

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

ROBERTO NUNES DUARTE

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ANÁLISE
DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA EM
LOTES DO SETOR DE AUTO-PEÇAS**

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

Orientador: Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr.

Co-orientador: Prof. Alexandre Ferreira de Pinho, Ms.

Itajubá, novembro de 2003

DUARTE, Roberto Nunes. *Simulação Computacional: Análise de uma Célula de Manufatura em Lotes do Setor de Auto-Peças*. Itajubá: UNIFEI, 2003. 168 p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá).

Palavras-Chaves: Simulação - Manufatura Celular – Sistemas de Produção.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

ROBERTO NUNES DUARTE

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ANÁLISE
DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA EM
LOTES DO SETOR DE AUTO-PEÇAS**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 03 de novembro de 2003, conferindo ao autor o título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

Banca Examinadora:

Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr. (Orientador)

Prof. Alexandre Ferreira de Pinho, Ms. (Co-orientador)

Prof. Leonardo Chwif, Dr. (USP)

Prof. Renato da Silva Lima (UNIFEI)

Itajubá, novembro de 2003

Dedicatória

À minha esposa, Izabel, pela sua paciência e cumplicidade no desenvolvimento deste trabalho e a minha filha Sabrina pelos momentos que não compartilhamos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por permitir e inspirar o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores José Arnaldo B. Montevechi e Alexandre F. Pinho pelo seu apoio e incentivo nas horas difíceis, tornando-se amigos além de orientadores.

Agradeço também ao amigo Francisco A. Oliveira, companheiro neste longo caminho percorrido.

Agradeço com muito carinho as funcionárias da PPG Cristina e Débora pela ajuda e apoio.

Também agradeço aos amigos Gustav V. Nilsson pela sua ajuda e apoio no desenvolvimento do trabalho, aos companheiros Morand, Moraes e Carlos.

Agradeço a Mahle Cofap Anéis por viabilizar e permitir a execução deste trabalho.

E finalmente agradeço à minha família pelo incentivo e fé, mesmo a distância. A UNIFEI na figura dos seus professores e colaboradores e a todos que de alguma forma acabaram ajudando com uma palavra de incentivo ou com uma mão amiga estendida.

SUMÁRIO

Dedicatória	<i>iv</i>
Agradecimentos	<i>v</i>
Sumário	<i>vi</i>
Resumo	<i>x</i>
Abstract	<i>xi</i>
Lista de figuras	<i>xii</i>
Lista de tabelas	<i>xv</i>
Lista de quadros	<i>xvii</i>
Lista de abreviaturas	<i>xviii</i>
Lista de símbolos	<i>xix</i>
1. INTRODUÇÃO	<i>1</i>
1.1. Considerações iniciais	<i>1</i>
1.2. Objetivo do trabalho	<i>4</i>
1.3. Relevância do trabalho	<i>4</i>
1.4. Metodologia de pesquisa	<i>6</i>
1.5. Estrutura do trabalho	<i>7</i>
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	<i>8</i>
2.1. Considerações iniciais	<i>8</i>
2.2. Racionalização Industrial	<i>8</i>
2.2.1. Tempo padrão	<i>9</i>
2.2.2. Setup	<i>11</i>
2.2.3. Método de trabalho	<i>12</i>
2.2.4. Fluxograma de Processo	<i>14</i>
2.2.5. Mapofluxograma	<i>16</i>
2.2.6. Gráfico homem-máquina	<i>16</i>
2.2.7. Eficácia	<i>17</i>
2.2.8. Eficiência	<i>18</i>
2.2.9. Produtividade	<i>18</i>
2.2.10. Capacidade	<i>20</i>
2.2.11. Balanceamento de linhas	<i>24</i>

2.3. Layout	28
2.3.1. Layout funcional	30
2.3.2. Layout em linha	31
2.3.3. Layout posicional	31
2.3.4. Layout de processo contínuo	32
2.3.5. Layout celular	32
2.4. Tecnologia de Grupo	34
2.4.1. Métodos de formação de células de manufatura	36
2.4.2. Processo descritivo	37
2.4.3. Análise de grupos	38
2.4.4. Método de partição de Grafos	40
2.4.5. Inteligência artificial	41
2.4.6. Programação matemática	41
2.5. Programação da produção	42
2.5.1. O problema da programação de tarefas	42
2.5.2. Algoritmos para a programação de tarefas	44
2.6. Estatística	48
2.6.1. Distribuição normal	48
2.6.2. Distribuição exponencial	50
2.6.3. Distribuição gama	51
2.6.4. Distribuição de Weibull	52
2.6.5. Distribuição binomial	53
2.6.6. Distribuição de Poisson	53
2.6.7. Testes de hipóteses	54
2.7. Considerações finais	59
3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	61
3.1. Considerações iniciais	61
3.2. Introdução	61
3.3. Justificativa econômica da simulação	63
3.4. Sistema	66
3.4.1. Definição de sistema	67
3.4.2. Elementos do sistema	67
3.4.3. Complexidade do sistema	67

3.4.4. Variáveis do sistema	68
3.4.5. Técnicas de análise do sistema	69
3.5. Tipos de simulação	70
3.5.1. Simulação estática e dinâmica	71
3.5.2. Simulação determinística e estocástica	71
3.5.3. Simulação discreta e continua	71
3.5.4. Simulação terminante e não terminante	72
3.6. Software de simulação	72
3.7. Verificação e validação do modelo	75
3.8. Considerações Finais	77
4. METODOLOGIA	80
4.1. Considerações iniciais	80
4.2. Metodologias	80
4.3. Definição da metodologia	87
4.4. Considerações finais	89
5. CARACTERIZAÇÃO DO CASO	90
5.1. Considerações iniciais	90
5.2. Descrição da empresa	90
5.3. Descrição do produto	93
5.4. Descrição do problema	97
5.5. Descrição da célula	98
5.6. Considerações finais.	101
6. APLICAÇÃO	102
6.1. Considerações iniciais	102
6.2. Planejamento do trabalho	102
6.2.1. Objetivo do projeto	102
6.2.2. Formação da equipe de trabalho	103
6.2.3. Cronograma do projeto	104
6.3. Discussão da solução	106
6.4. Coleta de dados	118

6.5. Construção do modelo	122
6.6. Verificação e validação do modelo	135
6.7. Análise dos relatórios gerados	136
6.8. Seqüenciamento da produção	146
6.9. Considerações finais	148
7. Conclusões	150
7.1. Considerações iniciais	150
7.2. Conclusões e contribuições do trabalho	150
7.3. Sugestões para trabalhos futuros	152
7.4. Considerações finais	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
BIBLIOGRAFIA AUXILIAR	162
ANEXOS	166
I. Trabalhos publicados	167
II. Tabelas de fator de fadiga, fator de monotonia, ritmo de trabalho	cd rom
III. Layout geral da planta de Itajubá	cd rom
IV. Tabela de classificação e codificação do produto	cd rom
V. Levantamento dos métodos e tempos padrões das operações da célula I	cd rom
VI. Levantamento do histórico da manutenção da célula I	cd rom
VII. Levantamento do histórico da programação de produção	cd rom
VIII. Demanda futura das peças	cd rom
IX. Cronograma do projeto	cd rom
X. Modelo computacional para otimizar o seqüenciamento da produção	cd rom
XI. Levantamento das improdutividades da célula 23	cd rom

RESUMO

A simulação computacional está se tornando uma das mais populares ferramentas de modelagem e análise de complexos sistemas de manufatura . Em um projeto de manufatura a simulação poderá ser usada em duas fases distintas: a fase de justificativa do projeto e na fase do desenho dos processos de fabricação. Na fase de implantação a simulação também colabora ajudando a prever possíveis problemas em campo e com isto gerando economia dos recursos financeiros da empresa. Além dos benefícios destacados durante a fase de projeto do processo e sua posterior implantação, a simulação tem outro enfoque como uma ferramenta de apoio ao planejamento estratégico da empresa. Este enfoque estratégico está na possibilidade de usar o modelo criado para simular diversos cenários, como o aumento da demanda, impacto de uma nova política de manutenção, o impacto da alteração dos turnos de trabalho, o impacto do seqüenciamento da programação ou a mudança do mix de produtos ao longo do tempo sem provocar rupturas na produção pela necessidade de realizar experimentos reais.

Este trabalho descreve a aplicação da simulação computacional em uma célula de manufatura em lotes de uma empresa do setor de auto peças, fabricante de anéis para pistão de motor.

A discussão e a aplicação da simulação nesta célula de manufatura gerou o desenvolvimento de uma abordagem necessária a execução do trabalho de simulação em um ambiente fabril. Esta abordagem não é descrita em detalhes na literatura, que normalmente traz metodologias focadas na execução do método de trabalho do processo de simulação. A execução do trabalho exigiu a organização de uma equipe e o detalhamento do papel de cada membro. Outro ponto a destacar é o de que a simulação em si não resolve todos os problemas, é necessária a criação e análise prévia das possíveis soluções que serão modeladas.

ABSTRACT

Computer Simulation (Discrete Event Simulation) is becoming one of the most popular tools for the modeling and analysis of complex manufacturing systems. In a manufacturing project the simulation can be used in two different phases: the phase of justification of the project and the phase of drawing the production processes. In the implementation phase, the simulation shows its main collaboration by helping to foresee possible problems, consequently generating savings of company's financial resources. Besides the benefits during the phase of designing the process and subsequent its implementation, simulation has another focus, which is as a support tool for the company's strategic planning. This strategic focus lies in the possibility of using the model to simulate several scenarios, such as the increase in the demand, impact of a new maintenance policy, the impact of changing the working shifts, the impact in relation to the sequencing programming or the change of the product mix along time without causing ruptures in the production in order to carry out real experiments. This work describes the application of the computational simulation in a lot-manufacturing cell of a company that belongs to the sector of automotive parts, a manufacturer of rings for engine pistons.

The discussion and the application of the simulation in this manufacturing cell generated the development of a necessary approach for the application of the simulation work in an industrial environment. This approach is not described in details in the literature, which usually presents methodologies focused on the execution of the working method of the simulation process. The execution of the work demanded the organization of a team and the careful description of each member's role. Another point that must be highlighted is that the simulation itself doesn't solve all the problems, it is necessary previously to carry out and analyze the possible solutions that will be considered for modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Horizonte de decisão em simulação da manufatura	5
Figura 2.1	Cronologia das diferentes abordagens para o projeto de trabalho	9
Figura 2.2	Exemplos de configurações do fluxograma de processos	15
Figura 2.3	Exemplo de um mapofluxograma	16
Figura 2.4	Exemplo de diagrama homem-máquina para compra de café	17
Figura 2.5	Definição formal de produtividade	19
Figura 2.6	Etapas do planejamento e controle de capacidade	21
Figura 2.7	Representação acumulada de uma política de capacidade constante	22
Figura 2.8	Planejamento e controle da capacidade como uma seqüência dinâmica de decisões	23
Figura 2.9	Analogia do processo de produção com uma seqüência de tubulações	25
Figura 2.10	Análise do processo gargalo	27
Figura 2.11	Chave PQIRST	29
Figura 2.12	Exemplo de layout funcional, setor de ferramentaria	30
Figura 2.13	Exemplo de layout em linha	31
Figura 2.14	Exemplo de layout posicional	31
Figura 2.15	Exemplo de layout de processo contínuo	32
Figura 2.16	Exemplo de layout celular	33
Figura 2.17	Tipo de layout x tipo de industria x volume	33
Figura 2.18	Diferentes sistemas de manufatura x tipo de layout utilizado	34
Figura 2.19	Classificação dos métodos de formação de célula	37
Figura 2.20	Matriz inicial peça x máquina	39
Figura 2.21	Matriz de similaridade entre as máquinas	40
Figura 2.22	Classes de problemas de programação	43
Figura 2.23	Fluxos: (a) flow-shop e (b) flow-shop permutacional	44
Figura 2.24	Exemplo de software estatístico	48
Figura 2.25	Forma da curva da distribuição normal	49
Figura 2.26	Curva da distribuição exponencial	50
Figura 2.27	Curva da distribuição gama	51
Figura 2.28	Curvas da distribuição de Weibull para diversos α	52
Figura 3.1	Realidade x modelo	62

Figura 3.2	Método científico aplicado à simulação	63
Figura 3.3	Evolução do custo de um sistema em suas diferentes fases	65
Figura 3.4	Comparativo da evolução dos custos do sistema com e sem simulação	65
Figura 3.5	Previsibilidade x complexidade do sistema	70
Figura 3.6	Simulação determinística (a) x estocástica (b)	71
Figura 3.7	Simulação discreta x contínua	72
Figura 3.8	ProModel®	73
Figura 3.9	Plataforma de petróleo	74
Figura 3.10	VisFactory®	75
Figura 3.11	ARENA®	75
Figura 3.12	Ponto de equilíbrio entre esforço e custo de validação	77
Figura 4.1	Seqüência do estudo de simulação proposto por LAW e KELTON	81
Figura 4.2	Seqüência proposta por PRITSKER e PEGDEN	82
Figura 4.3	Seqüência proposta por BANKS	84
Figura 4.4	Seqüência proposta por LOBÃO e PORTO	86
Figura 4.5	Seqüência adaptada PEREIRA	88
Figura 5.1	Linha de produtos	91
Figura 5.2	Vista geral da fábrica	92
Figura 5.3	Organização matricial das mini fábricas	92
Figura 5.4	Produto anel e sua localização no conjunto camisa e pistão	93
Figura 5.5	Posição dos canaletes no pistão	94
Figura 5.6	Terminologia do anel de pistão	95
Figura 5.7	Fluxo simplificado do processo de fabricação do anel base	96
Figura 5.8	Fluxo esquemático do processo da célula I	99
Figura 5.9	Layout e fluxo da célula I	100
Figura 6.1	Organograma da equipe de projeto	103
Figura 6.2	Etapas de concepção do cronograma	107
Figura 6.3	Fluxo oficial da família de peças da célula I	109
Figura 6.4	Layout atual da célula I	110
Figura 6.5	Fluxo atual da família de peças da célula I	111
Figura 6.6	Novo fluxograma de processo da família de peças da célula A e B	114
Figura 6.7	Novo layout proposto	117
Figura 6.8 A	Gráfico da distribuição ajustada de Weibull para o torno TFV	119

Figura 6.8 B	Sumário do resultado do teste de aderência dos dados de mnt do torno TFV	119
Figura 6.9	Biblioteca de máquinas	124
Figura 6.10	Menu Built do ProModel®	125
Figura 6.11	Entities representando anéis	126
Figura 6.12	Location representando uma gravadora	127
Figura 6.13	Tela com os recursos do modelo	128
Figura 6.14	Exemplo da rede percursos do modelo da célula I	129
Figura 6.15	Carrinhos de entrada e saída de anéis da célula I	130
Figura 6.16	Tela do ProModel® de programação das chegadas de peças	131
Figura 6.17	Telas de programação do processo do ProModel®	132
Figura 6.18	Exemplo de roteamento do processo dentro da célula	132
Figura 6.19	Variáveis de estoque em processo e anéis acabados	133
Figura 6.20	Modelo da célula I atual	134
Figura 6.21	Modelo proposto para a célula I	134
Figura 6.22	Tempo de aquecimento da célula I	137
Figura 6.23	Relatório geral do modelo atual	138
Figura 6.24	Relatório geral do modelo proposto	139
Figura 6.25	Gráfico de utilização das máquinas	142
Figura 6.26	Gráfico do estado das máquinas	142
Figura 6.27	Gráfico do estado dos recursos	142
Figura 6.28	Gráfico de utilização das máquinas no modelo proposto	146
Figura 6.29	Gráfico do estado das máquinas do modelo proposto	146
Figura 6.30	Gráfico do estado dos recursos do modelo proposto	147
Figura 6.31	Otimização da programação da produção	147
Figura 6.32	Roteiro geral de implantação de sistemas de manufatura tipo flow-shop e job-shop	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Medidas de capacidade de insumos e produtos para diferentes operações	26
Tabela 2.2	Matriz tempo x máquina das tarefas	49
Tabela 2.3	Tempo de processamento para a seqüência J1-J3	49
Tabela 2.4	Tempo de processamento para a seqüência J3-J1	49
Tabela 2.5	Tempo de processamento para a seqüência J3-J1-J2	50
Tabela 2.6	Tempo de processamento para a seqüência J3-J2-J1	50
Tabela 2.7	Tempo de processamento para a seqüência J2-J3-J1	50
Tabela 2.8	Dados coletados e organizados em forma de tabela	59
Tabela 2.9	Agrupamento em classes e distribuição de frequências	59
Tabela 2.10	Distribuição de frequências	61
Tabela 2.11	Cálculo de χ_v^2	62
Tabela 3.1	Exemplo de variáveis	72
Tabela 5.1	Resumo das funções dos anéis	98
Tabela 6.1	Família de peças da célula I	108
Tabela 6.2	Método de trabalho do torno TF	113
Tabela 6.3	Capacidade das máquinas em pç/h e valores	115
Tabela 6.4 A	Tempo padrão, refugo e setup da operação peça x máquina	120
Tabela 6.4 B	Tempo padrão, refugo e setup da operação peça x máquina	121
Tabela 6.5	Exemplo do histórico de manutenção das máquinas da célula I	122
Tabela 6.6	Tabela de programação diária da produção	123
Tabela 6.7	Exemplo de aplicação da fórmula 6.18	127
Tabela 6.8	Horário dos turnos e refeições	128
Tabela 6.9	Seqüência de produção	131

Tabela 6.10	Saída real x previsão do modelo	135
Tabela 6.11	Saída histórica x saída do modelo	136
Tabela 6.12	Estoque em processo na célula	137
Tabela 6.13	Desvio padrão para dez replicações	139
Tabela 6.14	Custo x benefício entre as propostas 1 e 2	146
Tabela 6.15	Seqüenciamento real x otimizado	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Símbolos do gráfico do fluxo de processo	14
Quadro 2.2	Algoritmo NEH	45
Quadro 3.1	Resumo dos principais conceitos	83
Quadro 6.1	Grau de envolvimento do usuário e modelador nas fases do projeto de simulação	104

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
COM	Caminho Crítico
DCA	Direct Clustering Analysis
DDH	Directional Decomposition Heuristic
DEA	Data Envelopment Analysis
FMS	Flexible Manufacturing System
FP	Família de Peças
GERT	Avaliação gráfica
JIT	Just In Time
MINLP	Mixed Integer Non-Linear Programming
MNT	Manutenção
M.O.	Mão-de-obra
NEH	Algoritmo desenvolvido por Nawaz, Enscore e Ham
OPA	Ordem de Produção de Anéis
OPT	Optimized production Technology
PCP	Programação e Controle da produção
PDCA	Plan, Do, Check, Action
PD	Programação Dinâmica
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PIL	Programação Inteira Linear
PL	Programação Linear
PLQ	Programação Linear Quadrática
ROC	Rank Order Clustering
SMED	Single Minute Exchange Die and Tools
TG	Tecnologia de Grupo
TOC	Teoria das Restrições
TRF	Troca Rápida de Ferramentas
WIP	Work in Place

LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma_{\bar{x}}$	Desvio padrão da distribuição por amostragem da média
σ'	Desvio padrão do universo original
N	Número efetivo de observações do elemento
X	Leitura do cronômetro
$\bar{X}$	Média de todas as leituras de um elemento
Σ	Somatório das leituras individuais
tp	Tempo padrão
t_1	Tempo cronometrado
f_1	Ritmo de trabalho
a_1	Fadiga mental
a_2	Fadiga física
f_2	Fator de recuperação de fadiga
a_3	Abono por monotonia
a_4	Tolerâncias pessoais
a_5	Ajustes e trocas de ferramentas e interferências diversas
ϵ	Eficácia
ξ	Eficiência
p_p	Produtividade prevista
p_E	Produtividade efetiva

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A globalização e a internacionalização da economia mundial têm imposto às empresas, condições cada vez mais severas em termos de resposta ao mercado. O mercado busca cada vez mais o tripé custo x qualidade x prazo, a empresa que conseguir encontrar o ponto de equilíbrio entre estes três elementos conseguirá sobreviver. Mas o objetivo de qualquer organização não é a sua mera sobrevivência no mercado e sim manter a sua porcentagem de participação atual e crescer para poder enfrentar a concorrência globalizada. Como por exemplo, no setor de autopeças, as grandes montadoras estão comprando os seus insumos em qualquer parte do planeta, ou seja, onde for oferecido o insumo com o melhor preço, qualidade e prazo. Com este cenário as empresas estão se questionando: como manter a fatia de mercado já conquistada? Como melhorar a competitividade para concorrer com o mundo? (FERREIRA *et al.*, 2002b). Uma das maneiras que as empresas possuem para conseguir atingir a meta de crescimento é conhecendo profundamente o seu processo produtivo e administrativo, eliminando todos os pontos que não agregam valor. Neste contexto a simulação é uma poderosa ferramenta de auxílio a empresa, pois possibilita avaliar muitos parâmetros do processo ao mesmo tempo, fornecendo um relatório para ser o ponto de partida do processo de melhoria.

Segundo LIM e ZHANG (2003), o mercado mundial tornou-se muito dinâmico e turbulento requerendo dos sistemas de manufatura respostas rápidas e flexibilidade para mudanças de cenários por parte do cliente. Conforme os mesmos autores, isto exige novas estratégias de controle da manufatura e da programação da produção que possibilitem uma resposta ágil e eficaz ao cliente sem dar espaço ao concorrente. Isto requer uma integração entre os sistemas de manufatura e logística da empresa, além da utilização de sistemas que possam prever o comportamento do processo de produção diante de um cenário futuro.

Para SAAD (2003) o cenário internacional tem exigido das empresas mudanças no seu sistema de produção que muitas vezes podem levar alguns meses até serem implementadas, mas o cliente não está disposto a esperar e a concorrência já poderá estar

pronta para dar a resposta ao cliente. Então, para o autor, a empresa terá que prever a movimentação do mercado e avaliar a sua situação atual contra a possível situação futura e estar preparada para dar uma resposta rápida ao mercado, sendo a melhor forma de estar preparada é respondendo a duas perguntas: “Quando nós teremos que nos reorganizarmos?” e “Como nós teremos que fazer esta reorganização?”. As respostas para perguntas deste tipo podem ser dadas basicamente de três formas: baseadas em opinião onde as análises são realizadas sobre crenças e idéias de um indivíduo ou de um grupo, sendo pouco quantificáveis e sujeitas a aprovações por egos; baseadas em modelos matemáticos estáticos que não consideram as características dinâmicas do sistema podendo induzir a erros por não considerar estas interações entre os diversos elementos do sistema; baseadas em modelos de simulação computacional dinâmico, onde são consideradas as aleatoriedades e a interdependência das variáveis do sistema melhorando assim a capacidade de previsão do comportamento do sistema real (HARRELL *et al.*, 2000; BANKS, 2000; PIDD, 1998).

A simulação computacional é um recurso que auxilia na obtenção destas respostas. Representando os diversos meios e recursos da produção ou do sistema modelado com as suas complexas interrelações, gerando informações que auxiliam na tomada de decisões sobre o que e quando fazer (HARRELL *et al.*, 2000).

Simulação é uma imitação de uma situação real ou hipotética através de um modelo, podendo ser implementada através de programação matemática ou através de softwares, como por exemplo, o ProModel[®] ou o Arena[®].

A simulação de sistemas de manufatura é uma poderosa ferramenta para a tomada de decisões, minimizando o risco destas decisões (BANKS, 2000; PEREIRA, 2000). Em um sistema de manufatura existem muitas variáveis como, por exemplo: tempo de setup, tempo de operação, mão de obra, movimentação de produtos e insumos, tempo de fila, máquinas, operadores, programação, manutenção, área ocupada, etc. Todas estas variáveis estão interagindo entre si com milhares de combinações possíveis, ou seja, o sistema é dinâmico e as variáveis estão mudando de estado a cada momento de forma aleatória sendo praticamente impossível prever o comportamento deste sistema sem o uso de uma ferramenta computacional. Segundo HARRELL *et al.* (2000), o uso da simulação computacional em sistemas de manufatura pode evitar problemas de rupturas na produção quando os conceitos do just in time (JIT) são aplicados, pois se pode avaliar o impacto de abaixar o nível de estoque em processo de uma forma dinâmica prevendo os possíveis pontos de ruptura e simulando alternativas de contorno antes da implantação e constatação do fato na prática. O mesmo autor cita também como a simulação pode auxiliar na

aplicação da teoria das restrições (TOC) identificando os gargalos no sistema e testando a eficácia das soluções levantadas pela equipe de engenharia, porém sem a necessidade de investir em compra de equipamentos ou remanejamentos evitando a aplicação da técnica de tentativas e erros. A simulação também auxilia na aplicação do PDCA (ferramenta de planejamento e melhoria contínua), agindo antes do passo de implementação prevendo se realmente o passo do planejamento irá gerar os resultados esperados sem precisar realmente implantar a solução.

A simulação computacional pode ser aplicada nos mais diversos campos da atividade humana, tais como:

- área de manufatura: minimizando o tempo de implantação de projetos, evitando rupturas na cadeia produtiva, identificando gargalos e testando as soluções para eliminá-los, simulando cenários de quebra de máquinas ou aumento de produção e testando os planos de contingência, testando alterações de processo, testando rotas alternativas de movimentação de materiais, novos métodos de trabalho, novas configurações de layout. Sem necessitar de investimentos ou paradas no sistema;
- área de prestação de serviços: com aplicação em hospitais e clínicas visando melhorar o atendimento aos pacientes redimensionando áreas de espera, leitos, número de salas de cirurgias e minimizar os custos com pessoal e insumos; aplicação em bancos estudando filas e disposição de locais de atendimento, caixas eletrônicos e necessidade de mão de obra para atendimento; no comércio reorganizando layout, espaços para filas em caixas, número de caixas disponíveis ao longo do dia em função do fluxo de clientes;
- área de logística: redesenhando os locais de estoque visando diminuir as distâncias percorridas, otimizando rotas de distribuição de mercadorias, otimizando o trabalho de vendedores através do planejamento das visitas, otimizando as áreas de expedição de mercadorias e notas, organizando a área de recebimento de materiais;
- área de meio ambiente: limpeza ambiental em caso de acidentes testando planos de contingências, manuseio de produtos perigosos, rotas de fuga em caso de acidentes;
- área de processo contínuo: modelos tridimensionais durante a fase de projeto evitando problemas na montagem, como por exemplo: o cruzamento conflitante de tubulações, poupando tempo e custo na hora da implantação no campo.

1.2 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é a aplicação da simulação computacional em uma célula de manufatura em lotes, estudando as dificuldades da aplicação prática em um ambiente fabril com um grande número de variáveis, testando e criticando a proposta de adaptação da sistematização do uso da simulação computacional de LOBÃO e PORTO (1997) realizada por PEREIRA (2000). Esta adaptação visou direcionar a metodologia para a aplicação em sistemas de manufatura em lotes.

Os objetivos complementares do presente trabalho são:

- a solução do problema de demanda futura na célula estudada;
- a determinação da melhor proposta de layout;
- o estudo da influência do seqüenciamento no lead time da célula;
- a avaliação da performance da célula real versus a modelada;
- usar o modelo para tomada de decisões.

1.3 Relevância do trabalho

As empresas do ramo de autopeças estão a cada dia sendo mais pressionadas pela concorrência globalizada, redução do tamanho do lote de produção, exigência do mercado por novos produtos tecnologicamente mais avançados, aumento dos insumos utilizados no seu processo de fabricação e pela dura negociação com as montadoras. Com esta pressão as empresas estão se mobilizando e procurando racionalizar toda a sua cadeia produtiva: melhorando processos, investindo em novos equipamentos, implantando novos sistemas de gestão, reorganizando layouts, reduzindo estoques. Este movimento requer ferramentas de planejamento cada vez mais avançadas e sofisticadas, em seu poder de suprir os gestores de informações confiáveis para a tomada de decisões. A simulação computacional vem mostrando-se como uma ferramenta com grande potencial de apoio às decisões estratégicas, conforme relatam diversos autores (LIM e ZHANG, 2003; SAAD, 2003; PERSON, 2002; BANKS, 2000; HARRELL *et al.*, 2000; KOSTURIK e GREGOR, 1999; LAW e KELTON, 1982).

Sob este foco, a dissertação descreverá a aplicação da simulação computacional no auxílio à solução do problema de aumento da demanda em uma célula de manufatura em

lotes, mostrando as análises realizadas na célula existente, no modelo proposto e a economia gerada com a implantação. Na literatura existem diversos casos de sucesso relatados que reforçam a relevância da aplicação: O'KANE *et al.* (2000) relatam a aplicação da simulação em uma fábrica de blocos de motores, onde simulando alternativas de layout e diferentes cenários conseguiu-se um aumento do output entre 75-80% sem a necessidade de interrupção da produção, para realizar os experimentos e concluíram que o investimento em alguns gargalos não iria refletir no aumento da produção, desta forma evitou-se um investimento que não traria retorno financeiro e sim agregaria custos à empresa; SUKIMAN e IRANI (2001) relatam o trabalho de aplicação da simulação em uma indústria de montagem de equipamentos elétricos, onde a empresa necessitava aumentar a produção, melhorar a visibilidade na área de montagem, melhorar o fluxo de materiais/pessoas/produtos/informações, diminuir a área ocupada, ter um layout flexível para futuras expansões e com a mudança a produção teria que ficar o mínimo possível parada. Os autores relatam que as necessidades foram alcançadas e a empresa obteve um de ganho de US\$ 168.200.

Para HARRELL *et al.* (2000), a simulação computacional em sistemas de manufatura é uma importante ferramenta de planejamento gerencial que poderá trazer grandes contribuições a empresa, tais como: análise de métodos, implantação de layouts, análise do impacto na variação do tamanho de lote para fabricação, controle da produção, controle sobre o estoque em processo, planejamento do supply chain, programação da produção, controle da produção em tempo real, avaliação do impacto da introdução de um novo produto, fazer uma previsão de gastos, criação de cenários e avaliação da eficácia dos planos de contingência. Ainda segundo o mesmo autor, a simulação poderá ser usada como ferramenta de planejamento com diferentes focos ao longo do tempo, ou seja, desde o controle da célula no seu dia a dia até o planejamento de longo prazo prevendo mudanças inclusive de tecnologias. A **Figura 1.1** ilustra os horizontes de planejamento da tomada de decisões.

Gerencia- mento da célula	Seqüência- mento	Mão de obra	Programa- ção da produção	Estudo de mudança de processo	Configura- ção do sistema	Investimen- to em tecnologia
Segundos	Horas	Dias	Semanas	Meses	1-2 anos	2-5 anos

Figura 1.1 – Escala de decisão em simulação da manufatura, HARRELL *et al.* (2000)

Para SAAD (2003), a principal característica atualmente da manufatura é a dinâmica da mudança de itens que afetam diretamente a performance do sistema, tais como: a mudança do mix de produção, um layout é planejado hoje para atender a um determinado mix de produção e após um período de tempo (variando de alguns meses a alguns anos), o mix de produção mudou e layout tornou-se ineficiente; a introdução/alteração dos processos como uma ferramenta de corte mais robusta causando um desbalanceamento na linha. Esta dinâmica exige uma rápida tomada de decisão sobre a reorganização do sistema e o uso da simulação é uma importante ferramenta de análise e suporte as decisões.

1.4 Metodologia de pesquisa

A pesquisa realiza uma investigação sobre a aplicação da abordagem metodológica proposta por PEREIRA (2000) para a simulação de uma célula de manufatura em lotes. A condução da pesquisa não permitiu ao pesquisador o controle de todas as variáveis do sistema, que não caracteriza uma experimentação. Como é realizada uma aplicação de uma abordagem metodológica não empregada atualmente pela empresa, a caracterização da pesquisa como estudo de caso está descartada. Segundo BRYMAN (1989), casos aplicados em que o pesquisador está impossibilitado de controlar todas as variáveis, poderá utilizar um tratamento experimental e informações adicionais coletadas que são classificados de quase-experimento. Mas segundo o mesmo autor, quando se emprega um modelo para representar e estudar a realidade a metodologia de pesquisa é classificada como sendo simulação. Este trabalho, apesar de ter muitas características de quase-experimento é melhor caracterizado pela simulação, por empregar um modelo computacional para analisar a realidade de uma organização.

A realização deste trabalho parte das seguintes hipóteses:

Hipótese A: A abordagem metodológica proposta é capaz de combinar as informações necessárias para a construção do modelo computacional.

Hipótese B: A abordagem metodológica permite incorporar aspectos estratégicos da empresa, possibilitando a melhoria contínua.

As variáveis envolvidas no estudo são:

Variáveis Independentes: Demanda, família de peças, tempos e manutenção.

Variáveis Dependentes: Layout, capacidade, lead time e investimento.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo descreve a relevância e os objetivos da dissertação. No segundo capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre todos os temas conceituais necessários ao desenvolvimento da dissertação. No terceiro capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica específica sobre alguns conceitos de simulação utilizados no desenvolvimento do trabalho. O quarto capítulo apresenta uma discussão a respeito das principais metodologias para o desenvolvimento de um projeto de simulação. O quinto capítulo descreve a empresa na qual foi desenvolvida a dissertação, fazendo também uma introdução ao problema a ser solucionado. O sexto capítulo é a aplicação da metodologia na solução do problema da empresa e na modelagem da célula, trazendo também uma contribuição para a sistematização da aplicação da simulação sob uma visão macro do projeto. O sétimo capítulo traz as conclusões e recomendações para futuros trabalhos. No anexo I estão listados os artigos e trabalhos originados desta dissertação e nos anexos de II a XI (em cd-rom) estão os dados, tabelas e informações utilizados na aplicação da dissertação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo aborda a revisão bibliográfica dos principais conceitos relacionados à análise de um sistema de produção utilizados no desenvolvimento da dissertação: racionalização industrial, Tecnologia de Grupo (TG), estatística aplicada à simulação e seqüenciamento da produção.

2.2 Racionalização industrial

O estudo do trabalho teve a sua origem com Taylor e o casal Gilbreth. Com a publicação em 1911 do livro “administração científica”, de Taylor, adotou-se o termo administração científica para abranger todo o pensamento da época a respeito do estudo do trabalho (SLACK *et al.*, 1997). Taylor em seu trabalho deu mais ênfase ao estudo de tempos e ao valor por peça do que ao método de trabalho. Somente em 1930 iniciou-se um movimento para o estudo do método de trabalho visando descobrir o método mais simples para executar uma tarefa, este movimento uniu os estudos de tempos com os estudos de movimento dando origem ao que chamamos de Engenharia de Tempos & Métodos (BARNES, 1986). A **Figura 2.1** mostra a cronologia da evolução das diferentes abordagens para o estudo e projeto do trabalho.

Com a evolução desta base de conhecimentos durante o último século, existe atualmente uma grande variedade de teorias e ferramentas para a análise não somente do trabalho, mas do sistema produtivo como um todo. A este conjunto chamamos de Racionalização Industrial, ou segundo a definição da American Institute of Industrial Engineers "Compete à Racionalização Industrial o projeto, a melhoria e a implantação de sistemas integrados envolvendo homens, materiais e equipamentos; especificar, prever e avaliar os resultados obtidos desses sistemas, recorrendo a conhecimentos especializados da

matemática, física, ciências sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto de engenharia". Na sequência deste tópico serão apresentados os principais conceitos e parâmetros utilizados na análise e melhoria do sistema de produção.

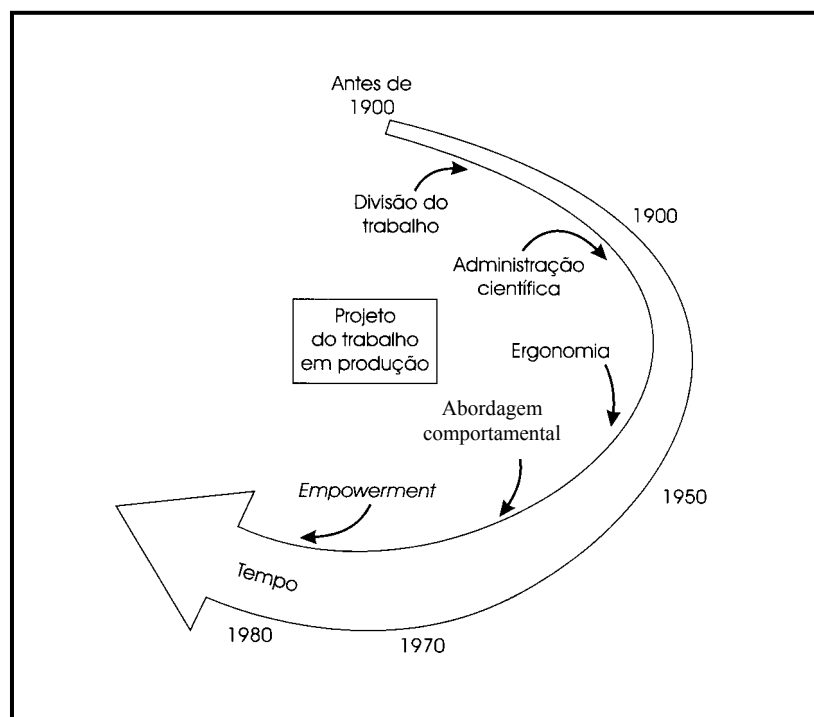


Figura 2.1 – Cronologia das diferentes abordagens para o projeto de trabalho, SLACK *et al.* (1997)

2.2.1 Tempo padrão

Segundo BARNES (1986), o estudo de tempos é o ponto de partida para a determinação de uma série de estudos tais como a capacidade de máquinas, custo padrão, eficiência, balanceamento de linhas, cálculo de mão de obra e planejamento da produção. O resultado do estudo de tempos é o chamado Tempo Padrão ou Tempo Standard. O tempo padrão é calculado a partir de uma série de observações e anotações realizadas no piso de fábrica por um cronoanalista. Para a realização das observações no piso de fábrica existem métodos e técnicas que o cronoanalista deverá aplicar durante o seu trabalho de tomada de tempos, mas para o enfoque desta revisão não serão abordados. Detalhes poderão ser consultados nas bibliografias: BARNES (1986) ou TOLEDO JR (1989a).

Segundo BARNES (1986) e KANAWATY (1992), a metodologia tradicional do cálculo é expressa pela fórmula 2.1.

$$tp = t_1 f_1 [1 + (a_1 + a_2) f_2 + a_3 + a_4 + a_5] \quad (2.1)$$

Onde:

- tp - tempo padrão
- t_1 - tempo cronometrado
- f_1 - ritmo de trabalho
- a_1 - fadiga mental
- a_2 - fadiga física
- f_2 - fator de recuperação de fadiga
- a_3 - abono por monotonia
- a_4 - tolerâncias pessoais
- a_5 - ajustes e trocas de ferramentas e interferências diversas

Os conceitos dos componentes da fórmula 2.1 são descritos a seguir:

- t_1 Tempo Cronometrado

Média dos tempos levantados na coleta de dados de uma determinada operação, segundo um método de trabalho pré-estabelecido.

- f_1 Ritmo de Trabalho

Segundo BARNES (1986) ritmo de trabalho é o fator relacionado com a habilidade e esforço do operador em executar uma determinada tarefa, este fator busca o chamado tempo normal ou normalizado que é o tempo necessário para execução do trabalho em um ritmo normal. Se o tempo cronometrado é o de um operador extremamente habilidoso o tempo fica menor do que seria o “normal” e quando ocorre o inverso o tempo fica maior, fato que não pode ocorrer em um estudo de determinação do tempo padrão que servirá de referência para uma série de cálculos e análises no sistema produtivo. O anexo II tem os valores de f_1 tabelados, sendo o seu uso determinado pela avaliação do cronoanalista em função da operação em estudo.

- a_1 Fadiga Mental

Tolerância ou abono relacionado com a complexidade da operação, pois quanto mais complexa é a tarefa o ritmo de trabalho tende a cair com o

passar das horas. O anexo II tem os valores tabelados em três níveis: leve, médio e pesado.

- **a₂** Fadiga física

Tolerância ou abono relacionado com o esforço físico do operador na realização da tarefa, ou seja, a tolerância à fadiga física de uma pessoa trabalhando em um escritório com ar condicionado será menor do que a de uma pessoa trabalhando na operação de uma fundição. Estes valores de tolerância estão tabelados no anexo II.

- **f₂** Fator de Recuperação de Fadiga

O fator de recuperação de fadiga encarrega-se de corrigir as tolerâncias atribuídas à fadiga física e mental quando da existência de ciclos automatizados durante os quais o operador pode recuperar-se, no anexo II estão tabelados estes valores de recuperação.

- **a₃** Abono por Monotonia

O abono por monotonia está relacionado com a repetibilidade das tarefas ou ações executadas pelo operador no seu posto de trabalho, ou seja, esta diretamente relacionada com o tempo de ciclo da tarefa. Quanto menor é o tempo de ciclo dessa tarefa maior deverá ser o abono. Os valores tabelados para o abono por monotonia estão no anexo II.

