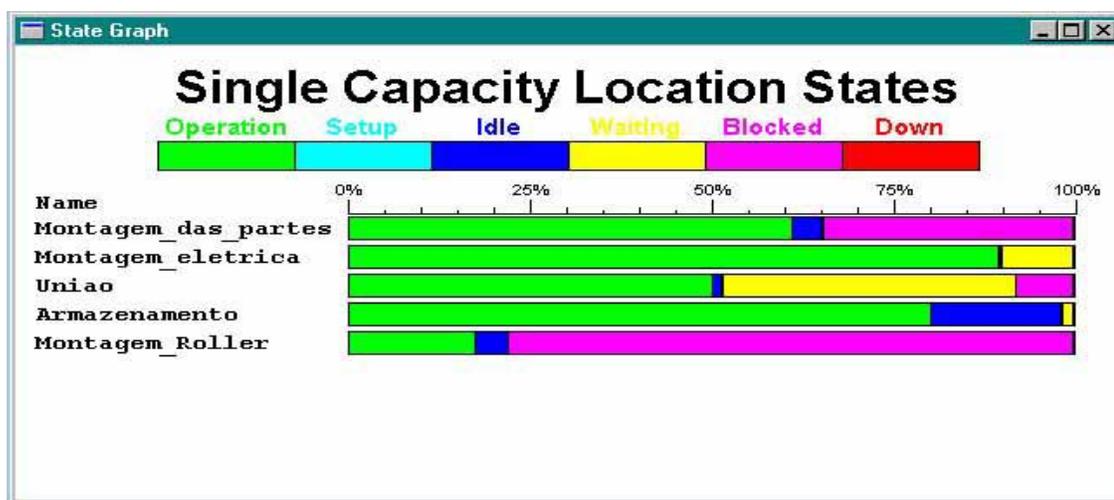


FIGURA 20 – Tela de visualização do gráfico Estado dos Locais (*Single Capacity Location States*, Sistema Original)

Com a Fig. 20, é possível observar o percentual das situações em cada local durante as replicações.

A Fig. 21 apresenta o percentual em que cada local ficou operando.

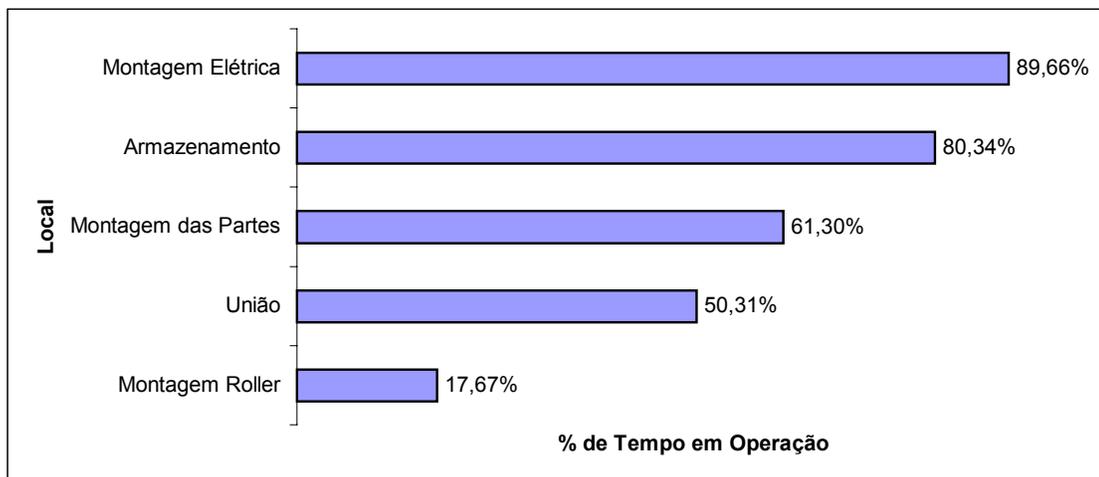


FIGURA 21 – Percentual de tempo em operação dos locais (Sistema Original)

Na análise desses locais, verifica-se que o maior percentual em que cada local ficou operando foi na Montagem Elétrica com 89,66%. Isso está relacionado com o fato de que todas as Montagens Elétricas são feitas nessa estação de trabalho. O Armazenamento ficou com 80,34%, a Montagem das Partes com 61,30%, a União com 50,31% e a Montagem *Roller* com 17,67%.

A Fig. 22 mostra o percentual de tempo ocioso registrado em cada local.

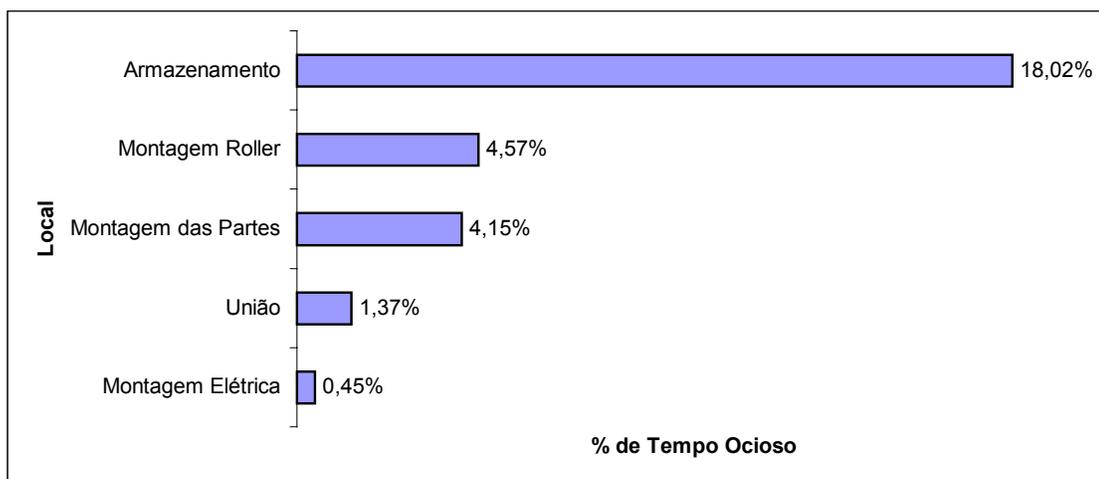


FIGURA 22 – Percentual de tempo ocioso dos locais (Sistema Original)

O maior percentual de tempo ocioso foi registrado no Armazenamento, 18,02%. A Montagem do *Roller* com 4,57%, a Montagem das Partes com 4,15%, a União com 1,37% e a Montagem Elétrica com 0,45%.

A Fig. 23 apresenta o percentual de tempo na condição de bloqueado registrado em

cada local. Um local é bloqueado quando está impossibilitado de operar porque a entidade ou o operador não pode mover-se para o próximo local ao longo de sua rota por estar ocupado.

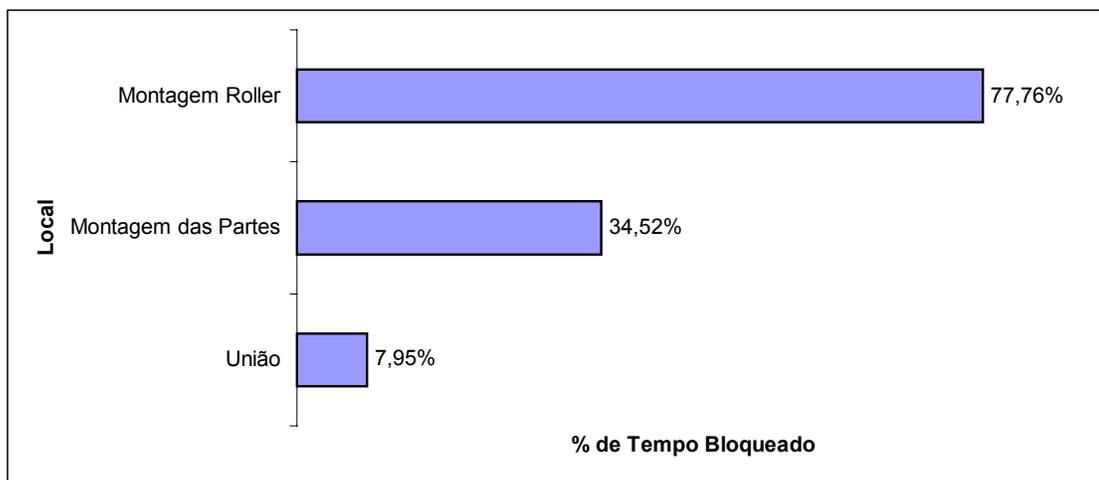


FIGURA 23 – Percentual de tempo bloqueado dos locais (Sistema Original)

Na condição de bloqueado, o maior percentual ocorreu na Montagem do *Roller*, 77,76%. A Montagem das Partes ficou com 34,52% e a União com 7,95%.

A Fig. 24 mostra o percentual de tempo que cada local no sistema registrou a condição de espera por chegadas.

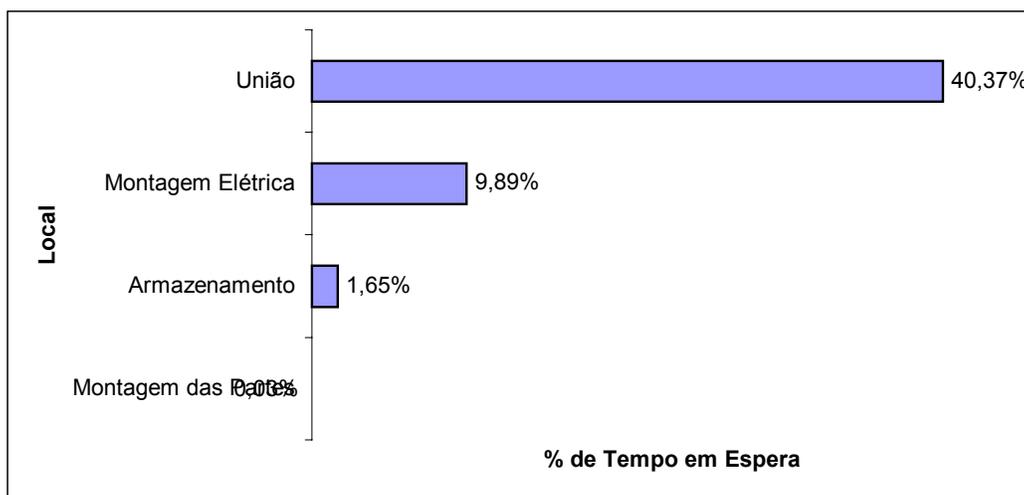


FIGURA 24 – Percentual de tempo em espera dos locais (Sistema Original)

O local União obteve o maior percentual, 40,37%, na situação de espera, acontecimento relacionado ao fato de o local Montagem Elétrica não abastecer plenamente a União. A Montagem Elétrica ficou com 9,89%, o Armazenamento com 1,65% e a Montagem das Partes com 0,03%.

A Fig. 25 mostra a tela de visualização do gráfico do Estado das Entidades. Este gráfico mostra o percentual das situações de cada entidade durante as replicações.

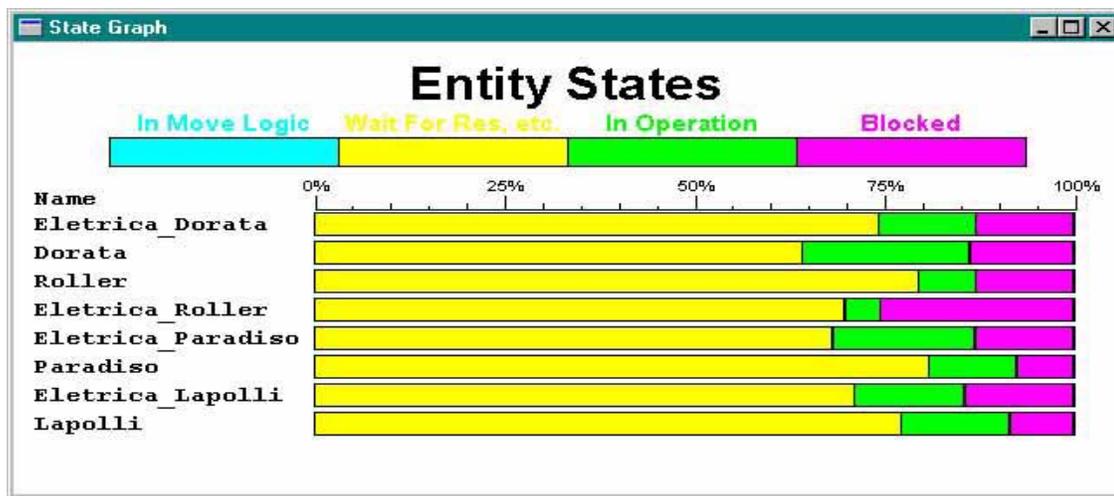


FIGURA 25 - Tela de visualização do gráfico Estado das Entidades (*Entity States*, Sistema Original)

A Fig. 26 apresenta o percentual de tempo que cada entidade gastou processando em um local ou viajando em um transportador.

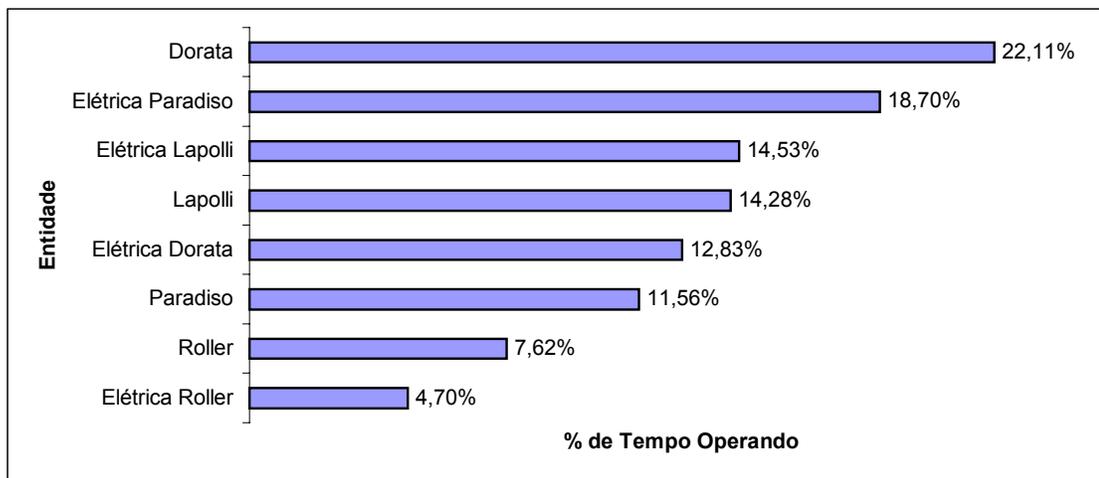


FIGURA 26 – Percentual de tempo operando das entidades (Sistema Original)

A entidade *Dorata* obteve o maior percentual com 22,11%, na situação de operando. A *Elétrica Paradiso* ficou com 18,70%, a *Elétrica Lapolli* com 14,53%, a *Lapolli* com 14,28%, a *Elétrica Dorata* com 12,83%, a *Paradiso* com 11,56%, o *Roller* com 7,62% e a *Elétrica Roller* com 4,70%.

A Fig. 27 mostra o percentual de tempo que a entidade gastou esperando por um destino desocupado, ou seja, na condição de bloqueado.