- **a₄** Tolerâncias Pessoais

Tolerâncias pessoais estão relacionadas às necessidades fisiológicas que cada operador tem durante a sua jornada de trabalho, segundo BARNES (1986) esta tolerância pode variar de 2 a 5% de uma jornada de trabalho de 8 h ou poderá ser maior se o tipo de trabalho for pesado e executado em condições desfavoráveis.

- **a₅** Ajustes e Trocas de Ferramentas e Interferências Diversas

Este fator é determinado em função das trocas e ajustes de ferramentas e pequenas interferências como experiências de engenharia e ajustes e reparos na máquina, realizados pelo próprio operador. Este fator deverá ser determinado com extremo cuidado para onerar o tempo padrão.

2.2.2 Setup

Nos sistemas de fabricação quando ocorre a mudança de um produto A em fabricação para um outro produto B é necessário fazer a troca de ferramentas e/ou ajustes

na máquina, este tempo necessário ao início da nova produção é chamado de tempo de setup (SCHALLER *et al.*, 2000). Em um sistema de produção é comum a fabricação ou a montagem de no mínimo dois produtos distintos e existindo sistemas onde o número de itens ativos podendo chegar a mais de 9.000 e as ordens de fabricação, por exemplo, podem ser em média de 2.000 por mês. O tempo de setup deverá ser minimizado ao máximo possível, porque é um tempo que não agrega valor ao processo e a empresa tendo 2.000 ordens de produção mensal terá também 2.000 setups que somente agregarão tempo ao lead time. Segundo SHINGO (1996), se o tempo de setup for alto inviabiliza a produção de lotes menores e a agilidade de resposta do sistema as necessidades do cliente. Segundo o mesmo autor, o setup deverá ser reduzido aplicando-se a técnica do sistema de troca rápida de ferramentas - TRF (SMED - Single Minute Exchange Die and Tools) permitindo um ganho no tempo de preparação e com isto possibilitar a redução do tamanho dos lotes de fabricação.

Na busca da redução do tempo de setup diversos autores têm desenvolvido técnicas ou metodologias visando atingir este objetivo, como exemplo pode-se citar: SCHALLER *et al.* (2000) trata do problema do setup em células de manufatura e sua influência na programação da produção em lotes abordando a necessidade do sequenciamento da produção, através de um algoritmo heurístico de permutação, fazendo o aproveitamento do setup entre um lote A que terminou a sua fabricação na célula e o lote B que iniciará sua produção; LI (2003) realiza um estudo do impacto da redução da variabilidade no tempo de setup, com o uso de simulação, para a melhoria da performance da manufatura; NYE *et al.* (2001) propôs um modelo, baseado na teoria das filas, para avaliação de investimentos em redução do tempo de setup associado com o ganho na redução do tamanho do lote ótimo de fabricação.

2.2.3 Método de trabalho

Segundo BARNES (1986) o método de trabalho consiste no estabelecimento da relação homem / tarefa, determinando como o operador irá executar a operação. O método de trabalho padroniza a forma como a operação é realizada e esta padronização tem diversos objetivos como: treinamento de novos operadores e sistematização da melhor maneira de executar a tarefa com ganhos em custos e qualidade. A necessidade do estudo de um método de trabalho poderá ter origem de duas formas: quando da implantação de um novo produto ou serviço e da análise crítica periódica do sistema de produção (SLACK *et al.*, 1997 e BARNES, 1986).

Segundo SLACK *et al.* (1997), a abordagem do estudo sistemático do método envolve seis passos:

1. Selecionar o trabalho a ser estudado

No processo produtivo existem centenas e até milhares de tarefas e atividades que podem ser submetidas ao estudo de métodos, mas realizar todo este estudo é uma tarefa que demanda muito tempo e dinheiro. Isto significa que a tarefa a ser estudada deverá oferecer um potencial de ganho como, por exemplo, eliminar um gargalo ou atraso;

2. Registrar o método atual

Existem diversas maneiras para registrar-se um método, mas a sequência da maioria é o registro da sequência de atividades no trabalho, registrar o inter-relacionamento temporal das atividades e registrar a trajetória de movimento de alguma parte do trabalho. A técnica mais comum de registro no estudo de método é o fluxograma do processo. A necessidade do registro do método atual surge da necessidade do perfeito entendimento sobre o que está ocorrendo e a partir deste entendimento propor melhorias;

3. Examinar os fatos criticamente

Este é provavelmente o passo mais importante do estudo do método. Esta análise pode ser feita utilizando-se a chamada “técnica de questionamento”. Esta técnica tenta expor as razões existentes por trás do método e com isto identificar os problemas e as oportunidades de melhoria. O questionamento será relativo ao propósito de cada elemento, local onde é realizado, a sequência de execução, a pessoa executante, os meios pelos quais cada elemento é realizado;

4. Desenvolver o novo método

Com base no passo anterior identificam-se os pontos a serem melhorados ou até mesmo a serem eliminados visando um novo método mais prático, econômico e efetivo;

5. Implantar o novo método

A implantação do novo método deverá ser realizada pelo envolvimento das pessoas e não pela imposição, através de treinamentos e orientações;

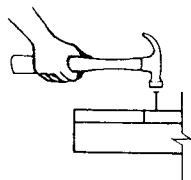
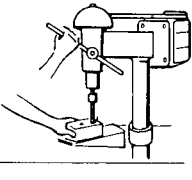
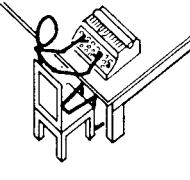
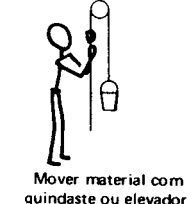
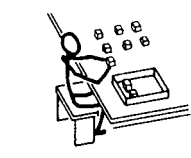
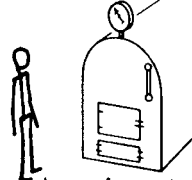
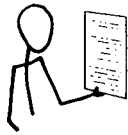
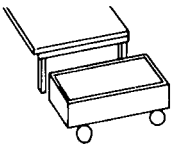
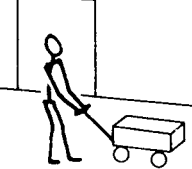
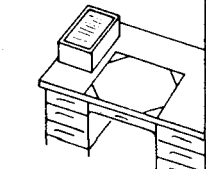
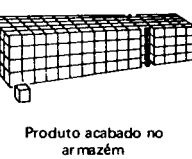
6. Manter o novo método

Quando um novo método de trabalho é implantado é natural as pessoas levarem algum tempo para assimilar as mudanças, por isto existe a necessidade do

monitoramento ou auditorias da execução do método para orientar o operador sobre o desvio ou até mesmo para detectar algum ponto de melhoria com a implantação em campo.

2.2.4 Fluxograma de processo

Segundo BARNES (1986), o fluxograma do processo é uma técnica para registrar o processo de uma maneira compacta e de fácil visualização e entendimento. Usualmente o fluxograma inicia-se com a entrada da matéria prima na fábrica ou célula e segue o caminho de fabricação do produto, passando pelas operações de transformação, transporte e inspeção até a sua saída como produto acabado.

OPERAÇÃO  Um círculo maior indica uma operação como →	 Pregar	 Furar	 Datilografar
TRANSPORTE  uma flecha indica um transporte como →	 Mover material com carrinho de mão	 Mover material com guindaste ou elevador	 Mover material carregando (Mensageiro)
INSPEÇÃO  Um quadrado indica uma inspeção como →	 Examinar material quanto à qualidade ou quantidade	 Ler manômetro do vapor da caldeira	 Examinar um folheto para obter informações
ESPERA  A letra D indica uma espera como →	 Material no carrinho ou no chão, ao lado da bancada, aguardando processamento	 Operário aguardando elevador	 Papéis aguardando arquivamento
ARMAZENAMENTO  Um triângulo indica um armazenamento como →	 Armazenamento a granel de matéria-prima	 Produto acabado no armazém	 Documentos e registros guardados no cofre

Quadro 2.1 – Símbolos do gráfico do fluxo de processo, BARNES (1986)

Em 1947 a American Society of Mechanical Engineers (ASME) padronizou cinco símbolos (**Quadro 2.1**) para a montagem do fluxograma de processos.

A combinação de símbolos é permitida quando as atividades são executadas no mesmo local ou simultaneamente como atividade única. A **Figura 2.2** contém exemplos de diferentes fluxogramas.

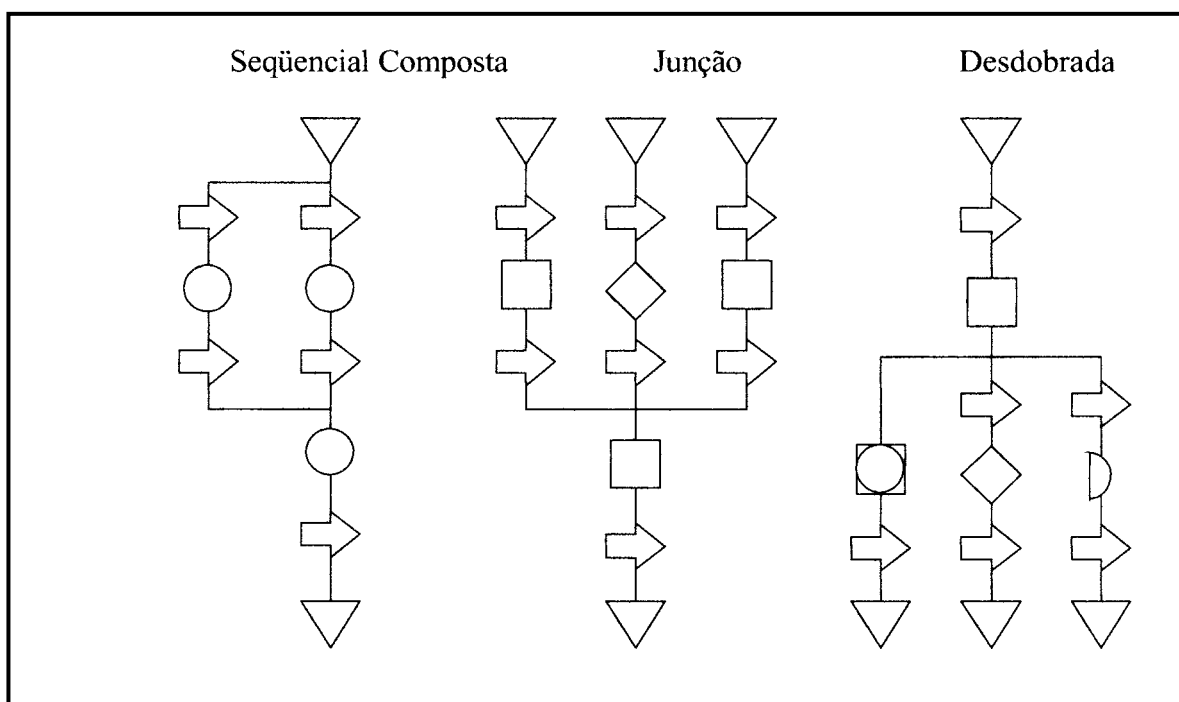


Figura 2.2 – Exemplos de configuração do fluxograma de processos, ROSA (2002).

2.2.5 Mapofluxograma

Segundo BARNES (1986), o mapofluxograma é o fluxograma desenhado sobre a planta do edifício ou layout para visualizar-se melhor o processo, a **Figura 2.3** apresenta um exemplo da entrada de peças compradas no almoxarifado, com as operações de recebimento e inspeção.

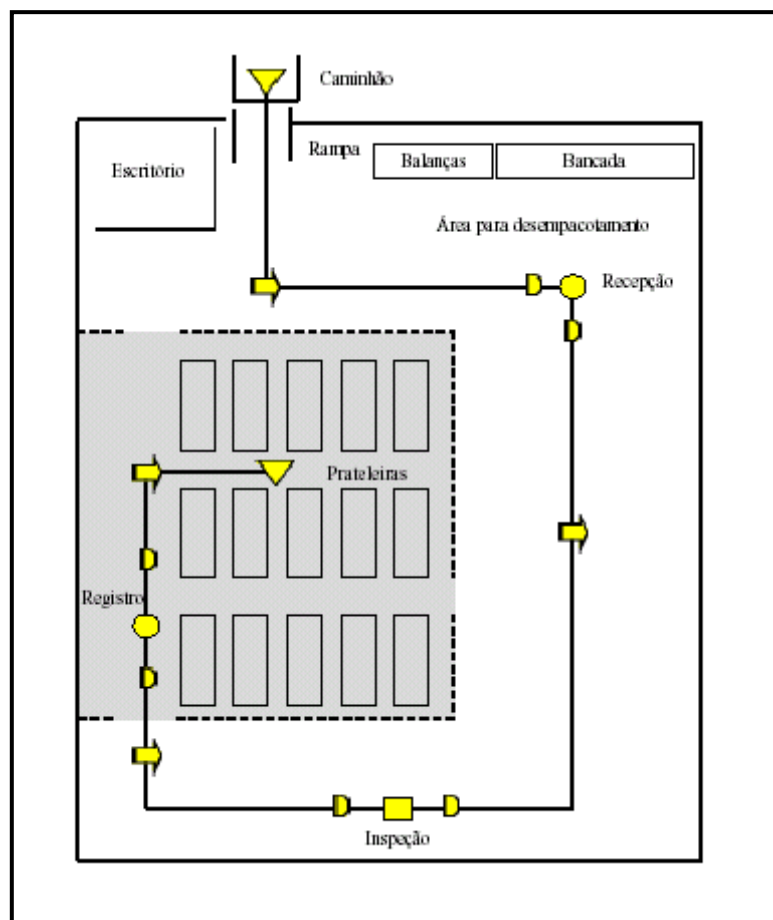


Figura 2.3 – Exemplo de um mapofluxograma, ROSA (2002)

2.2.6 Gráfico homem-máquina

Segundo BARNES (1986), o diagrama homem-máquina tem por objetivo o estudo da inter-relação entre o trabalho do homem e o da máquina identificando os tempos ociosos de ambos e balanceando a atividade do posto de trabalho, a **Figura 2.4** mostra um exemplo da aplicação do diagrama homem-máquina. Esta ferramenta é muito útil também no estudo do acoplamento entre operações de uma célula, visando à racionalização do uso da m.o. (mão-de-obra).

Freguês	t	Balconista	t	Moedor	t
Pede o café	5	Ouve a ordem	5	Parada	5
Espera	15	Pega o café Abre o pacote Prepara o moedor Despeja e aciona	15	Parada	15
Espera	21	Espera	21	Moe o café	21
Espera	12	Desliga Empacota Pesa	12	Parada	12
Recebe o café Paga Recebe o troco	17	Entrega o café Recebe Registra Dá o troco	17	Parada	17

Resumo	Freguês	Balconista	Moedor	Ciclo
Ocupado	22 seg.	49 seg.	21 seg.	70seg
Ocioso	48 seg.	21 seg.	49 seg.	

Figura 2.4 – Exemplo de diagrama homem-máquina para compra de café em uma mercearia, BARNES (1986)

2.2.7 Eficácia

Eficácia é a realização efetiva das coisas certas pontualmente e dentro dos requisitos especificados, a eficácia esta relacionada com a performance do sistema. Uma medida formal para eficácia pode ser estabelecida pela relação entre a saída obtida (OO) e a saída esperada (OE), fórmula 2.2 (SINK e TUTTLE, 1993).

$$\varepsilon = \frac{OO}{OE} \quad (2.2)$$

2.2.8 Eficiência

Conforme propõem SINK e TUTTLE (1993) uma definição para eficiência pode ser dada pela relação entre o consumo previsto e o consumo realizado, fórmula 2.3.

$$\xi = \frac{\text{consumo previsto}}{\text{consumo real}} \quad (2.3)$$

Segundo ROSA (1996) (apud SCHOMBERGER, 1988), existem outras duas formas de determinar a eficiência de uma operação:

- Pelo tempo padrão:

$$\xi = \frac{\text{tempo padrão por peça}}{\text{tempo efetivo por peça}} = \frac{t_p}{t_{ef}} \quad (2.4)$$

- Pela quantidade de peças produzidas:

$$\xi = \frac{\text{quantidade de peças fabricadas}}{\text{quantidade de peças planejadas}} = \frac{Q_{ef}}{Q_p} \quad (2.5)$$

2.2.9 Produtividade

Segundo SINK e TUTTLE (1993), a produtividade relaciona os resultados gerados pelo sistema organizacional com os recursos necessários para gerá-los, a **Figura 2.5** esquematiza esta definição. No conceito de GAITHER *et al.* (2001) a produtividade de um recurso é a quantidade de produtos ou serviços produzidos num intervalo de tempo dividido pela quantidade necessária desse recurso e ainda segundo os autores as variáveis como capital, material e mão de obra direta podem ser usadas para medir e determinar a produtividade em um intervalo de tempo.

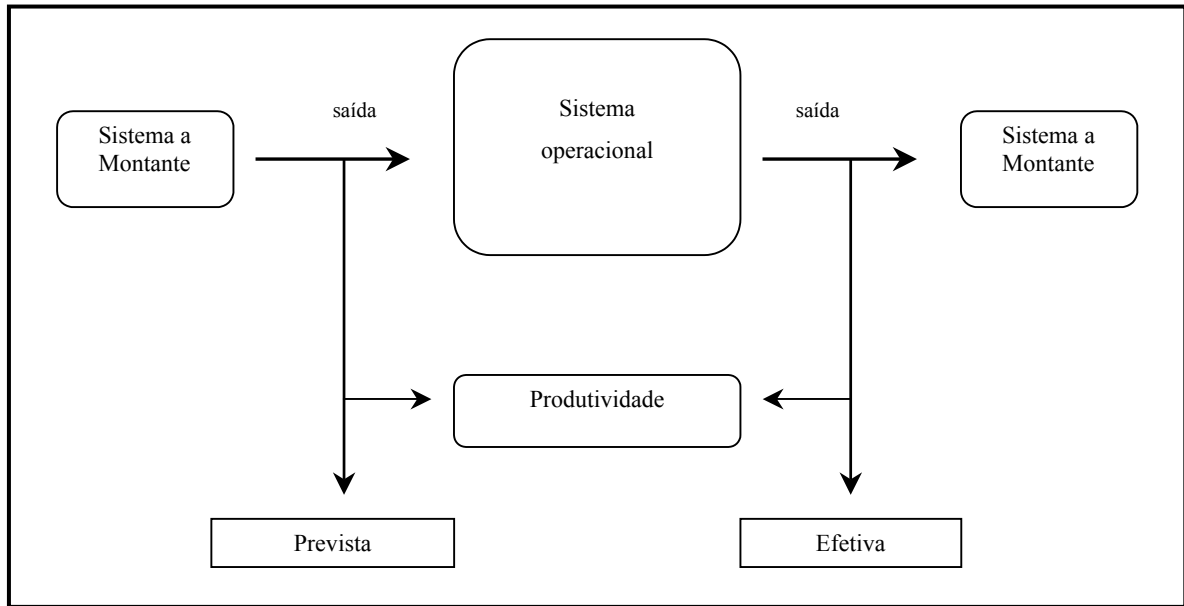


Figura 2.5 – Definição formal de produtividade, ROSA (1996)

Temos a produtividade prevista:

$$p_p = \frac{\text{saída previsto}}{\text{consumo previsto de recursos}} \quad (2.6)$$

Temos a produtividade efetiva:

$$p_E = \frac{\text{saída efetivo}}{\text{consumo efetivo de recursos}} \quad (2.7)$$

A produtividade poderá ser expressa, por exemplo: em peças/homem hora, tempo planejado/capacidade produtiva, faturamento/homem ou específico para um determinado setor como colocado por LOPES *et al.* (2001) em kg de estrutura detalhada/hora homem despendido como indicador de produtividade parcial no setor de estruturas metálicas é outro exemplo sugerido por RINALDI *et al.* (2002) para o setor de terminal de containeres: containeres/h/máquinas, containeres/gastos de operações e containeres/energia ou combustível.

2.2.10 Capacidade

Segundo SLACK *et al.* (1997) "a definição da capacidade de uma operação é o máximo nível de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo, que o processo pode realizar sob condições normais de operação".

O planejamento da capacidade deverá ser realizado no longo, médio e curto prazo. Sendo planejamento de longo prazo realizado com um horizonte de três a cinco anos, normalmente utilizado quando do dimensionamento de uma nova instalação ou como planejamento estratégico, e o planejamento de médio e curto prazo com um horizonte de 2 a 18 meses servindo como ferramenta de administração do dia a dia do gerente de produção em função da demanda. Segundo o mesmo autor, com o foco no planejamento de médio e curto prazo os gestores da produção precisam tomar decisões nas suas políticas de capacidade que afetarão diversos aspectos de desempenho:

- os custos serão afetados pelo equilíbrio entre capacidade e demanda, ou seja, caso a demanda for menor que a capacidade disponível o custo unitário aumentará;
- as receitas também serão afetadas, mas de maneira inversa, pois com capacidade ociosa há garantia de atendimento a demanda;
- o capital de giro será afetado se o gerente decidir produzir para estoque visando não ter capacidade ociosa;
- a qualidade também será afetada pelo planejamento da capacidade, pois se a empresa estiver com uma capacidade de mão-de-obra inferior à necessidade da demanda terá que contratar novos funcionários e o risco de produzir peças defeituosas aumentará;
- a velocidade de resposta (flexibilidade) a mudança de demanda do cliente;
- a confiabilidade de entrega poderá ser afetada caso a capacidade esteja muito próxima à demanda porque, por exemplo, uma máquina poderá quebrar e a empresa não terá tempo para “recuperar” o tempo parado.

A seqüência de decisões no planejamento e controle da capacidade a serem tomadas pelos gestores da produção, envolve três etapas, ilustradas na **Figura 2.6**.

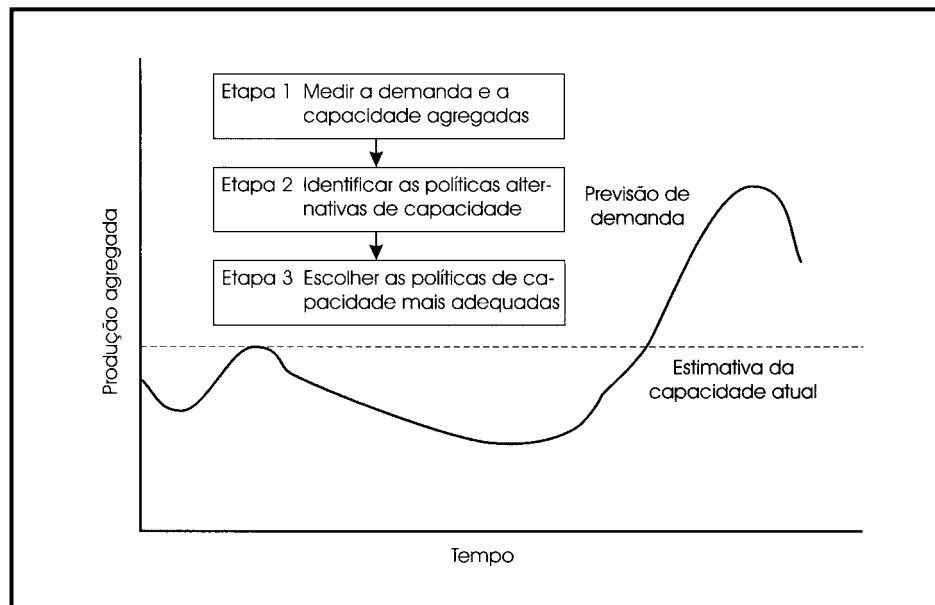


Figura 2.6 – Etapas do planejamento e controle de capacidade, SLACK *et al.* (1997)

A primeira etapa do planejamento consiste em entender e medir a demanda visando prever possíveis flutuações e o grau de capacidade disponível na organização para absorver estas flutuações. O tipo mais comum de flutuação é a sazonalidade do consumo, como por exemplo: na indústria alimentícia durante o verão aumenta-se a venda de maionese diminuindo a venda de sopas e no inverno ocorre o inverso; a flutuação também pode ocorrer de maneira aleatória como no episódio do ataque ao World Trade Center que provocou uma retração mundial de mercado. A segunda etapa do planejamento consiste em identificar as estratégias para lidar com esta flutuação da demanda, adotando uma das três estratégias básicas ou puras como chamou SLACK *et al.* (1997): ignorar a flutuação e manter o programa de produção, ajustar a capacidade à demanda ou ajustar a demanda à capacidade. Normalmente o gestor usa uma combinação das três estratégias visando o menor impacto econômico. A terceira etapa do planejamento é escolher qual a abordagem mais eficaz para a situação vivida no momento, pois uma solução adotada no passado pode não ser a mais correta para nova situação. O mesmo autor recomenda duas técnicas no auxílio à decisão: as representações acumuladas, que permitem comparar a demanda e a capacidade quanto à viabilidade. Na **Figura 2.7** há um exemplo de representação acumulada para uma política de capacidade constante; a teoria de filas, que avalia as consequências das estratégias adotadas em operações com filas, por exemplo, uma manufatura por lotes com a entrega de 300 lotes diferentes (em média) por dia a 50 clientes

distintos. YANG *et al.* (2001) mostram que o uso da simulação de Monte Carlo pode ser também uma opção de ferramenta de auxílio à escolha da melhor estratégia de planejamento da capacidade sob um ambiente de incertezas envolvendo as implicações financeiras e operacionais.

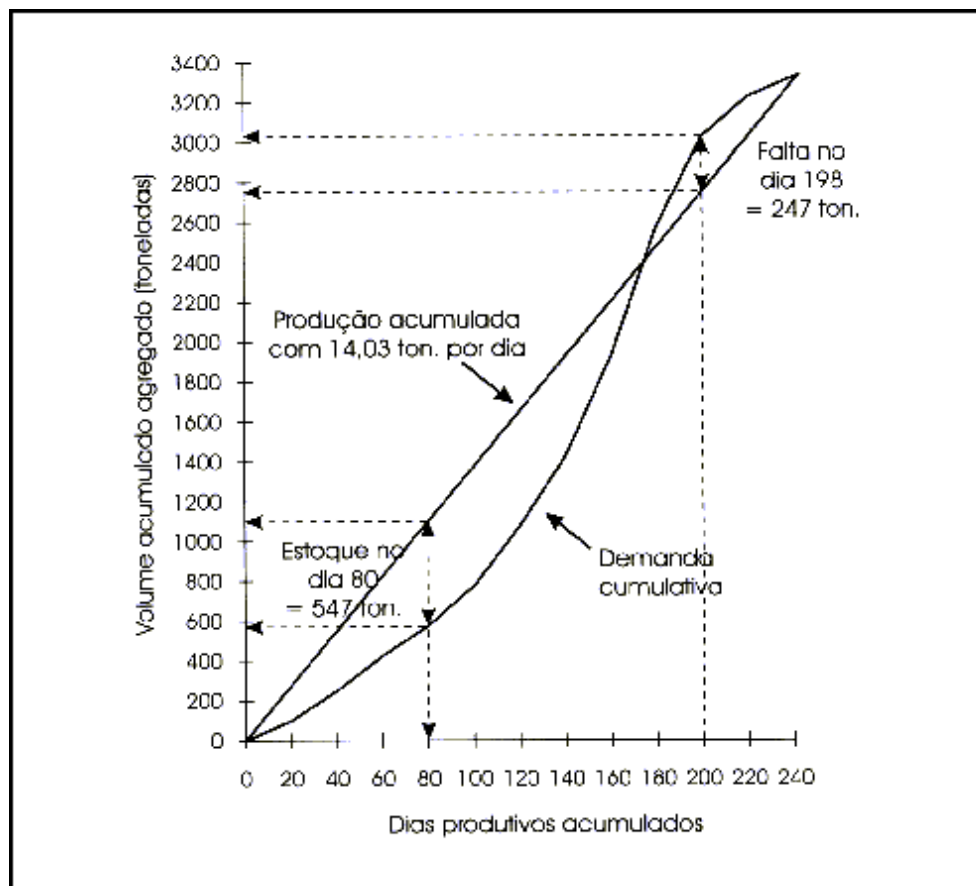


Figura 2.7 – Gráfico de demanda acumulada de uma política de capacidade constante, SLACK *et al.* (1997)

Determinar a capacidade produtiva de uma operação, célula ou planta não é um problema trivial, pois cada elemento possui características que alteram a sua capacidade (SLACK *et al.*, 1997), por exemplo, em uma máquina depende do seu estado de conservação, do mix de produção, do método de trabalho, do operador, do setup, da marca da ferramenta de corte, etc. Segundo o mesmo autor em operações de alto volume, repetitivas, de baixa variabilidade, as medidas de capacidade de produção são freqüentemente baseadas nos recursos de entrada necessários e porque as vendas são definidas em termos do volume de produção (por exemplo, número de televisores vendidos por mês) e nas operações complexas que produzem uma ampla variedade de itens, com

cada item necessitando de diversos insumos, as medidas de capacidade são normalmente baseadas nos insumos (como exemplo, ver a **Tabela 2.1**).

<i>Operação</i>	<i>Medida de capacidade de insumos</i>	<i>Medida de capacidade de volume de produção</i>
Fábrica de ar condicionado	Horas de máquina disponíveis	Número de unidades por semana
Hospital	Leitos disponíveis	Número de pacientes tratados por semana
Teatro	Número de assentos	Número de clientes entretidos por semana
Universidade	Número de estudantes	Estudantes graduados por ano
Loja de venda no varejo	Área de venda	Número de itens vendidos por dia
Companhia aérea	Número de assentos disponíveis no setor	Número de passageiros por semana
Companhia de eletricidade	Tamanho do gerador	Megawatts de eletricidade gerada
Cervejaria	Volume dos tanques de fermentação	Litros por semana

Nota: A medida mais comumente usada está mostrada em negrito.

Tabela 2.1 – Medidas de capacidade de insumos e produtos para diferentes operações, SLACK *et al.* (1997)

Na prática a dinâmica do planejamento e controle da capacidade é controlar e reagir às flutuações da demanda real no momento da ocorrência, ou seja, a flutuação prevista com antecedência ou ocorrida repentinamente, desta maneira o processo de controle pode ser visto como uma seqüência de processos de decisão parcialmente reativos. A **Figura 2.8** ilustra essa seqüência dinâmica de decisões.

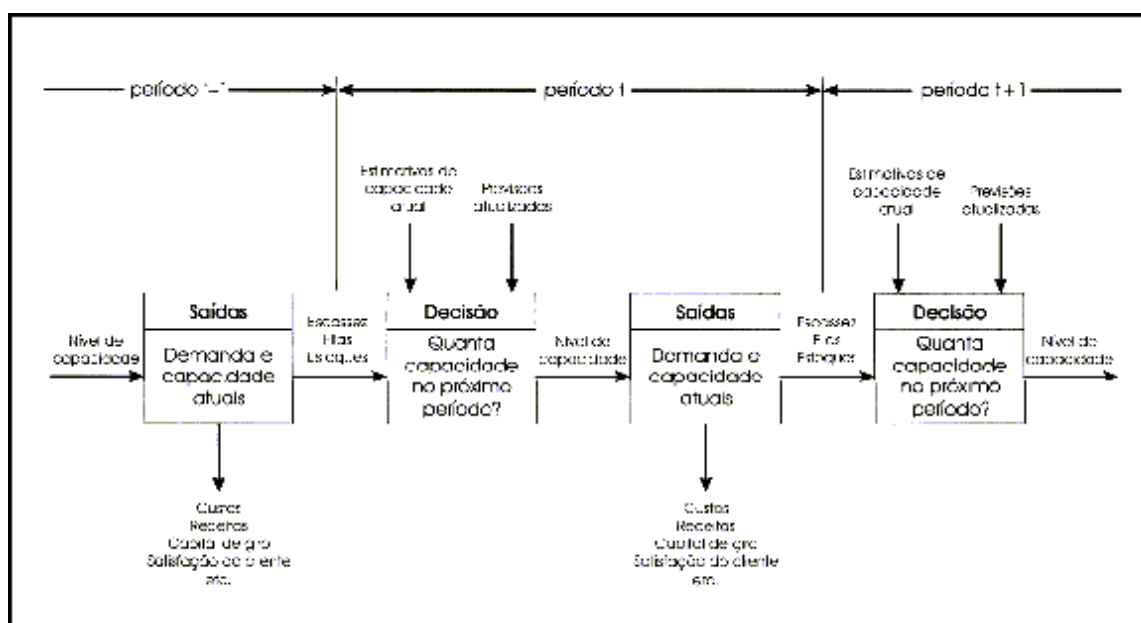


Figura 2.8 – Planejamento e controle da capacidade como uma seqüência dinâmica de decisões, SLACK *et al.* (1997)

2.2.11 Balanceamento de linhas

O balanceamento de uma linha de produção ou montagem é de fundamental importância para a empresa não perder eficiência, produtividade, oportunidades de vendas ou em resumo não perder dinheiro. Sendo este fato um consenso entre diversos autores (FERREIRA *et al.*, 2002; ALMEIDA, 2002; FERNANDES, 2000; SLACK *et al.*, 1997; TOLEDO JR, 1989b). Segundo FERNANDES (2000), o balanceamento de linha como um campo de estudos surgiu 41 anos após a construção da linha do Ford T e o termo balanceamento conceitualmente está ligado ao projeto de linha e os estudos efetuados após o projeto e implementação são rebalanceamentos de linha ligados a sua operação. ALMEIDA (2002) comenta em seu trabalho que nos anos 80 surgiu um novo sistema de gerenciamento industrial chamado OPT (Optimized Production Technology) também chamado de Produção Sincronizada evoluindo para a Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC), visando atender o objetivo maior da empresa que é o lucro.

O problema de balanceamento de linha consiste em harmonizar todas as atividades ligadas ao processo produtivo, focando o processo de uma forma macro (desde a entrada da matéria prima até a expedição do produto acabado) ou de uma forma micro (exemplo: uma célula de manufatura ou um setor de montagem) de modo que o tempo de processamento de cada estação posto ou célula de trabalho seja aproximadamente o mesmo, permitindo a produção fluir no mesmo ritmo entre as estações sem provocar estoques intermediários (SLACK *et al.*, 1997; TOLEDO JR, 1989b; GROOVER, 1995). SLACK *et al.* (1997) faz uma analogia interessante com relação ao balanceamento de linha comparando o processo produtivo com uma sequência de tubulações com diferentes diâmetros, por onde deverá fluir um líquido. Usando a capacidade de cada etapa de montagem uma fábrica de ar condicionado como a capacidade de vazão do trecho do conjunto de tubulações, como exemplo para ilustrar os estrangulamentos do processo, o autor chama o ponto crítico do escoamento de gargalo do processo (**Figura 2.9**).

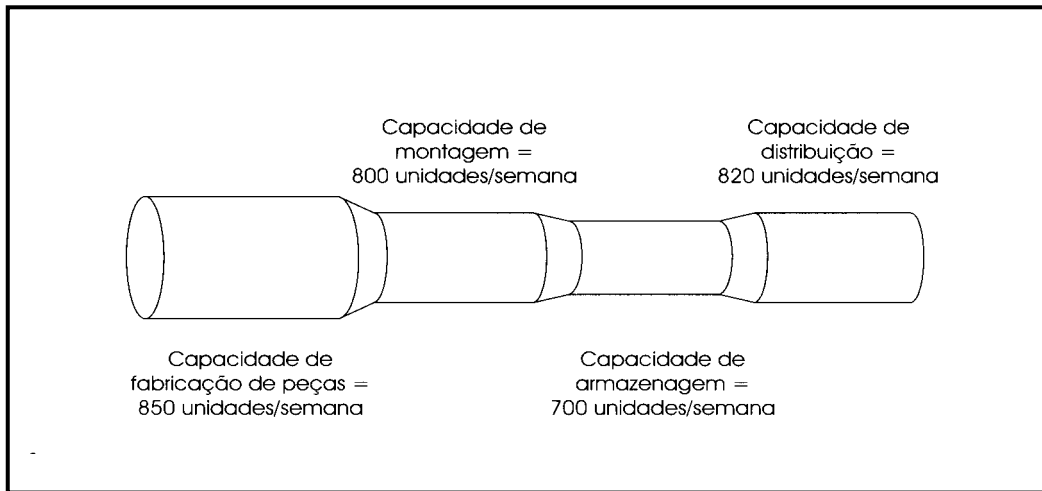


Figura 2.9 – Analogia do processo de produção com uma seqüência de tubulações, SLACK *et al.* (1997)

O ponto de partida para o balanceamento, segundo TOLEDO JR (1989), é o levantamento das informações básicas relativas ao processo, sendo: o roteiro de fabricação e/ou montagem do produto, os tempos padrões de cada operação, o programa de produção real ou esperado e a jornada de trabalho diária. Com estas informações inicia-se o projeto de balanceamento de linha:

- Cálculo do ritmo de produção ou taxa de produção:

$$\text{ritmo} = \frac{Q}{J} \quad [\text{produto / hora}] \quad (2.8)$$

Onde:

- Q = quantidade diária de produção
- J = jornada de trabalho diária

- Tempo total de trabalho no posto:

$$T_{tt} = \sum_{j=1}^n t_{p_j} \quad (2.9)$$

Onde:

- T_{tt} = tempo total de trabalho no posto
- t_p = tempo de trabalho de cada elemento do posto
- n = número de elementos de trabalho

- Fator de balanceamento:

$$Fb = \frac{J}{Q} = \frac{1}{\text{ritmo}} \quad (2.10)$$

- Número de postos de trabalho:

$$n_p = \frac{T_{tt}}{Fb} \quad (2.11)$$

- Número de pessoas:

$$n_{\text{pessoas}} = \frac{\text{ritmo} \times Q}{\text{tempo de trabalho por dia por pessoa}} \quad (2.12)$$

O cálculo do número de pessoas poderá sofrer variações em função do layout adotado, grau de automação da linha e características particulares do produto.

Como já exposto, a identificação e a correção do recurso gargalo no processo produtivo é de suma importância para o escoamento contínuo da produção. ALMEIDA (1993/2002) aborda o gerenciamento do gargalo de maneira clara com uma seqüência específica para a análise sobre o processo gargalo, descrita a seguir e ilustrada na **Figura 2.10**:

- identificar os componentes do lead time da linha;
- eliminar os elementos que não agregam valor;
- minimizar os elementos que não agregam valor, mas são necessários;
- reavaliar o método de trabalho da parcela produtiva.

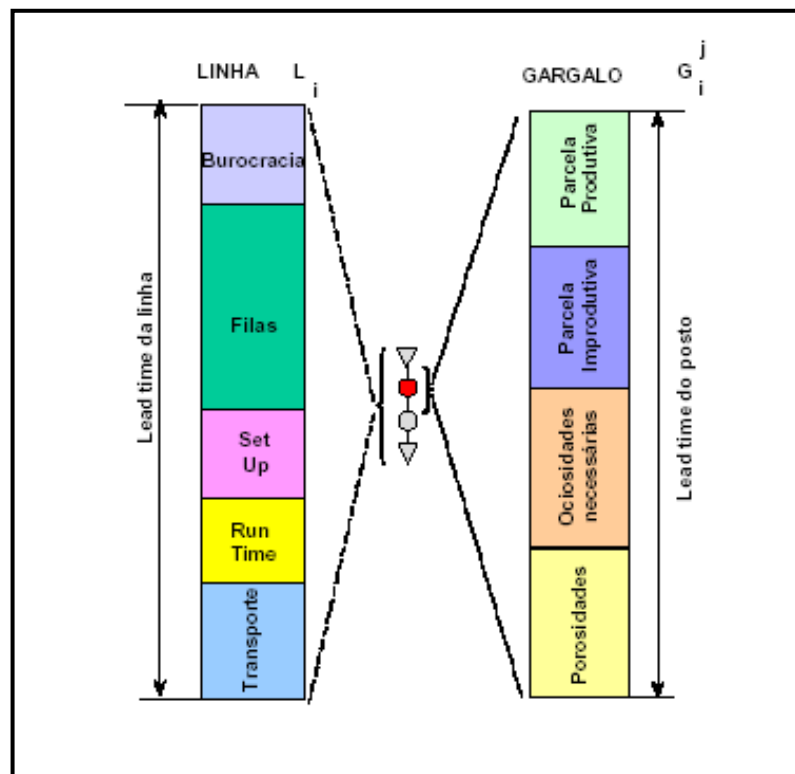


Figura 2.10 – Análise do processo gargalo, ALMEIDA (2002)

Um outro aspecto importante sobre o gargalo, citado pelo autor, é a sua transitoriedade ou mudança de localização dentro do fluxo produtivo. Isto poderá ocorrer quando se produz não um único produto, mas sim um mix de produtos onde podem ocorrer diferenças entre os tempos padrões de um produto A para um produto B no mesmo posto de trabalho ou devido a introdução ou retirada de produção de um produto ou por alterações de processo. No gerenciamento do gargalo deve-se adotar algumas ações: a sua eliminação, por exemplo, com a compra de um outro equipamento igual ao equipamento gargalo para trabalhar em paralelo. Se esta medida for muito dispendiosa para a empresa, naquele momento, pode-se atenuar os efeitos do gargalo com medidas administrativas: como exemplo, evitar a falta de produto (porosidade no sistema) na máquina gargalo, a equipe de manutenção deverá estar sempre disponível para atuação nesta máquina e manter itens de reparo sempre em estoque, desenvolver dispositivos de troca rápida de ferramentas - TRF (SMED - Single Minute Exchange Die and Tools) e também de carga / descarga ou terceirizar parte da produção (ALMEIDA, 2002).