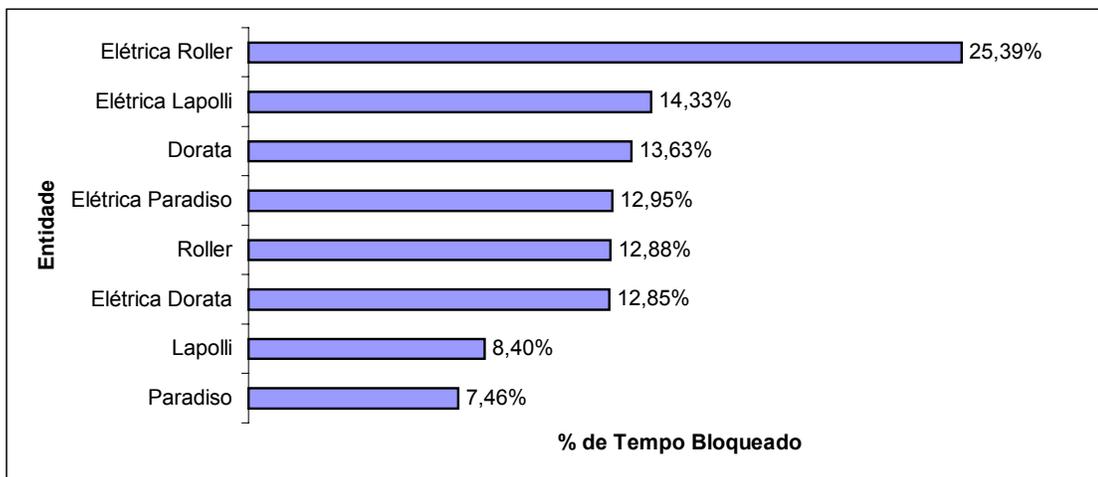


FIGURA 27 – Percentual de tempo bloqueado das entidades (Sistema Original)

Na situação de bloqueado, o maior percentual ficou com a Elétrica *Roller*, 25,39%. A Elétrica *Lapolli* ficou com 14,33%, a *Dorata* 13,63%, a Elétrica *Paradiso* 12,95%, o *Roller* 12,88%, a Elétrica *Dorata* 12,85%, a *Lapolli* 8,40% e a *Paradiso* ficou com 7,46%.

A Fig. 28 apresenta o percentual de tempo que cada entidade gastou esperando por um recurso ou outra entidade para unir, combinar.



FIGURA 28 – Percentual de tempo em espera das entidades (Sistema Original)

Na condição de espera, o maior percentual é verificado na *Paradiso* com 80,96%. O *Roller* apresenta o percentual de 79,47%, a *Lapolli* 77,29%, a Elétrica *Dorata* 74,23%, a Elétrica *Lapolli* 71,05%, a Elétrica *Roller* 69,80%, a Elétrica *Paradiso* 68,26% e a *Dorata* 64,22%.

Na Fig. 29 é apresentada a tela de visualização do gráfico de Utilização dos Locais. A observação deste gráfico mostra o percentual de utilização dos locais durante as replicações.

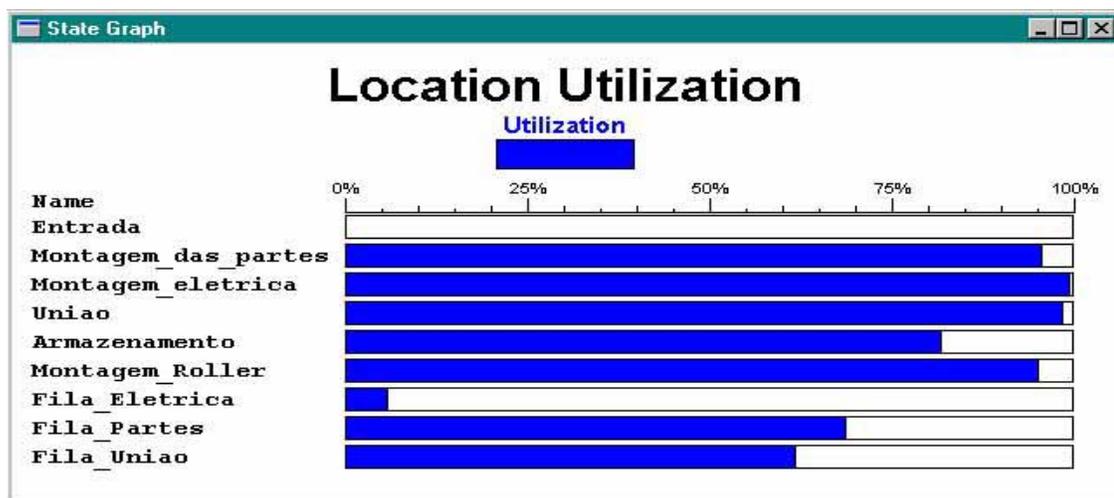


FIGURA 29 - Tela de visualização do gráfico Utilização dos Locais (*Location Utilization*, Sistema Original)

O maior percentual é verificado na Montagem Elétrica, 99,55%, fato que deve-se à obrigatoriedade de todas as partes elétricas passarem nesse local, tornando-o concorrido e também o gargalo do processo. O local União apresenta um percentual de 98,63%, a Montagem das Partes ficou com 95,85%, a Montagem do *Roller* com 95,43% e o Armazenamento com 81,98%.

A Fig. 30 mostra a tela de visualização do gráfico de Utilização dos Recursos. Com a observação deste gráfico, é possível verificar o percentual das situações em cada recurso durante as replicações.

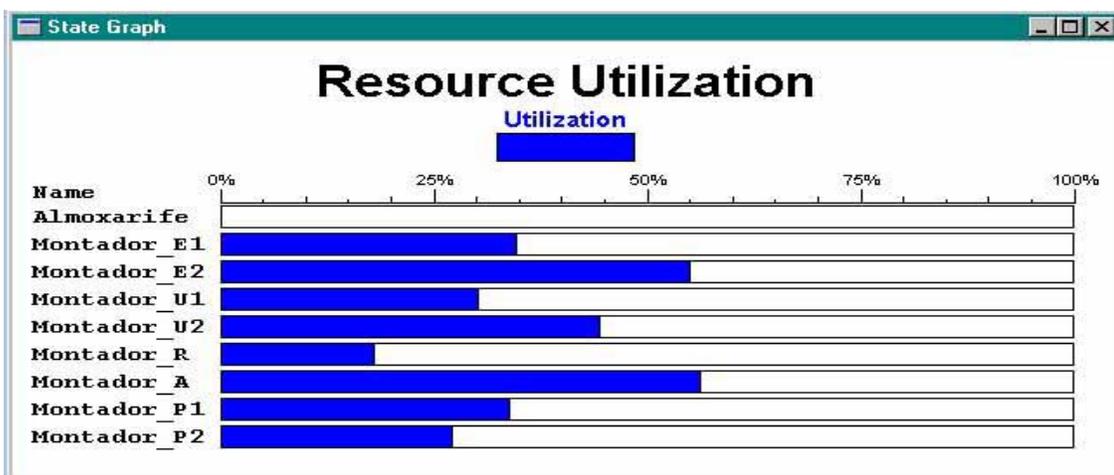


FIGURA 30 - Tela de visualização do gráfico Utilização dos Recursos (*Resource Utilization*, Sistema Original)

O maior percentual de utilização verifica-se no recurso Montador A (local Armazenamento), com 56,43%, fato relacionado com a obrigatoriedade de todos os equipamentos passarem por esse local e nele há somente um recurso. O recurso Montador E2 (local Montagem Elétrica) ficou com 55,24%, fato esperado, uma vez que o local Montagem Elétrica apresentou o maior percentual de utilização, conforme já citado.

O recurso Montador U2 (União) ficou com 44,58%, o recurso Montador E1 (local Montagem Elétrica) com 34,79%, o recurso Montador P1 (local Montagem das Partes) com 34,11%, o Montador U1 (local União) com 30,34%, o recurso Montador P2 (Local Montagem das Partes) com 27,38% e, finalmente, o recurso Montador R (Local Montagem *Roller*) com 18,11%. Um valor médio destes recursos em operação seria 37,62%.

## 5.10 ANÁLISE DA PROPOSTA

O objetivo da modelagem do sistema produtivo proposto foi verificar a concorrência, pelos recursos dos diversos tipos de modelos durante a animação gráfica. Para este estudo, foram utilizadas dez replicações, conforme recomendações de Pegden *et al.* (1990), de que é sempre melhor superestimar o número de replicações. Os dados de entrada foram os mesmos utilizados para a modelagem do sistema produtivo original. Também foi usada a mesma distribuição estatística.

Para cada replicação foi utilizada a quantidade de 100 horas de execução do programa. Através do Programa *ProModel*, foram obtidos os seguintes gráficos das replicações: Estado dos Locais (*Single Capacity Location States*), Estado das Entidades (*Entity States*), Utilização dos Locais (*Location Utilization*) e Utilização dos Recursos (*Resource Utilization*). A Fig. 31 apresenta a tela de visualização do gráfico do Estado dos Locais.

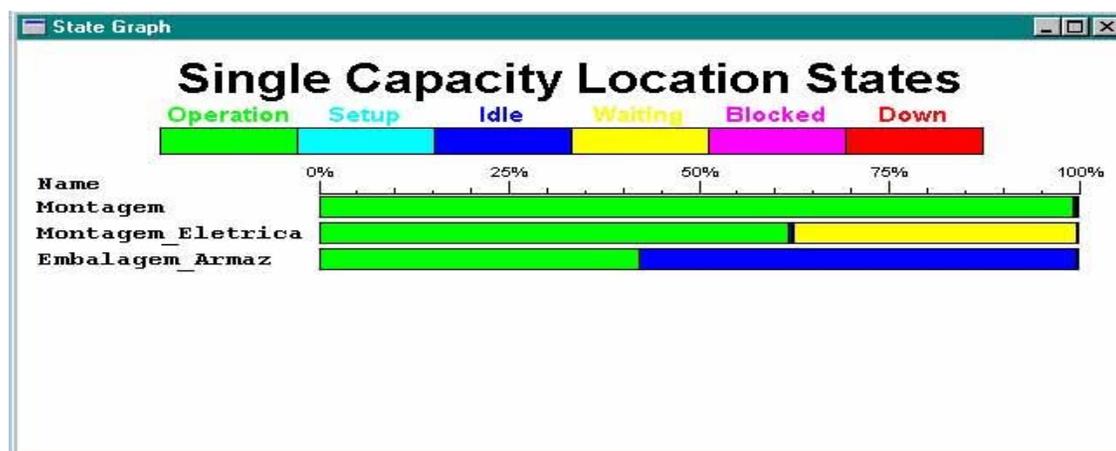


FIGURA 31 – Tela de visualização do gráfico Estado dos Locais (*Single Capacity Location States*, Sistema Proposto)

A Fig. 31 apresenta a tela de visualização do gráfico Estado dos Locais, onde pode ser observado o percentual das situações de cada local durante as replicações.

A Fig. 32 mostra o percentual em que cada local ficou operando.

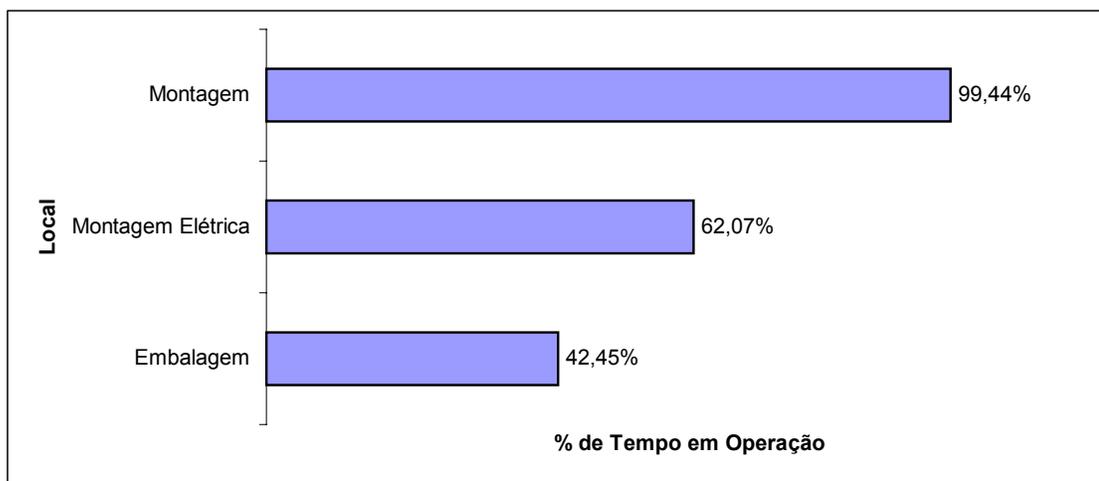


FIGURA 32 – Percentual de tempo em operação dos locais (Sistema Proposto)

Ao analisar o percentual em que cada local ficou operando, verifica-se que o maior percentual foi na Montagem, com 99,44 %. A Montagem Elétrica ficou com 62,07 % e a Embalagem com 42,45%.

A Fig. 33 apresenta o percentual de tempo ocioso registrado em cada local.

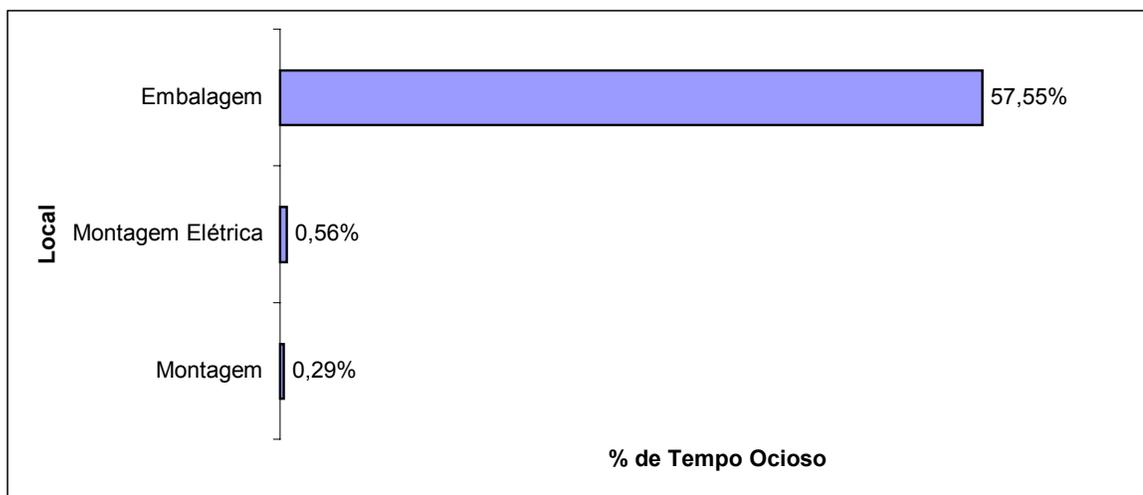


FIGURA 33 – Percentual de tempo ocioso dos locais (Sistema Proposto)

O maior percentual de tempo ocioso foi registrado na Embalagem, com 57,55 %. A Montagem Elétrica ficou com 0,56 % e a Montagem com 0,29 %.

A Fig. 34 mostra o percentual de tempo registrado pelos locais na condição de espera por chegadas.