As fórmulas de cálculo para o balanceamento, apresentadas acima, formam um conjunto simples para aplicação encontrando-se na literatura artigos utilizando formulações mais complexas como, por exemplo, a programação inteira. No artigo de FERNANDES

(2000) os leitores poderão encontrar uma aplicação usando a programação inteira e uma revisão sobre outras técnicas de balanceamento de linhas.

2.3 Layout

A distribuição e o arranjo de áreas de trabalhos iniciou-se com o comércio de forma intuitiva e com o desenvolvimento do sistema produtivo, maior atenção passou a ser dada à utilização do espaço. Esta atenção ao planejamento na utilização das áreas deve-se aos engenheiros químicos e de mineração alemã, a indústria de embutidos de carne em Chicago, a produtores de automóveis e a armadores britânicos. Com os estudos de Taylor, Barnes, Maynard, casal Gilbreth e de outros contemporâneos, o mero arranjo físico intuitivo passou a ter uma série de conceitos e técnicas de visualização de processos que permitiram a sua evolução para uma área de estudos com corpo próprio (MUTHER, 1978). O arranjo físico ou layout assumiu um papel de fundamental importância no processo produtivo, principalmente com as novas exigências de respostas rápidas do mercado globalizado (MUTHER, 1978; TOLEDO JR, 1984; SLACK *et al.*, 1997; BLACK, 1998; GONÇALVES FILHO, 2001; BALAKRISHNAN *et al.*, 2003). Segundo BALAKRISHNAN *et al.* (2003), a importância de um bom planejamento de layout pode ser percebida quando se olha para os gastos envolvidos, somente nos Estados Unidos, da ordem de US\$ 250 bilhões com planejamentos e re-planejamentos e deste total entre 20-50% das despesas são com a movimentação de materiais.

Segundo MUTHER (1978), o planejamento do layout inicia-se com o levantamento dos dados do produto a ser fabricado e a quantidade necessária, a este levantamento o autor chama de a chave PQRST para abrir as soluções do layout (**Figura 2.11**) Onde P é o produto, Q a quantidade (volume), R roteiro de fabricação, S os serviços de suporte e T o tempo.

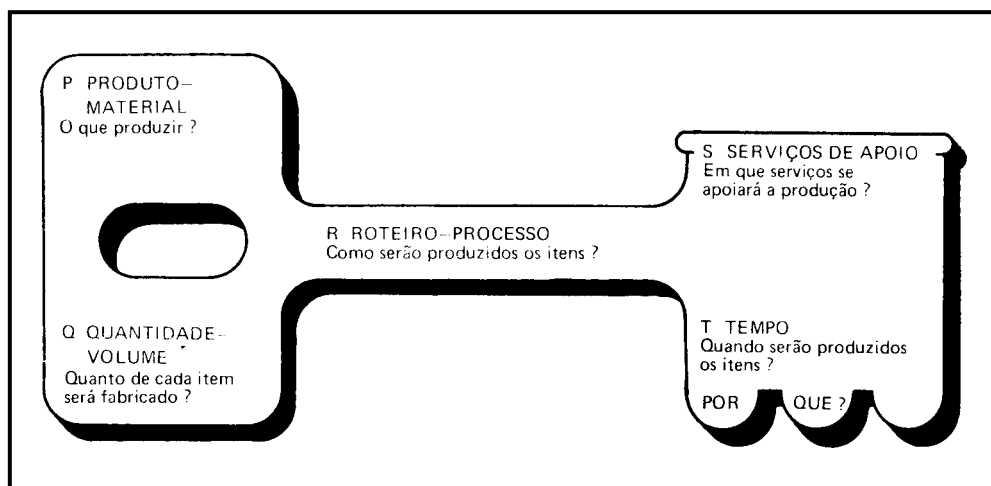


Figura 2.11 – Chave PQRST, MUTHER (1978)

As técnicas de estudo do layout evoluíram nas últimas décadas, saindo do estágio intuitivo, uso de ferramentas simples de cálculo e do bom senso dos projetistas, para o uso de sofisticadas técnicas de programação matemática e simulação. Como exemplo recente de aplicação podemos citar: BALAKRISHNAN *et al.* (2003) com a aplicação de um algoritmo genético híbrido para previsão do comportamento do fluxo de material ao longo do tempo e os impactos sobre o layout; YU e SARKER (2003) avaliando o fluxo de material através do layout e o custo associado, procurando identificar a melhor alternativa de layout utilizando um algoritmo de decomposição direcional - DDH (Directional Decomposition Heuristic); PATSIATZIS e PAPAGEORGIOU (2003) usa a programação não linear inteira - MINLP (Mixed Integer Non-Linear Programming) para determinar a melhor distribuição de áreas nos diferentes pavimentos de uma indústria do setor químico; YANG *et al.* (2003) usa a metodologia AHP/DEA (Analytic Hierarchy Process / Data Envelopment Analysis) para determinar qual a melhor alternativa de layout levando-se em consideração aspectos qualitativos e quantitativos.

Para diversos autores (MUTHER, 1978; SLACK *et al.*, 1997; BLACK, 1998; GONÇALVES FILHO, 2001), o conceito de arranjo físico ou layout é o mesmo podendo variar a nomenclatura utilizada. Os mesmos autores classificam o layout em quatro tipos principais de arranjo: arranjo físico funcional, arranjo físico em linha, arranjo físico de posição fixa e arranjo físico de processo contínuo.

2.3.1 Layout funcional

O layout funcional ou por processos caracteriza-se pelo agrupamento das máquinas por tipo ou função, por exemplo: seção de tornos, seção de fresadoras e seção de fornos. Este tipo de layout é mais aplicável quando o volume de produção é baixo e existe uma grande diversificação de tipos de produtos. Um exemplo de aplicação deste tipo de layout dentro de uma empresa é o setor de ferramentaria (**Figura 2.12**). Segundo TOLEDO JR (1984), as vantagens deste tipo de arranjo são: a boa distribuição de carga máquina, mobilidade na programação da produção e alto grau de utilização dos operários; e as desvantagens são: dificuldade em localizar lotes em produção, formação de filas entre os setores e normalmente o aumento de transporte do produto.



Figura 2.12 – Exemplo de layout funcional, setor de ferramentaria de uma empresa

2.3.2 Layout em linha

Este tipo de arranjo é caracterizado por grandes lotes de produção e máquinas para fins específicos. Possui menor variabilidade de produtos e maior mecanização. Normalmente as máquinas são dispostas na forma de linhas obedecendo à seqüência do processo do produto (**Figura 2.13**). Segundo TOLEDO JR (1984) e BLACK (1998), as vantagens deste tipo de layout são: grande capacidade de produção, baixo tempo de espera entre operações, alto grau de automação e baixo nível de perdas com transportes, normalmente automatizadas; e as desvantagens são: alto valor de investimento e baixa flexibilidade para a incorporação de novos produtos. Como exemplo de aplicação deste tipo de layout temos as linhas de montagem de automóveis.

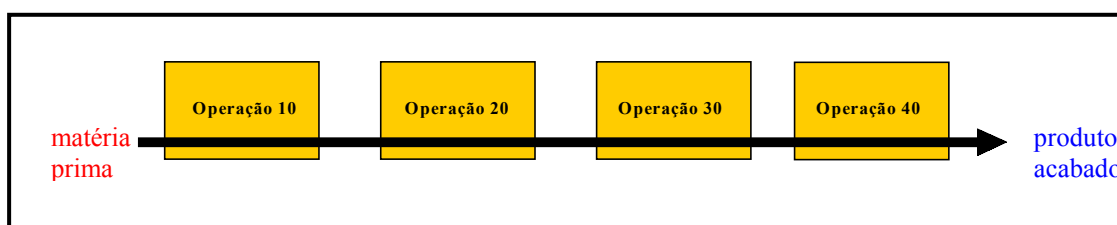


Figura 2.13 – Exemplo de layout em linha

2.3.3 Layout posicional

O layout posicional ou fixo é um tipo de arranjo para empresas de fabricação de bens sob encomenda, geralmente com o produto sendo de grandes dimensões como navios e aviões (**Figura 2.14**). Neste tipo de arranjo são os equipamentos, matéria prima e mão-de-obra que se movem até o produto (MUTHER, 1978).

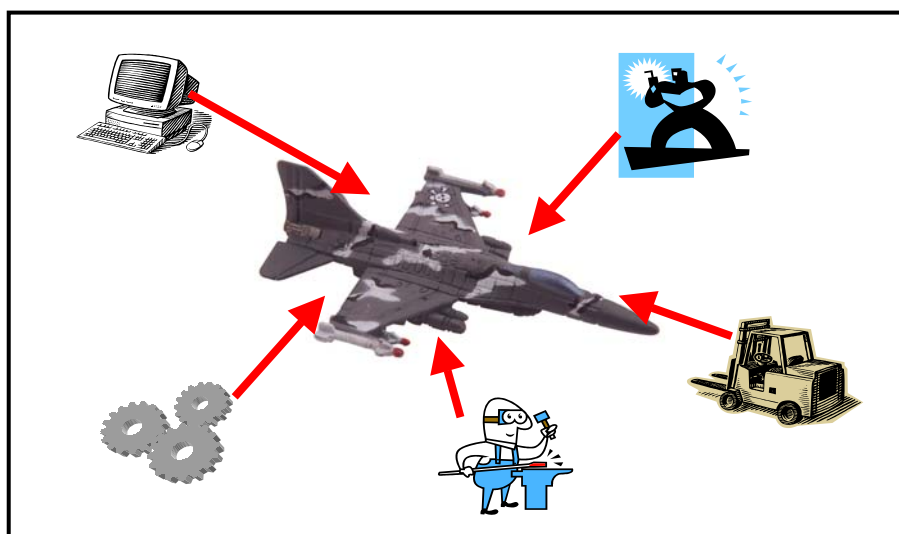


Figura 2.14 – Exemplo de layout posicional

2.3.4 Layout de processo contínuo

BLACK (1998) relata que neste tipo de arranjo físico o produto literalmente flui pelos equipamentos, pois são líquidos, pós ou gasosos. Este tipo de layout, por exemplo, é encontrado em refinarias e indústria alimentícia (**Figura 2.15**).

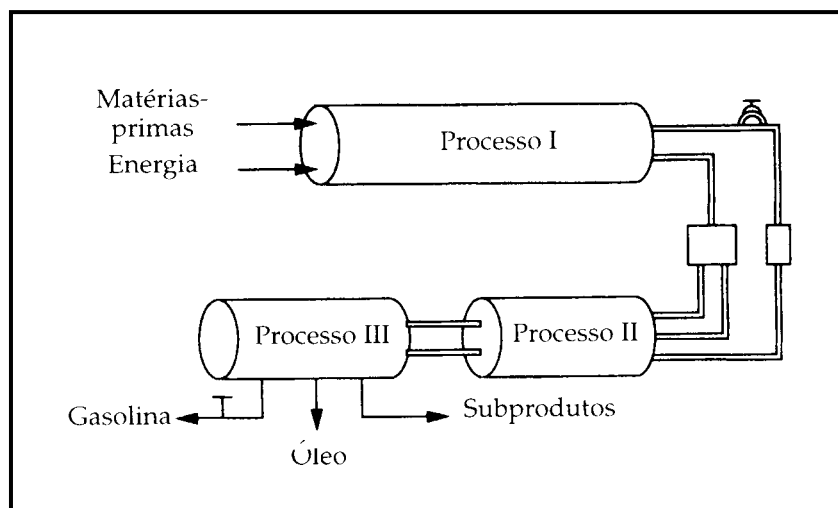


Figura 2.15 – Exemplo de layout de processo contínuo, BLACK (1998).

2.3.5 Layout celular

Este tipo de arranjo físico, segundo RUSSEL *et al.* (1998), pode ser considerado como uma tentativa de se conseguir a eficiência do layout por processo e ao mesmo tempo a flexibilidade para a produção de um mix de produtos semelhantes. BLACK (1998) e SLACK *et al.* (1997) definem o arranjo físico celular como um tipo de layout com o objetivo de montar mini-fábricas para diferentes famílias de produtos. O layout celular está baseado na aplicação da tecnologia de grupo, que é uma estratégia de manufatura que identifica similaridades entre os produtos a serem fabricados, agrupando-os em famílias de produtos. Conforme RUSSEL (1998), BLACK (1998), SLACK *et al.* (1997) e KUSIAK *et al.* (1994) o layout celular possui as seguintes características: agrupamento das máquinas normalmente na forma de "U" (**Figura 2.16**), produção em lotes, produção de um mix de produtos, disposição das máquinas de forma a permitir que um operador controle mais de uma máquina, fluxo de material mais organizado e melhor nível de qualidade.

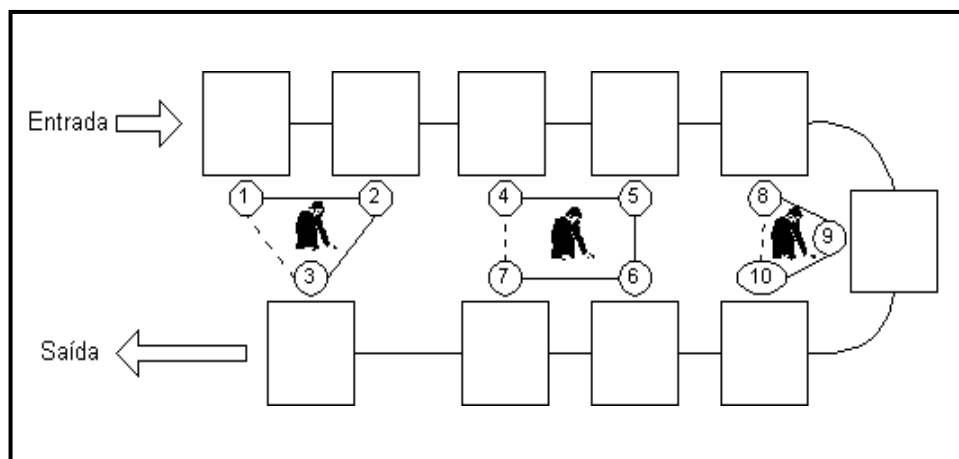


Figura 2.16 – Exemplo de layout celular, LOPES (1998)

BLACK (1998) apresenta, em seu livro, a **Figura 2.17** que ilustra bem a aplicação dos tipos de layout com os tipos de indústrias e volumes de produção. Na **Figura 2.18**, o mesmo autor, faz uma comparação dos diferentes tipos de sistemas de manufaturas (FMS, CNC, NC automatizadas e centros de usinagem de altíssima produção e automação) com o volume e o layout a ser empregado.

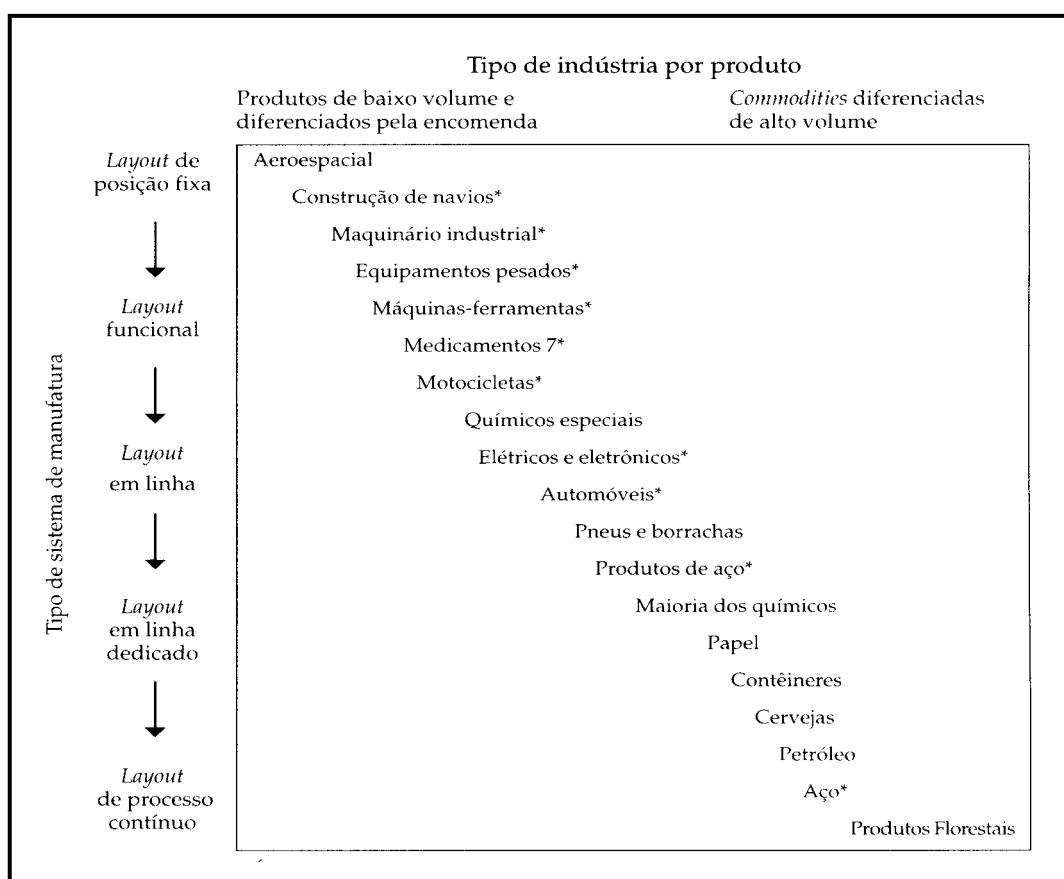


Figura 2.17 – Tipo de layout x tipo de indústria x volume, BLACK (1998).

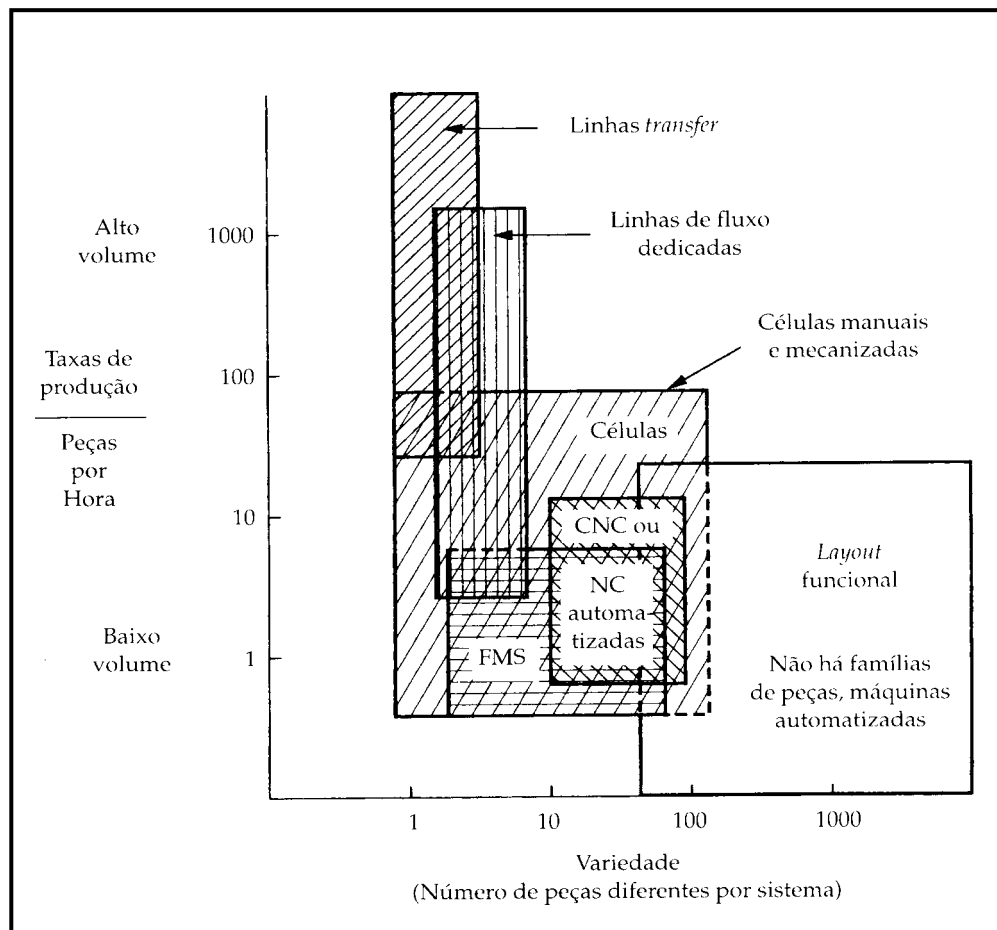


Figura 2.18 – Diferentes sistemas de manufatura x tipo de layout utilizado, BLACK (1998)

2.4 Tecnologia de Grupo

A Tecnologia de Grupo, (TG), segundo GROOVER (1995), é uma filosofia de manufatura, na qual as peças similares são identificadas e agrupadas de modo a retirar vantagens de sua similaridade durante a sua fabricação ou projeto. Para DOWLATSHAHI *et al.* (1997), a TG está apoiada no conceito de similaridade entre as peças produzidas. Segundo os mesmos autores, as peças podem ser similares na geometria, nos materiais utilizados na fabricação ou atributos de processo. Deste modo, o conceito fundamental da Tecnologia de Grupo é decompor o sistema de manufatura em vários subsistemas, capazes de processar um determinado grupo de peças similares, que na Tecnologia de Grupo são denominadas famílias de peças (KUO *et al.*, 2001).

Para LOPES (1998), a Tecnologia de Grupo é a ferramenta utilizada para formar células de manufatura. As técnicas existentes para formação de célula derivam do conceito

da tecnologia de grupo, explorando as semelhanças entre as peças para se obter vantagens operacionais e econômicas mediante um tratamento de grupo.

Dentre alguns resultados da aplicação da Tecnologia de Grupo enumerados por BURBIDGE (1996), destacam-se as vantagens com redução no tempo de produção; melhoria de qualidade; redução no custo com transporte de material; redução no tempo de setup; aumento da capacidade; redução na obsolescência dos materiais e melhoria na satisfação dos empregados. Entretanto, o mesmo autor alerta que o simples fato de implantar a Tecnologia de Grupo não garante os resultados, ou seja, é necessário que sejam tomadas ações no sentido de atingir o objetivo que se deseja, principalmente com relação às pessoas envolvidas tanto na operação quanto no gerenciamento e planejamento.

Para BURBIDGE (1996), a primeira etapa na implantação da tecnologia de grupo consiste em determinar o grupo de peças, planejando uma divisão total dos produtos em famílias, com base em alguns atributos. Os atributos necessários para classificar as peças em famílias podem ser de dois tipos: atributos de projeto ou atributos de processo. Para KAMRANI *et al.* (1997), os atributos de projeto são características das peças associadas com o projeto e função da peça, como por exemplo, tamanho e propriedades geométricas ou de material do tipo de peça. Os atributos de processo se referem ao processo requerido para produzir a peça, como por exemplo, sequência de processamento e ferramentas necessárias para a fabricação da peça.

Quanto aos meios para agrupar as peças em famílias, podem ser adotados os seguintes métodos: inspeção visual, classificação e codificação, análise do fluxo de produção.

Inspeção Visual é o método menos sofisticado com a vantagem de requerer pouco investimento e as desvantagens são: a necessidade de grande experiência de quem irá fazer a classificação e o tempo gasto com a manipulação física das peças (LORINI, 1993).

Classificação e codificação é um método onde os atributos de projeto e/ou manufatura de cada peça são examinados e usados para gerar um código alfa numérico pelo qual os tipos de peças são identificados, normalmente variando entre seis e trinta dígitos (GROOVER, 1995). A vantagem deste sistema é o estabelecimento claro de regras a serem seguidas para classificar uma peça, retirando do processo de classificação o critério subjetivo do analista (LORINI, 1993). Este código poderá ser usado para identificação do produto dentro do sistema de fabricação, permitindo a informatização do sistema e a ligação das informações com outros setores, como por exemplo, o PCP da empresa ou envio de informações para o sistema CAD/CAM.

Análise do fluxo de produção é o método pelo qual a informação contida na rota de processo da peça é usada para classificar a peça em uma determinada família. Segundo MOTEVECHI (1996), esta técnica pode ser resumida em três fases: na primeira fase estuda-se o fluxo de materiais e peças entre os departamentos da empresa e depois o fluxo em cada departamento; na segunda fase agrupam-se as rotas similares, formando as famílias de peças; na terceira fase estuda-se o fluxo dentro da célula formada para processar uma determinada família de peças.

2.4.1 Métodos de formação de células de manufatura

O problema de formação de célula consiste em determinar, com base em um conjunto de informações, células de processamento interdependentes, que minimizam a movimentação intercelular (TAHARA *et al.*, 1997). Para SELIM *et al.* (1997), as informações necessárias para a determinação das células de manufatura, podem ser: número, tipo e capacidade das máquinas de produção; números e tipos de peças a serem manufaturadas; as rotas das peças e as máquinas que processam cada peça.

Entretanto, YASUDA e YIN (2001) afirmam que um ponto vital para a fase de formação das células de manufatura é a capacidade de se levar em conta às peculiaridades do processo de produção de cada organização que decidir implementar a manufatura celular. Deste modo, existem diversos métodos, que consideram alguns fatores para a formação de uma célula de acordo com as vantagens e necessidades que se deseja obter ao optar pela manufatura celular.

Alguns fatores utilizados para a decisão no processo de formação de célula são enumerados por LUONG *et al.* (2002), sendo os fatores apontados: volume de produção, variedade de produtos, rota dos produtos durante o processamento, tempo de processamento, tempo de setup e as restrições existentes em cada organização. O mesmo autor salienta que as informações a respeito do custo envolvido na implementação e operação do sistema celular de manufatura devem ser consideradas não só para verificar a disponibilidade de recursos da organização para implementar o sistema celular, mas principalmente para ser um ponto de referência na avaliação de performance do sistema e sua melhoria contínua.

Os métodos de formação de célula foram abordados por SELIM *et al.* (1997) e TAHARA *et al.* (1997), em suas revisões bibliográficas, destacando a existência de classes de métodos de formação de célula de manufatura (**Figura 2.19**) podendo ser agrupados da seguinte forma: processos descritivos (heurístico, classificação e codificação), que envol-

vem técnicas de formação de famílias de peças antes da formação do grupo de máquinas e técnicas que formam simultaneamente a família de peças e o grupo de máquinas; processo de análise de grupo, que busca em um conjunto de dados, obter relações entre eles; métodos que utilizam a técnica de partição de grafos; métodos que utilizam inteligências artificiais, sendo utilizados para sistemas automatizados; métodos que utilizam a programação matemática (programação linear, programação quadrática e programação dinâmica).

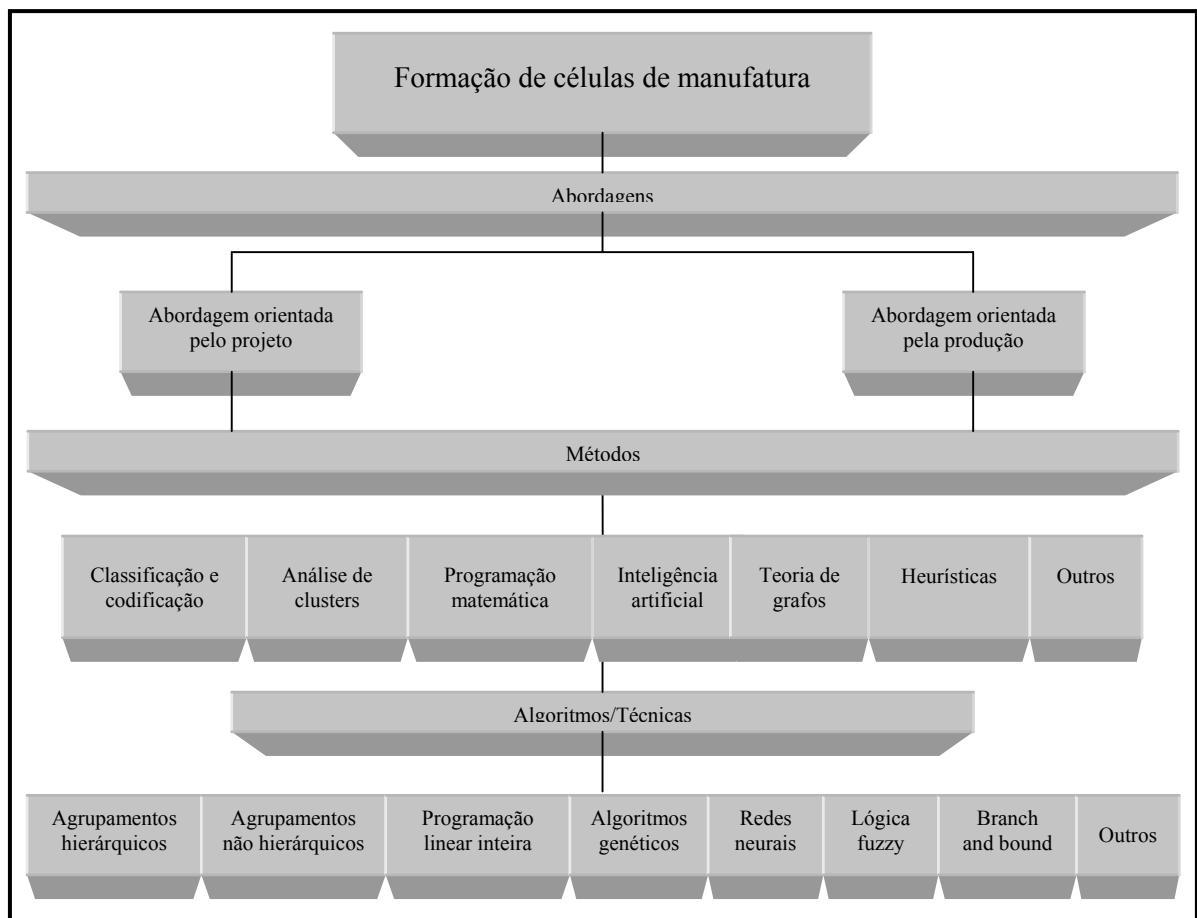


Figura 2.19 - Classificação dos métodos de formação de célula, TAHARA *et al.* (1997)

2.4.2 Processo descritivo

Os métodos de formação de célula, que compõe os processos descritivos, podem ser divididos em três grupos: o primeiro grupo se refere aos métodos que primeiro identificam as famílias de peças e posteriormente alocam as máquinas de acordo com as famílias de peças (FP); o segundo grupo se refere aos métodos que primeiro identificam um determinado grupo de máquinas e depois as peças que processam (MG); o último grupo

utiliza a combinação dos dois anteriores, ou seja, são os métodos que identificam as famílias de peças e agrupam as máquinas simultaneamente (PF/MG) (SELIM, 1997).

Um caso prático para o problema de determinação de célula e seleção das rotas das peças, procurando minimizar os custos de operação e movimentação de material entre as células, é apresentado por SARKER e LEE (1997). No modelo desenvolvido, foram incluídas as informações a respeito da demanda de peças, capacidade das máquinas, número de células a serem formadas e o número de máquinas dentro das células. Os autores utilizaram a programação inteira como ferramenta de abordagem para o problema de formação de célula, de modo que todas as máquinas sejam utilizadas e a capacidade de cada máquina não seja excedida. Entretanto, LEE e CHIANG (2002) alegam que a aplicação da programação inteira poderá não ser viável, devido a sua natureza, problemas de formação de células com grande número de máquinas/peças e roteiros de fabricação. Sendo mais viável a utilização de métodos heurísticos.

LEE e CHIANG (2002) contribuem para os métodos de formação de células que se enquadram nos processos descritivos, desenvolvendo um algoritmo para a formação de famílias de peças simultaneamente com a formação dos grupos de máquinas. O objetivo principal da pesquisa realizada por LEE e CHIANG (2002) é utilizar diversos parâmetros no processo de formação das famílias de peças em conjunto com o processo de formação dos grupos de máquinas. Dentre os muitos parâmetros de decisão citados, têm-se: demanda por peça, rota de processamento das peças, tempo de processamento e, principalmente custo com movimentação de material.

2.4.3 Análise de grupos

Segundo TAHARA *et al.* (1997), a análise de agrupamento é um método que examina a similaridade entre cada par de objetos, formando grupos de tal forma que dentro de cada grupo os objetos são altamente similares. Para SELIM *et al.* (1997), o objetivo principal desta ferramenta estatística é agrupar objetos, entidades ou seus atributos em grupos, de modo que cada elemento se associe dentro de um grupo e os grupos tenham uma determinada associação entre si. Os métodos que compõe a análise de grupo podem ser classificados em: técnicas de agrupamentos baseadas em disposição, técnicas hierárquicas de agrupamento e técnicas não-hierárquicas de agrupamentos.

Entre os inúmeros métodos de agrupamento, podem-se citar como exemplos: Single Linkage Method, Complete Linkage Method, Average linkage Method e Median Method. A análise de agrupamento pode requerer a formação de uma matriz componente-máquina

que poderá ser re-arranjada pelo método manual ou por meio de algoritmos de agrupamento, como o Rank Order Clustering (ROC), Direct Clustering Analysis (DCA) (TAHARA *et al.*, 1997).

Um exemplo de aplicação do conceito da análise de grupo, na formação de célula de manufatura, é apresentado no trabalho de YASUDA e YIN (2001). A técnica consiste em mensurar a dissimilaridade entre pares de máquinas através de um coeficiente, chamado AVV (average void value). O algoritmo criado funciona da seguinte maneira:

- O primeiro passo é a construção da matriz AVV: a matriz AVV é construída com base em uma primeira matriz que relaciona máquina/peça, conforme mostra a **Figura 2.20**. Nesta primeira matriz, cada peça processada por uma máquina é representada com peso um, do contrário peso zero. A matriz AVV relaciona cada máquina com as demais. Assim, compara-se cada par de máquinas da seguinte maneira: se para uma determinada peça, uma das máquinas a processa e a outra não, o conjunto recebe peso um. Ao final, somam-se todos os pesos que expressam os quantos essas máquinas não são similares. A **Figura 2.21** mostra a matriz AVV obtida com este raciocínio.

		Peça								
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Máquina	M1					1	1		1	
	M2		1		1		1	1		
	M3	1		1		1				1
	M4		1		1			1		
	M5			1		1				1
	M6		1		1			1	1	
	M7	1		1		1				1

Figura 2.20 – Matriz inicial peça x máquina

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
M1		5	5	6	4	5	5
M2			8	1	7	2	8
M3				7	1	8	0
M4					6	1	7
M5						7	1
M6							8

Figura 2.21 - Matriz de similaridade entre as máquinas – AVV

- O segundo passo é encontrar o menor valor de AVV para um grupo de máquinas (a análise pode ser feita aos pares de máquinas) da matriz AVV. Caso ocorra um empate entre os valores, selecione um grupo de máquinas arbitrariamente.
- Após comparar e analisar os valores do AVV, o próximo passo é agrupar as máquinas em células. Caso o desejado número de células não for atingido, devem-se repetir os passos acima.

De modo a completar o algoritmo, as peças precisam ser alocadas nos grupos de máquinas determinados pelo algoritmo. Isto pode ser obtido alocando cada peça em um grupo de máquinas, no qual ela poderá fazer o máximo de operações.

WANG (2003), propôs um novo algoritmo de determinação de famílias de peças ou células baseado no agrupamento linear para resolver o problema das peças ou máquinas sem alocação nos outros métodos, utilizando a comparação entre os coeficientes de similaridade das peças ou máquinas maximizando o índice de similaridade.

2.4.4 Método de partição de Grafos

Um grafo $G(S,A)$ é um conjunto finito não vazio S e um conjunto A de pares não-ordenados de elementos de S . Os grafos podem ser visualizados pela sua representação geométrica, onde os nós se referem a pontos distintos sobre o plano e os arcos se referem a linhas unindo os pontos correspondentes (TAHARA *et al.*, 1997). Para SELIM *et al.* (1997), os métodos de partição de grafos aplicados ao processo de formação de células, tratam as máquinas e as peças como pontos ou nós e a similaridade como sendo arcos que conectam esses nós. Esse modelo tem o objetivo de obter grupos separados de sub-grafos de um grafo máquina-máquina ou máquina-peça, de modo a identificar as células de manufatura.

2.4.5 Inteligência artificial

Os métodos de formação de células que se baseiam na inteligência artificial usam como base às características geométricas da peça e as características do processo. As técnicas de formação de célula que se encaixam nesta classe buscam mecanizar o processo de análise das peças e do processo para formação das células de manufatura. A diferença básica entre os métodos desta categoria depende do grau de automatização do processo produtivo.

Um exemplo da aplicação da inteligência artificial em projeto de células de manufatura pode ser encontrado na pesquisa desenvolvida por KUO *et al.* (2001). Neste trabalho, os autores desenvolveram um modelo que integra a teoria de fuzzy set com redes neurais para agrupar peças em várias famílias, baseado nas imagens capturadas em um sensor. O modelo proposto consegue reconhecer e comparar a peça com algumas já existentes em uma base de dados CAD (computer aided design). Deste modo, em um projeto ou fabricação de um novo produto, é possível reconhecer com certa precisão a similaridade entre o novo produto e algum já existente na base de dados.

2.4.6 Programação matemática

Para TAHARA *et al.* (1997), o problema de formação de célula pode ser solucionado utilizando-se os métodos de programação matemática desde que o problema possa ser descrito através de um modelo, onde uma ou mais funções objetivos deverão ser otimizadas. Os métodos de formação de células que utilizam a programação matemática podem ser divididos, de acordo com a formulação, nos seguintes grupos: programação linear (PL), programação inteira linear ou quadrática (PIL ou PLQ) e programação dinâmica (PD). Geralmente a sua utilização é para um objetivo muito específico, como minimizar custos ou tempos (LORINI, 1993).

CHEN e HERAGU (1999) utilizam a programação matemática para resolver problemas que ocorrem em indústrias de grande porte. A técnica desenvolvida consiste em dividir o sistema em diversos subsistemas e utilizar a programação matemática para avaliar os subsistemas. A função objetivo da modelagem matemática representa o custo de movimentação e não utilização dos recursos, o qual se deseja minimizar.

XAMBRE e VILARINHO (2003), aplicaram a programação matemática na solução do problema de formação de células de manufatura, onde uma família de peças possui um processo similar ao de outra e existe a necessidade do uso da mesma célula. O objetivo foi o de minimizar o fluxo entre células e o número de células formadas.

2.5 Programação da produção

Este tópico tratará da incerteza existente na programação da produção. Para a programação da produção são usados os tempos padrões das operações, determinados conforme descrito no item 2.2.1. Estes tempos são uma média da variação realmente existente na operação, segundo PINHO (1999), esta variação dos tempos interfere na precisão da programação podendo levar a um sequenciamento que poderá não ser o ótimo do ponto de vista do tempo total envolvido na produção desta seqüência de produção.

Segundo MONTEVECHI (1995) *apud* PINHO (1999), para considerar as incertezas e ambigüidades existentes nos sistemas de manufatura a lógica fuzzy é uma boa ferramenta a ser empregada, pois é um meio de aproximar a precisão da matemática clássica e as variações existentes no mundo real.

2.5.1 O problema da programação de tarefas

A programação da produção tem como objetivo maximizar a taxa de produção e de minimizar o tempo total do fluxo das operações (lead time), através da ordenação de entrada dos lotes a serem executados na produção (PINHO, 1999). Segundo o mesmo autor, o problema de programação esta na alocação de recursos no tempo e na seqüência correta de forma que o resultado gerado seja a conclusão do conjunto de tarefas no menor tempo possível.

Existem diversos tipos de padrões para o fluxo de produção, sendo o fluxo de produção o percurso por onde o produto passa até o seu acabamento (chamado também de roteiro de fabricação). MACCARTHY e LIU (1993) propuseram uma classificação dos tipos de problemas de programação baseados nos tipos de fluxo de produção em função do número de máquinas (m) e da quantidade de cada tipo de máquina disponível para cada tarefa (k_j , $j = 1, 2, \dots, m$) esquematizada na **Figura 2.22**.