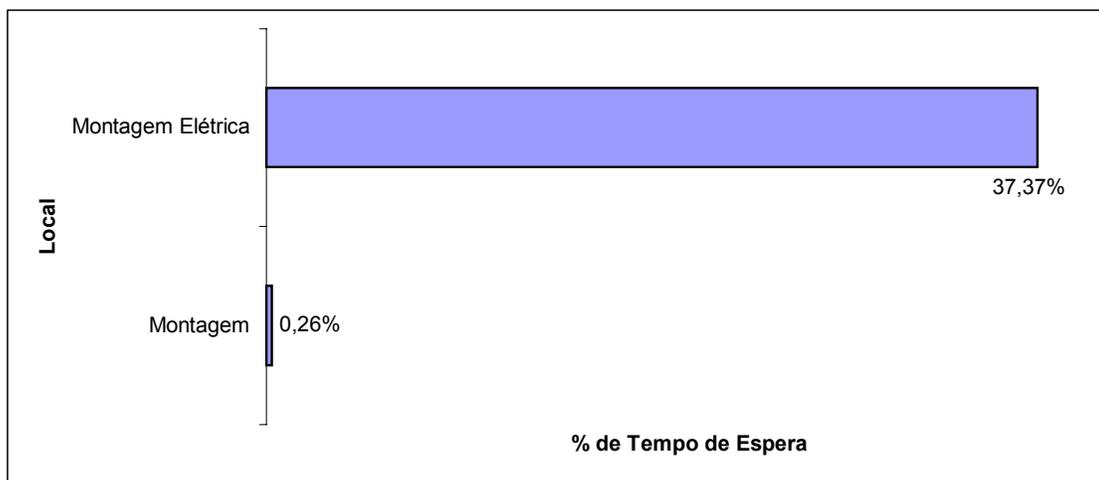


FIGURA 34 – Percentual de tempo em espera dos locais (Sistema Proposto)

A Montagem Elétrica ficou com o maior percentual no estado de espera, 37,37 %. Isso é explicado pelo efeito das melhorias, vistas no item 5.8, que reduziu o tempo das Montagens Elétricas. A Montagem apresentou o percentual de 0,26%.

A Fig. 35 mostra a tela de visualização do gráfico Estado das Entidades, a qual apresenta a situação das entidades por percentual durante as replicações.

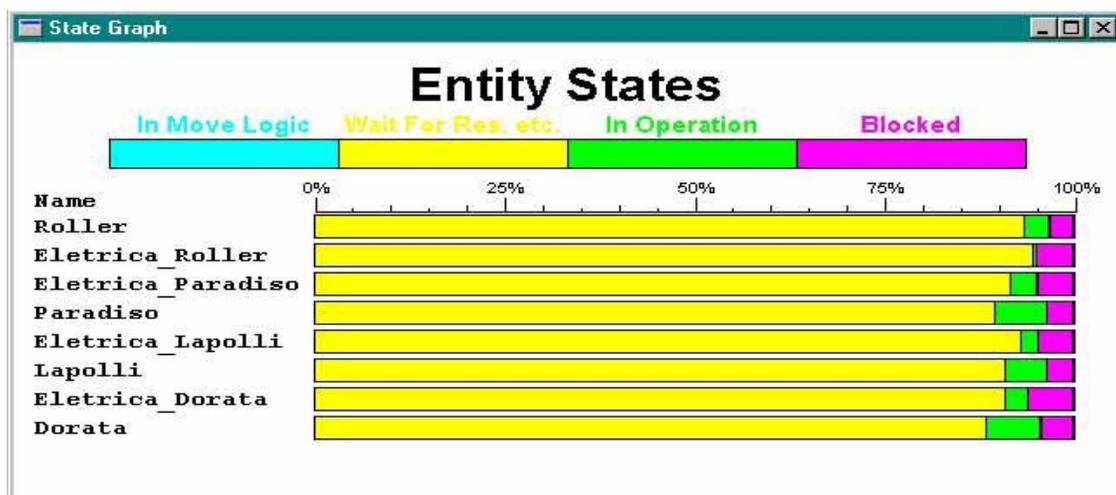


FIGURA 35 – Tela de visualização do gráfico Estado das Entidades (*Entity States*, Sistema Proposto)

A Fig. 36 apresenta o percentual de tempo que a entidade gastou processando em um local ou viajando em um transportador.

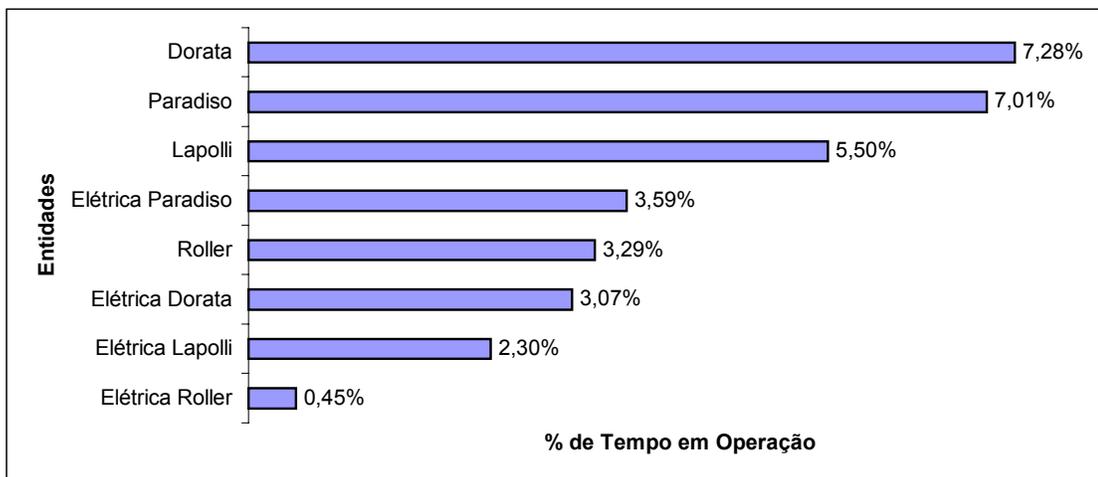


FIGURA 36 – Percentual de tempo em operação das entidades (Sistema Proposto)

A entidade *Dorata* obteve o maior percentual em operação, 7,28%. A *Paradiso* obteve 7,01 %, a *Lapoli* 5,50 %, a *Elétrica Paradiso* 3,59%, o *Roller* 3,29%, a *Elétrica Dorata* 3,07%, a *Elétrica Lapoli* 2,30%, a *Elétrica Roller* 0,45%.

A Fig. 37 mostra o percentual de tempo que as entidades registraram na condição de bloqueada, ou seja, o tempo que uma entidade gastou esperando por um destino desocupado.

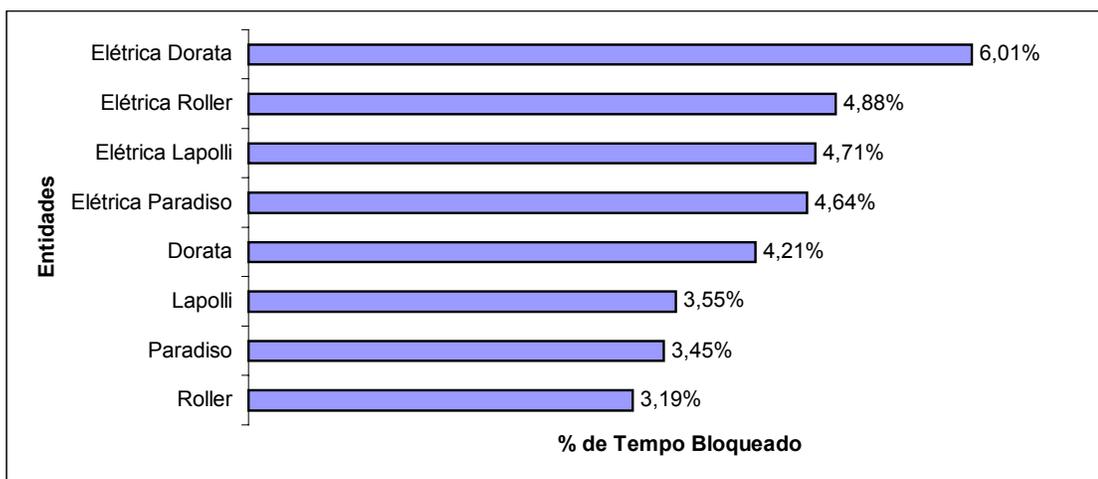


FIGURA 37 – Percentual de tempo bloqueado das entidades (Sistema Proposto)

Na condição de bloqueado, o maior percentual ficou com a entidade *Elétrica Dorata*, 6,01%. A entidade *Elétrica Roller* ficou com 4,88%, a *Elétrica Lapoli* 4,71%, a *Elétrica Paradiso* 4,64%, a *Dorata* 4,21%, a *Lapoli* 3,55%, a *Paradiso* 3,45% e o *Roller* 3,19%.

Observa-se o fato de as entidades elétricas ficarem com um percentual maior na condição de bloqueio do que as demais. Isso está associado às melhorias obtidas no processo das Montagens Elétricas.

A Fig. 38 apresenta o percentual de tempo gasto pelas entidades na condição de esperando por um recurso ou outra entidade para unir, combinar.

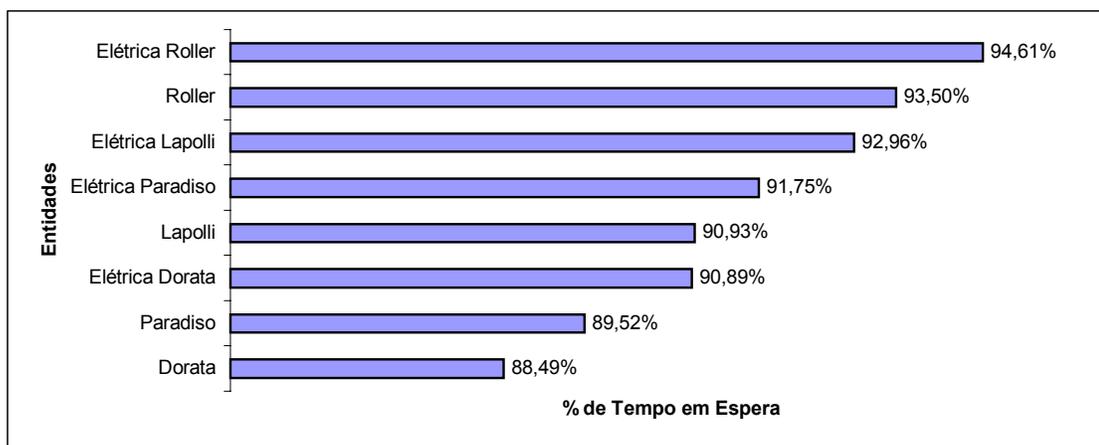


FIGURA 38 – Percentual de tempo em espera das entidades (Sistema Proposto)

Na situação de espera, o maior percentual verifica-se na entidade *Elétrica Roller*, 94,61%. A entidade *Roller* ficou com 93,50%, a *Elétrica Lapolli* 92,96%, a *Elétrica Paradiso* 91,75%, a *Lapolli* 90,93%, a *Elétrica Dorata* 90,89%, a *Paradiso* 89,52% e a entidade *Dorata* 88,49%.

A Fig. 39 apresenta a tela de visualização do gráfico de Utilização dos Locais. Este gráfico apresenta o percentual de utilização de cada local ao longo das replicações.

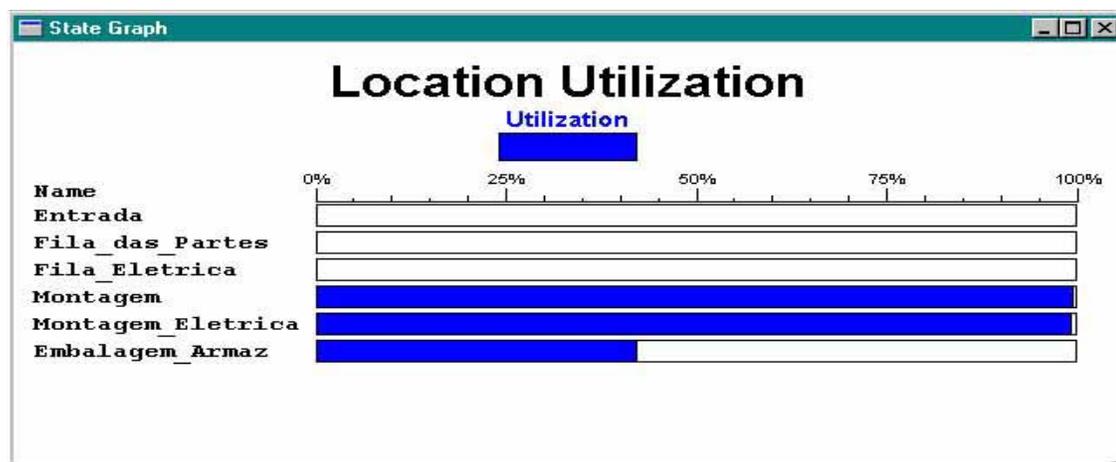


FIGURA 39 – Tela de visualização do gráfico Utilização dos Locais (*Location Utilization*, Sistema Proposto)

A Montagem obteve o índice de 99,71 % de utilização. A Montagem Elétrica 99,44 % e a Embalagem 42,45%.

A Fig. 40 mostra a tela de visualização do gráfico de Utilização de Recursos e a observação deste mostra o percentual das situações em cada recurso durante as replicações.

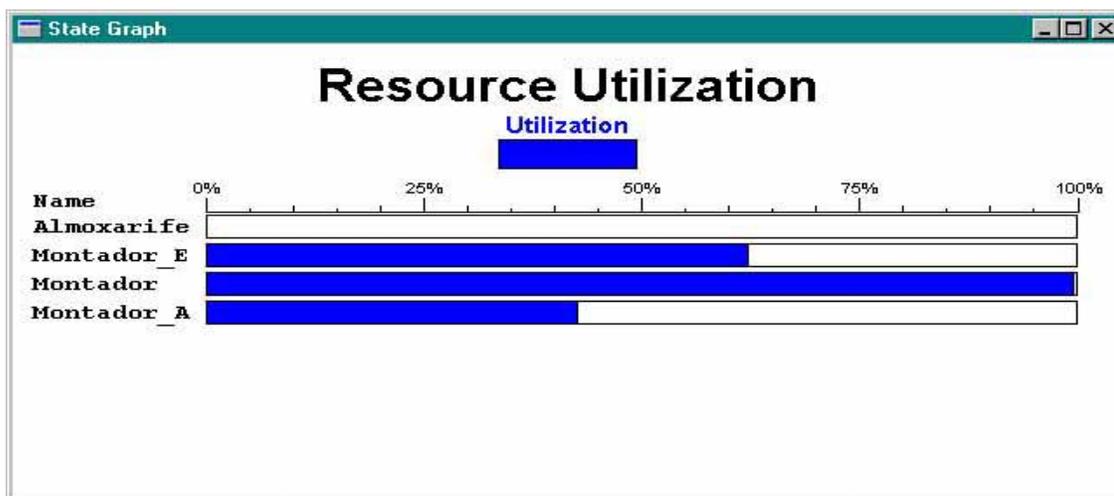


FIGURA 40 - Tela de visualização do gráfico de Utilização de Recursos (*Resource Utilization*, Sistema Proposto)

O maior percentual de utilização verifica-se no recurso Montador (local Montagem), com 99,59% em uso. O recurso Montador E (local Montagem Elétrica) ficou com 62,24% e o recursos Montador A (local Embalagem/ Armazenamento) ficou com 42,60%. Um valor médio destes recursos em operação seria de 68,14%.

#### 5.11 COMPARAÇÃO ENTRE AS MODELAGENS ORIGINAL E PROPOSTA

A modelagem do sistema produtivo original apresenta seis estações de trabalho, com nove operadores. Na modelagem proposta, observa-se três estações de trabalho e apenas três operadores, o que dificulta uma comparação direta entre os resultados do modelo original e proposto.

Esse fato levou à criação de um indicador de desempenho, que foi definido como sendo o total de equipamentos armazenado ao longo de um período pelo número de operadores multiplicado pelo número de horas trabalhadas nesse período.

Logo, temos o indicador de desempenho (ID), que tem como objetivo mostrar o número de equipamentos produzidos ao longo de um período por operador, assim representado:

$$ID = \frac{\text{Total Equipamentos Armazenados}}{\text{Número de Operadores x Total Horas Trabalhadas}}$$

Este indicador possibilita o tratamento matemático dos resultados e viabiliza a tentativa da comparação entre as modelagens original e proposta. Para as replicações, foram considerados os mesmos dados de entrada, as mesmas distribuições e as mesmas entidades, tanto na modelagem original como na proposta.