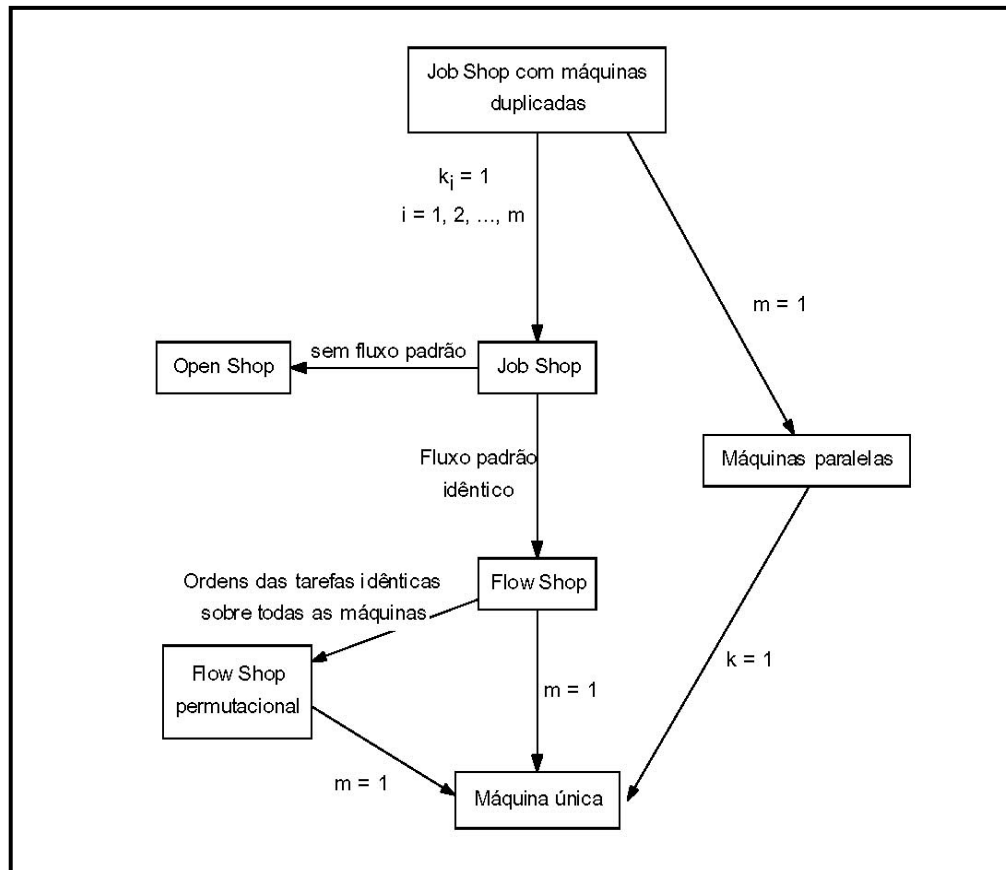


Figura 2.22 – Classes de problemas de programação, MACCARTHY e LIU (1993)

Segundo PINHO (1999), a caracterização de cada classe é a seguinte: o tipo job shop caracteriza-se por apresentar um conjunto de m máquinas distintas com o fluxo de trabalho não sendo direcional, permitindo a cada máquina a possibilidade de: iniciar, terminar e prosseguir um processo; o job shop com máquinas duplicadas é um tipo de job shop onde a importância maior é dada aos estágios de processamento ao invés das máquinas, existindo k_i máquinas idênticas em cada estágio e qualquer tarefa requer somente uma operação em cada estágio usará somente uma dessas máquinas, o open shop é um job shop geral pelo qual não existe um fluxo padrão a ser seguido, onde uma máquina poderá processar a mesma peça em duas ou mais etapas não consecutivas; para máquinas paralelas existe somente um tipo de máquina ($m = 1$) com k máquinas idênticas, sendo que cada operação necessita de somente uma máquina; o tipo flow shop possui uma configuração de m máquinas distintas e o fluxo de trabalho é unidirecional (as máquinas estão dispostas em série) e as entradas e saídas poderão ocorrer em qualquer máquina **Figura 2.23(a)**; o tipo flow shop permutacional a disposição das máquinas também é em série, mas todas as máquinas são utilizadas pela peça ou tarefa com um ponto específico de entrada e outro de saída (**Figura 2.23(b)**); e máquina única é o tipo de representação onde existe somente um

tipo de máquina e somente uma máquina deste tipo, este tipo de representação é útil para a simplificação de estudos e estudos em máquinas gargalo.

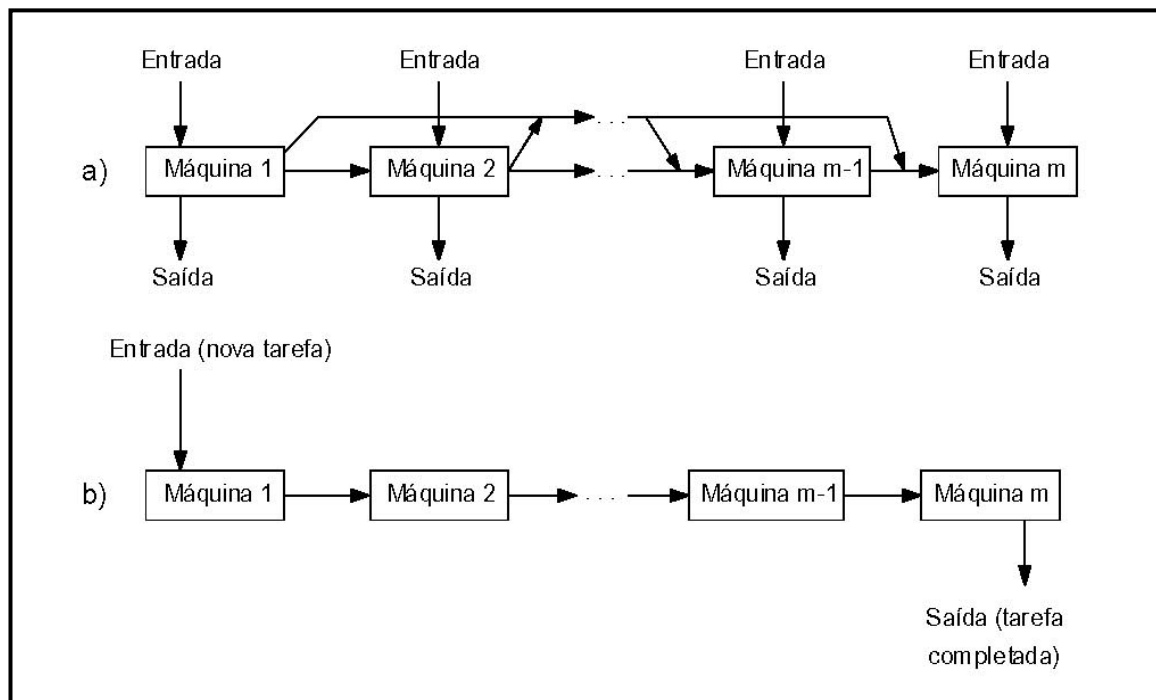


Figura 2.23 – Fluxos: (a) Flow shop e (b) Flow shop permutacional, Baker (1974)

2.5.2 Algoritmos para a programação de tarefas

Os algoritmos empregados na programação de tarefas ou operações são divididos em dois grupos em função da abordagem empregada: o primeiro grupo é o chamado de procedimentos heurísticos, onde o objetivo é conseguir programações viáveis boas e não necessariamente ótimas e o segundo grupo é chamado de procedimentos ótimos, onde o objetivo é encontrar a programação ótima (PINHO, 1999). Segundo o mesmo autor, o uso da programação ótima é pouco empregado pela sua dificuldade de aplicação nos problemas reais, onde se têm muitas tarefas e o esforço computacional é muito grande. Por outro lado, a programação heurística é largamente usada pela sua “facilidade” em lidar com um grande número de tarefas com um esforço computacional aceitável. Entre os principais algoritmos heurísticos existentes, segundo MOCCELIN e NAGANO (1999) *apud* PINHO (1999), o algoritmo heurístico NEH proposto por NAWAS *et al.* (1983) é um dos melhores.

O algoritmo NEH baseia-se, segundo os seus autores, no tempo total gasto na execução de uma tarefa ou operação. A tarefa que necessitar do maior tempo de processamento será a que terá prioridade no sequenciamento em detrimento das que

necessitarem de menor tempo. Este algoritmo procura uma solução boa e viável com um resultado próximo ao do ótimo. O algoritmo NEH está detalhado no **Quadro 2.2** abaixo.

Passo 1	Calcular o tempo total necessário à execução de cada tarefa, somando-se os tempos de processamento em cada máquina.
Passo 2	Ordenar as tarefas de forma decrescente de acordo com tempos somados no passo 2.
Passo 3	Selecione as duas primeiras tarefas com o maior tempo de processamento fazendo os seqüenciamentos e escolhendo a seqüência com o menor tempo total de execução. Esta seqüência não será mais trocada nos próximos passos.
Passo 4	Escolher a próxima tarefa determinada no passo 2 e acrescentá-la à seqüência obtida no passo 3. Alternar sua posição na lista verificando qual será o menor tempo de processamento, esta será a nova seqüência.
Passo 5	Se todas as tarefas foram contempladas, parar. Se existirem tarefas não seqüenciadas, voltar ao passo 4.

Quadro 2.2 – Algoritmo NEH

O número total de iterações é obtido pela fórmula 2.13, onde n é o número de tarefas ou operações. Conforme os autores, se todas as soluções fossem testadas ter-se-ia $n!$ iterações, que é maior que o número de iterações necessárias aplicando-se o algoritmo.

$$\frac{n(n+1)}{2} - 1 \quad (2.13)$$

Como exemplo de aplicação do algoritmo NEH, suponha um problema de seqüenciamento de operações envolvendo três tarefas e quatro máquinas (**Tabela 2.2**).

	Máquinas (M _j)			
Tarefas (J _i)	M1	M2	M3	M4
J1	9	6	10	4
J2	5	4	11	5
J3	8	5	6	9

Tabela 2.2 – Matriz tempo x máquina das tarefas

Aplicando o primeiro passo do algoritmo calculá-se o tempo total de processamento para cada operação:

$$t_1 = 9 + 6 + 10 + 4 = 29$$

$$t_2 = 5 + 4 + 11 + 5 = 25$$

$$t_3 = 8 + 5 + 6 + 9 = 28$$

A seguir aplicá-se o segundo passo que é a ordenação dos tempos totais de processamento das tarefas em ordem decrescente: J1, J3 e J2. Agora se calcula a melhor ordenação entre as tarefas J1 e J3, conforme mostrado nas **Tabelas 2.3 e 2.4**.

	Máquinas (M _j)			
Tarefas (J _i)	M1	M2	M3	M4
J1	9/9	6/15	10/25	4/29
J3	8/17	5/20	6/31	9/38

Tabela 2.3 – Tempo de processamento para a sequência J1-J3

	Máquinas (M _j)			
Tarefas (J _i)	M1	M2	M3	M4
J3	8/8	5/13	6/19	9/28
J1	9/17	6/19	10/29	4/32

Tabela 2.4 – Tempo de processamento para a sequência J3-J1

A melhor sequência é a J3-J1, porque apresenta o menor tempo de processamento. Para os próximos passos esta sequência deverá ser mantida.

Na sequência do algoritmo, acrescenta-se a próxima tarefa gerando três novas sequências a serem investigadas: J3-J1-J2, J3-J2-J1 e J2-J3-J1 (**Tabelas 2.5, 2.6 e 2.7**).

	Máquinas (M _j)			
Tarefas (J _i)	M1	M2	M3	M4
J3	8/8	5/13	6/19	9/28
J1	9/17	6/19	10/29	4/32
J2	5/22	4/23	11/40	5/45

Tabela 2.5 – Tempo de processamento para a sequência J3-J1-J2

	Máquinas (M _j)			
Tarefas (J _i)	M1	M2	M3	M4
J3	8/8	5/13	6/19	9/28
J2	5/13	4/17	11/30	5/35
J1	9/22	6/23	10/40	4/44

Tabela 2.6 – Tempo de processamento para a sequência J3-J2-J1

	Máquinas (M _j)			
Tarefas (J _i)	M1	M2	M3	M4
J2	5/5	4/9	11/20	5/25
J3	8/13	5/18	6/24	9/33
J1	9/22	6/28	10/38	4/42

Tabela 2.7 – Tempo de processamento para a sequência J2-J3-J1

Após a análise dos três sequenciamentos, a melhor alternativa é a sequência J2-J3-J1 com 42 u.t. total de processamento. Chegou-se a este resultado com cinco iterações ao invés de $n! = 3! = 6$ iterações. A diferença é pequena por causa do n ser também pequeno. NAWAZ *et al.* (1983) cita em seu artigo um exemplo onde o número de iterações através do algoritmo é dez e caso fosse realizado via algoritmo ótimo seriam necessárias 24 iterações.

Como exemplos de diferentes trabalhos publicados abordando o problema de programação se pode citar: LIU e REEVES (2001), que propuseram um novo algoritmo heurístico otimizado para o problema de programação tipo flow shop permutacional, no

qual o tempo de computação é otimizado; LIU e MACCARTHY (1997) propõe um algoritmo geral para a programação de sistemas FMS, baseado na programação inteira e abordando as restrições críticas de transporte e estoque de um sistema FMS.

2.6 Estatística

Neste tópico será realizada uma rápida revisão sobre estatística focando nos principais tipos de distribuição de probabilidades e teste de aderência, tópicos necessários ao desenvolvimento do trabalho de simulação e interpretação dos resultados gerados pelo modelo computacional.

Para auxiliar na manipulação dos dados poderá ser utilizado um software de estatística, onde se pode destacar: StatFit®, Best Fit e MINITAB® (como exemplo a **Figura 2.24**).

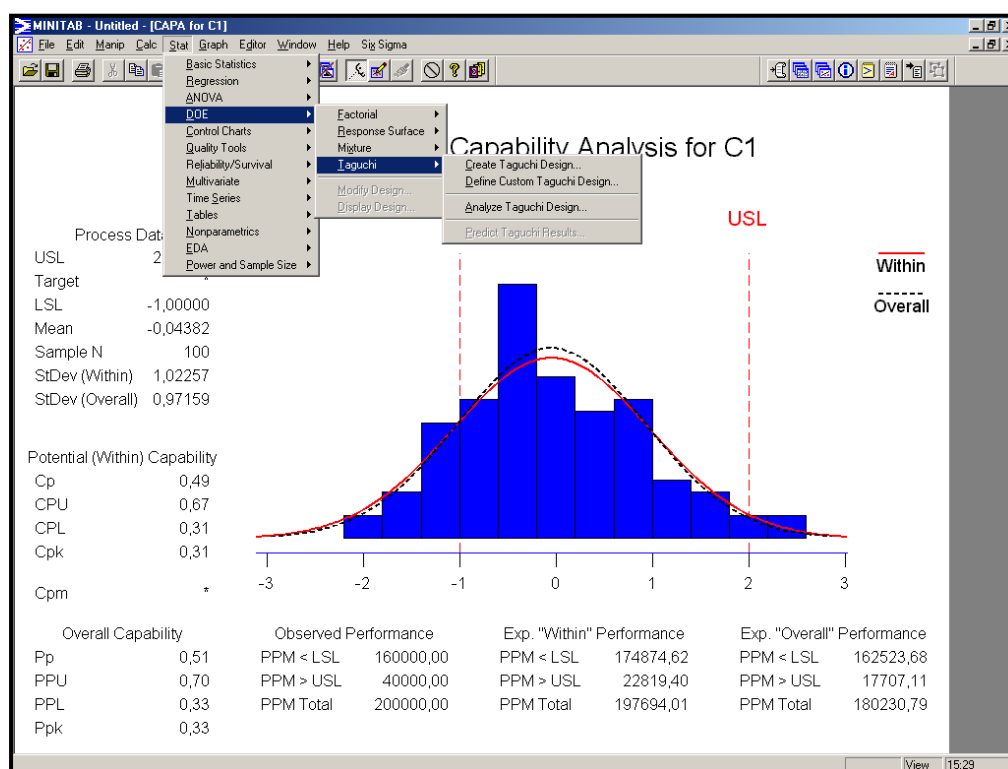


Figura 2.24 – Exemplo de software estatístico

2.6.1 Distribuição normal

A distribuição normal é a mais importante das distribuições contínuas de probabilidade, conhecida como a curva do sino (COSTA NETO, 1999; TRIOLA, 1999; SOARES *et al.*, 1991). Um exemplo na área de manufatura poderia ser o das medidas coletadas nas inspeções de medição feitas na peça após uma determinada operação, como

as feitas por relógios comparadores, paquímetros, micrômetros, etc. A equação representativa da distribuição normal é apresentada na fórmula 2.14, a média pela fórmula 2.15, o desvio padrão pela fórmula 2.16 e a sua representação gráfica na **Figura 2.25**.

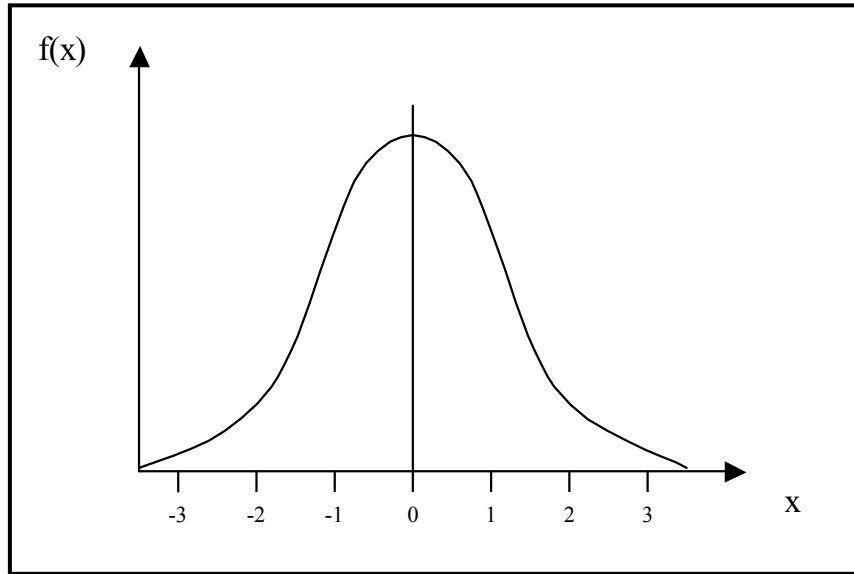


Figura 2.25 - Forma da curva da distribuição Normal

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2[(x-\mu)/\sigma]^2} \quad (2.14)$$

para $-\infty < x < \infty$

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.15)$$

para $-\infty < \mu < \infty$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.16)$$

para $\sigma > 0$

2.6.2 Distribuição exponencial

A distribuição exponencial é um modelo probabilístico usual para situações tais como tempo de espera em uma fila, tempo de sobrevivência de um grupo de pacientes após o início de um tratamento e tempo de vida de material eletrônico (HARRELL *et al.*, 2000; SOARES *et al.*, 1991). Na área de manufatura poderia ser exemplificada com o intervalo de tempo entre chegada das peças em uma determinada máquina, ou mesmo o tempo para se completar uma operação. A forma da curva de distribuição exponencial está representada na **Figura 2.26**, e corresponde a um caso particular da distribuição de Weibull. Sua função densidade de probabilidade é dada pela equação 2.17, seus parâmetros pela equação 2.18 e sua função de distribuição acumulada pela equação 2.19.

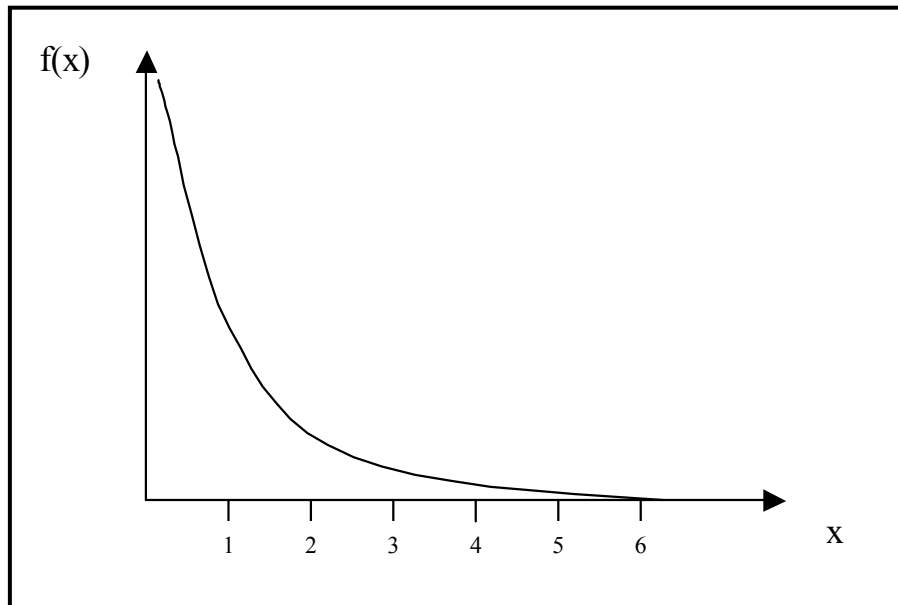


Figura 2.26 - Curva da distribuição exponencial

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha x} \quad (2.17)$$

para $x \geq 0$; $\alpha > 0$

0 para outros valores

$$\text{desvio padrão} = \mu = \alpha^{-1} \quad (2.18)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha x} \quad (2.19)$$

2.6.3 Distribuição gama

É uma distribuição contínua de probabilidade e pode ser usada para representar o tempo para se completar uma tarefa, como tempos de serviço ou tempo para se reparar uma máquina (LAW e KELTON, 1982). A distribuição gama é muito utilizada na teoria da confiabilidade (BALESTRASSI, 2003) e na área de manufatura poderia ser o tempo de troca de um dispositivo ou o tempo de troca de ferramentas. A forma da curva de distribuição gama está representada na **Figura 2.27**. Sua função densidade de probabilidade é dada pela equação 2.20, seus parâmetros por 2.21 e 2.22 e sua função de distribuição acumulada por 2.23.

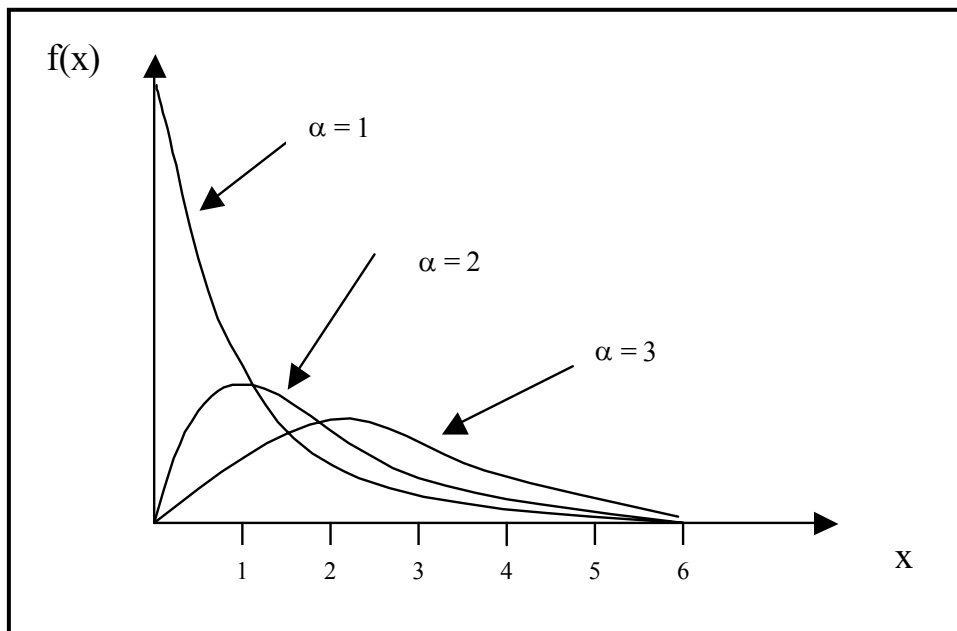


Figura 2.27 - Curva da distribuição gama

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} e^{-x/\beta} \quad (2.20)$$

para $x > 0$

0 para os demais valores

$$\mu = \alpha\beta \quad (2.21)$$

$$\text{Var}(x) = \alpha\beta^2 \quad (2.22)$$

$$F(x) = 1 - \sum_{j=0}^{k-1} e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^j}{j!} \quad (2.23)$$

2.6.4 Distribuição de Weibull

É uma distribuição contínua de probabilidade que pode ser usada para se estimar tempo de falha de uma peça ou o tempo para completar uma tarefa (HARRELL *et al*, 2000). A forma da curva de distribuição de Weibull está representada na **Figura 2.28** e sua função densidade de probabilidade é dada pela equação 2.24, seus parâmetros por 2.25 e 2.26 e sua função de distribuição acumulada por 2.27.

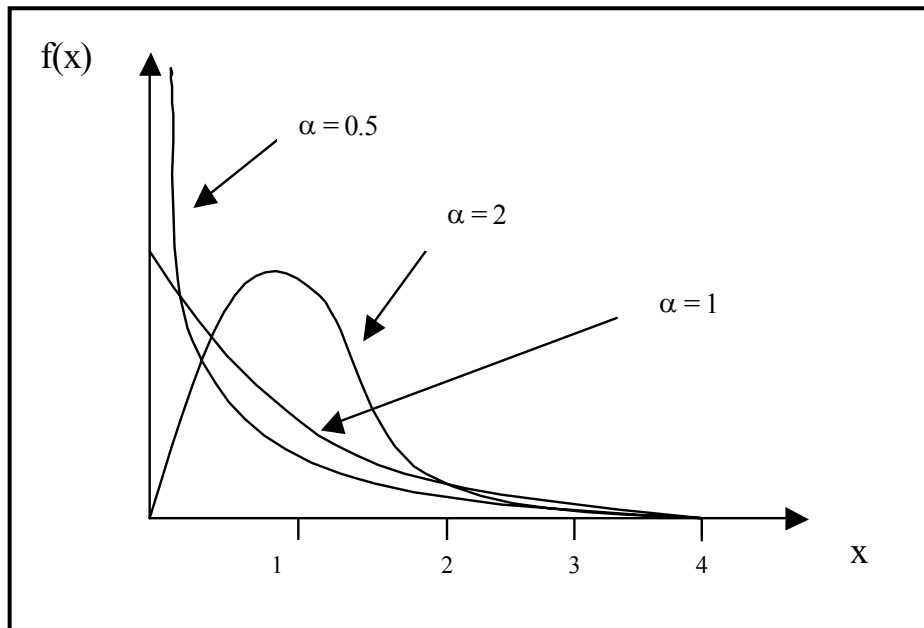


Figura 2.28 - Curvas da distribuição de Weibull para diversos α

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^{\alpha-1}} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad (2.24)$$

para $x \geq 0$; 0 para os demais valores

$$\mu = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (2.25)$$

$$\text{Var}(x) = \beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \right] \quad (2.26)$$

$$F(x) = 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad (2.27)$$

para $x \geq 0$

0 para os demais valores

2.6.5 Distribuição binomial

A distribuição binomial ou de Bernoulli é uma distribuição discreta de probabilidades que descreve a probabilidade de sucesso p , em n tentativas independentes (SPIEGEL, 1978). Pode ser utilizada para se determinar a probabilidade de se encontrar um determinado número de peças defeituosas em um lote de produção de tamanho n , sabendo-se a probabilidade de ocorrência de defeitos p . Sua função de probabilidades é dada por 2.28, a média por 2.29 e a variância por 2.30.

$$f(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x (1-p)^{n-x} \quad (2.28)$$

Para $x = 0, 1, \dots, n$

$$\mu = np \quad (2.29)$$

$$\text{Var}(x) = npq \quad (2.30)$$

2.6.6 Distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson é uma distribuição discreta de probabilidades. Quando $n \rightarrow \infty$ e $p \rightarrow 0$, mantendo-se constante $\alpha = np$ na expressão da distribuição binomial esta se torna uma distribuição de Poisson. Sua função de probabilidades é dada por 2.31, a média e a variância são iguais e dadas por 2.32.

$$f(x) = P(X = x) = \frac{e^{-\alpha} \alpha^x}{x!} \quad (2.31)$$

para $x = 0, 1, 2, \dots$

$$\mu = \text{Var}(x) = \alpha \quad (2.32)$$

2.6.7 Testes de hipóteses

Neste tópico será abordado o problema dos testes de hipóteses referentes a uma população de dados. Os testes de hipóteses podem ser paramétricos ou não paramétricos, ou seja, os testes paramétricos são para testar hipóteses referentes a um parâmetro populacional ou à comparação de dois parâmetros e os testes não paramétricos se referem a outros aspectos que não os parâmetros em si, sendo: testes de aderência (qui-quadrado, método de Kolmogorov-Smirnov e verificação gráfica), testes de independência e comparação de duas populações (COSTA NETO, 1999). Por convenção H_0 será a hipótese a ser testada e H_1 a hipótese alternativa, ou seja, o teste irá aceitar H_0 somente se negar H_1 (COSTA NETO, 1999). A revisão será focada nos testes não paramétricos, mais precisamente nos testes de aderência devido à necessidade da análise dos dados a serem coletados para uso no modelo simulado.

2.6.7.1 Apresentação dos dados

A apresentação dos dados coletados deverá ser na forma de uma tabela (**Tabela 2.8**) e depois, dependendo da necessidade, organizados na forma de distribuição de frequências ou tabela de frequências (**Tabela 2.9**) contendo os intervalos de classes em que os dados foram subdivididos, normalmente não excedendo 25 classes, e as frequências com que os dados apareceram dentro de cada um dos intervalos (BALESTRASSI, 2003).

6,7	1,5	5,8	6,1	7,6	7,9	7,2	5,2	4,7	4,8
5,9	7,8	5,5	4,0	8,5	5,6	4,6	6,5	4,8	3,1
5,4	5,4	4,6	2,8	6,7	2,8	6,0	4,5	6,0	5,7
3,5	3,2	9,0	2,1	8,0	9,4	1,6	4,3	5,7	0,8
6,9	4,1	3,8	2,6	4,6	7,1	5,0	7,3	7,1	4,2
6,8	6,2	9,5	5,3	3,1	4,2	4,1	5,3	5,0	5,6
3,8	3,0	6,7	9,8	5,4	3,0	3,7	3,6	5,2	5,4
6,2	5,9	8,1	7,5	4,4	6,5	5,4	6,4	5,1	5,9
6,8	6,5	8,1	7,7	5,2	7,0	3,7	6,3	5,2	3,1
6,9	8,1	5,2	4,2	6,0	4,2	7,3	8,4	3,1	4,1

Tabela 2.8 - Dados coletados e organizados em forma de tabela

Intervalo de classes	freqüências
0,0 – 0,9	1
1,0 – 1,9	2
2,0 – 2,9	4
3,0 – 3,9	13
4,0 – 4,9	17
5,0 – 5,9	24
6,0 – 6,9	18
7,0 – 7,9	11
8,0 – 8,9	6
9,0 – 9,9	4
total	100

Tabela 2.9 - Agrupamento em classes e distribuição de freqüências da tabela 2.7

2.6.7.2 Testes de aderência

Nos testes de aderência admite-se por hipótese, que a distribuição da variável de interesse na população seja descrita por um determinado modelo de distribuição de probabilidades e se testa o modelo, ou seja, verifica-se a boa ou má aproximação dos dados da amostra ao modelo (COSTA NETO, 1999).

O primeiro teste de aderência é o chamado qui-quadrado (χ^2) desenvolvido por Karl Pearson, mostrado na fórmula 2.33.

$$\chi_v^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \sum_{i=1}^k \frac{O_i^2}{E_i} - n \quad (2.33)$$

Onde:

- χ^2 é a estatística de teste, com v graus de liberdade;
- O_i é a frequência observada para os dados de uma determinada classe;
- E_i é a frequência esperada para os dados de uma determinada classe;
- k = número de classes;
- n = número de elementos da amostra.

A condição para que a distribuição de probabilidades dos dados que estão sendo analisados, hipótese H_0 , corresponda à distribuição de probabilidades teórica é que satisfaça a fórmula 2.34.

$$\chi_v^2 \leq \chi_{\alpha;v}^2 \quad (2.34)$$

Onde:

- α é o nível de significância;
- ν é o número de graus de liberdade dado por: $\nu = k - 1 - m$, sendo m o número de parâmetros usados para calcular as frequências esperadas.

Uma das condições do teste é de que $E_i \geq 5$, caso seja menor haverá necessidade de se agrupar as classes adjacentes até que essa condição seja satisfeita. O cálculo das frequências esperadas é realizado através da expressão 2.35.

$$E_i = np_i \quad (2.35)$$

Para exemplificar a aplicação do uso do qui-quadrado, será usado o exemplo citado por COSTA NETO (1999).

O número de defeitos por unidade observado em uma amostra de cem televisores produzidos apresentou a seguinte distribuição de frequências na **Tabela 2.9**:

n° de defeitos	0	1	2	3	4	5	6	7
n° de aparelhos	25	35	18	13	4	2	2	1

Tabela 2.9 – Distribuição de frequências

Verificar se o número de defeitos por unidade segue razoavelmente uma distribuição de Poisson.

Solução: usando o teste de aderência pelo χ^2 para testar as seguintes hipótese :

H_0 , a distribuição do número de defeitos por unidade é uma Poisson;

H_1 , tal não ocorre.

O primeiro passo será estimar a média amostral $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i f_i}{n} = \frac{155}{100} = 1,55 \quad (2.36)$$

Aplicando-se a fórmula 2.31:

$$p_0 = \frac{e^{-1,55} (1,55)^0}{0!} \cong 0,212 \quad (2.37)$$

$$p_1 = \frac{e^{-1,55} (1,55)^1}{1!} \cong 0,329 \quad (2.38)$$

$$p_2 = \frac{e^{-1,55} (1,55)^2}{2!} \cong 0,255 \quad (2.39)$$

Executando-se todos os cálculos monta-se a **Tabela 2.10**:

x_i	$f_i = O_i$	$x_i f_i$	p_i	$E_i = np_i$	$O_i - E_i$	$(O_i - E_i)^2$	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
0	25	0	0,212	21,2	3,8	14,44	0,681
1	35	35	0,329	32,9	2,1	4,41	0,134
2	18	36	0,225	25,5	-7,5	56,25	2,206
3	13	39	0,132	13,2	-0,2	0,04	0,003
4	4	16	0,051	5,1	7,2	3,24	0,450
5	2	10	0,016	1,6			
6	2	12	0,004	0,4			
7	1	7	0,001	0,1			
	100	155		100,0			3,474

Tabela 2.10 – Cálculo de χ_v^2

A condição $E_i > 5$ não é satisfeita para os valores 5, 6 e 7 da variável. Então fundiu-se esses valores ao valor 4, passando a considerar o conjunto de valores $X \geq 4$ com frequência observada 9 e frequência esperada 7,2. Para a determinação do χ_v^2 crítico, o número de liberdade deverá ser:

$$v = k - 1 - m = 5 - 1 - 1 = 3, \quad (2.40)$$

Pois houve cinco parcelas e estimou-se um parâmetro a partir da amostra. Utilizando-se o $\alpha = 5\%$ de erro Tipo 1 (risco de 5% de se rejeitar a hipótese da curva ser normal, quando a hipótese é de fato verdadeira). Logo,

$$\chi_{\text{crítico}}^2 = \chi_{3;5\%}^2 = 7,815 \quad (2.41)$$

Em consequência, como $3,474 < 7,815$, satisfazendo a expressão 2,38, indicando que a hipótese de que o conjunto de dados tem aderência com a distribuição de Poisson pode ser aceita.

Os testes de Kolmogorogov-Smirnov e verificação gráfica não serão descritos neste tópico, estando detalhados na referência COSTA NETO (1999) páginas 133 a 136.

2.7 Considerações finais

Para o desenvolvimento do trabalho de simulação computacional aplicado ao setor industrial em geral, faz-se necessário o conhecimento sobre tempos e métodos que é a base de todos os dados a serem levantados e utilizados no modelo. O conceito da metodologia dos levantamentos de tempos e como é calculado o tempo padrão é fundamental para a análise dos dados coletados na empresa. O conhecimento de como um método de trabalho é elaborado, também, faz parte da base sobre a qual irá trabalhar o modelador do sistema.

Os conceitos de produtividade, eficiência, eficácia são úteis quando da análise da performance do sistema existente com o proposto, além de serem uma importante ferramenta de gestão do processo produtivo.

O conhecimento dos conceitos de layout e Tecnologia de Grupo, também são de fundamental importância tanto para o modelador do sistema quanto ao usuário. A construção do modelo computacional somente tem sentido se existir um estudo prévio para criar as alternativas de células ou sistemas produtivos, que serão simulados para a escolha da melhor solução e não usar a simulação (simulação aqui entendida como a aplicação de um software comercial de sistemas de manufatura) como ponto de partida para “criar” as alternativas.

A simulação computacional para a modelagem de sistemas de manufatura é uma poderosa ferramenta, mas o usuário tem que conhecer os conceitos de estatística para conseguir tratar e analisar os dados coletados, decidindo sobre a qualidade e a forma das informações a serem inseridas no modelo. A interpretação dos resultados fornecidos pelo pacote computacional requer uma interpretação por parte do usuário, que deverá analisar se a resposta é válida, até que ponto é representativa, quais os possíveis erros. Esta análise muitas vezes requer a aplicação de ferramentas estatísticas e não somente o bom senso do usuário.

Outro ponto importante para o usuário, no seu dia a dia, é conseguir minimizar o lead time para ganhar produtividade e maximizar o uso da sua instalação, ou seja, ganhar dinheiro. Além de todas as técnicas de racionalização existe um ponto onde este jogo também poderá ser otimizado: é na programação da produção, com o seqüenciamento correto das ordens de produção visando maximizar a utilização do aproveitamento das preparações das máquinas e com isto diminuindo o tempo gasto com setup entre lotes. Este

seqüenciamento normalmente é realizado pela experiência do programador do PCP, mas poderá ser otimizado empregando sistemas que consideram a incerteza existente no processo.

Todos os tópicos vistos neste capítulo são necessários para realizar a análise e interpretação do sistema produtivo, iniciando-se pela forma correta de coletar e tratar os dados do sistema que serão necessários à construção do modelo, posteriormente equacionando o problema e a solução a ser modelada e testada e finalmente interpretando os resultados gerados pelo modelo, seja para a escolha de uma determinada alternativa ou para o planejamento estratégico através da simulação de cenários.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica a respeito da simulação computacional e da sua relevância como ferramenta de apoio a decisões. O enfoque dado foi nos principais conceitos utilizados na modelagem de sistemas de manufatura ou de serviços. A simulação visa representar a realidade através de um modelo, realizado ou "materializado" somente por equações matemáticas ou por softwares com interfaces mais técnicas (apresentando os resultados na forma de tabelas, por exemplo) ou com recursos de animação, com interface visual tipo Windows. Esta realidade modelada poderá ser estudada sob condições controladas e neste ambiente poderão ser realizados experimentos que seriam inviáveis ou extremamente caros e arriscados no mundo real.

3.2 Introdução

Simulação, segundo Longman Dictionary of Contemporary English (2000), é uma atividade ou situação que produz uma condição não real, mas tem uma aparência realística e é usada para testar inúmeras coisas. Como exemplo temos o treinamento de pilotos ou a simulação áudio visual do início do universo. Segundo HARRELL *et al.* (2000) e LAW e KELTON (1982), simulação é a imitação de um sistema real modelado em computador para avaliação e melhoria da sua performance. Ou seja, simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições sem os riscos físicos e ou grandes custos envolvidos. Segundo BANKS (2000), a simulação envolve a criação de uma história artificial da realidade e com base nesta história artificial são realizadas observações e inferências nas características de operação do sistema real representado. A **Figura 3.1** esquematiza este conceito da transformação da realidade em modelo e novamente dos resultados em realidade.

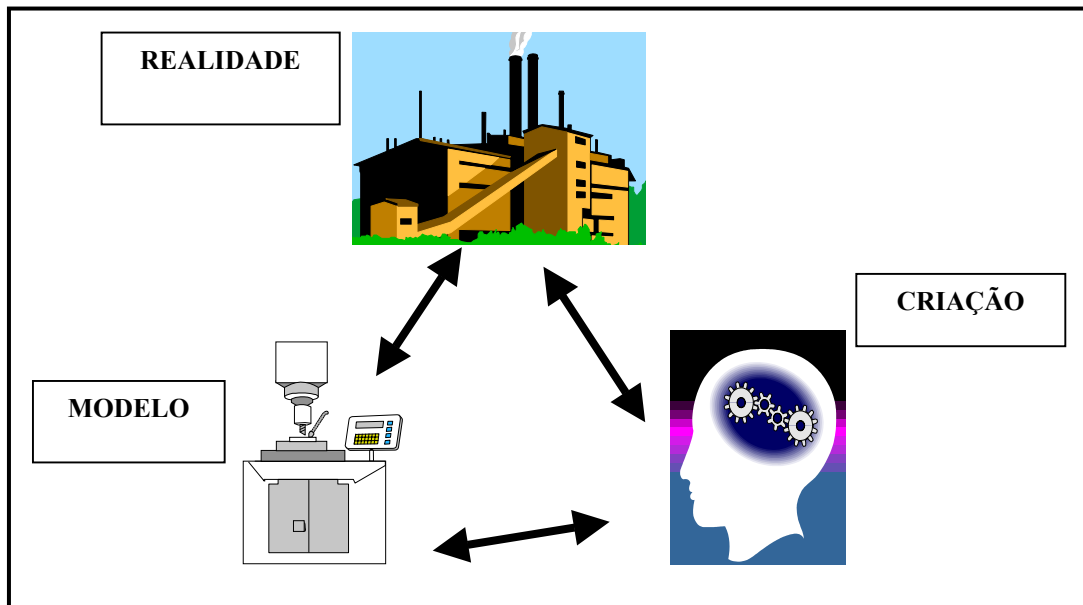


Figura 3.1 – Realidade x Modelo

O processo de simulação segue o método científico, ou seja, primeiro formular as hipóteses, segundo preparo do experimento, terceiro testar as hipóteses através do experimento e quanto são válidas as hipóteses através dos resultados obtidos. Este processo na simulação é mostrado na **Figura 3.2**.