Dessa maneira, os resultados das replicações são amostras que apresentam relação entre si. Estas amostras dependentes são chamadas emparelhadas ou amostras ligadas porque são obtidos dois tipos de valores para cada indivíduo, ou um valor de cada um de dois indivíduos que apresentam a mesma característica, e, de acordo com Triolia (1999), os dados do tipo “antes/depois” são, em geral, emparelhados e dependentes.

Assim, conforme Moore (2000, p.296), “para comparar as respostas, ou reações, a dois tratamentos em um planejamento de pares emparelhados, aplicamos os processos de uma amostra as diferenças observadas”.

Desse modo, com o uso do índice de desempenho, são feitas as suposições para os testes de hipóteses com amostras dependentes, baseando os cálculos nas diferenças entre os pares de dados. Para isso, foi desenvolvido o Quadro 7, que apresenta a relação entre o total de equipamentos armazenados e o indicador de desempenho de acordo com as replicações.

QUADRO 7 – Relação entre total armazenado e indicador de desempenho

Replicações	Total Armazenado		Indicador de Desempenho	
	Original	Proposto	Original	Proposto
1	77	52	0,09625	0,17333
2	77	52	0,09625	0,17333
3	77	54	0,09625	0,18000
4	76	52	0,09500	0,17333
5	76	51	0,09500	0,17000
6	76	51	0,09500	0,17000
7	76	51	0,09500	0,17000
8	76	52	0,09500	0,17333
9	76	50	0,09500	0,16666
10	76	52	0,09500	0,17333

A fim de analisar estes dados, subtraiu-se o valor original do valor proposto para obter

o ganho, ou progresso dos indicadores em cada replicação.

A primeira replicação, por exemplo, melhorou de 0,09625 para 0,17333. Seu ganho foi, portanto, de  $0,17333 - 0,09625 = 0,07708$ , ou seja, em torno de 80%, determinando, assim, as diferenças entre o proposto e o original.

Para avaliar se o sistema proposto contribuiu para melhorar o indicador de desempenho, foi testado:  $H_0: \mu = 0$ ,  $H_1: \mu \neq 0$ , onde  $\mu$  seria o progresso médio, se fosse usado o sistema produtivo proposto. A hipótese nula afirma que não há progresso e a hipótese alternativa  $H_1$  afirma que há diferenças entre o proposto e o original.

Usando o programa *Statdisk* (Triola, 1999) para o teste de hipótese de duas amostras dependentes (processo  $t$  de dados emparelhados), são obtidos os resultados apresentados na Fig. 41.

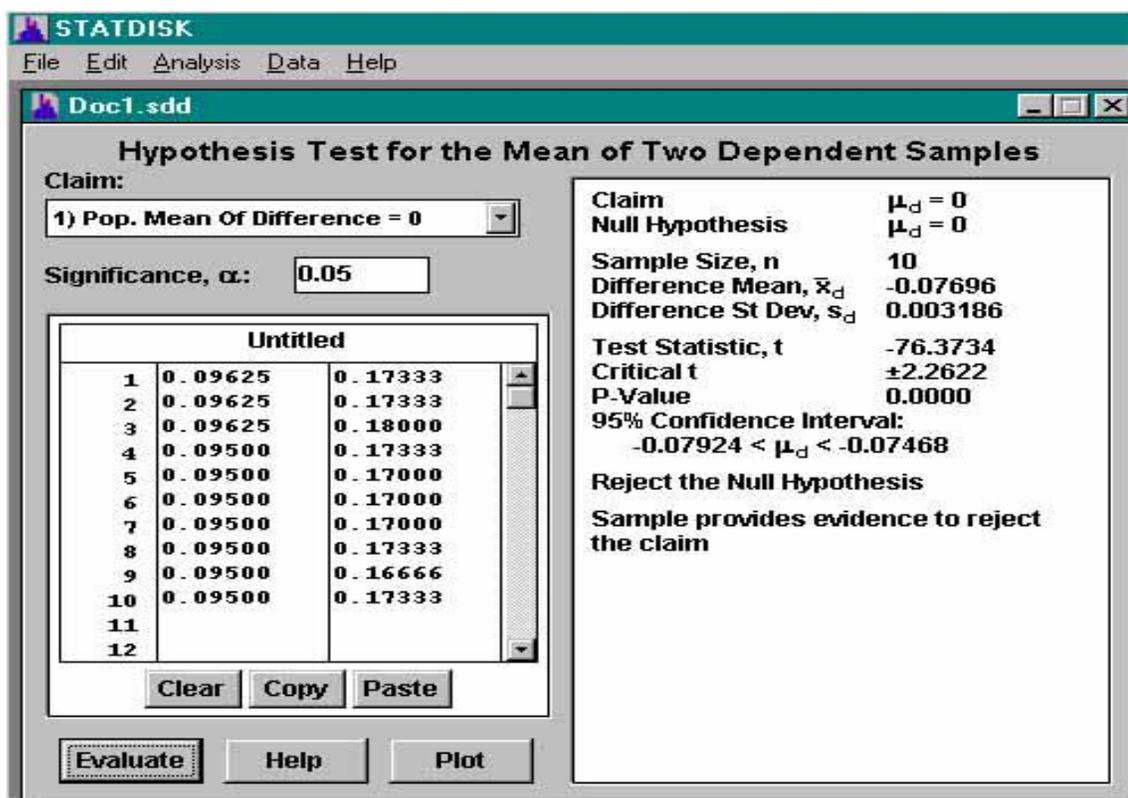


FIGURA 41 - Tela de visualização do programa *Statdisk*

O resultado ( $t = -76,3734$ ,  $gl = 9$ ,  $P = 0000$ ) rejeita a hipótese nula. Há evidência suficiente para apoiar a afirmação de que existe diferença entre os indicadores de desempenho original e proposto. A partir desta diferença, é presumível que o indicador de desempenho da modelagem proposta apresente um ganho em relação ao original, uma vez que seus valores são

maiores.

Dessa forma, considerando os valores médios dos índices de desempenho das modelagens, é possível verificar um ganho em torno de 80% com a modelagem do sistema proposto.

Esse fato está relacionado com as melhorias obtidas no processo produtivo, além de uma melhor utilização dos recursos, como verifica-se no confronto dos valores médios dos recursos em operação na modelagem original (37,62%) com a modelagem proposta (68,14%).

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho contempla a modelagem e análise de melhorias no processo produtivo de empresa de montagem de câmaras de bronzamento, utilizando simulação computacional como ferramenta de análise.

Foi apresentada revisão bibliográfica sobre produção e simulação, abordando aspectos como tipos de sistemas de produção, classificação, tecnologia de grupo, sistemas de manufatura, linha de montagem e sua evolução. A simulação foi retratada por uma explanação sobre modelagem de sistemas, tipos de modelos e seus princípios. A seguir, foi revisada a simulação de sistemas, seus tipos, evoluções e etapas. O trabalho foi concluído com a revisão das vantagens e armadilhas ao longo do processo de criação, utilização, validação e verificação de modelos de simulação.

O desenvolvimento da abordagem proposta foi a partir de estudo de caso, realizado junto à empresa Solare Dermatologia e Estética Ltda., fabricante de camas de bronzamento artificial. A simulação foi utilizada para avaliar possíveis respostas do sistema produtivo às condições impostas pelo mercado.

O estudo possibilitou à empresa alternativas de dimensionamento do seu sistema produtivo em função dos resultados de simulação apresentados. Além das melhorias obtidas no sistema produtivo, o trabalho permitiu a documentação do processo e das propostas indicadas.

A simulação, neste estudo de caso, foi utilizada como ferramenta de análise do sistema produtivo e criação das alternativas sugeridas como resultado do trabalho. De forma prática, este trabalho também possibilitou a padronização efetiva do processo juntamente com a melhoria de qualidade do produto acabado.