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

São diversas as áreas de aplicação da simulação. HARRELL *et al.* (2000), LOBÃO (2000), BANKS *et al.* (1996) e LAW e KELTON (1986) destacam as seguintes áreas:

- sistemas computacionais;
- sistemas de telecomunicações;
- fabricação;
- negócios;
- logística;
- militar;
- treinamento;
- científica;
- econômica;
- serviços.

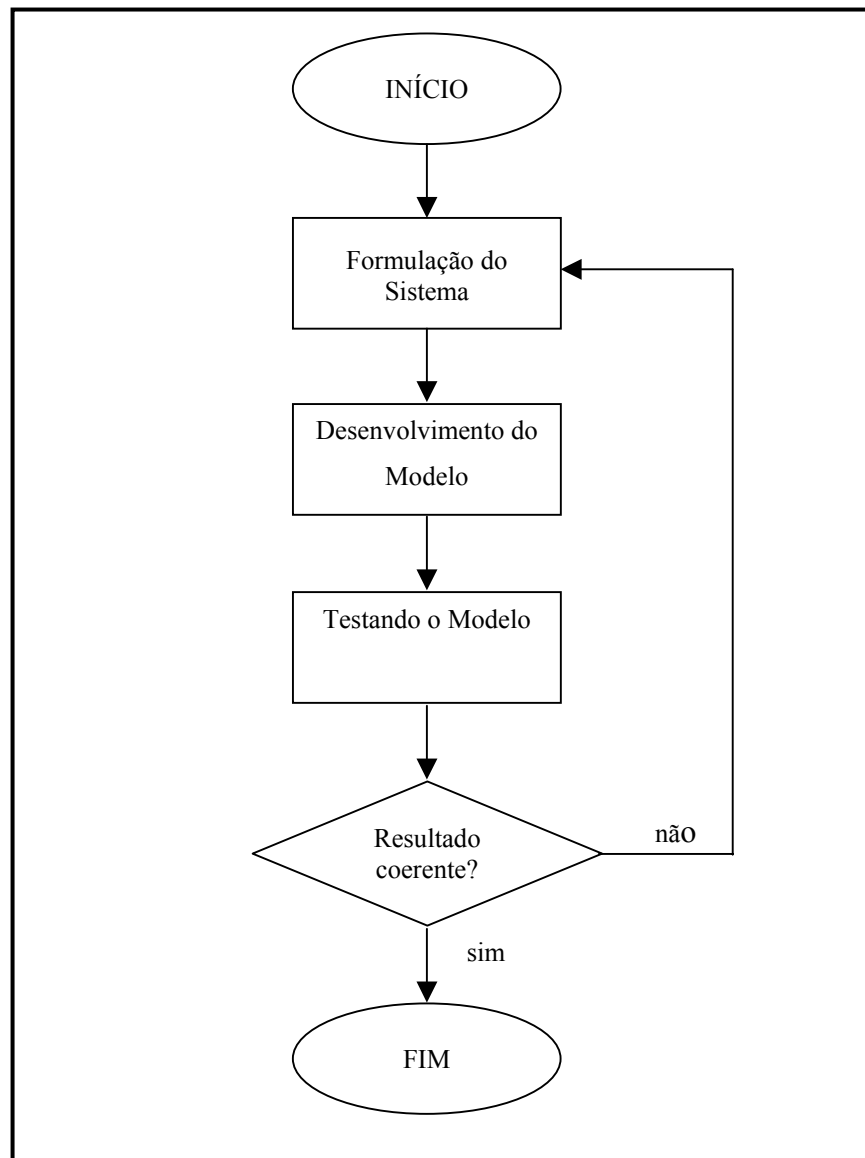


Figura 3.2 – Método científico aplicado à simulação, HARRELL *et al.* (2000)

3.3 Justificativa econômica da simulação

Conforme HARRELL *et al.* (2000) quando do uso de qualquer software deve-se considerar os custos envolvidos, da mesma forma no uso da simulação deve-se considerar o custo benefício da aplicação. Com o envolvimento do custo inicial de implantação para um sistema de simulação (software, hardware e mão-de-obra), freqüentemente a aplicação da simulação é prejudicada, porque, não é avaliado corretamente o benefício que a simulação trará ao negócio com a economia de gastos e tempo para implantação do projeto em estudo pela empresa. Esta percepção ignora o fato de que o uso de simulação poderá poupar muito mais tempo e custo do que o empregado com a mesma.

Segundo HARRELL *et al.* (2000) os custos iniciais de implementação da simulação (incluindo treinamento e custos software) deverão ficar entre US\$ 10.000 e 30.000, mas este custo deverá ser recuperado após o 1º ou 2º projeto. Segundo GLENNEY e GERALD (1985), os custos estimados com o uso da simulação em um projeto situa-se entre 1 e 3% do custo total do mesmo.

Os principais ganhos com a simulação são obtidos com a identificação e eliminação de problemas e ineficiências, ou chegando até a inviabilidade do projeto, antes da implantação. A redução dos custos acontece com a eliminação de re-projetos e diminuição dos fatores de risco quando as projeções são incertas. Muitas empresas relatam a economia de centenas de milhares de dólares com a identificação de correções e / ou com a eliminação de investimentos não necessários, através de projetos simples de simulação (HARRELL *et al.*, 2000). E segundo mesmo autor, o retorno sobre o investimento (ROI) pode ultrapassar 1000%, com períodos de payback de poucos meses.

Uma das dificuldades da justificativa econômica da simulação é o fato de geralmente não se conseguir avaliar qual será a economia total gerada no projeto, conseguindo-se este valor somente após a sua conclusão.

Segundo o mesmo autor, uma das maneiras de estimar a economia gerada pela simulação é quantificar o risco de uma decisão errada ou um erro de projeto. Como exemplo temos a previsão do aumento de demanda em uma linha e isto requer investimentos da ordem de \$100.000, mas a confiabilidade dos dados permite somente 70% de certeza, ou seja, temos 30% de possibilidade do investimento não ser realmente necessário. Aplicando-se a simulação para analisar o sistema este risco cairá e poderá se chegar à conclusão de que o investimento não é realmente necessário, assim o gasto com a simulação estará pago pelo não investimento do capital em algo não necessário.

Durante o seu desenvolvimento um projeto ou sistema passa por diferentes fases com características distintas entre si, ou seja, cada qual com o seu tempo e custo. A **Figura 3.3** apresenta a relação entre as fases do projeto e o seu custo.

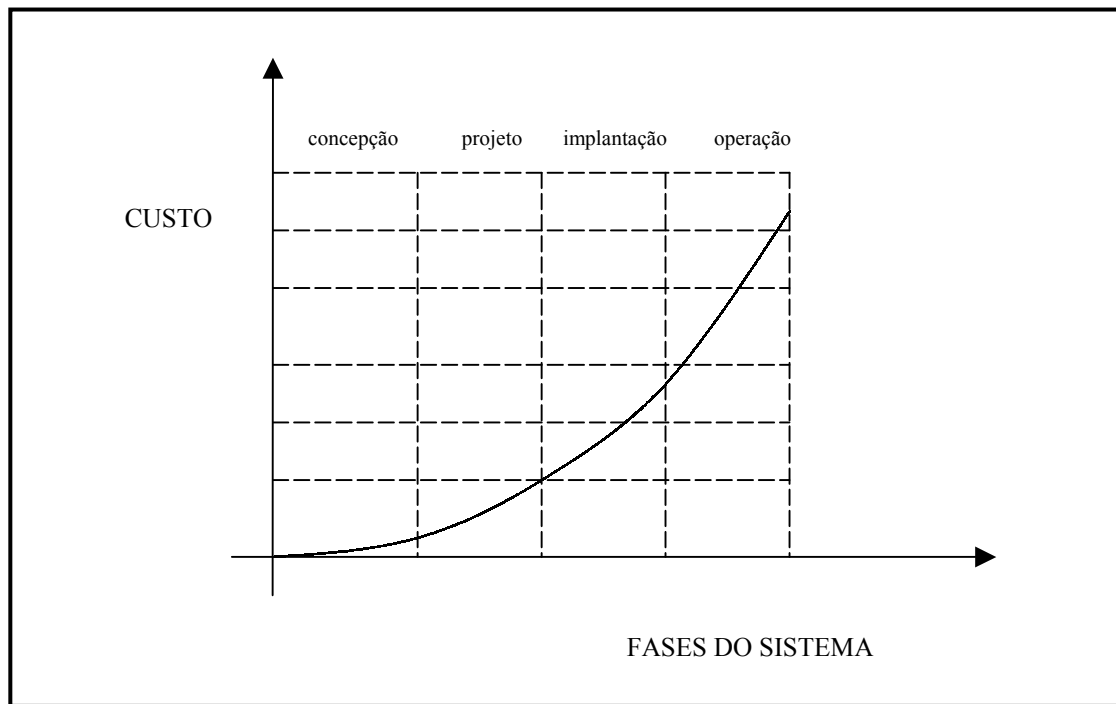


Figura 3.3 – Evolução do custo de um sistema em suas diferentes fases, HARRELL *et al.* (2000)

Quando a simulação é aplicada no desenvolvimento do projeto ou sistema, a relação entre o custo e as fases do projeto é alterada (**Figura 3.4**). A fase de concepção do projeto ou sistema não sofre nenhum impacto, pois a aplicação da simulação é realizada após esta etapa.

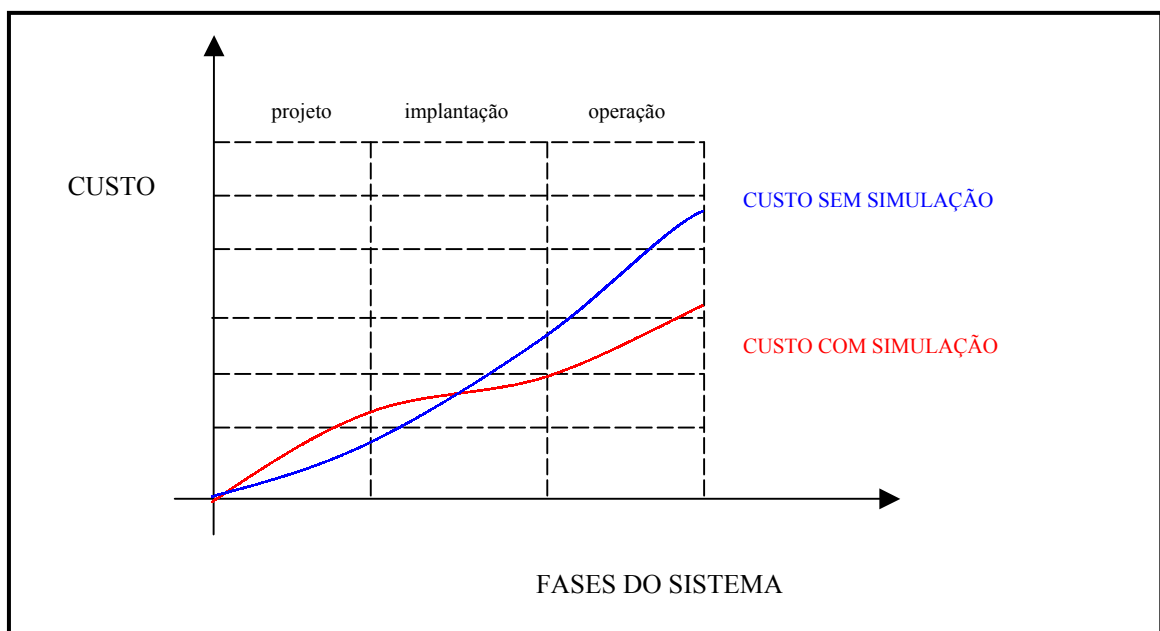


Figura 3.4 – Comparativo da evolução dos custos do sistema com e sem aplicação da simulação, HARRELL *et al.* (2000)

Como está mostrado na **Figura 3.4**, em um sistema onde é aplicada a simulação o custo na fase de projeto fica mais alto, mas é justamente nesta fase, com o auxílio da simulação, onde se consegue planejar um sistema mais otimizado preciso, conseqüentemente nas fases de implantação e operação se obtém a esperada redução do custo (BATEMAN *et al.*, 1997).

Temos um outro exemplo de aplicação de simulação na fase de projeto de ampliação da empresa Fortune 500. A empresa estava aumentando a sua produção e reorganizando a sua instalação, para isto seria preciso comprar 3.000 containeres e fazer uma ampliação civil. Após a aplicação da simulação constatou-se que o acréscimo de produção com o uso de containeres entre 2.250 e 3.000 não era significativo, com este dado optou-se pela compra de 2.500 containeres com uma economia no primeiro ano de \$ 528.000 e mais uma economia de \$ 200.000 com área não construída (LAW e MCCOMAS, 1988).

3.4 Sistema

Muitas vezes a simulação falha não por causa da falta de domínio da ferramenta de simulação (software), mas pela falta do entendimento do sistema. O entendimento do sistema inicia-se pela própria definição do que é um sistema e posteriormente entendendo os inter-relacionamentos dos diferentes elementos que compõe este sistema. Este tópico fará uma revisão sobre os principais pontos sobre sistemas e seus elementos.

3.4.1 Definição de sistema

Segundo BLANCHARD (1991), sistema é uma coleção de elementos que juntos espera-se que atinjam um objetivo. Segundo SCHIMIDT e TAYLOR (1970) sistema é uma coleção de pessoas e ou máquinas interagindo juntos de modo a realizarem bem algum trabalho e de modo lógico. Na prática, o significado de sistema depende dos objetivos de cada estudo (LAW e KELTON, 1982). HARRELL *et al.*, (2000) destaca três pontos importantes sobre sistema:

- 1º. um sistema consiste em diversos elementos;
- 2º. estes elementos estão inter-relacionados e trabalham em conjunto;
- 3º. o sistema existe com o propósito de atingir um objetivo específico.

Como exemplos de sistemas podemos citar: na área de serviços um banco ou um supermercado; na área industrial poderá ser desde um simples posto com trabalho manual

ou uma célula até complexas linhas de montagem ou mesmo uma indústria completa como uma refinaria de petróleo; na área de engenharia aplicada poderá simular o comportamento de um fluido através de uma tubulação.

3.4.2 Elementos do sistema

Para a simulação os elementos de um sistema são as entidades, atividades (tarefas), recursos, e controles. Estes elementos definem quem, qual, onde, quando e como uma entidade é processada. Segundo HARRELL *et al.* (2000), a caracterização de cada um dos quatro elementos do sistema é a seguinte:

- **entidades** são os elementos processados através do sistema como produtos, clientes e documentos e são classificadas em três tipos: humana ou animada, inanimada e intangível;
- **atividades** são as tarefas diretas ou indiretas envolvidas no processamento das entidades, normalmente as atividades gastam tempo e recursos;
- **recursos** são os meios pelos quais as atividades são executadas, como exemplo: máquinas e operadores podem ter a mesma classificação das entidades ou ainda serem classificados como dedicados ou gerais, permanentes ou consumíveis e estacionários ou móveis;
- **controles** são itens que dizem ao sistema como, quando e onde as atividades devem ser executadas. Como exemplos se podem citar os planos de produção, instruções operacionais e rotas de fabricação.

3.4.3 Complexidade do sistema

A ação entre os elementos do sistema de modo a produzir um resultado envolve interdependências que podem ser simples (poucas variáveis) ou mais elaboradas (diversas variáveis). A interdependência liga um elemento do sistema ao outro de forma que uma ação sobre este elemento causa uma reação em cadeia no sistema, quanto maior o numero de variáveis que interligam os elementos, mais complexo será este sistema (HARRELL *et al.*, 2000). SENGE (1990) percebeu que em muitos sistemas a "causa e efeito não estão perfeitamente relacionados dentro do tempo e espaço".

A variabilidade é uma característica inerente a qualquer sistema que envolva pessoas e máquinas, pois ambas podem falhar. A variabilidade introduz a incerteza no sistema, ou seja, a previsão do comportamento do sistema passa a ser por tentativa e erro,

baseado no histórico a sua previsibilidade é calculada através de uma média. Esta previsão baseada em média pode causar grandes variações, como exemplo: calcular a taxa de ocupação de uma célula baseada na sua capacidade média versus a demanda média mensal. Isto poderá causar picos de produção ao longo do mês que necessitarão de horas extras e logo em seguida momentos de ociosidade, mas na média a demanda foi atendida apesar do custo ser maior em função da hora extra.

Quando introduzimos no sistema a interdependência e a variabilidade este se torna muito complexo para que uma pessoa possa compreendê-lo e prever o seu comportamento sem o uso de ferramentas de simulação que contemplem fatores de aleatoriedade e interdependências. Segundo SIMON (1957), a capacidade da mente humana para formular e resolver problemas complexos é muito pequena quando comparada com o tamanho do problema e da objetividade racional da solução necessária para implantação no mundo real.

3.4.4 Variáveis do sistema

Quando um sistema é modelado ou quando este modelo é existente, necessita-se entender como os elementos deste sistema interagem e a sua performance. Para auxiliar o entendimento desta interação e possibilitar a análise dos resultados, segundo HARRELL *et al.* (2000), necessita-se compreender três tipos de variáveis do sistema para poder atuar sobre o mesmo entendendo e determinando as inter-relações existentes:

- **Variáveis de decisão** são as variáveis independentes do sistema, pois através destas variáveis é possível controlar o sistema criando diferentes cenários e conduzir a simulação de acordo com os objetivos e interesses estabelecidos pelo modelador ou usuário;
- **Variáveis de resposta** ou variáveis de saída são as respostas que o sistema fornece em função dos dados de entrada e da interação entre os elementos do sistema;
- **Variáveis de estado** são as variáveis que indicam o estado do sistema ou de um elemento em um determinado ponto e momento.

Na **Tabela 3.1** estão descritos alguns tipos de variáveis e seus exemplos.

Tipo de variáveis	Exemplo
Tempo de atividade	Tempo de operação, tempo de reparo, setup, tempo de movimentação.
Decisão	Aceitar ou rejeitar, qual a próxima tarefa.
Quantidade	Tamanho de lotes, quantidades de chegada, numero de pessoas ausentes.
Intervalos entre eventos	Tempo entre chegadas, tempo entre falhas do equipamento.
Atributo	Preferência do cliente, nível de habilidade.

Tabela 3.1 – Exemplo de variáveis, HARRELL *et al.* (2000)

3.4.5 Técnicas de análise do sistema

Existem diversas técnicas de planejamento de sistemas utilizando métodos manuais e computacionais, trabalhando bem com um pequeno numero de interdependências e variabilidades, mas estas técnicas não conseguem estimar (prever) o comportamento de um sistema complexo com inúmeras variáveis e suas interdependências. Quando da implementação destes sistemas baseados nestes métodos, são necessários diversos ajustes para compensar a inexatidão dos cálculos (HARRELL *et al.*, 2000). As técnicas utilizadas são os cálculos manuais, planilhas eletrônicas e a pesquisa operacional. A técnica mais elaborada é a pesquisa operacional, que consiste na utilização de modelos matemáticos para resolução de problemas com pequena e média complexidade. Com o aumento da variabilidade e interdependência a performance do sistema não necessariamente diminui, mas sim a capacidade de previsibilidade da performance com a técnica empregada (LLOYD e MELTON, 1997). Como ilustração do comportamento da previsibilidade com o aumento da complexidade temos a **Figura 3.5**, onde existe uma comparação de diversos tipos de sistemas com as suas previsibilidades sem o uso da simulação e com o seu uso. Quanto maior for a complexidade do sistema menor será a sua previsibilidade devido ao número elevado de variáveis e as inter-relações existentes.

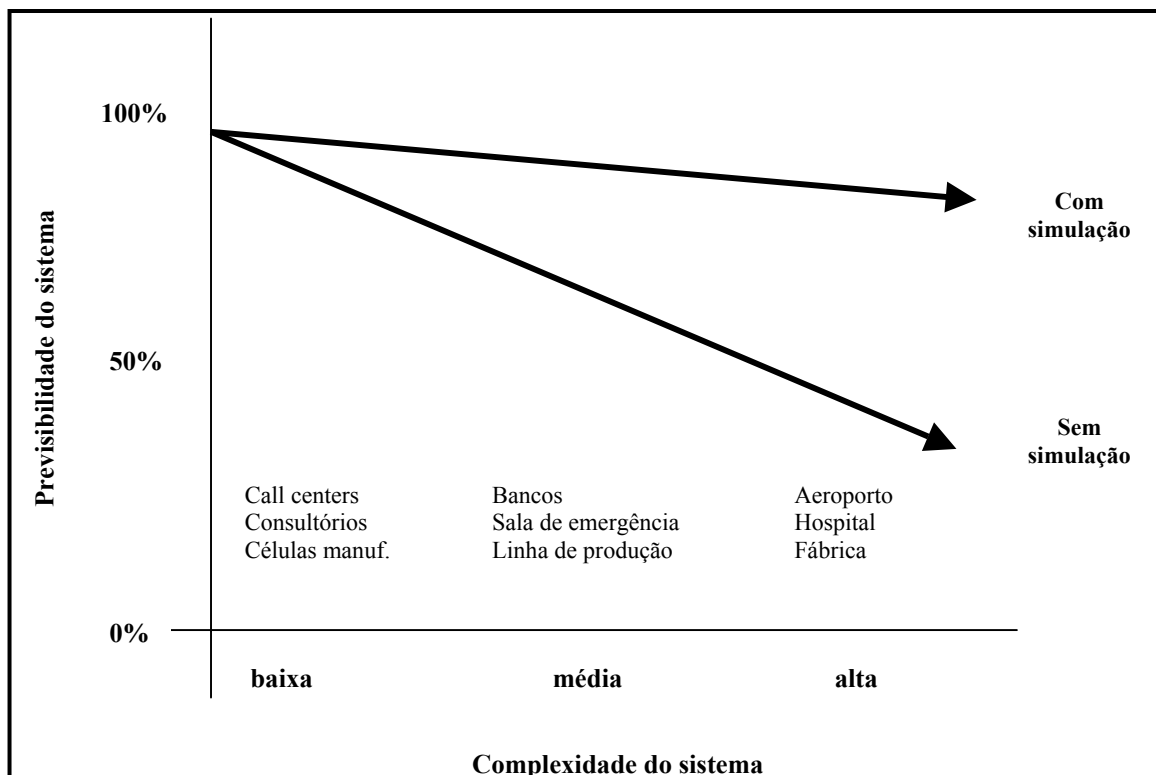


Figura 3.5 – Previsibilidade x complexidade do sistema, HARRELL *et al.* (2000)

3.5 – Tipos de simulação

A maneira como a simulação do sistema trabalha (com o uso de distribuições estatísticas, levando-se o tempo em consideração ou não, com variáveis discretas ou contínuas, etc.) esta diretamente ligada ao tipo de simulação empregada (HARRELL *et al.*, 2000). As classificações mais usuais de simulação são:

- dinâmica ou estática;
- determinística ou estocástica;
- discreta ou contínua.

Neste trabalho será aplicada a simulação dinâmica, estocástica e discreta. Para uma melhor compreensão será apresentada uma breve descrição destas classificações.

3.5.1 Simulação estática e dinâmica

Segundo LAW e KELTON (1982) e HARRELL *et al.* (2000), o tipo de simulação onde o tempo não é levado em consideração é chamado de simulação estática e como exemplo temos a simulação de Monte Carlo com aplicação em finanças.

Quando a passagem do tempo é levada em consideração temos a chamada simulação dinâmica, onde as variáveis de estado do sistema irão variar conforme o tempo for avançando. Este tipo de simulação é apropriado para a análise de sistemas de manufatura e serviços que sofrem a ação do tempo.

3.5.2 Simulação determinística e estocástica

Quando a simulação tem entradas constantes é chamada de determinística. Neste tipo de simulação as saídas também são constantes, ou seja, a simulação poderá ser repetida inúmeras vezes e os resultados serão sempre iguais. Somente com a mudança de pelo menos uma das variáveis de entrada, os resultados serão alterados.

Sendo variáveis de entrada regidas por uma distribuição de probabilidade, ou seja, as entradas variando o seu estado teremos saídas também variáveis, a cada novo recálculo da simulação teremos um novo conjunto de resultados. Este tipo de simulação é chamado de simulação estocástica. A **Figura 3.6 (a)** representa a simulação determinística, ou seja, os dados de entrada são constantes gerando as saídas também constantes e a **Figura 3.6 (b)** representa uma simulação estocástica, onde os dados de entrada são distribuições de probabilidades gerando saídas variáveis no tempo.

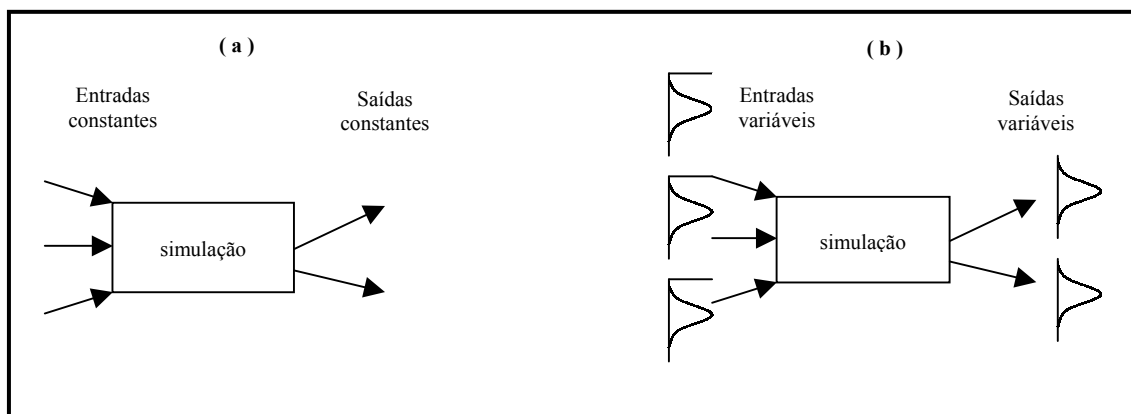


Figura 3.6 – Simulação determinística (a) x estocástica (b), HARRELL *et al.* (2000).

3.5.3 Simulação discreta e contínua

Uma outra classificação da simulação é a separação em discreta e contínua. Na simulação discreta as variáveis de estado mudam de forma não contínua no tempo, ou seja, sofrem mudanças bruscas (**Figura 3.7**). Como exemplo desta mudança brusca pode-se citar o final de um turno na produção ou a chegada de um avião.

Com a simulação contínua a mudança de estado de uma variável ocorre de forma continuada no tempo, ou seja, sem rupturas (**Figura 3.7**). Como exemplo pode-se citar o enchimento de um reservatório de água. Outro ponto de diferenciação entre os dois tipos de simulação é o uso equações diferenciais na simulação contínua para descrever a transformação das suas variáveis no tempo.

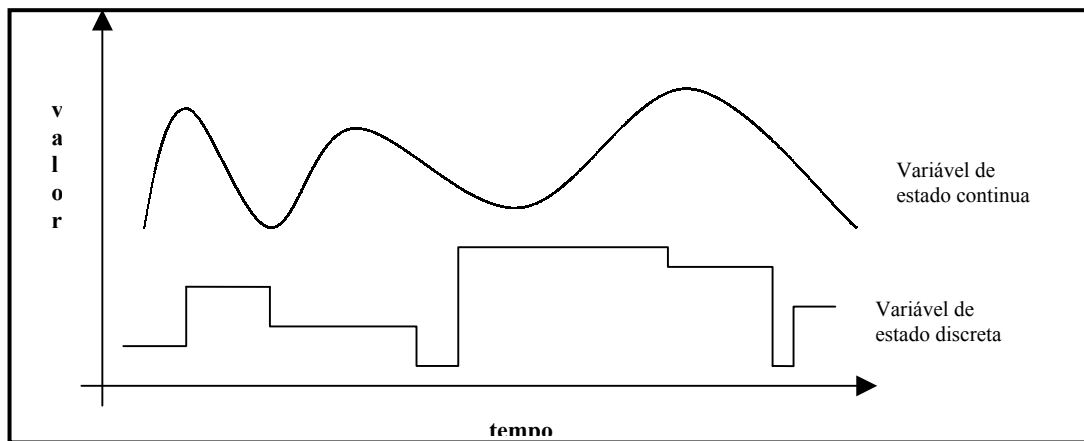


Figura 3.7 – Simulação discreta x contínua, HARRELL *et al.* (2000)

3.5.4 Simulação terminante e não terminante

A simulação é classificada como terminante quando esta é estudada em um determinado intervalo de tempo (LAW e KELTON, 1982). Como exemplo temos a simulação do atendimento de caixas de supermercado, onde o objetivo poderia ser a determinação do número mínimo de caixas para atender a demanda dos clientes. Neste tipo de estudo existiram momentos de fila e de caixas vazios, portanto não há o interesse em estudar o sistema através de médias, mas sim estudar o seu comportamento ao longo do tempo.

Quando o estudo do comportamento do sistema é realizado a partir do momento da sua estabilização (estado estável) a simulação é chamada de não terminante (ProModel[®], 2000). Um exemplo é a simulação de uma linha de manufatura onde temos que esperar a estabilização das variáveis estatísticas para coletar os dados, este período é chamado de período de aquecimento (warm-up), segundo DIETZ (1992).

3.6 Software de simulação

Atualmente no mercado existem muitos pacotes de softwares que realizam os mais diversos tipos de simulação, desde a simples modelagem de vigas até a modelagem completa de uma refinaria de petróleo em três dimensões. O problema está na escolha do pacote mais adequado a necessidade da empresa, levando em consideração: recursos financeiros, recursos humanos e tempo. Segundo LOBÃO e PORTO (1999), os sistemas de simulação evoluíram desde o uso dos modelos matemáticos e físicos e, normalmente, utilizando ferramentas manuais de “processamento” até simuladores de interface gráfica interativos e inteligente (utilizando sistemas especialistas e inteligência artificial).

BALDWIN *et al.* (2000), realizou uma pesquisa na Europa sobre o uso de pacotes e linguagens de simulação, tendo como resultado nos pacotes de software aplicados nas empresas: Promodel (13%) (**Figura 3.8**), XCELL+ (10%), WITNESS (5%), SIMAN/CINEMA (5%) e SIMFACTORYII.5 (3%).

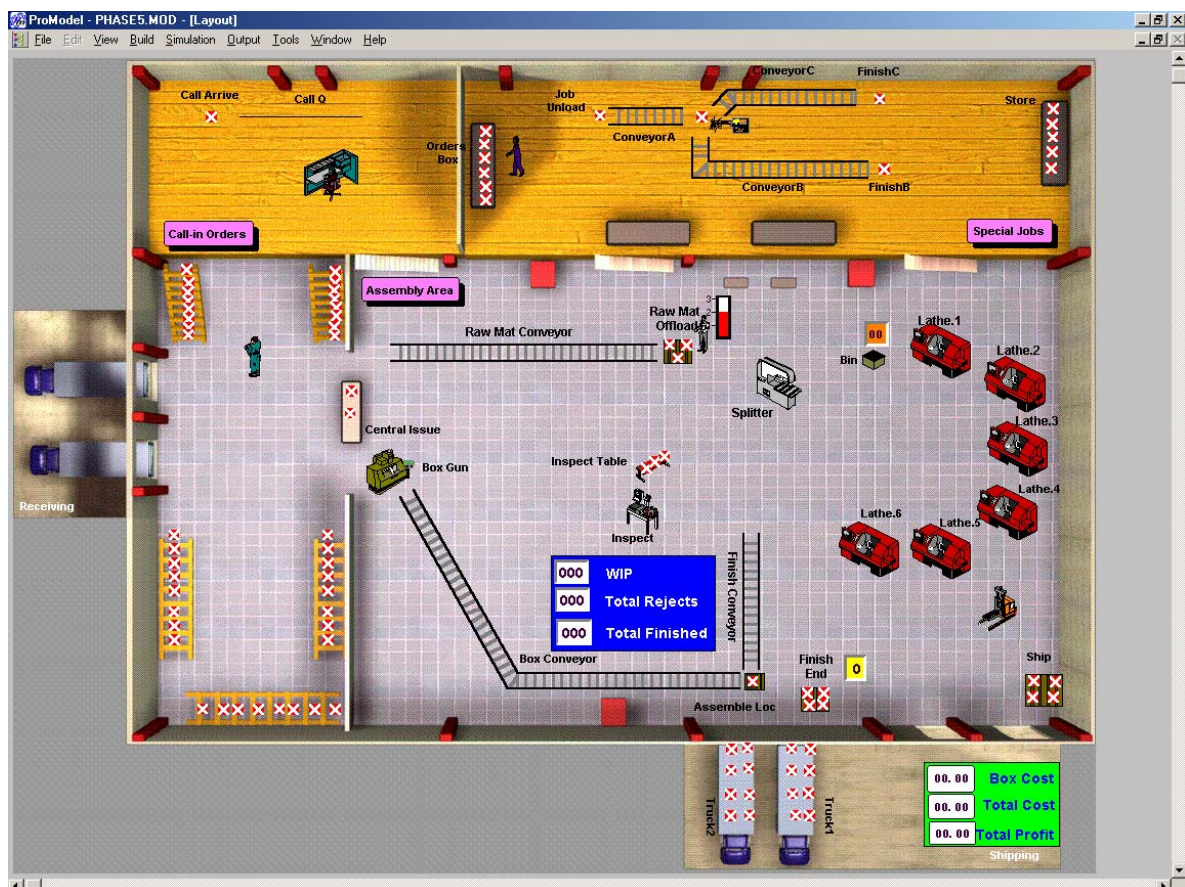


Figura 3.8 – ProModel®

Moreira (2001) descreve os principais softwares de simulação em uso nas empresas do Brasil. Os exemplos citados pela autora passam pela aplicação na indústria petroquímica, como a construção da plataforma de petróleo pela Petrobrás no software Intergraph® (**Figura 3.9**), até o modelamento de layouts em 3D pela John Deere usando o software VisFactory® (**Figura 3.10**). Os principais softwares citados pela autora são: PDS, para aplicação em engenharia de processos de plantas químicas, modelando tubulações e equipamentos em 3D; Intools, para gerenciamento das informações sobre instrumentação da planta; SmartPlant de P&ID, SmartPlant, SmartPlant Explorer, SmartSketch e Marian: são softwares da Intergraph voltados para aplicação em indústrias de processo na elaboração de fluxogramas, maquetes e controle de materiais da construção da planta; I-Sketch e I-Field / Spoogen, para construção de isométricos inteligentes; PlantSpace, também voltado a indústria de processos; PDMS, software de detalhamento de engenharia voltado para indústrias de energia e processo; VisFactory, software direcionado ao projeto de layout de fábricas com manufatura de produtos discretos. Nesta lista de softwares realizada pela autora, não foram citados dois softwares de simulação com grande aplicação nas empresas de manufatura: Promodel® e o Arena® (**Figura 3.11**).



Figura 3.9 – Plataforma de petróleo, MOREIRA (2001)

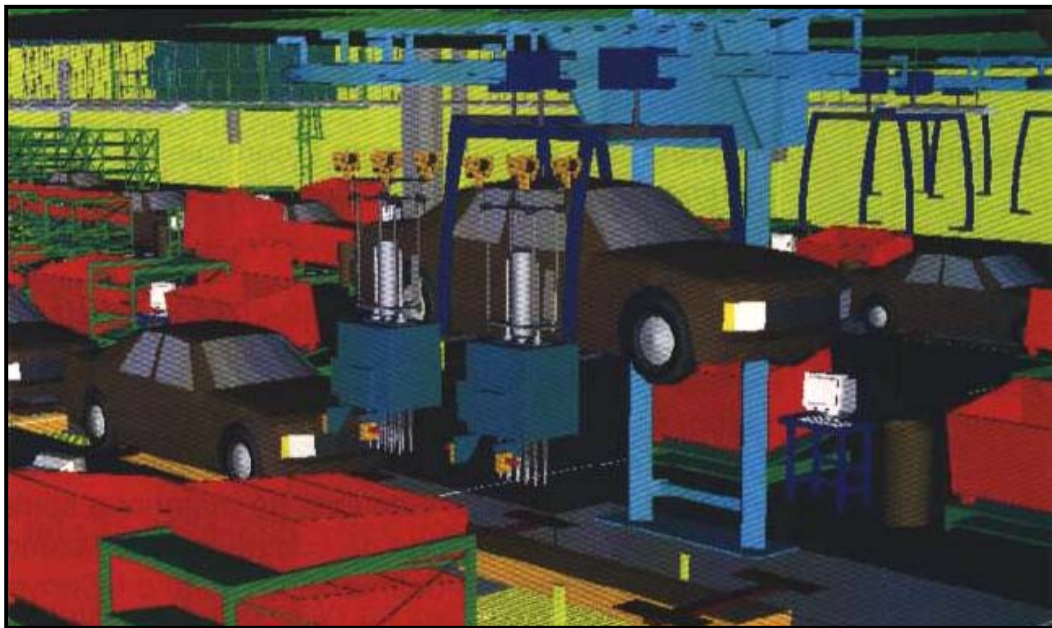


Figura 3.10 – VisFactory, MOREIRA (2001)

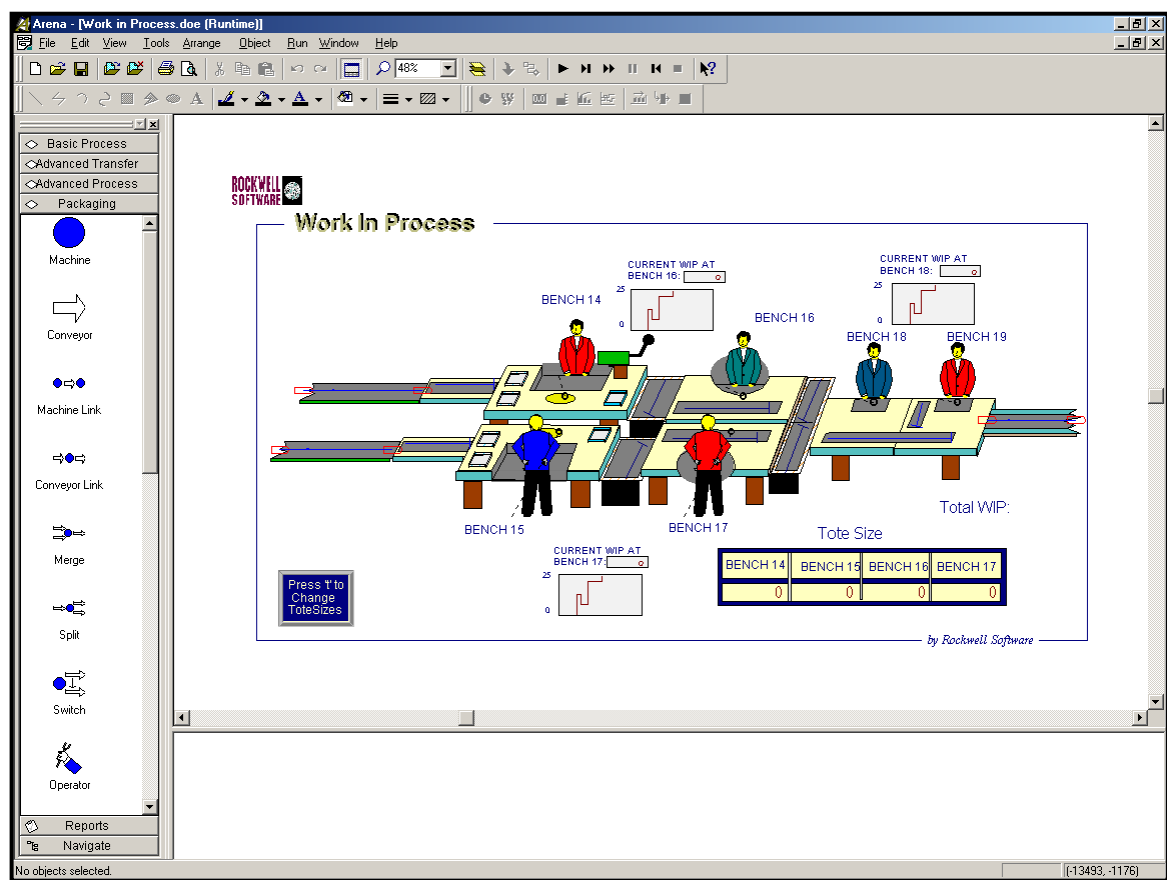


Figura 3.11 – Arena®

3.7 – Verificação e validação do modelo

Após a construção do modelo no software é natural existirem erros, pois é uma tarefa delicada e trabalhosa realizada por uma pessoa que esta sujeita a cometer enganos. Por este motivo HARRELL *et al.* (2000) enfatiza a importância da verificação e validação do modelo. Segundo o autor, verificar o modelo é realizar um trabalho de depuração da programação procurando dois tipos de erros: erros de sintaxe e erros de semântica. As principais técnicas de verificação são:

- revisão da codificação do modelo;
- verificar se a resposta de saída é coerente;
- verificar se a animação é coerente com a realidade ou com o esperado;
- usar os recursos de detecção de erros do pacote de software.