A abordagem apresentada possibilitou a análise do sistema produtivo, considerando aspectos de engenharia de produção. Por fim, este estudo disponibilizou a possibilidade de tomada de decisões, objetivando a busca da melhor relação custo-benefício para o processo produtivo da empresa.

### **6.1.1 Conclusões sobre o trabalho executado**

A condução do trabalho foi suficiente para perceber que a construção dos modelos de simulação com uso de ferramentas computacionais não é uma questão trivial. Foi envolvida uma quantidade razoável de horas na construção e modelagem do sistema produtivo. No entanto, experiência com o uso de ferramentas computacionais e modelagem de sistemas produtivos são úteis para diminuir essa dificuldade inicial. Outras conclusões a que se chegou com a elaboração do trabalho, são descritas a seguir.

a) Houve dificuldade na interface com o pessoal da empresa. A falta de conhecimento e pouca instrução são possíveis fatores limitantes para um melhor entendimento do projeto por parte da empresa;

b) Havia divergência entre os poucos dados estatísticos de produção registrados no setor comercial e industrial da empresa ocasionando uma confrontação desses dados;

c) O fato deste segmento ter atividade sazonal contribuiu para dificultar a compreensão e análise do processo produtivo no período em estudo;

d) Não havia documentação do processo produtivo. A formalização desse processo possibilitou a padronização e melhorias de qualidade do produto;

e) A documentação dos fluxos de montagem dos produtos foi obtida com o auxílio de pessoal de produção da empresa. Nesse momento, houve a visualização e o entendimento das possíveis mudanças no processo produtivo buscando um melhor desempenho;

f) Foi disponibilizada para a empresa uma nova proposta de configuração do sistema produtivo, desenvolvida e analisada através do sistema computacional;

g) Com a retração do mercado desse segmento, não houve produção para validar os resultados de forma comparativa entre o modelo proposto e o sistema (processo real de produção).

### **6.1.2 Conclusões sobre a utilização da ferramenta PROMODEL**

a) O PROMODEL mostrou ser uma ferramenta de simulação computacional adequada para a análise deste estudo;

b) Para sua utilização é necessário conhecimento de programação;

c) O PROMODEL oferece uma série de facilidades para tornar a tarefa de desenvolvimento mais amigável ao programador. Por exemplo, o controlador de lógicas que permite a redução de digitação de elementos já cadastrados no modelo, tais como variáveis, macros, atributos, nome de entidades, recursos e locais, permitem a construção das lógicas quase que inteiramente através do mouse;

d) Para a plena utilização deste programa, é necessário o entendimento dos princípios envolvidos, do campo de aplicação, características do projeto aliados ao domínio do *software* e das inter-relações dos seus elementos.

### **6.1.3 Resultados do trabalho desenvolvido em relação à prática industrial**

Do resultado do trabalho desenvolvido para a realidade da indústria, foram obtidas as seguintes conclusões:

a) O processo de modelagem formalizou o sistema produtivo gerando documentos que irão servir como documentação para a empresa. Embora o pessoal da empresa reconheça o valor desta documentação, encontra dificuldade para seu pleno entendimento;

b) A padronização e formalização do processo produtivo também poderá ser utilizada como base para possíveis certificações, tais como ISO 9000 e certificação do produto;

c) Com a efetivação das melhorias do sistema produtivo, foi verificada redução no tempo gasto para a montagem dos equipamentos. O percentual médio de ganho nos quatro produtos estudados foi de 32,18 %;

d) Com a retomada da produção, seria possível a implantação da nova configuração do sistema produtivo proposto e a validação dos resultados propostos no modelo.

A análise da comparação do indicador de desempenho mostra evidências suficientes para supor um ganho em torno de 80% da modelagem proposta em relação à modelagem original. A confrontação dos valores médios dos recursos em operação mostra um melhor desempenho na modelagem proposta (68,14%) em relação à modelagem original (37,62%).

## **6.2 RECOMENDAÇÕES**

A abordagem proposta neste estudo de caso analisou globalmente o sistema produtivo da empresa. Ao longo deste estudo, foram verificados fatores de poderiam ser mais

especificamente pesquisados de maneira a enriquecer os aspectos abordados neste trabalho. Por exemplo, estudo individual do processo produtivo por equipamento seria uma opção. Com isso, seria possível fazer uma análise mais aprofundada sobre o tema.

A realização de estudo em alta temporada, com mercado favorável, seria uma atividade que testaria a validação do modelo frente a uma realidade que não pode ser testada por aspectos externos de retração de mercado para o produto da empresa.

As atuais dificuldades de comunicação e lentidão nos processos administrativos, financeiro e comercial da empresa poderiam ser também analisadas com práticas de simulação.

Finalmente, seria recomendável a ampliação deste estudo, envolvendo análise do sistema produtivo da empresa ainda em fase de concepção de projetos para produção de novos produtos pela empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRONIO, Sidnei. **Desenvolvimento de modelos de simulação computacional para análise e melhoria de sistemas produtivos**. Porto Alegre, 2000. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BARTON, Richard F. **Manual de simulação e jogo**. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 1973, p. 9-44.
- BLACK, J.T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Editora Bookman, 1998, p. 45-70.
- CASTRO *et al.* **Estratégias empresariais na indústria brasileira discutindo mudanças**. Rio de Janeiro: Editora Forense Universitária, 1996, 288p.
- DINIZ, Clélio Campolina. **A nova configuração urbano-industrial no Brasil**. Disponível em: <[www.url:http://www.ipea.gov.br/redepesq/produtos/anpec/encontro/trabalhos/econo.../ccdiniz.litm](http://www.ipea.gov.br/redepesq/produtos/anpec/encontro/trabalhos/econo.../ccdiniz.litm)>. Acesso em: 26/12/2001.
- FALCONI, Vicente C. **Qualidade total padronização de empresas**. 3. ed. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1992.
- GIANI, Eduardo P. *et al.* **Aplicação conjunta do pensamento sistêmico e simulação computacional: estudo de caso em manufatura**. XVIII ENEGEP – Congresso Nacional de Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 21 a 25 de setembro de 1998.
- GOLDRATT, Eliyahu M. **A meta: um processo de aprimoramento contínuo**. 2. ed. São Paulo: Educator, 1992, 318p.
- GORDON, Geoffrey. **System simulation**. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1978, p. 8-10, 38-40.
- LAW, Averill M., KELTON, W.D. **Simulation modeling and analysis**. 2. ed. McGraw Hill, 1999, 758p.
- LOBÃO, Elídio de C.; PORTO, Artur J.V. **Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia**. XIV ENEGEP – Congresso Nacional de Engenharia de Produção. Santa Bárbara D'Oeste, São Paulo, 7 a 10 de outubro de 1996.
- MAYNARD, H.B. **Manual de engenharia de produção: instalações industriais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1970, p. 33-34, 132-133, 157.
- MOREIRA, Daniel. **Administração da produção e operações**. 2.ed. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1996, p. 9-13.
- MOORE, David S. **A estatística básica e sua prática**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000, p. 295-315.

PEGDEN, C. Dennis; SHANNON, Robert E.; SADOWSKI, Randall P. **Introduction to simulation using SIMAN**. Editora MacGraw Hill, 1990.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Editora Bookman, 1998, 314p.

REBOUÇAS, Lídia. “Tinoco não é louco”. **Exame Negócios**, São Paulo, n. 726, p. 37-46, nov. 2000.

SCHONBERGER, Richard J. **Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre a simplicidade**. 4. ed. São Paulo: Editora Pioneira, 1992, p. 81-83.

SEMENIK, Richard J.; BAMOSSY, Gary J. **Princípios de marketing: uma perspectiva global**. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora, 1995, p. 37-39.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 1996, 291p.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1999, p. 204-210.

VELLOSO, João Paulo dos Reis *et al.*. **A nova estratégia industrial e tecnológica: o Brasil e o mundo da III revolução industrial**. Rio de Janeiro: José Olímpio Editora, 1990, 226p.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2001, 205p.

ZACCARELLI, Sérgio B. **Administração estratégica da produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1990, 69p.