Validação, para o mesmo autor, é o processo onde se determina a relação de aproximação entre o modelo e a realidade que o mesmo representa. Esta parte da simulação é considerada de fundamental importância, pois todas as decisões sobre o que fazer no sistema real serão baseadas nos resultados que o modelo produzir. O modelo poderá estar funcionando sem nenhum erro de programação, mas isto não garante que o mesmo represente a realidade. Para HARRELL *et al.* (2000) o processo de validação não é trivial e o modelador somente poderá atestar a validade do modelo baseado em evidências. Segundo o mesmo autor, existem diversas técnicas para validar um modelo, desde uma simples visualização até complexos métodos estatísticos, sendo comum a combinação de duas ou mais técnicas para a validação. As técnicas mais comuns de validação utilizadas são:

- observação da animação;
- comparação com o sistema atual;
- comparação com outros modelos já validados;
- teste de degeneração e condições extremas do sistema;
- validação por aparência, onde pessoas que dominam o conhecimento do sistema são convidadas a opinar sobre a aparência final do resultado (normalmente usado em modelos lógicos conceituais);
- teste com dados históricos do sistema real;
- análise da sensibilidade de resposta a alterações de entradas e comparadas com o sistema real;
- condução de turing tests.

Segundo HARRELL *et al.* (2000), o tipo de validação mais usual é a comparação entre os resultados do modelo com os resultados do sistema real.

O propósito da validação é diminuir os riscos associado às decisões tomadas com base no modelo, mas deverá existir um equilíbrio entre o custo, o esforço e o risco envolvido (HARRELL *et al.*, 2000). A **Figura 3.12** ilustra este equilíbrio, onde fica claro que quanto menor o risco de existirem erros ou baixa precisão do modelo, maiores serão os custos da validação do sistema, podendo mesmo inviabilizar a execução da simulação devido ao custo total do projeto x a verba destinada ao mesmo.

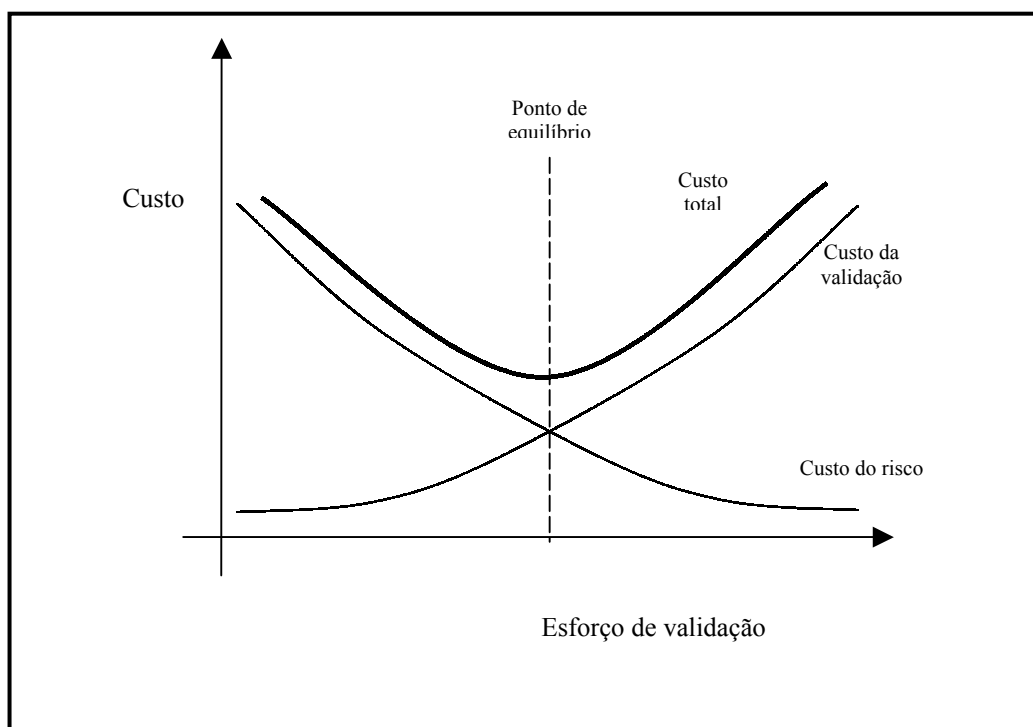


Figura 3.12 – Ponto de equilíbrio entre esforço e custo de validação, HARRELL *et al.* (2000)

3.8 – Considerações finais

Neste capítulo foi realizada uma revisão da parte básica da simulação, abordando uma parte extremamente importante para a indústria que é o fator custo x benefício da simulação, ou seja, gerando economia de custos e de tempo na fase de implantação do projeto através da diminuição de retrabalhos pós-implantação.

Segundo diversos autores (BANKS *et al.*, 2000; LAW e KELTON, 1986; HARRELL *et al.*, 2000), as empresas estão cada vez mais descobrindo as vantagens do uso

da simulação, além da economia nos trabalhos de implantação física, para prever o comportamento das plantas com diversos cenários e com isto criar planos de contingências ou embasar melhor o seu planejamento estratégico. Segundo os mesmos autores, existem diversas vantagens na aplicação da simulação, podendo destacar as seguintes: escolher corretamente uma alternativa (por exemplo, de layout) sem precisar investir ou comprometer recursos; visualizar situações que irão ocorrer durante o mês de produção em apenas alguns minutos; entender o porque de certos acontecimentos ocorridos na sua linha de produção, examinando minuciosamente cada etapa do processo sem precisar recriar o problema na prática e podendo interferir nas variáveis conforme a necessidade; explorar as possibilidades e potencialidades de novos métodos de trabalho ou outras mudanças, sem a necessidade de parar com a linha de produção real; entender melhor as inter-relações existentes nos sistemas complexos e como elas poderão ser trabalhadas para melhorar a performance do conjunto; identificar os gargalos ou as porosidades do sistema; visualizar as instalações em 3D, permitindo: a identificação de potenciais problemas, treinamento eficaz de operadores, em reuniões de decisão permitindo o entendimento visual por membros da diretoria não técnicos. As desvantagens destacadas foram: a interpretação dos resultados; atualização dos softwares devido à rápida evolução dos computadores; o uso de especialistas externos a empresa; o uso indevido do modelo, ou seja, o modelo foi construído para um determinado fim e está sendo utilizado para analisar outras variáveis que não foram programadas.

Como exemplos de aplicações da simulação em diversas áreas, pode-se citar: SHABAYCK e YCUNG (2003) aplicando a simulação no terminal de containeres de Hong Kong para determinar os melhores arranjos, visando maximizar o uso de área; CHAN e SPEDDING (2003) utilizando a simulação como base para a sua metodologia que propõem uma integração multidimensional dos processos de qualidade, produtividade e custo para melhoria de sistemas de manufatura; AL-MUBARAK *et al.* (2003) faz uma comparação, aplicando a simulação, entre os layouts do tipo flow shop, job shop e celular com lotes de fabricação; O'KANE *et al.* (2000) aplicou a simulação para melhorar o fluxo do produto em uma empresa fabricante de motores, ganhando produtividade, reduzindo estoques em processo e reduzindo o lead-time.

O **Quadro 3.1** resume os principais conceitos de sistema, modelo e tipos de simulação abordados anteriormente.

SISTEMA	MODELO		SIMULAÇÃO
DISCRETO: Variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	DETERMINÍSTICO: Variáveis assumem valores determinados.	ESTÁTICO: Estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	TERMINANTE: Há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.
CONTÍNUO: Variáveis mudam constantemente com o tempo.	ESTOCÁSTICO: Variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	DINÂMICO: Representa o sistema a qualquer tempo.	NÃO TERMINANTE: Há interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo prolongar-se indefinidamente.

Quadro 3.1 – Resumo dos principais conceitos, PEREIRA (2000)

O software a ser utilizado neste trabalho será o ProModel 4.22, por apresentar as seguintes características: ser um software de mercado, aplicado por diversas empresas no Brasil como Volkswagen, GM, BRAHMA, Springer Carrier, Hospital das Clínicas, Petrobrás, Itaú (BELGE, 2003), sua interface ser amigável e a Universidade ter acesso ao uso do pacote.

METODOLOGIA

4.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresentará a metodologia a ser empregada no desenvolvimento do trabalho de aplicação da simulação em uma célula de fabricação em lotes do setor de auto peças. A metodologia descreve de uma maneira estruturada todos os passos a serem seguidos desde a definição do problema ou abrangência do estudo em questão como, por exemplo, o estudo de uma única máquina dentro da célula ou a sua totalidade, até a apresentação e interpretação dos resultados obtidos. Segundo diversos autores (BANKS, 2000; HARRELL *et al.*, 2000; LOBÃO e PORTO, 1995; LAW e KELTON, 1982), a metodologia tem como principal objetivo sistematizar o desenvolvimento do trabalho de simulação, otimizando o trabalho e a integração do usuário e do modelador.

4.2 Metodologias

Existem diversas maneiras para se iniciar o desenvolvimento do trabalho de simulação como, por exemplo, escolher um software de mercado ou desenvolver uma solução própria, contratar um consultor ou treinar um funcionário e por onde começar a equacionar o problema. Assim o trabalho de simulação exige um planejamento estruturado e uma condução metódica de modo a evitar o desperdício de tempo, dinheiro e resultados frustrantes. Segundo VAZ e GIL (1988) é necessário dominar o impulso do sair fazendo sem um planejamento, ou seja, sem um método de abordagem do trabalho.

Na revisão bibliográfica foram identificadas quatro metodologias possíveis de serem aplicadas neste trabalho as quais serão descritas a seguir.

LAW e KELTON (1982) mostraram uma seqüência típica para o estudo da simulação com uma seqüência lógica do fluxo de trabalho e o inter-relacionamento entre as fases, onde a etapa anterior precisa estar pronta para passar a execução da posterior,

conforme descreve a **Figura 4.1**. A metodologia é composta por 10 etapas: o passo nº 1 é a formulação do problema e o plano de estudo, neste item o problema é caracterizado e define-se o resultado esperado da simulação; no passo nº 2 o modelo é definido e a coleta de dados é realizada de acordo com as necessidades do modelo; no passo nº 3 é realizada a validação dos dados e a coerência do modelo; no passo nº 4 é realizada a programação do modelo no software; nos passos nº 5 e 6 são realizados os testes do modelo programado, eliminando os possíveis erros de programação; no passo nº 7 será realizado o teste do modelo já com os dados reais (passo 8) ou não dependendo do tipo e do propósito da simulação; no passo nº 8 o modelo é testado com os dados reais e avaliada a sua coerência com a realidade; no passo nº 9 serão realizadas as experimentações e a análise dos resultados dos experimentos e o passo nº 10 é o fechamento da simulação com a geração da documentação da programação, dos resultados e a implementação da solução encontrada.

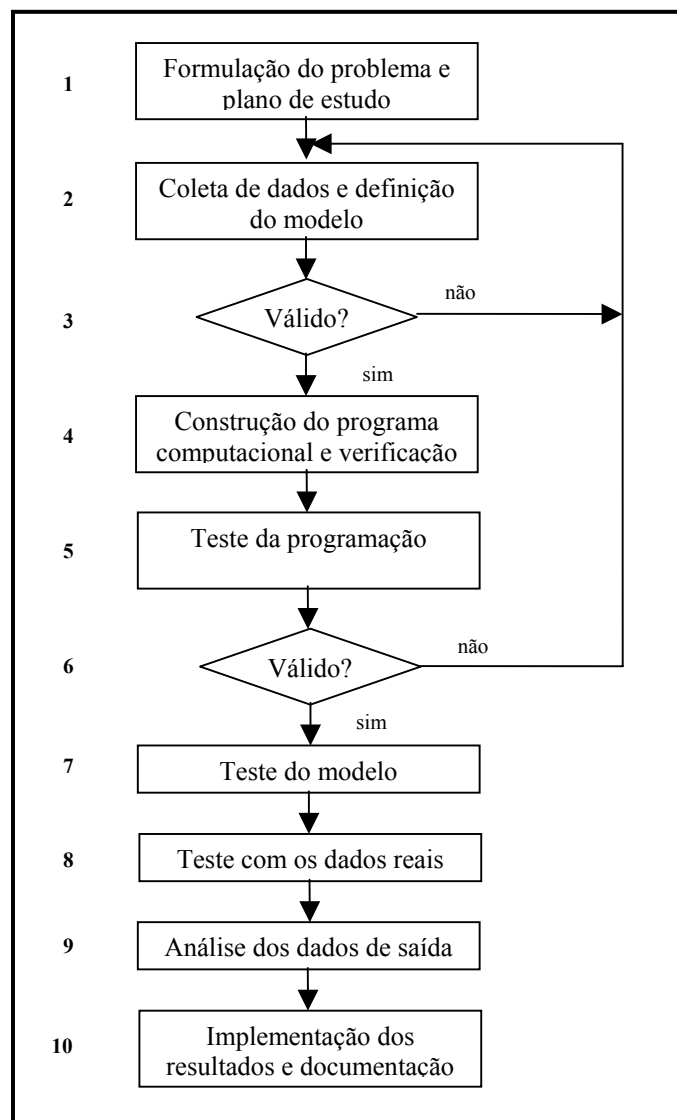


Figura 4.1 – Seqüência do estudo de simulação proposto por LAW e KELTON (1982)

PRITSKER e PEGDEN (1979) descrevem um processo iterativo de simulação onde a etapa anterior não necessita estar totalmente concluída para iniciar-se a etapa seguinte, ou seja, as etapas acontecem simultaneamente. Com este processo uma etapa retro-alimenta a anterior gerando o refinamento do processo. Com esta metodologia corre-se o risco de retrabalhos caso alguma etapa adiante-se demais sem a anterior estar devidamente consistente. A descrição desta metodologia é representada na **Figura 4.2**.

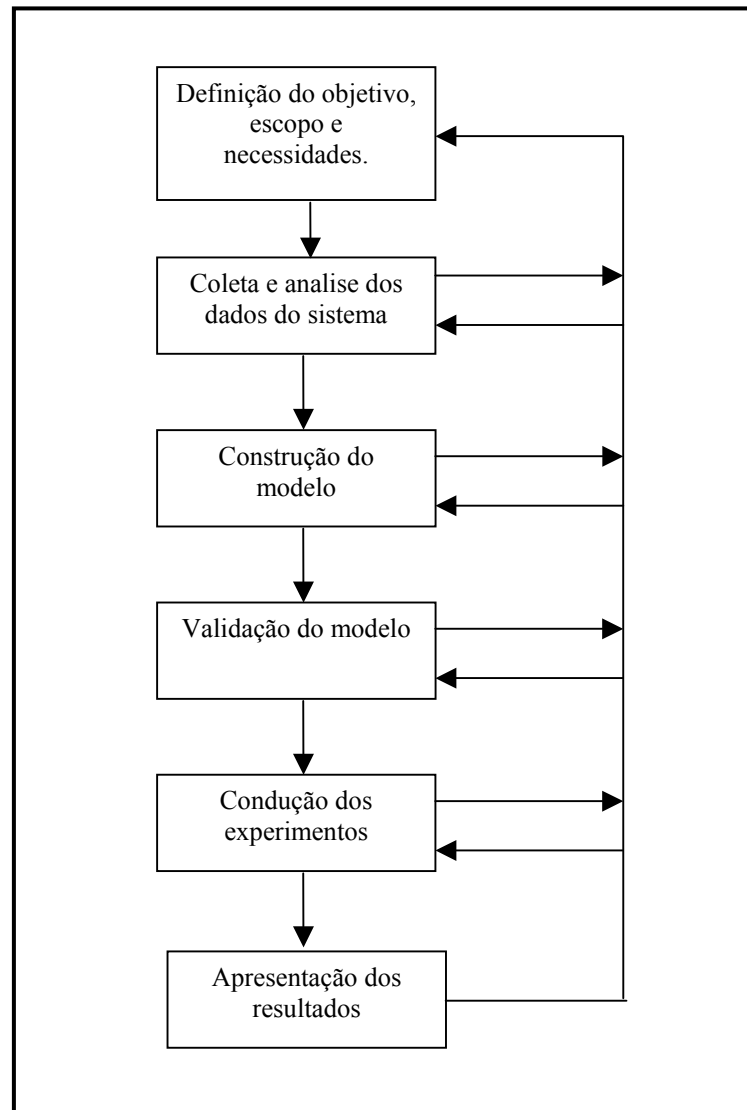


Figura 4.2 – Seqüência proposta por PRITSKER e PEGDEN (1979)

BANKS (2000) propõe uma metodologia mais detalhada com doze passos para guiar a construção do modelo no processo de simulação (**Figura 4.3**). O passo 1 trata da definição do problema, neste momento o cliente informa ao modelador qual é o seu problema e o modelador tem que realmente entender o problema questionando o cliente e

preparando um descritivo minucioso do problema em parceria com o cliente. No passo 2 são estabelecidos os objetivos e o plano de trabalho, com os objetivos o modelador já possui uma indicação de quais serão as prováveis questões a serem respondidas ao final do trabalho. No passo 3 o modelador irá construir conceitualmente o modelo, ou seja, ele irá montar a o relacionamento lógico entre os componentes do modelo e a estrutura do sistema. No passo 4 o modelador pede ao cliente os dados do sistema no formato mais conveniente ao seu uso, mas esta etapa ocorre simultaneamente à etapa 3, portanto o modelador tem que ser rápido na etapa 3 para poder, caso seja necessário, re-direcionar a coleta de dados em função das características do modelo. No passo 5 é realizada a programação do modelo em um sistema computacional. No passo 6 o modelador realiza os testes de verificação da programação do modelo, depurando possíveis erros de programação e refinando a sua lógica de programação. No passo 7 será realizada a validação do modelo, ou seja, o quanto o modelo representa a realidade do sistema. O ideal seria comparar os resultados do modelo com os resultados reais do sistema, mas se o sistema ainda não é existente a validação deverá ser realizada através de outros métodos de validação de performance. No passo 8 serão realizadas as simulações dos experimentos ou cenários que o cliente deseja e determinado o número de replicações necessárias. No passo 9 são realizadas as replicações necessárias para a avaliação da performance dos cenários simulados. No passo 10 se determina a necessidade de mais replicações ou não e caso seja necessário em qual passo deverá ser iniciada a replicação (passo 8 ou 9). No passo 11 o modelador prepara toda a documentação do modelo e os relatórios finais para o cliente analisar as alternativas e decidir qual será implementada. Este passo da documentação é importante não somente pela geração dos relatórios de resultados, mas também pelo registro minucioso de como o modelo foi concebido e programado. O registro do modelamento permite o acesso a lógica usada e caso seja necessário saber onde alterar, independente do modelador que o criou. Finalmente o passo 12 é a implantação da solução julgada adequada.

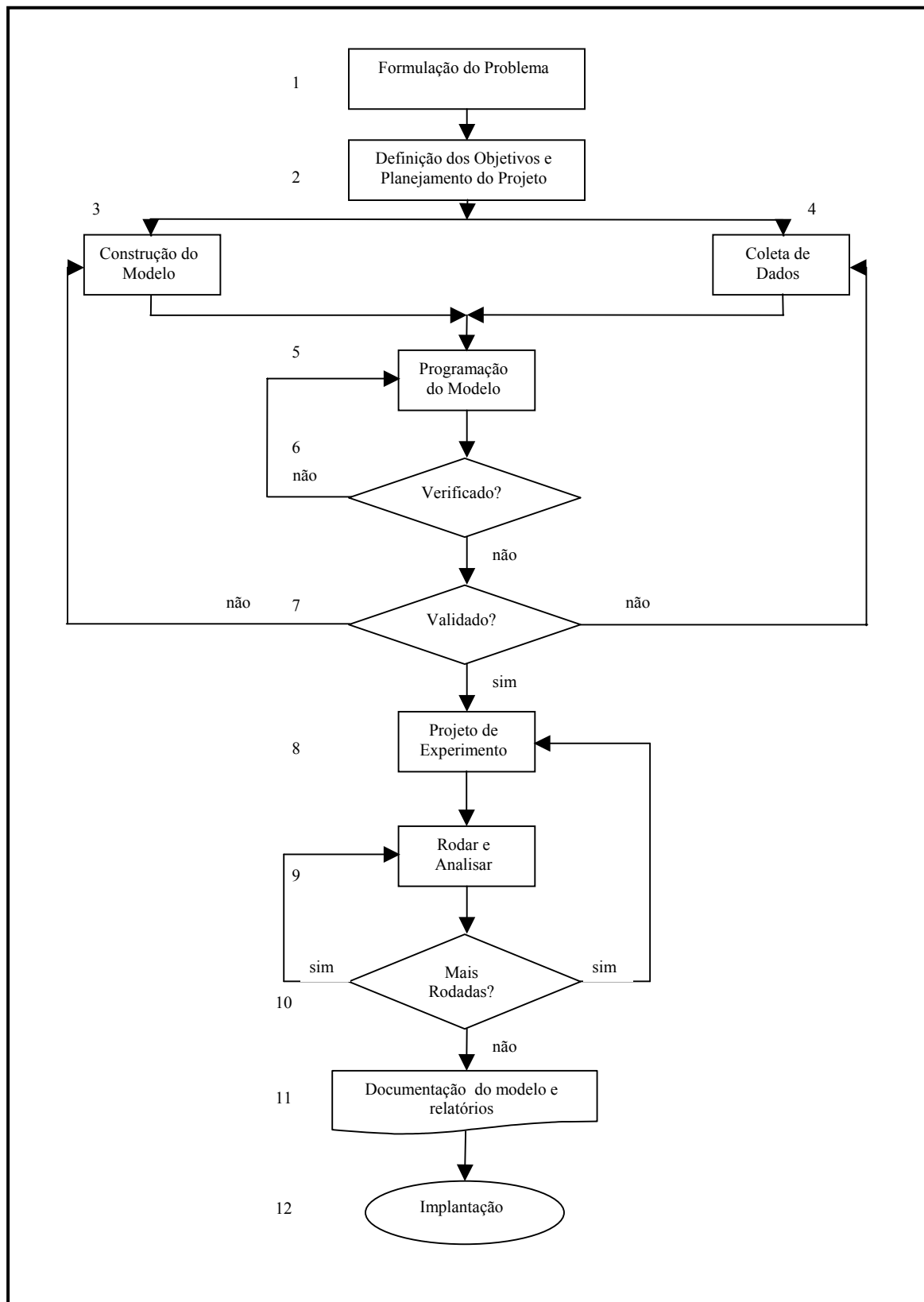


Figura 4.3 – Seqüência proposta por BANKS (2000)

LOBÃO e PORTO (1997) apresentam uma proposta de estudo de sistematização do estudo da simulação, procurando evidenciar que os resultados obtidos com o estudo só terão qualidade e consistência se o trabalho for bem fundamentado, conduzido de uma forma lógica e metódica. Esta proposta é composta por dez passos (**Figura 4.4**). A seguir serão comentados cada um dos passos da proposta. O passo 1 é a definição do problema e dos objetivos do estudo, neste momento o modelador e o usuário deverão estabelecer um diálogo claro e preciso a respeito do problema e dos resultados esperados ao final do estudo de simulação. O modelador deverá fazer uma série de perguntas ao usuário visando entender como o sistema funciona na prática, por exemplo: qual será o propósito do modelo e como será utilizado; quais serão as variáveis de entrada e saída; se o sistema é existente, conhecê-lo fisicamente; quais serão os usuários do modelo; quem fará parte da equipe do projeto; quais os recursos serão disponibilizados; o prazo esperado; onde será realizado o trabalho. Também nesta fase o modelador deverá esclarecer o usuário sobre as limitações do estudo. No passo 2 o modelador deverá elaborar um esboço do que o modelo do sistema, visando a realização dos primeiros estudos sobre o fluxo de informações, disposição física dos equipamentos, quais serão os dados necessários e de que maneira deverão ser coletados e tabulados. No passo 3 deverá ser realizada a coleta de dados baseada no esboço do sistema. Os meios para obtenção dos dados poderão variar: se o sistema já é existente bastará coletar os dados históricos do mesmo ou coletá-los através de medições e para sistemas não existentes o modelador terá que trabalhar com catálogos de fabricantes, dados de sistemas similares, entrevistas com operadores e especialistas no processo, etc. No passo 4 o modelador deverá verificar a consistência dos dados coletados para evitar que o modelo seja construído em cima de uma base errada. No passo 5 será construído efetivamente o modelo em um software de simulação. Nesta etapa surge a necessidade da escolha do software a ser utilizado, o modelador deverá levar em consideração a necessidade do modelo e a interface oferecida pelo pacote de software. No passo 6 será realizada a validação do modelo, esta validação poderá ser realizada de diversas formas: a mais comum é confrontar os resultados de saída com os dados reais do sistema; uso de técnicas estatísticas; teste de Turing, onde especialistas no sistema estudado recebem dois relatórios – um com os dados simulados e o outro com os dados reais do sistema, sem a identificação de qual é o real e qual o modelado, e discutem as diferenças. No passo 7 deverão ser planejados os experimentos a serem rodados no modelo, visando a escolha da melhor alternativa. No planejamento do experimento alguns itens deverão ser levados em consideração: sob quais condições cada simulação será realizada; qual a duração de cada

simulação; quantas replicações deverão ser efetuadas para cada cenário; será adotado algum método de planejamento de experimentos como Taguchi. No passo 8 efetivamente serão realizados os experimentos planejados no passo anterior e analisados os resultados, devendo os resultados ser cuidadosamente documentados e guardados para futura comparação. No passo 9 será realizado o refinamento do experimento, se o resultado for considerado satisfatório poderá seguir para o próximo passo, caso contrário deverá voltar ao passo 7 para re-planejar o experimento. No passo 10 ocorrerá o fechamento do projeto com a análise dos relatórios gerados e escolha da melhor alternativa a ser implementada. Nesta etapa deverá ser gerada, pelo modelador, e entregue ao cliente a documentação detalhada referente a construção do modelo.

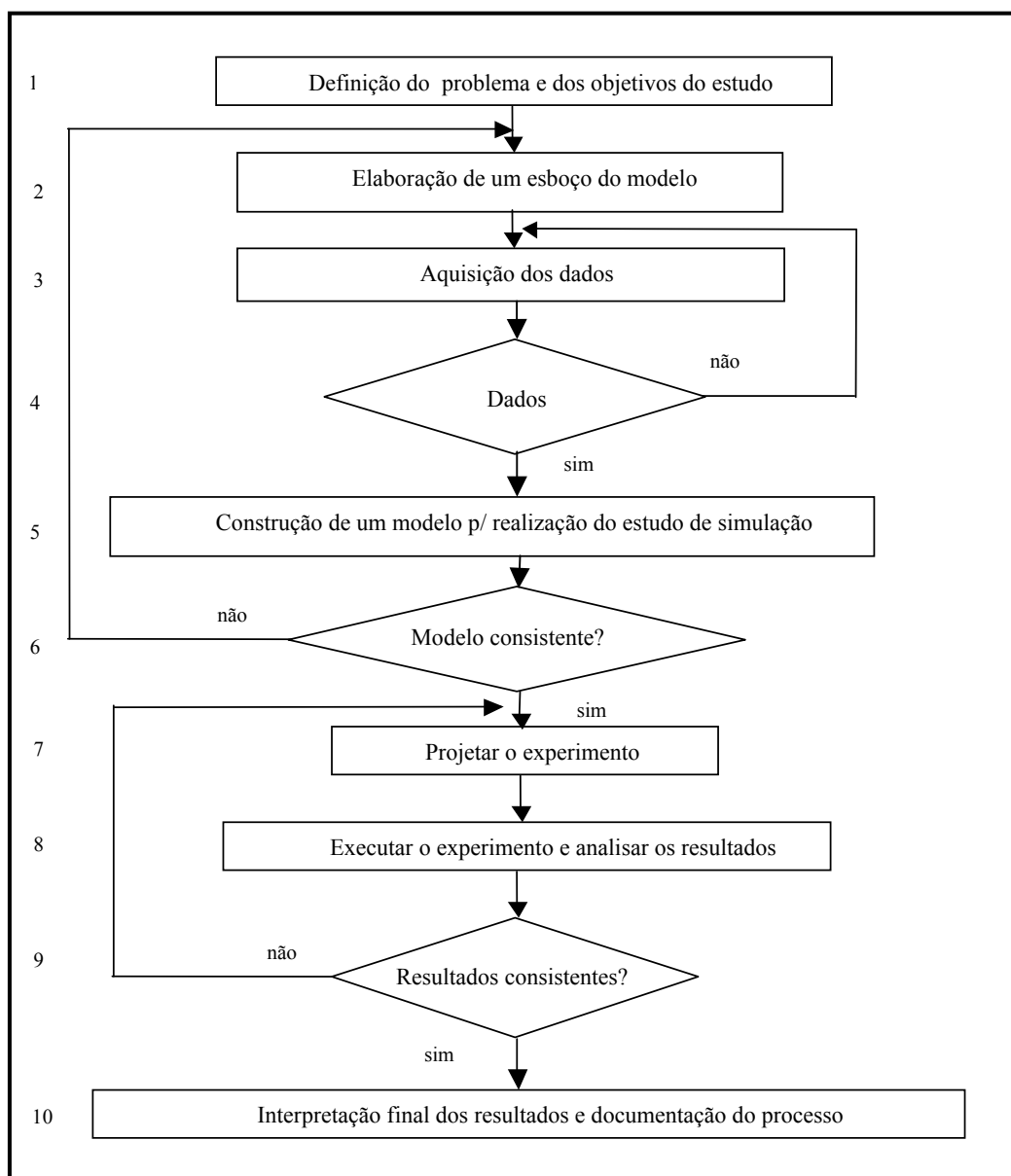


Figura 4.4 – Sequência proposta por LOBÃO e PORTO (1997)

Além das metodologias, vistos acima, o processo de modelagem deverá ser complementado pelos comentários realizados por PIDDA (1997) de que a modelagem computacional de um sistema não é uma tarefa trivial, portanto exigindo muito esforço do modelador para que conduza o projeto com raciocínio cuidadoso e planejado. O mesmo autor propõe uma sequência de cinco princípios básicos a serem observados durante a modelagem do sistema, descritos a seguir:

1. Modele simples, pense complicado. O modelo não precisa ser tão complexo quanto à realidade, mas é importante que o modelo seja criticamente avaliado e submetido a um pensamento rigoroso;
2. Seja parcimonioso, comece pequeno e vá acrescentando partes até obter um modelo geral válido o suficiente para o propósito inicial;
3. Evitar a construção de grandes modelos, quebrando-se o modelo complexo em modelos mais simples e que possam ser entendidos e usados;
4. Não se apaixone pelos dados, pois os mesmos poderão estar escondendo erros. A idéia básica é que o modelo conceitual dirija a coleta e a análise dos dados;
5. O comportamento do modelador deverá ser o de um montador de "quebra cabeças", pois normalmente o sistema real é desordenado e composto por diversas partes que não se encaixam perfeitamente cabendo ao modelador entendê-las e encaixá-las.

4.3 Definição da metodologia

No tópico 4.2 foram mostradas algumas das metodologias de abordagem do trabalho de simulação encontradas na literatura por vários autores (PRITSKER e PEGDEN, 1979; LAW e KELTON, 1982; LOBÃO e PORTO, 1997; BANKS, 2000) e os princípios de PIDDA (1997). Comparando-se as metodologias percebe-se que não diferem muito em seus princípios básicos. A metodologia escolhida foi a de LOBÃO e PORTO (1997), com base no trabalho realizado por PEREIRA (2000) e na observação de que a mesma possui os mesmos princípios básicos das demais metodologias com a vantagem da sequência adaptar-se bem à aplicação da simulação em uma indústria de manufatura em lotes.

PEREIRA (2000) em seu trabalho adaptou alguns termos da metodologia de LOBÃO e PORTO (1997) com a finalidade de aproximar a linguagem dos passos à

realidade da aplicação específica (célula de manufatura), facilitando o entendimento por parte do cliente (**Figura 4.5**). A linguagem adotada neste trabalho será a da **Figura 4.5**.

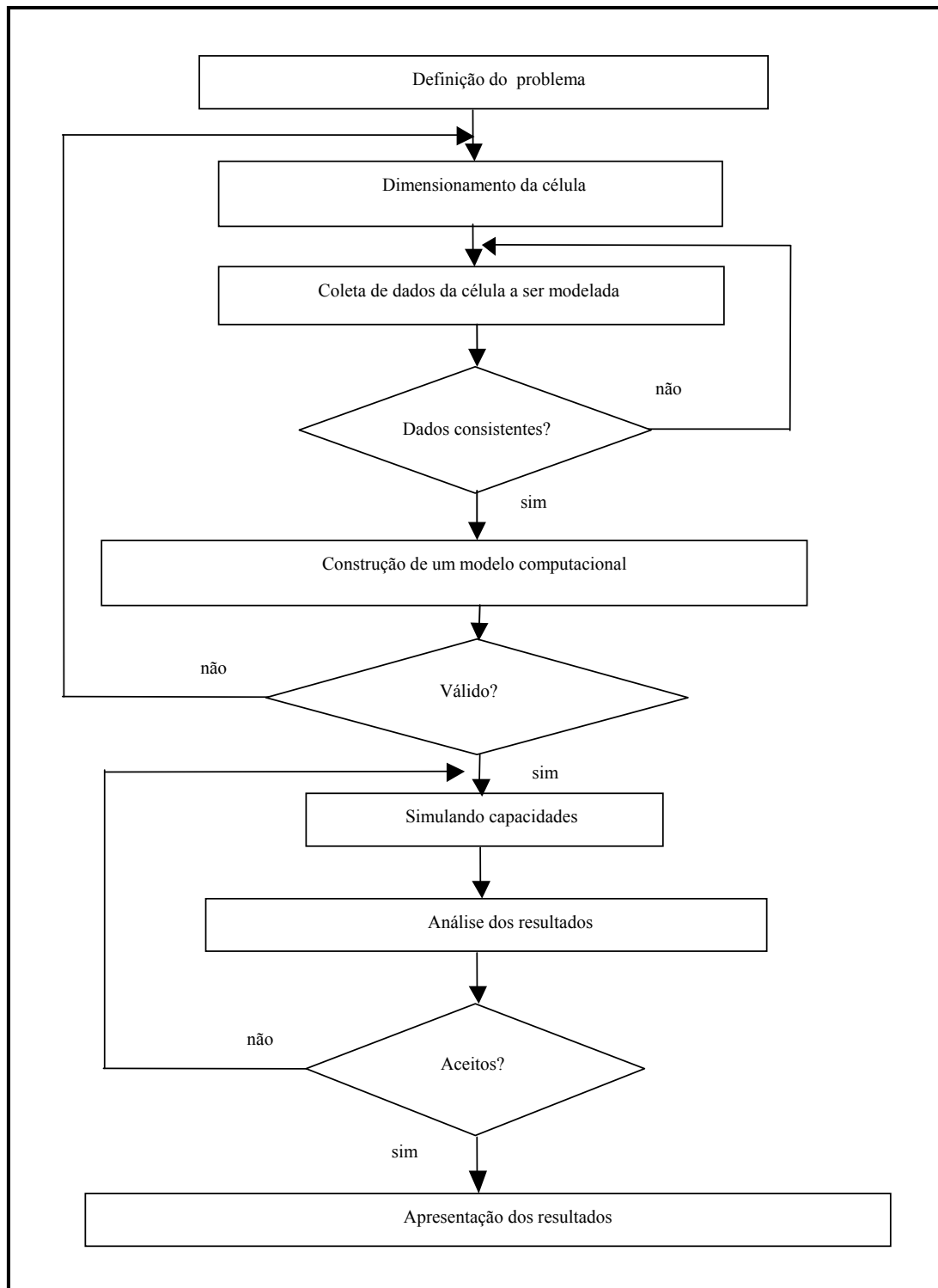


Figura 4.5 – Sequência proposta por PEREIRA (2000)

4.4 Considerações finais

O projeto de simulação computacional deverá seguir uma metodologia, por mais trivial que possa ser o trabalho ou por mais experiente que seja o modelador, para permitir que o mesmo possa ser realizado com sucesso. A metodologia auxilia na identificação e remoção de obstáculos que surgirem durante o projeto, ajuda na produção de um projeto bem documentado e fundamentado e com isto garantindo ao usuário condições de acompanhar a evolução do projeto e não apenas receber um relatório final para análise. Outro aspecto importante é a manutenção dos sistemas desenvolvidos e de seus modelos após conclusão do projeto, trabalho que necessita de uma documentação detalhada e organizada.

CARACTERIZAÇÃO DO CASO

5.1 Considerações iniciais

Este capítulo faz uma descrição da empresa onde foi desenvolvida a dissertação e do produto fabricado na célula estudada. A empresa é do ramo de auto-peças e considerada de grande porte tendo a sua produção caracterizada pôr fabricação em lotes, alta diversidade em sua linha de produtos e variação no tamanho e frequência dos lotes de produção. O problema da empresa esta na necessidade de aumentar a capacidade produtiva da célula de manufatura em função da previsão de aumento da demanda.

5.2 Descrição da empresa

Em empresas de manufatura é muito comum a necessidade de alteração de processos, muitas vezes atrelada a mudanças no arranjo físico da planta. Em especial as empresas do segmento de auto-peças, onde há grande exigência de atualizações tecnológicas e variação da demanda. O estudo de caso será desenvolvido na empresa Mahle Cofap Anéis, pertencente ao grupo multinacional alemão Mahle. O grupo Mahle, no Brasil, possui 07 unidades e 8.000 colaboradores diretos, com a fabricação de diversos produtos da linha automotiva entre os quais pode-se destacar: pistões, bielas, bronzinas, sistemas de trem de válvulas, sistemas de filtros e anéis para pistões. A **Figura 5.1** ilustra estes produtos no seu local de aplicação.

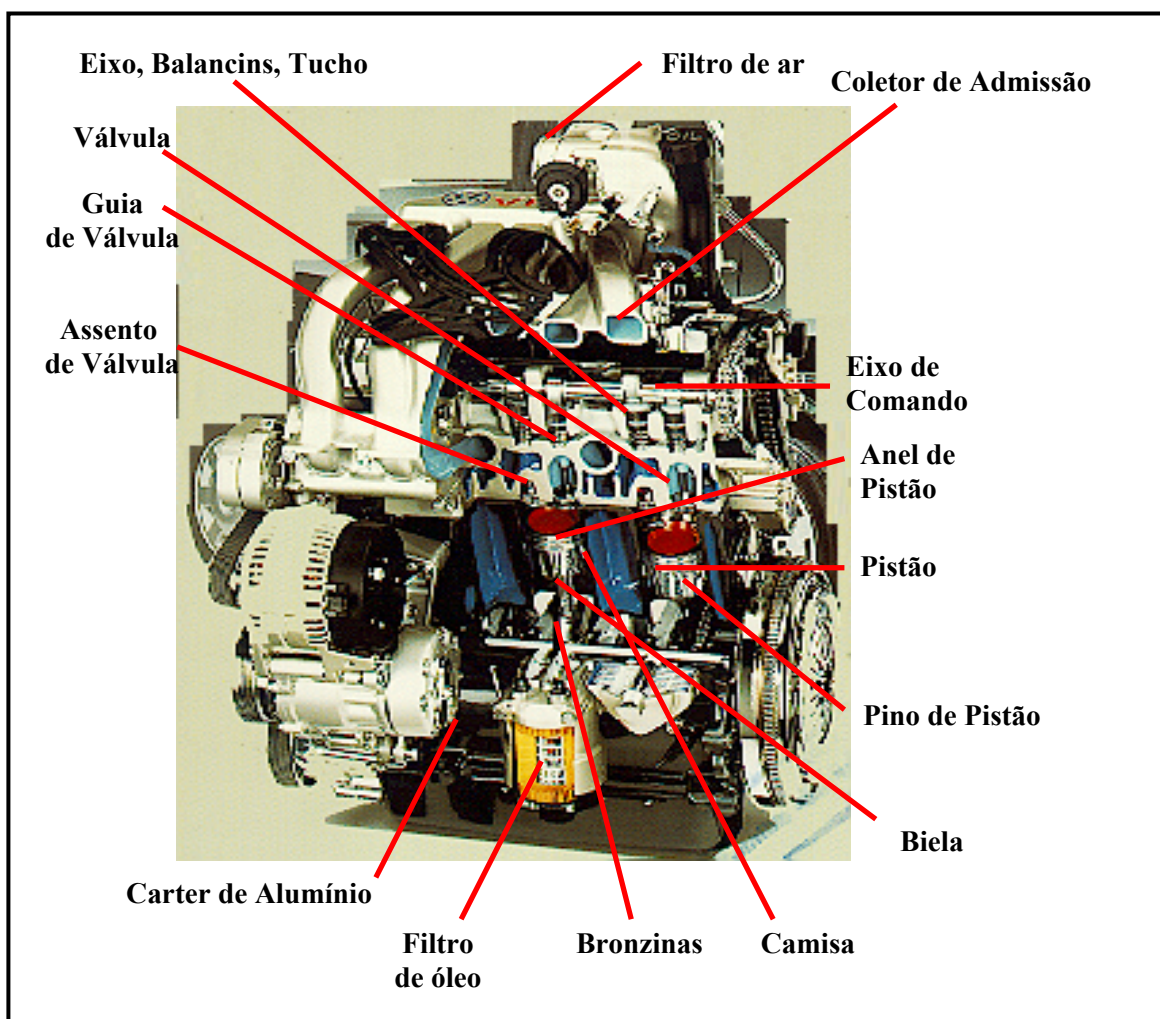


Figura 5.1 – Linha de produtos

A Mahle Cofap Anéis SA é a divisão do grupo onde são fabricados anéis para pistão de motor, possuindo quatro plantas distribuídas no Brasil, Portugal, Áustria e Austrália. No Brasil, a planta está situada em Itajubá – MG (**Figura 5.2**), sendo responsável pelo fornecimento de 90% da demanda de anéis para pistão de motor no mercado nacional de equipamentos originais (fornecimento direto às montadoras de automóveis), 60% do fornecimento da demanda para o mercado de reposição (venda em lojas de auto-peças) e também atua no mercado de exportação para Europa e América do Norte. A planta de Itajubá possui 1.800 colaboradores diretos e uma área construída de 48 mil metros quadrados em um terreno de 260 mil metros quadrados (anexo III).



Figura 5.2 – Vista geral da fábrica

A organização da planta esta baseada no conceito de mini fábricas. Cada mini fábrica possui uma organização matricial que permite ao seu gestor ser o “dono” do empreendimento (**Figura 5.3**), sendo responsável por: custo, qualidade, manutenção, processo e programação da sua área.

OPERAÇÕES					
	CHEFE 1	CHEFE 2	CHEFE 3	CHEFE 4	CHEFE 5
	FUNDIÇÃO	PRE USINAGEM	ANÉIS SEM COBERTURA	ANÉIS COM COBERTURA	PRODUTOS DE AÇO
QUALIDADE	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
PRODUÇÃO	P1	P2	P3	P4	P5
ENGENHARIA	E1	E2	E3	E4	E5
LOGÍSTICA	L1	L2	L3	L4	L5
MANUTENÇÃO	M1	M2	M3	M4	M5
GERENTES "ALÉM DAS FRONTEIRAS"	EQUIPE DAS MINI-FÁBRICAS EMPRESÁRIOS - AUTONOMIA / AUTORIZAÇÃO				

Figura 5.3 – Organização matricial das mini fábricas

A divisão das mini fábricas foi realizada em função do tipo do processo de fabricação do produto. O processo de produção foi dividido em categorias, sendo estas

estabelecidas de acordo com o material utilizado para a fabricação e o tratamento superficial recebido:

- anéis com cobertura - são anéis de ferro fundido que recebem em sua face de contato um tratamento superficial a base de cromo, nitretos ou molibdênio;
- anéis sem cobertura - são anéis de ferro fundido que recebem um tratamento superficial de fosfatização ou ferroxidação;
- anéis de aço - são anéis fabricados a partir de uma fita de aço que poderá ter tratamento superficial ou não.

5.3 Descrição do produto

O anel de pistão é um componente de extrema responsabilidade para o funcionamento do motor. Usando uma descrição simples feita no manual Doutor em Motores (1980) "Os anéis de pistão são peças de metal que, quando instaladas nos cilindros dos motores, tornam-se circulares e auto expansivas, proporcionando uma vedação móvel entre a câmara de combustão e o carter do motor". A **Figura 5.4** mostra o desenho de um anel e sua localização no motor.

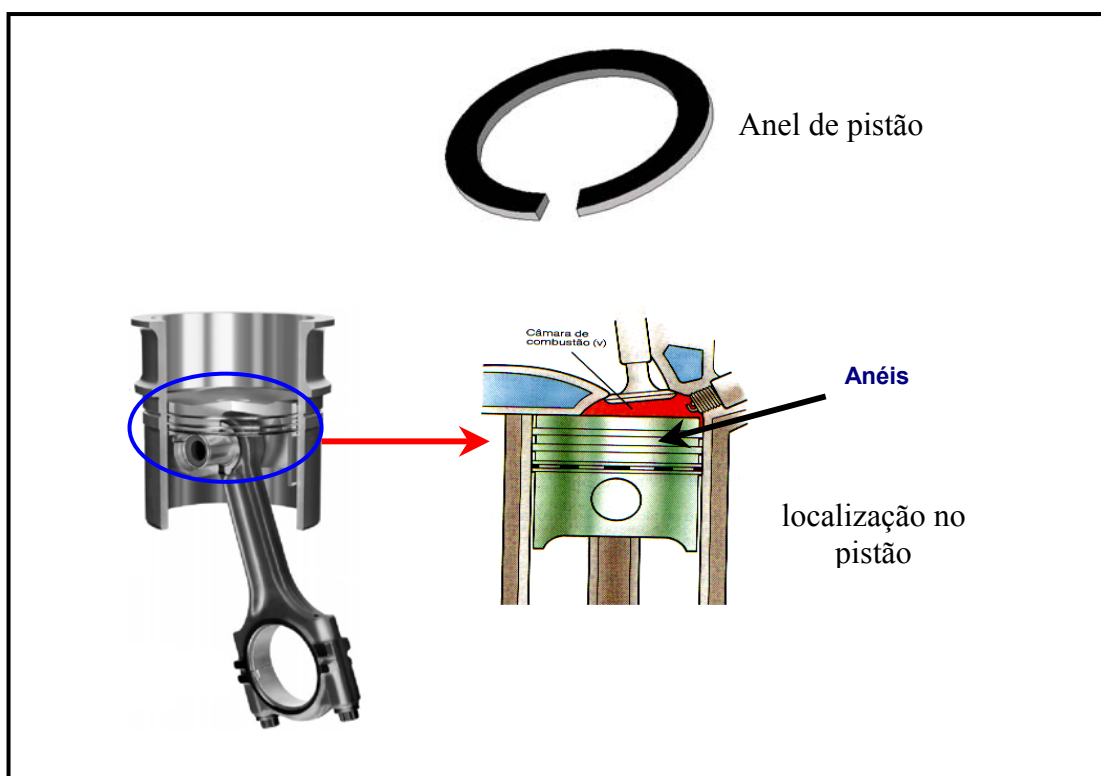


Figura 5.4 – Produto anel e sua localização no conjunto camisa e pistão

As principais funções do anel de pistão são: vedação da câmara de combustão em relação ao carter, impedindo que os gases da combustão ou a pressão de compressão passem para o carter; transmitir o calor absorvido pela cabeça do pistão para as paredes do cilindro e destas para o sistema de arrefecimento e controlar a lubrificação dos cilindros. Em razão destas funções os anéis foram divididos em dois tipos básicos: anéis de compressão e anéis de óleo. No pistão estes tipos estão distribuídos em três canaletes, sendo o 1º canaleta de compressão, 2º canaleta anel raspador e o 3º canaleta anel de óleo. A **Figura 5.5** ilustra a posição dos canaletes no desenho em corte de um pistão e a **Tabela 5.1** resume a classificação dos anéis, as funções e potenciais problemas.

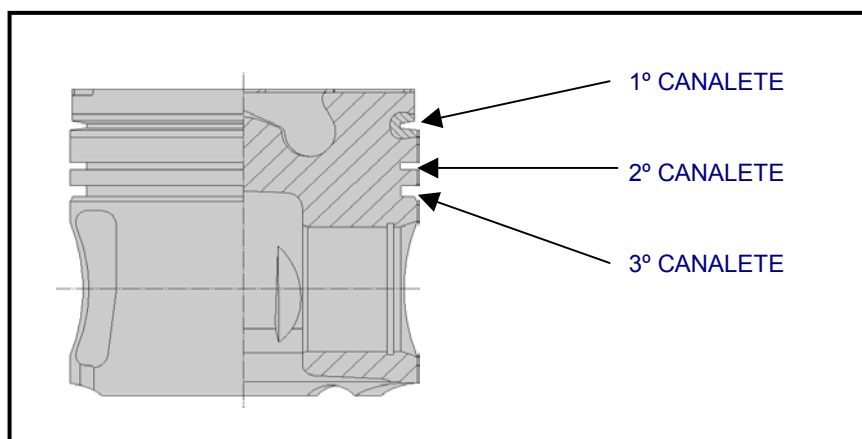


Figura 5.5 – Posição dos canaletes no pistão

	1º canaleta	2º canaleta	3º canaleta
Descrição	Anel de Compressão	Anel Raspador	Anéis de Óleo
Função	Vedar a câmara de combustão, evitando que os gases provenientes da explosão passem para o cárter	Raspar o excesso de óleo do cilindro, mantendo um filme de óleo lubrificante	Distribuir o óleo lubrificante nas paredes do cilindro
Disposição no Pistão	1º anel a partir da cabeça do pistão	2º anel a partir da cabeça do pistão	3º anel a partir da cabeça do pistão
Potenciais Problemas	Blow-by elevado (passagem de gases provenientes da explosão para o cárter)	Má distribuição do filme de óleo lubrificante, acarretando o travamento do motor ou a emissão de fumaça proveniente do óleo queimado	Risco em camisa
	Scuffing (travamento do anel no cilindro)		Consumo elevado de óleo lubrificante

Tabela 5.1 – Resumo das funções dos anéis

Para entender a descrição das operações e o processo de fabricação do anel é necessária uma breve introdução à nomenclatura básica das diversas partes que compõe o anel, ilustrada na **Figura 5.6**.

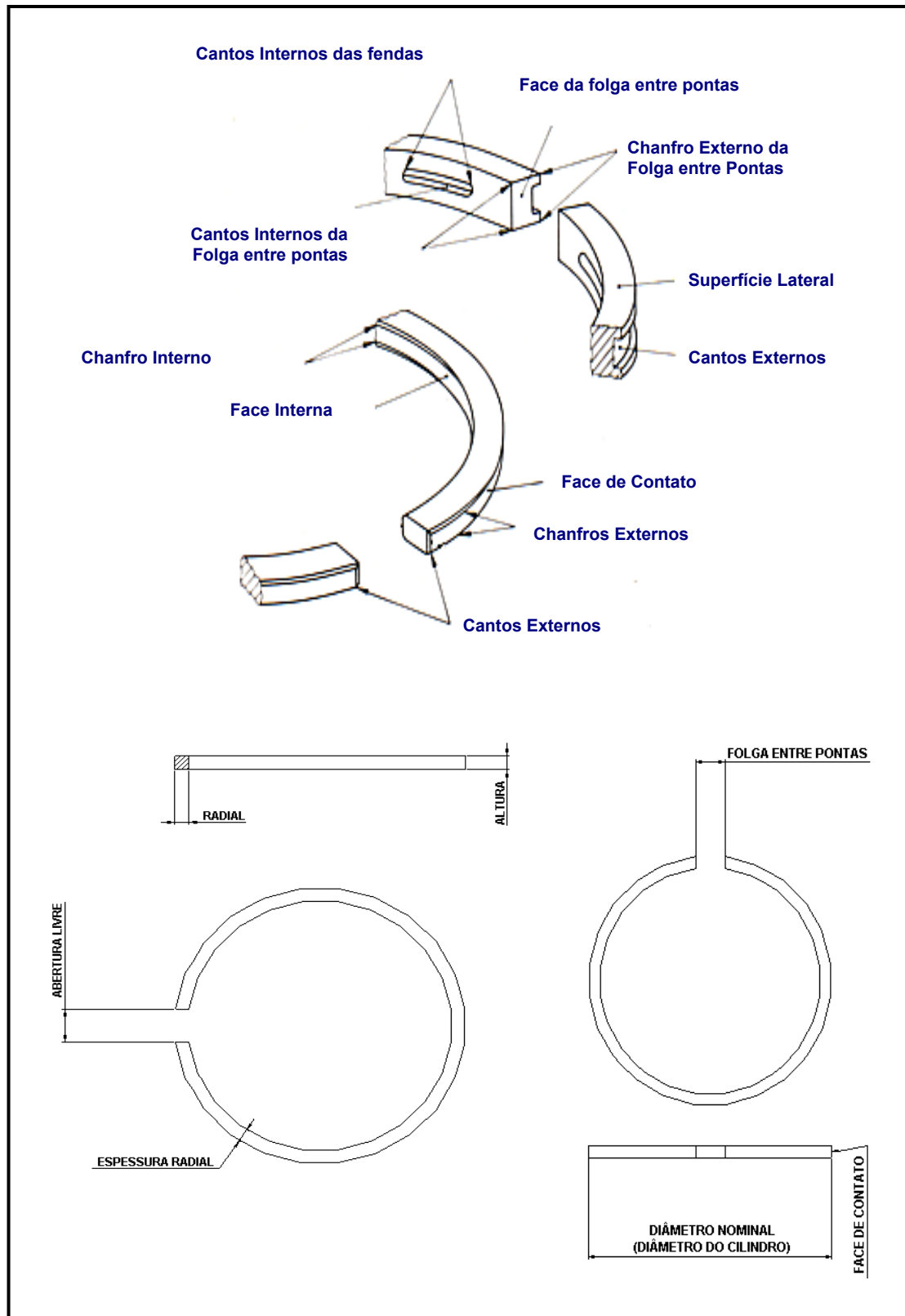


Figura 5.6 – Terminologia do anel de pistão

Para a fabricação do anel existem três processos de fabricação (**Figura 5.7**), partindo do material base do anel: fundição do blank, para anéis de ferro fundido cinzento ou nodular e com fita de aço.

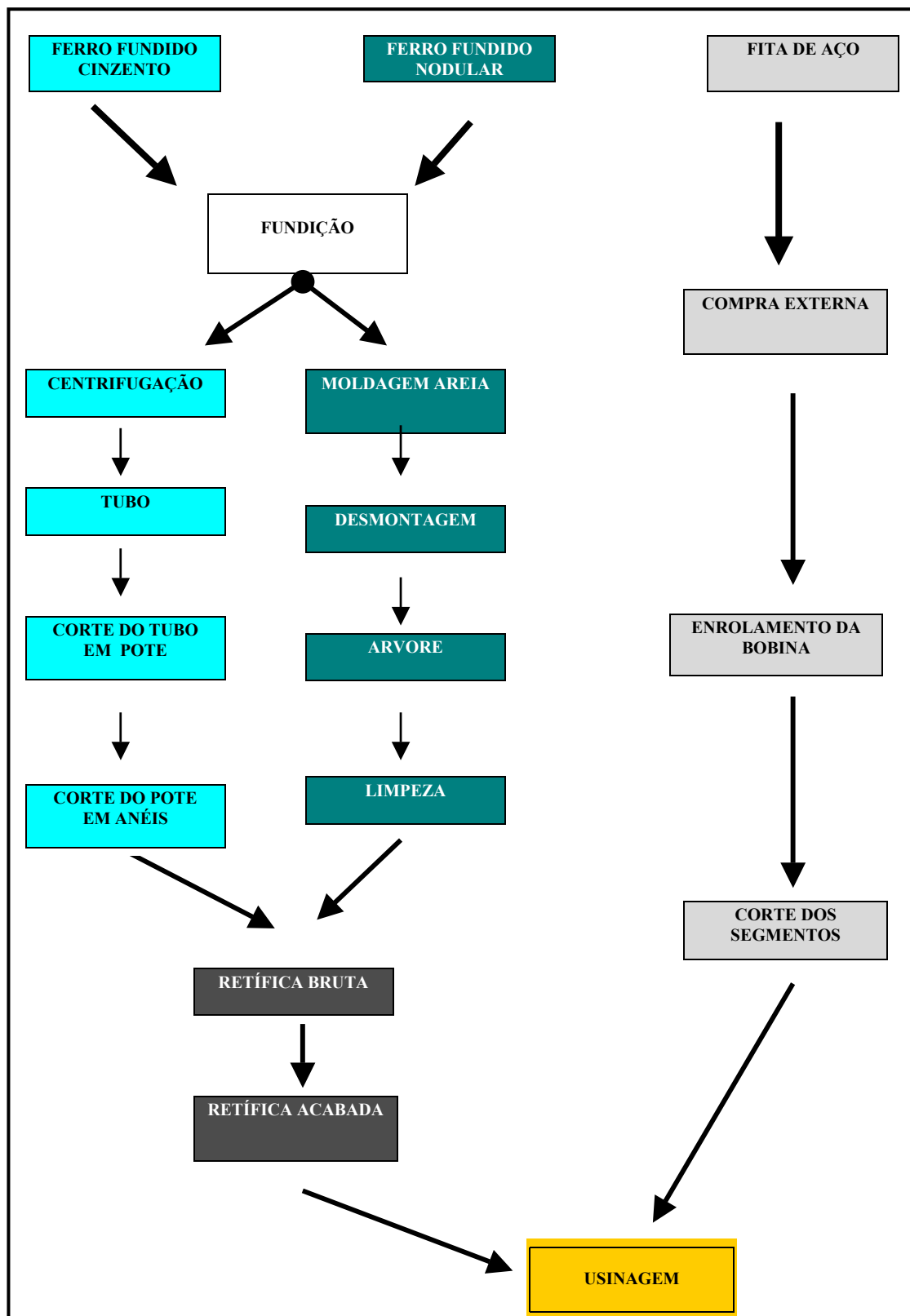


Figura 5.7 – Fluxo simplificado do processo de fabricação do anel base

5.4 Descrição do problema

Entre 1998 e 1999 foi iniciado o processo de reorganização da planta e para este trabalho foi contratada uma empresa de consultoria para assessorar, entre outros pontos, a reorganização do novo arranjo físico (migrando de um layout tipicamente funcional em diversas áreas para um layout celular em diversos pontos da planta) com incrementos de eficiência e produtividade. Passada esta etapa de reorganização a fábrica continuou com o seu ritmo produtivo e naturalmente com o seu processo de melhoria contínua, re-avaliando os seus processos e meios produtivos conforme a entrada de novos produtos e variação de demanda. A empresa possui 19.000 itens ativos em sua linha de produção com um volume médio de produção que ultrapassa 8 milhões de peças fabricadas por mês, divididas em aproximadamente 2.000 lotes de produção (OPA) e o tamanho dos lotes variando de 200 a 30 mil peças.

O planejamento da capacidade produtiva é realizado com base nas previsões de venda e o volume de peças é distribuído, de acordo com o seu tipo, para uma das três mini fábricas. A distribuição do volume previsto de produção dentro das mini fábricas é realizado pela divisão para cada tipo de sub linha ou família de peças. Com esta distribuição realizada a empresa tem a tabela da porcentagem de capacidade utilizada para cada área produtiva. É realizada uma análise desta tabela para o ano corrente e para os próximos dois anos e em conjunto com o plano mestre de ações (definido pela diretoria) determinam-se as ações e projetos para prover a fábrica da capacidade produtiva necessária à realização da previsão de vendas e metas gerenciais.

Nesta análise foi identificado que dentro da mini fábrica de anéis sem cobertura existia uma célula com sua capacidade programada acima de 100%. Quando a capacidade atinge 100% (ou acima), isto implica que a produção terá que usar do recurso de hora extra para atender a demanda e em um determinado momento mesmo com horas extras e revezamentos nos horários de refeição a fábrica não conseguirá atender a demanda do mercado. Esta situação expõe a empresa a riscos como: perda de mercado para a concorrência; multa por atraso na entrega e parada da linha de montagem do cliente; imagem comprometida junto ao cliente; perda da lucratividade planejada em função de horas extras e fretes especiais; etc. Com base nestes riscos a empresa necessita agir antecipadamente visando a evitar qualquer tipo de prejuízo, seja, quantitativo ou qualitativo.

5.5 Descrição da célula

A célula estudada faz operações de usinagem em uma família de anéis de ferro fundido cinzento ou nodular. As principais características da família que interferem no output da célula são:

- altura do anel variando de 1,2 a 2,5 mm, característica importante pelo fato de algumas máquinas trabalharem pôr pacotes de anéis e com isto quanto maior a altura do anel menor será a capacidade da máquina;
- geometria da face de contato, se o anel possuir rebaixo na sua face de contato a operação de torno acabado terá que colocar um espaçador entre cada anel o que diminuirá a sua capacidade;
- diâmetro e material, estas características representam uma restrição para quase todos os equipamentos porque o material interfere na usinabilidade (dureza e composição) e o diâmetro na velocidade de corte.

O fluxo geral de fabricação da célula é apresentado esquematicamente na **Figura 5.8**, onde podemos observar um fluxo principal e um secundário, pois atualmente 90% dos anéis não realizam estas operações secundárias. Ter contemplado estas máquinas no fluxo principal iria criar um deslocamento desnecessário a 90% da produção, pois teriam que “pular” estas operações. Esta célula é considerada de fase única, porque o anel entra bruto e sai acabado, necessitando apenas das operações: de inspeção, pintura e embalagem consideradas operações de bloqueio geral da mini fábrica e não serão analisadas neste estudo.

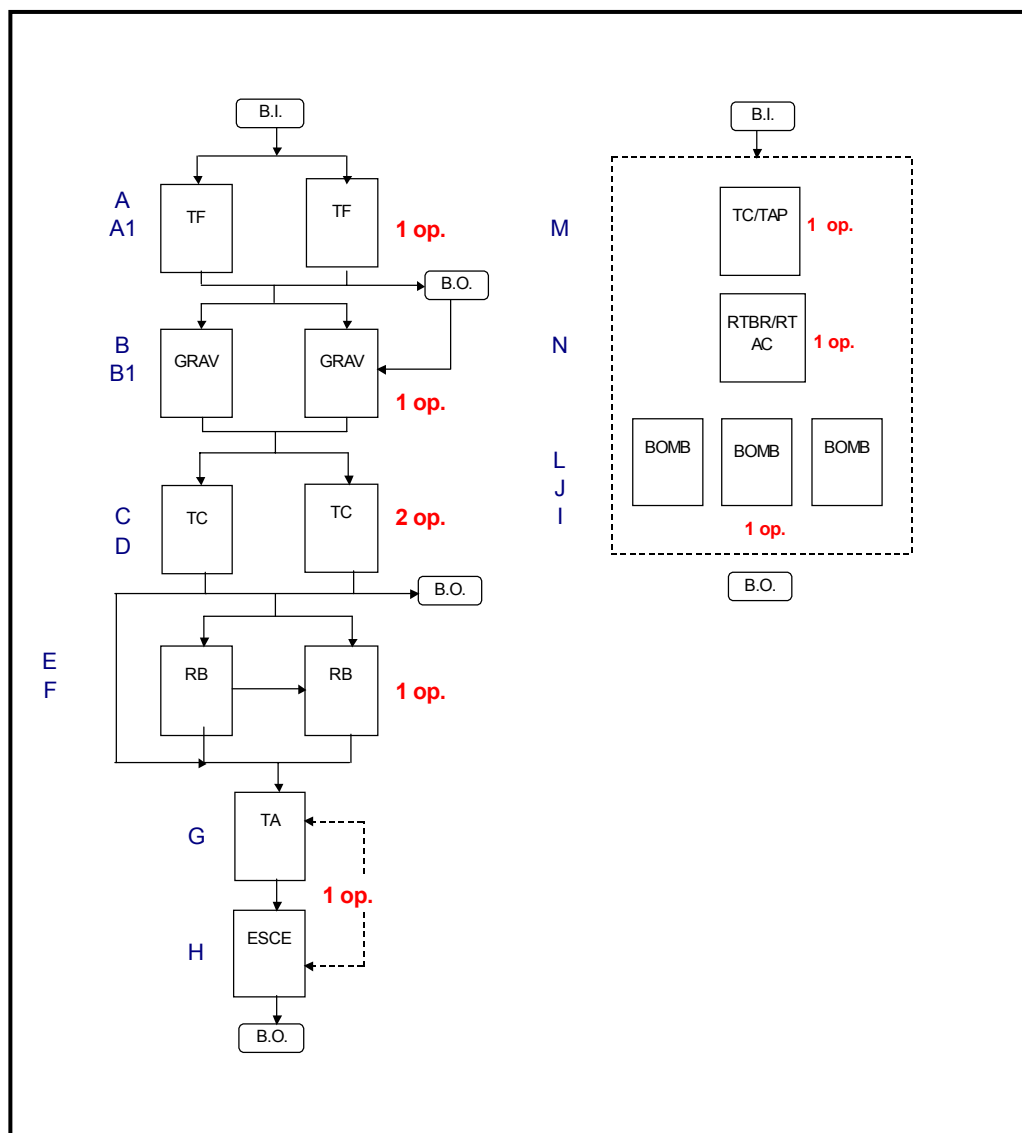


Figura 5.8 – Fluxo esquemático do processo da célula I.

O layout implantado é em forma de "U" para as principais operações e possui um fluxo secundário para os 10% de anéis, o desenho do layout e dos fluxos estão na **Figura 5.9**. Como pode ser observado no desenho, se as máquinas do fluxo secundário fossem inseridas no fluxo principal se teria uma perda na movimentação do produto, pois 90% da produção andaria alguns metros sem necessidade. A célula nesta configuração possui 09 operadores por turno e 15 máquinas, conforme lista abaixo :

- torno - TF (A e A1);
- gravadora - GRAV (B e B1);
- torno - TC (C e D);
- rebaixo - RB (E e F);
- topejadora - TA (G);

- escovamento - ESCE (H);
- torno – TC/TAP (M);
- retifica - RTB/RTAC (N);
- bombeamento - BOMB (I, J e L).

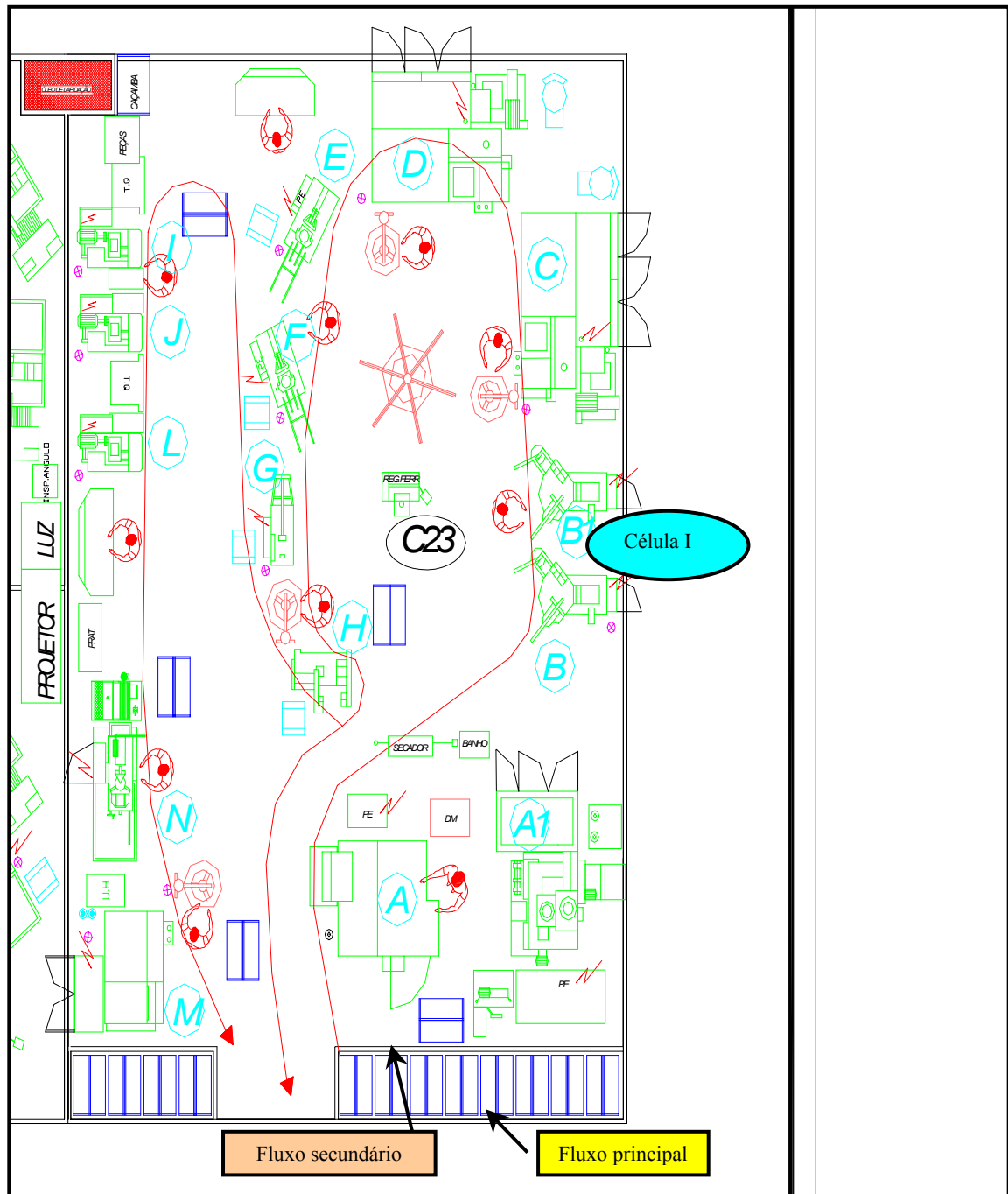


Figura 5.9 – Layout e fluxo da célula I

5.6 Considerações finais

Seguindo a metodologia proposta por PEREIRA (2000), foi realizado o primeiro passo, ou seja, a definição do problema. Também foi realizada a contextualização do estudo com o objetivo de mostrar o ambiente no qual a célula que será modelada e estudada está inserida. Partindo de uma visão macro do grupo empresarial, focalizando a planta onde será conduzido o estudo, caracterizando o tipo de produto e processo até chegar na célula que será o objeto de estudo.

No próximo capítulo serão abordadas as possíveis soluções para o problema da falta de capacidade da célula I e para identificar a melhor solução será aplicada a simulação, testando as soluções através de modelos computacionais.

APLICAÇÃO

6.1 Considerações iniciais

Este capítulo descreve a aplicação ao caso caracterizado no capítulo 5, seguindo a seqüência proposta por PEREIRA (2000). A abordagem inicia-se pelo planejamento do trabalho, onde será discutida a formação da equipe, as competências necessárias a cada membro e o cronograma de execução. A próxima fase será a discussão do problema e a geração das alternativas para a solução do mesmo. Também foi realizado o detalhamento da construção dos modelos no software ProModel®, passando pelas etapas de coleta de dados, simulação dos modelos, verificação e validação, análise dos resultados e simulação de cenários de seqüenciamento de produção.

6.2 Planejamento do trabalho (projeto)

No capítulo anterior foi caracterizado o caso com a descrição da empresa e de seus produtos e realizado o descritivo do problema a ser analisado. Isto caracterizou o 1º passo da seqüência proposta por PEREIRA (2000). Para iniciar-se o 2º passo da seqüência (delineamento da linha de produção) é necessário fazer o planejamento do trabalho, ou seja: definir o objetivo, montar a equipe de trabalho, definir os recursos disponíveis e elaborar um cronograma de execução.

6.2.1 Objetivo do projeto

O objetivo a ser alcançado ao final do estudo é a eliminação da necessidade de realizar horas extras (a serem realizadas durante os períodos de folga, pois a célula trabalha em regime de três turnos) e do risco que a empresa corre de não poder aceitar pedidos de clientes pela falta de capacidade produtiva, mas a solução final deverá estar apoiada no tripé custo, qualidade e prazo. Segundo MARTINS (1996), antes da venda de um produto é realizada a composição do seu preço levando-se em conta uma série de itens como seus custos diretos e indiretos e a margem de lucro, quando é realizada hora extra para garantir a

entrega do produto se afeta o equilíbrio entre o custo previsto na formação do preço e o real de fabricação diminuindo-se o lucro esperado do produto e com relação à recusa de pedido por falta de capacidade tem-se o custo da oportunidade perdida além de estar abrindo uma oportunidade para a concorrência.

6.2.2 Formação da equipe de trabalho

Com o objetivo traçado, entra em cena a formação da equipe que participará do projeto. A correta formação da equipe segundo NETO *et al.* (2000) e SPENCER *et al.* (1994) é de fundamental importância para o sucesso do projeto, porque na realização de um projeto são necessárias diversas habilidades ou aptidões e conhecimento que muitas vezes somente um único indivíduo não consegue reuni-las e mesmo que o consiga o fator tempo exige a distribuição de tarefas para que muitas etapas sejam realizadas em paralelo. Segundo SPENCER *et al.* (1994) a formação de uma equipe não é lógica e sim psicológica, portanto se esta lidando com as necessidades dos indivíduos, suas capacidades e fraquezas, seus desejos, seus temores e outras variáveis. Desta forma, segundo SPENCER *et al.* (1994), para a formação e funcionamento da equipe devem existir algumas regras básicas e claras: abertura, conhecer o objetivo, respeitar as opiniões, permanecer no aqui e agora, ser receptivo, assumir riscos, participar, comunicar e saber diferenciar fatos e opiniões, responsabilidade perante as metas.

Com estes conceitos em mente, pensando nas competências necessárias e no volume de trabalho foi montada a equipe do projeto, conforme organograma mostrado na **Figura 6.1**.

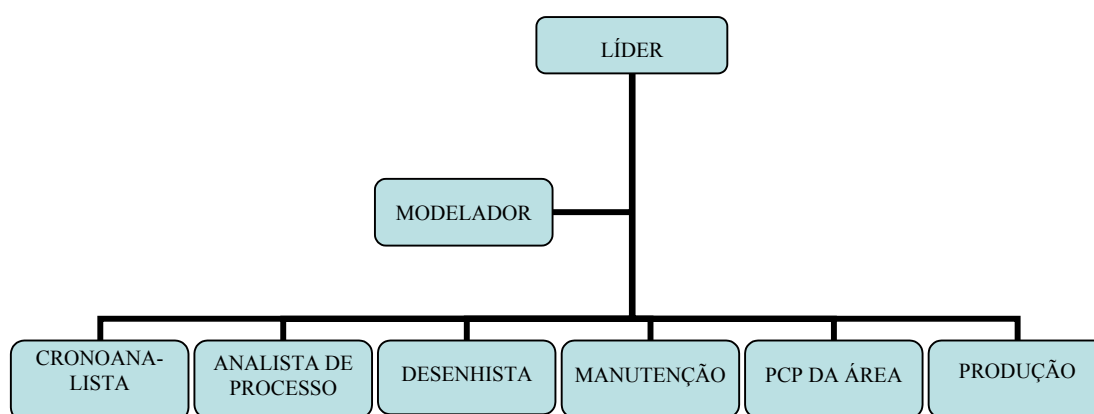


Figura 6.1 – Organograma da equipe do projeto

Cada membro da equipe tem um papel definido a ser cumprido, onde sua competência deverá ser aplicada ao trabalho e os resultados compartilhados com a equipe, visando atingir o objetivo final do projeto.

Nesta equipe o papel de líder foi realizado pelo autor da dissertação e o de modelador por um aluno de iniciação científica, sendo um elemento externo a organização. Por este motivo, segundo PEREIRA (2000), a integração do modelador com os demais membros da equipe é de suma importância, pois a equipe domina o processo e o modelador não e o mesmo precisará entender o processo e suas peculiaridades para poder construir o modelo orientado as necessidades da empresa. Para ilustrar esta interação entre o modelador e a empresa o **Quadro 6.1** apresenta um resumo da intensidade dessa relação nas etapas do projeto, onde a participação foi classificada como (I) intensa ou (M) moderada. Neste estudo de caso o líder fará o papel do usuário descrito no quadro.

Etapas do projeto	Participação do Modelador	Participação do Usuário
Definição do problema e de um plano de estudo	I	I
Delineamento inicial da linha de produção	I	I
Coleta de dados relativos à linha a ser modelada	M	I
Análise dos dados coletados	I	M
Construção do modelo computacional	I	M
Verificação do modelo	I	M
Validação do modelo	I	I
Experimentação (definição do período de aquecimento)	I	M
Experimentação (definição do número de replicações)	I	M
Experimentação (estimativa dos resultados)	I	I
Análise e apresentação dos resultados	I	I

Quadro 6.1 – Grau de envolvimento do usuário e modelador nas fases do projeto de simulação, PEREIRA (2000)

6.2.3 Cronograma do projeto

Segundo PRADO (1998) e PMI (2002) quando um projeto é concebido e tomado a decisão de executá-lo ou é necessário detalhar o mesmo para uma análise mais profunda ou apresentação é necessário o uso de ferramentas de planejamento que visam transformar o processo mental da concepção em documentos que possam ser discutidos e analisados. A ferramenta a ser empregada neste projeto será a chamada lista de atividades, durações e seqüenciamento, ou seja, o cronograma das atividades.

Segundo o PMI (2002), desenvolver o cronograma significa determinar as datas de início e fim das atividades do projeto com o cuidado destas datas serem realísticas para garantir o sucesso do projeto. A **Figura 6.2** ilustra as etapas de concepção de um cronograma.

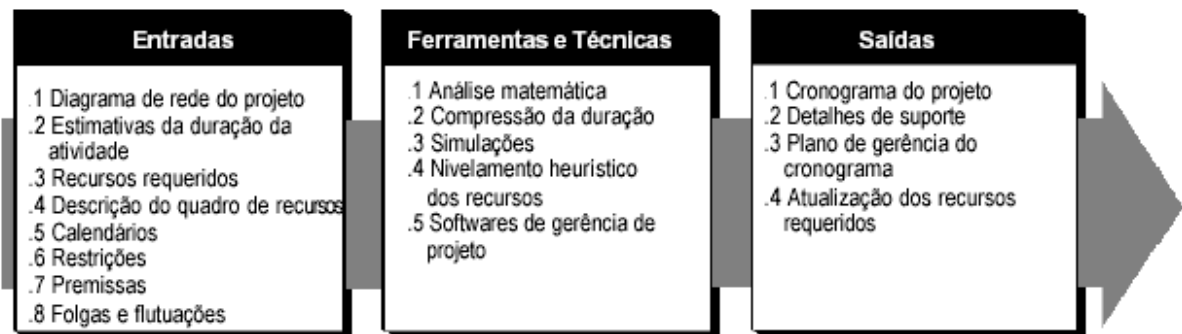


Figura 6.2 – Etapas de concepção do cronograma, PMI (2002)

Dentro destas etapas apresentadas acima, será discutido melhor sobre as ferramentas e técnicas, porque o objetivo deste item é a escolha da ferramenta mais adequada e a construção do cronograma. Seguindo as definições do PMI (2002):

1. **Análise Matemática** - envolve o cálculo teórico das datas de todas as atividades do projeto sem considerar nenhuma restrição de recursos, gerando normalmente um cronograma preliminar. As técnicas de análise mais conhecidas são:
 - a. método do caminho crítico - COM;
 - b. avaliação gráfica e revisão técnica - GERT;
 - c. programa de avaliação e revisão técnica - PERT.
2. **Compressão da duração** - é um caso especial de análise matemática que procura alternativas de redução da duração do projeto, sem comprometer o escopo. Como técnicas têm: colisão (crashing) e caminho rápido (fast tracking) ou engenharia simultânea;
3. **Simulações** - calcular as datas com diferentes conjuntos de premissas e a técnica mais comum de análise é a simulação de Monte Carlo;
4. **Nivelamento heurístico dos recursos** - basicamente é a análise da alocação de recursos e custos do cronograma preliminar, gerado pela análise matemática, conhecida também como Resource-based Method;

5. **Softwares de gerência de projetos** - os softwares de gerenciamento de projetos são amplamente usados e permitem os cálculos, vistos anteriormente, automatizados e a geração de relatórios nos mais variados formatos. Os softwares comerciais mais conhecidos, segundo STONNER (2001), são MS-Project®, Primavera® (Sure Trak), MicroPlanner X-Pert, Project Scheduler e Microsiga.

Após esta breve revisão de alguns tópicos sobre gerenciamento de projetos e o mesmo estando com o seu escopo definido e a equipe montada, foram realizados os seqüenciamentos das atividades com a alocação das datas de início e fim de cada item, definição dos recursos e a análise sobre simultaneidade entre as diversas tarefas com o objetivo de redução do prazo final. Foi utilizado o software MS-Project® 2000, existente na empresa, e a forma de apresentação do cronograma foi a de barras (Gantt) para facilidade de entendimento e interpretação por todos os membros da equipe. O anexo IX apresenta a versão final do cronograma.

6.3 Discussão da solução

Neste tópico será discutida a evolução do equacionamento da solução do problema da falta de capacidade de produção detectada na célula I, em função do novo plano de vendas da empresa.

Atualmente a célula tem capacidade de fabricar mix de 46.000 peças por dia (todos os valores de capacidade, tempo, e dados de programação da produção estarão afetados de um fator ou informados na forma percentual visando proteger informações consideradas confidenciais pela empresa) e a previsão de vendas apresenta a nova necessidade de fabricação de 75.000 peças por dia a ser atingida ao longo de um ano.

O ponto de partida para o estudo da solução do problema é a análise dos 29 tipos de peças que foram alocadas para processamento nesta célula, se realmente pertencem à família de peças a serem processadas na célula. Baseado nos conceitos da Tecnologia de Grupo (discutidos no capítulo 2), a empresa possui um sistema de classificação e codificação do produto próprio (anexo IV) pelo qual verificou-se que existiam cinco produtos não pertencentes à família de peças da célula I. Estas peças foram alocadas por engano na planilha de capacidades das células. Com esta primeira verificação, a nova necessidade de capacidade diária da célula é de 70.000 peças dia.

A nova análise a ser realizada é sobre a utilização da hora extra para poder “cobrir” esta falta de capacidade. A empresa considera para o cálculo da capacidade: três turnos (22,5 h) por dia e 23 dias por mês, em média. Logo a capacidade mensal atual é:

$$\text{capacidade}_{\text{atual mês}} = 23 \times 46.000 = 1.058.000 \text{ peças/mês} \quad (6.1)$$

Mas a necessidade futura será:

$$\text{capacidade}_{\text{futura mês}} = 23 \times 70.000 = 1.610.000 \text{ peças/mês} \quad (6.2)$$

Utilizando 30 dias por mês:

$$\text{capacidade}_{\text{atual mês}} = 30 \times 46.000 = 1.380.000 \text{ peças/mês} \quad (6.3)$$

Mesmo que a empresa pudesse utilizar os 30 dias por mês, não teria capacidade para atender a nova demanda prevista. Caso o uso intensivo cobrisse a nova demanda, a empresa teria que fazer um esquema de operação especial com a formação de várias equipes de produção para fazer o revezamento ao longo do mês e preparar uma política de manutenção extremamente rigorosa e cara (muitas peças em disponibilidade no estoque, para a espera em caso de quebra ser mínima) para minimizar atrasos por quebra de máquinas, pois neste esquema não existiria espaço para recuperar eventuais atrasos sem prejudicar a entrega ao cliente. Outro ponto seria não ter nenhuma margem de manobra para atender eventuais picos ou reprogramações dos clientes. Portanto a empresa terá que aumentar em 52,17% a capacidade produtiva da célula I.

Com estes cálculos básicos, está demonstrada a necessidade do planejamento e investimento em uma nova célula de manufatura. Para o desenvolvimento deste estudo o primeiro passo será o levantamento do atual mix de produtos da célula e o novo mix previsto. O levantamento realizado pela equipe chegou a conclusão que os produtos que estão em fabricação atualmente e os previstos pela nova demanda são os mesmos, alterando-se somente a quantidade (**Tabela 6.1**).

RELAÇÃO DOS ANÉIS ATIVOS	
COD. ANEL	DESCRIÇÃO DO ANEL
AN15617.00	RR 82,50-1,5-3,55
AN15664.00	4E 56,00-1,85-3,80
AN17069.00	R 82,70-1,75-3,55
AN17891.04	RR 82,40-1,5-3,55
AN18102.00	RR 83,00-1,5-3,55
AN18102.04	RR 83,40-1,5-3,55
AN18388.00	5R 86,40-1,5-3,75
AN18388.02	5R 86,60-1,5-3,75
AN18388.04	TR 86,80-1,5-3,75
AN18388.06	TR 87,00-1,5-3,75
AN18446.00	XW 69,00-1,5-3,05
AN18843.05	TV 100,90-1,5-4,30
AN18937.00	TV 100,40-1,75-4,3
AN19858.00	TZ 80,50-1,2-3,10
AN19858.05	LG 81,00-1,2-3,10
AN20795.05	HK 97,50-2,5-4,20
AN21909.00	R 81,00-1,75-3,55
AN22505.00	XYW 212-2,0-3,05
AN22505.10	XYW 212-2,0-3,05
AN22505.20	XYW 212-2,0-3,05
AN22505.30	XYF 212-2,0-3,05
AN22871.00	RR 82,50-1,5-3,55
AN23193.00	LW 80,50-1,2-3,10
AN23347.00	T3 94,00-2,0-4,05

Tabela 6.1 – Família de peças da célula I

O próximo passo será o levantamento do fluxo real das peças contra o fluxo registrado na engenharia de processos, porque o fluxo oficial foi realizado a mais de três anos e durante este período o mix de produtos mudou e também foram incorporadas melhorias aos métodos de trabalhos e processos de cada operação da célula. A **Figura 6.3** mostra o fluxo oficial (geral) seguido pela família de peças processadas na célula I, contemplando o balanceamento de linha realizado e a **Figura 6.4** mostra o layout atual. O fluxo real (mantendo o número de máquinas existentes na célula), levantado após o estudo das peças atualmente ativas na célula é mostrado na **Figura 6.5**. Como pode ser notado, existem dois fluxos ao invés de um. No fluxo secundário passam apenas 10% das peças processadas na célula I, sendo as demais peças oriundas de outras células.

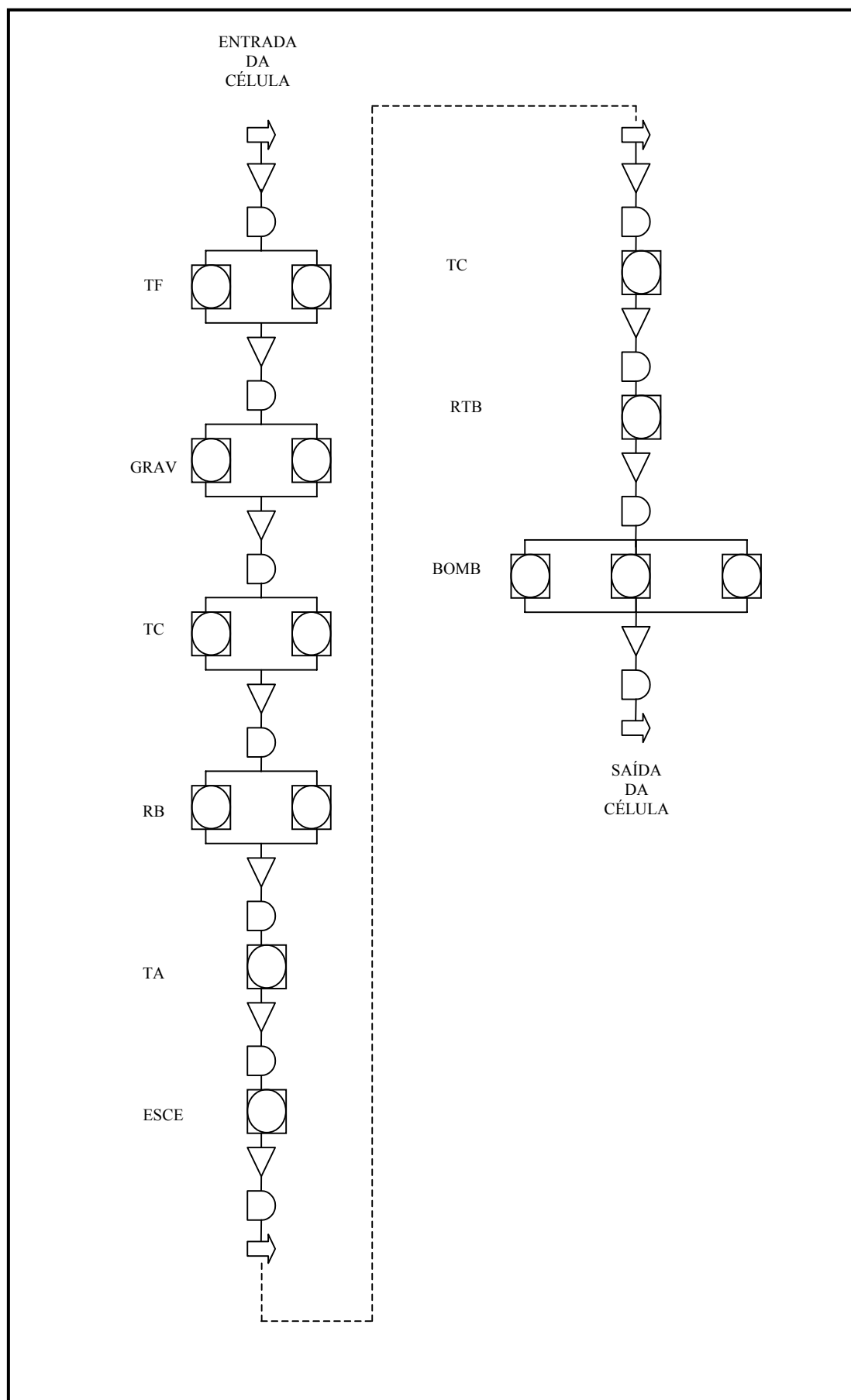


Figura 6.3 – Fluxo oficial da família de peças da célula I

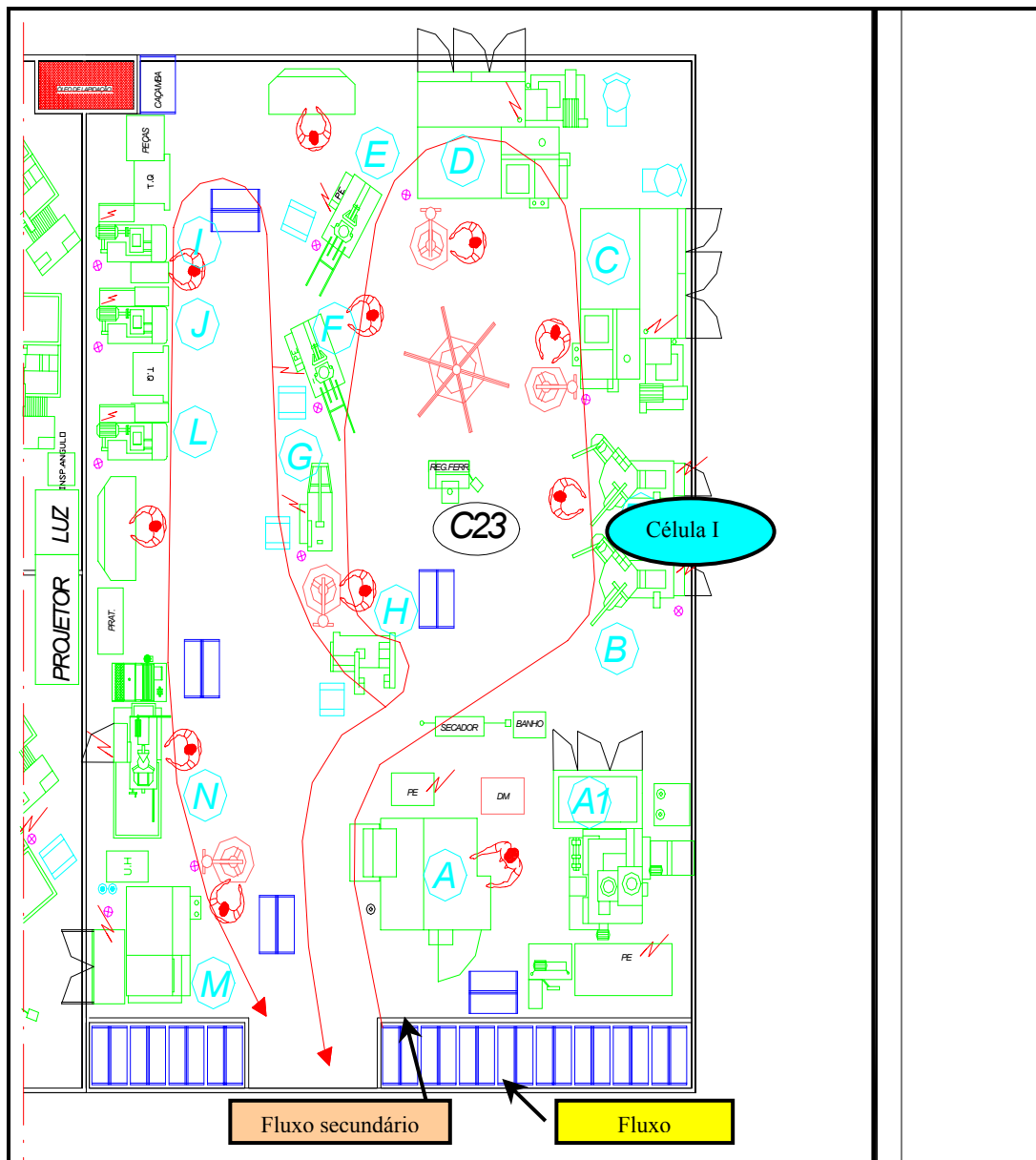


Figura 6.4 – Layout atual da célula I

Onde os termos da **Figura 6.4** são:

- TF – torno (A, A1);
- GRAV – gravadora (B, B1);
- TC – torno (C, D);
- RB – rebaixo (E, F);
- TA – topejadora (G);
- ESCE – escovamento (H);
- TC/TAP – torno (M);
- RTB/RTAC – retífica (N);
- BOMB – bombeamento (I, J, L).

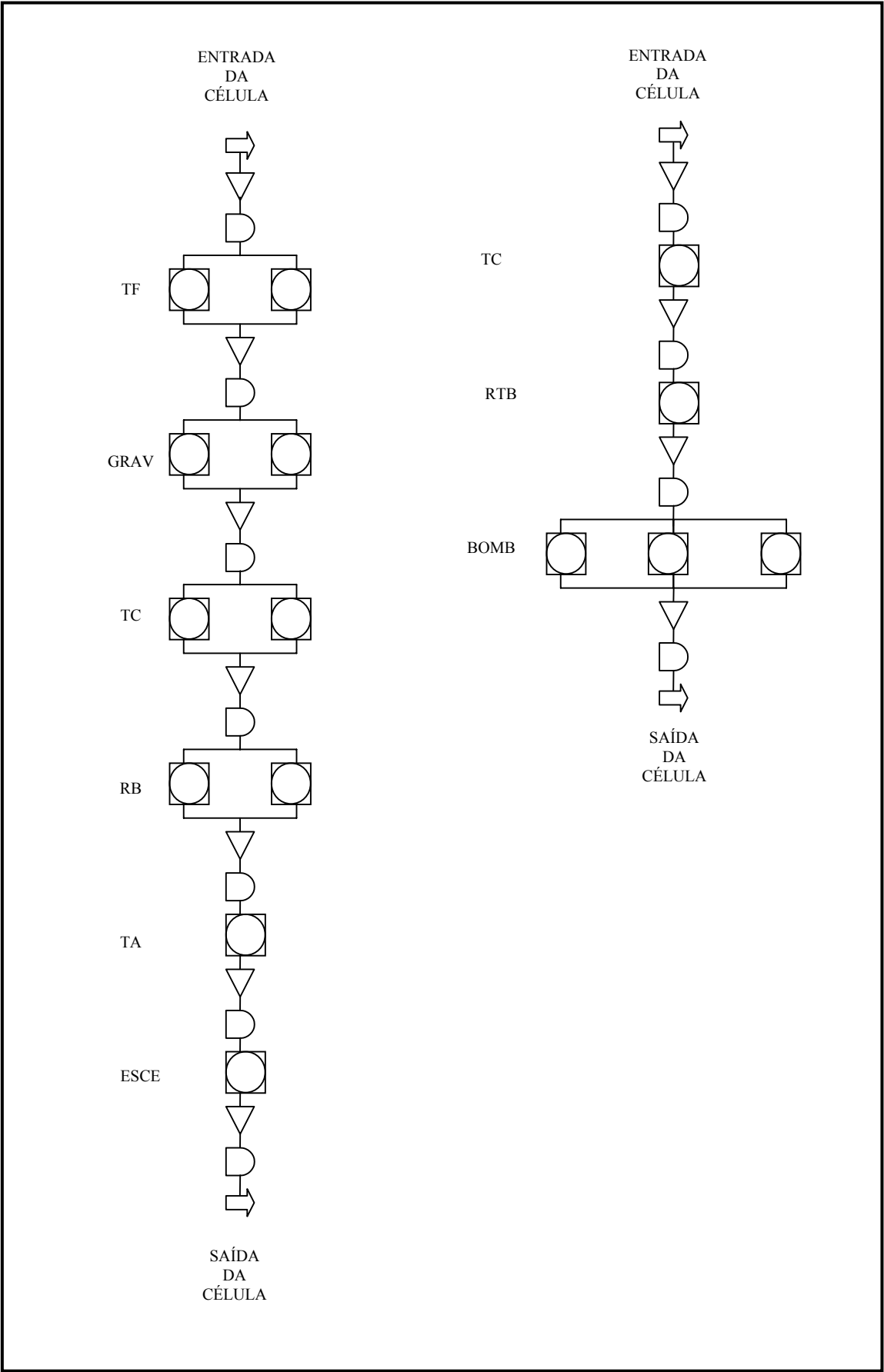


Figura 6.5 – Fluxo atual da família de peças da célula I

O passo seguinte da equipe foi o estudo dos métodos de trabalho e a conferência dos tempos padrões (um exemplo da tabela de tempo padrão utilizada pela empresa é apresentada no anexo VII) de cada atividade e/ou máquina na célula I, de acordo com os princípios estudados no capítulo 2 no item 2.2 e a norma interna da empresa para o estudo de tempos e métodos (anexo V). Na **Tabela 6.2** é apresentado este levantamento para o torno TF, para as demais máquinas poderá ser consultado o anexo VI, sendo constatado que os métodos atualmente empregados estão corretos e os tempos padrões também estão corretos para os produtos em linha atualmente. Foi levantado no histórico do departamento de tempos e métodos o memorial de cálculo do balanceamento da célula I, sendo constatada a mudança do mix de produção da época da formação da célula para o atual mix. A mudança do mix de produção alterou significativamente o balanceamento e o fluxo de fabricação predominante dentro da célula, justificando a formação de um fluxo paralelo encontrado no novo levantamento realizado (**Figura 6.5**).

Com estes dados levantados, a equipe tem duas alternativas para resolver a questão da futura falta de capacidade: a primeira solução é simplesmente duplicar a célula, mas, com os dados que a equipe possui esta alternativa não é a mais indicada, porém não poderá ser descartada em função de um recurso ainda não avaliado: a otimização do seqüenciamento da produção, que será avaliado no processo de simulação; a segunda alternativa é criar uma nova célula de produção, baseada no mix de peças atual e futuro da célula I.

O desenvolvimento da nova célula esta baseada na análise do fluxo de produção. Esta técnica da Tecnologia de Grupo, segundo MONTEVECHI (1996), pode ser sintetizada em três fases: na primeira fase estuda-se o fluxo de materiais entre as unidades de processamento; na segunda fase agrupam-se as peças em famílias e analisam-se as combinações de máquinas que irão processar esta família; na terceira fase estuda-se o fluxo de produção dentro da célula, visando obter o melhor layout. A primeira e segunda fases já foram realizadas, quando da transformação de diversos setores da empresa em manufatura celular (conforme comentado no capítulo 5). Portanto a equipe trabalhou diretamente na implantação da terceira fase, onde foram verificados novamente os roteiros e instruções de usinagem de cada peça pertencente à família (**Tabela 6.1**) visando dois pontos: identificar a existência de mais alguma peça não pertencente à família e fazer o fluxograma geral representativo da família, focado no novo mix de produção (**Figura 6.6**).

Método de trabalho		
Método atual	☒	
Método Proposto	☐	
Operação levantada: Torno TF		Peça: AN22505.20
LOCAL: Célula I		Data: 01/12/2002
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DA TAREFA
2,50	○ ⇨ □ ● ▽	Aguardar ferramental
120	○ ⇨ □ ● ▽	Setup da máquina (ciclo inicial)
30	○ ⇨ □ ● ▽	Aguardando peça (programação)
0,27	○ ➡ □ ▢ ▽	Apanhar o canal e posicionar ao lado da bancada de alinhamento de pacotes.
0,91	● ⇨ □ ▢ ▽	Montar o pacote de anéis.
5,40	● ⇨ □ ▢ ▽	Peça sendo processada no torno
0,10	● ⇨ □ ▢ ▽	Apanhar o pacote de anéis usinados, posicionar na fresa e startar.
2,15	● ⇨ □ ▢ ▽	Peça sendo processada na fresa
0,10	○ ➡ □ ▢ ▽	Retirar pacotes de anéis da fresa e posicionar no canal (suporte do carrinho).
0,49	○ ⇨ ■ ▢ ▽	Apanhar três anéis e inspecionar folga entre pontas/força tangencial.
0,21	○ ➡ □ ▢ ▽	Retirar canal do suporte do carrinho, posicionar no carrinho e posicionar suporte no canal do carrinho.

Tabela 6.2 – Método de trabalho do torno TF

Ficou caracterizado na análise a existência de dois fluxos de produção, o fluxograma da célula I A representa 100% das peças passando por esta seqüência e o fluxograma da célula I B somente 10% das peças da família passam por ele. Atualmente o fluxo da célula I B é utilizado por peças oriundas de outras células, caracterizando a necessidade de separação deste fluxo do fluxo principal. Outro ponto levantado foi à existência de duas máquinas, torno M e retífica N, nas quais a família de peças não executa nenhuma operação, podendo ser retiradas no novo layout.

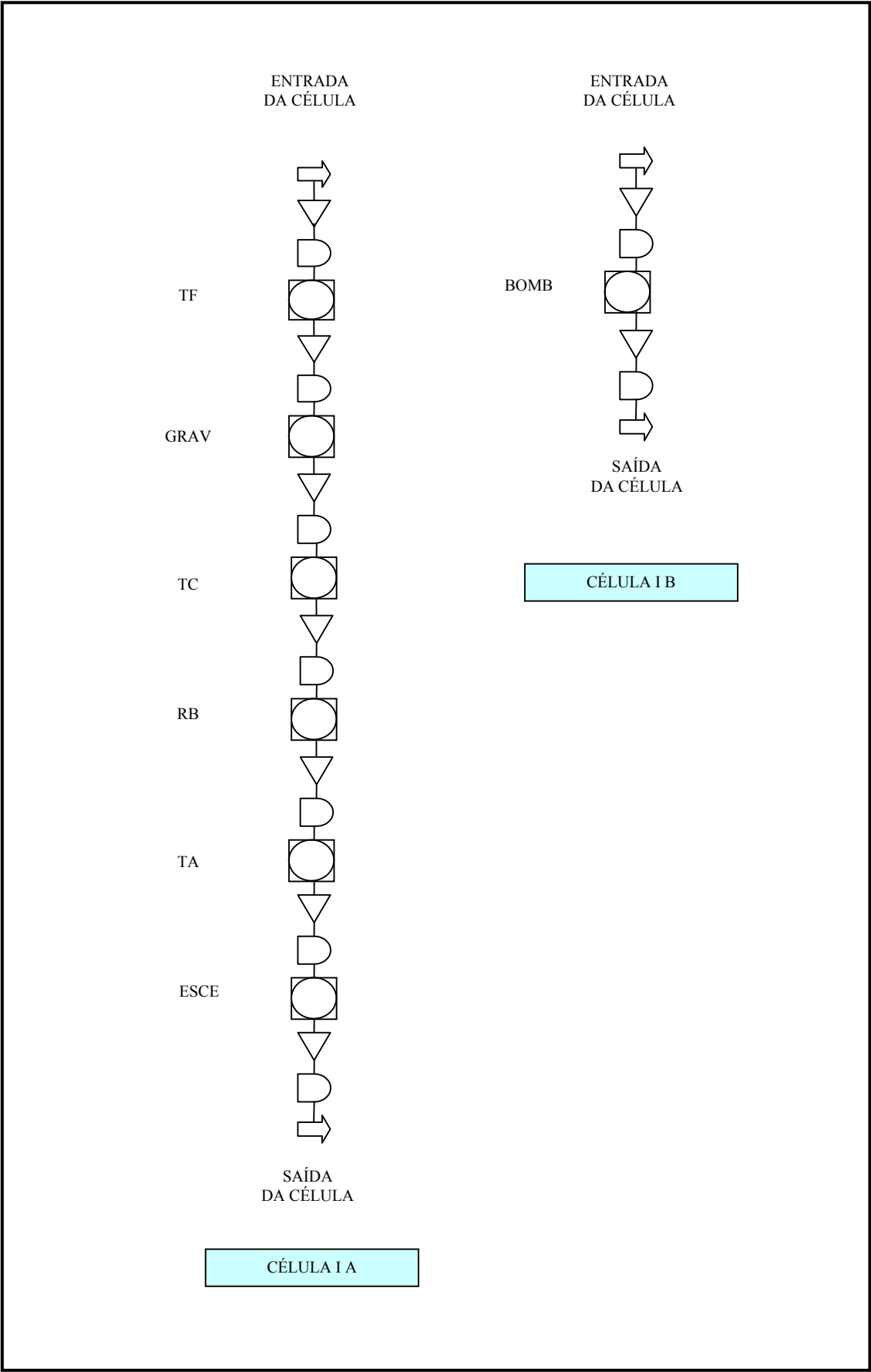


Figura 6.6 – Novo fluxograma de processo da família de peças da célula I A e B

Com o fluxograma pronto foi realizado o balanceamento da linha, utilizando os conceitos discutidos no item 2.2.11. Determinando a quantidade necessária de cada tipo de máquina e corrigindo os gargalos teóricos encontrados. A capacidade média para cada tipo de máquina e o valor do investimento é informada na **Tabela 6.3**.

MÁQUINA	CAPACIDADE [pç/h]	VALOR DA MÁQUINA [US\$]
TF – torno	2.045	1.200.000
GRAV – gravadora	3.500	50.000
TC – torno	1.000	200.000
RB – rebaixo	1.400	60.000
TA – topejadora	4.000	50.000
ESCE – escovamento	4.000	40.000
BOMB – bombeamento	1.400	60.000

Tabela 6.3 – Capacidade das máquinas em pç/h e valores

A demanda atual da célula I é 40.000 pç/dia ou 1.778 pç/h. A demanda futura requer 70.000 pç/dia ou 3.111 pç/h. Com estes dados e a **Tabela 6.3** calcula-se a quantidade necessária de cada tipo de máquina para realizar o balanceamento da demanda atual, conforme mostrado abaixo:

$$TF = \frac{1.778}{2.045} = 0,87 \quad (6.4)$$

$$GRAV = \frac{1.778}{3.500} = 0,51 \quad (6.5)$$

$$TC = \frac{1.778}{1.000} = 1,78 \quad (6.6)$$

$$RB = \frac{1.778}{1.400} = 1,27 \quad (6.7)$$

$$TA = \frac{1.778}{4.000} = 0,44 \quad (6.8)$$

$$ESC = \frac{1.778}{4.000} = 0,44 \quad (6.9)$$

$$BOMB = \frac{1.778}{1.400} = 1,27 \quad (6.10)$$

E o cálculo com a demanda futura resulta na seguinte quantidade de máquinas:

$$TF_F = \frac{3.111}{2.045} = 1,52 \quad (6.11)$$

$$GRAV_F = \frac{3.111}{3.500} = 0,89 \quad (6.12)$$

$$TC_F = \frac{3.111}{1.000} = 3,11 \quad (6.13)$$

$$RB_F = \frac{3.111}{1.400} = 2,22 \quad (6.14)$$

$$TA_F = \frac{3.111}{4.000} = 0,77 \quad (6.15)$$

$$ESC_F = \frac{3.111}{4.000} = 0,77 \quad (6.16)$$

$$BOMB_F = \frac{3.111}{1.400} = 2,22 \quad (6.17)$$

Com o balanceamento realizado chegou-se a necessidade de cada tipo de máquina, ficando a quantidade para a demanda atual da seguinte forma: um torno TF, uma gravadora GRAV, dois tornos TC, dois rebaixos RB, um topejamento TA, um escovamento ESC e dois bombeamentos BOMB. No caso do rebaixo a aparente ociosidade de uma máquina é justificada pelo ganho no setup quando é processado um tipo de anel no qual é necessário rebaixo interno e externo. Para o caso do bombeamento a equipe optou por não colocar as máquinas dentro da célula, fazendo uma estação de bombeamento que servirá tanto a célula I quanto às outras células.

Com esta configuração a capacidade da célula I manteve-se inalterada, ou seja, continua tendo um output de 46.000 pç/dia. Os ganhos foram a liberação de um turno TF que representa 64% do investimento da célula e a área (recurso escasso) liberada com o redimensionamento das quantidades e tipos de máquinas necessárias a nova realidade.

Com a nova configuração da célula I optou-se pela sua duplicação para atender a demanda futura, porque apesar dos cálculos de balanceamento indicarem ociosidade com esta duplicação a empresa estará ganhando flexibilidade na sua operação. O novo layout proposto para a configuração futura é mostrado na **Figura 6.7**.

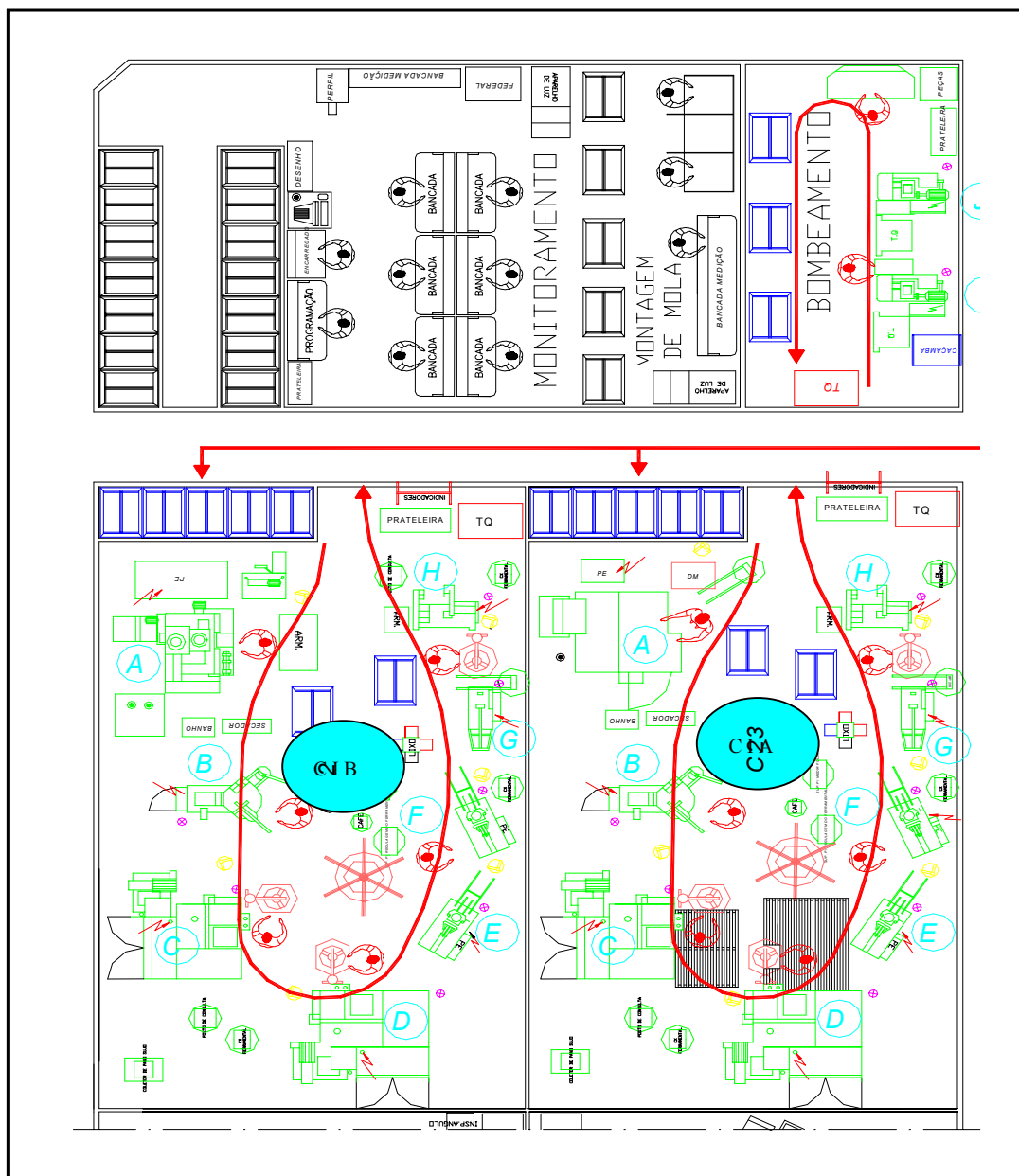


Figura 6.7 – Novo layout proposto

6.4 Coleta de dados

Segundo HARRELL *et al.* (2000), a coleta de dados é uma dos pontos mais importantes do processo de simulação, pois se o dados coletados não foram consistentes o modelo também não o será. Segundo o mesmo autor, a coleta de dados segue seis etapas: determinação de quais dados será necessários, não necessariamente todos coletados serão antes da modelagem, porque durante a modelagem poderá surgir a necessidade de algum dado novo; identificação das fontes fornecedoras dos dados; coleta dos dados; assumir suposições onde for necessário; análise dos dados; documentar e aprovar os dados. Na coleta dos dados necessários ao desenvolvimento do modelo utilizado neste trabalho, aplicou-se a sequência proposta acima.

Todos os dados de processo, capacidade, tempos, volume de produção e demanda estão afetados de um fator visando preservar a confidencialidade dos dados originais da empresa.

Os dados definidos como necessários à elaboração do modelo foram: tempo padrão e setup para cada operação associada ao produto (**Tabelas 6.4 A e B**), a fonte das informações foi o departamento de engenharia da empresa; histórico de manutenção para cada máquina pelo período de um ano, coletado do programa de gerenciamento da manutenção da empresa, estando os dados tabelados no anexo VI (exemplo **Tabela 6.5**); o histórico da programação diária de produção coletado no PCP da mini fábrica da célula I, como exemplo se tem a **Tabela 6.6** e as demais tabelas estão no anexo VII; demanda futura estimada para cada tipo de produto, informação coletada no departamento de engenharia (anexo VIII).

Os dados coletados de tempo padrão (anexo XI) e quantidade produzida são de natureza determinística, portanto não é necessário fazer nenhum estudo para determinar uma distribuição de probabilidades que melhor se ajuste ao conjunto de dados (HARRELL *et al.*, 2000). Os dados de manutenção entrarão no modelo na forma estocástica, portando necessitando do levantamento da melhor distribuição de probabilidades que represente o conjunto de dados de cada máquina. Para este levantamento foi utilizado o teste de aderência do qui-quadrado (χ^2), descrito no capítulo 2 item 2.6.7.2. Para auxiliar nos cálculos foi utilizado o programa BestFit[®]. Como exemplo para ilustrar a aplicação utilizou-se a máquina torno TFV, primeiramente o software foi carregado com os valores dos tempos do histórico de manutenção (período de um ano). As **Figuras 6.8 A e B** apresentam as telas com os resultados da melhor distribuição ajustada para os valores de entrada. O

resultado é a distribuição de Weibull. O mesmo procedimento foi realizado para as demais máquinas, obtendo também a distribuição de Weibull como a melhor representação.

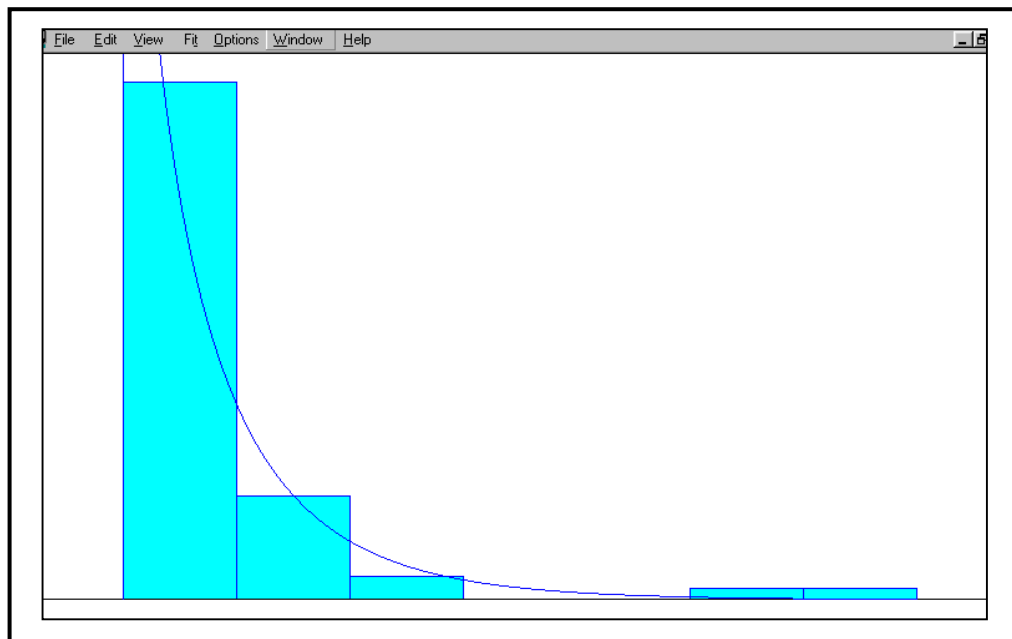


Figura 6.8 A – Gráfico da distribuição ajustada de Weibull para o torno TFV

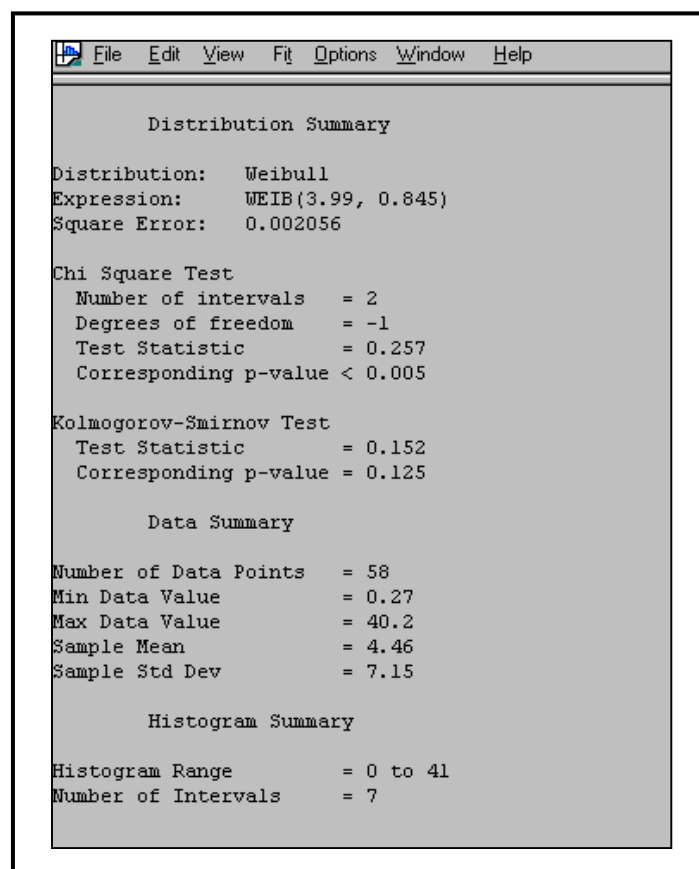


Figura 6.8 B – Sumário do resultado teste de aderência dos dados de mnt do torno TFV

ANEL	TFV			GRAV			TA		
	Tempo std [pç/h]	Setup [h/ote]	Refluxo [%]	Tempo std [pç/h]	Setup [h/ote]	Refluxo [%]	Tempo std [pç/h]	Setup [h/ote]	Refluxo [%]
AN15617.00	0,00070	0,672	1,0	0,00153	0,336	0,5	0,00155	0,4032	1,0
AN15664.00	0,00042	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00129	0,4032	1,0
AN17069.00	0,00048	0,672	1,0				0,00151	0,4032	1,0
AN17891.04	0,00070	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00167	0,4032	1,0
AN18102.00	0,00070	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00167	0,4032	1,0
AN18102.04	0,00042	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00155	0,4032	1,0
AN18388.00	0,00042	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00129	0,4032	1,0
AN18388.02	0,00042	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00129	0,4032	1,0
AN18388.04	0,00070	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00129	0,4032	1,0
AN18388.06	0,00042	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00129	0,4032	1,0
AN18446.00	0,00042	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00138	0,4032	1,0
AN18843.05	0,00172	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5			
AN18937.00	0,00121	0,672	1,0	0,00136	0,336	0,5	0,00180	0,4032	1,0
AN19858.00	0,00056	0,672	1,0	0,00077	0,336	0,5	0,00130	0,4032	1,0
AN19858.05	0,00056	0,672	1,0	0,00077	0,336	0,5	0,00130	0,4032	1,0
AN20795.05	0,00172	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5			
AN21909.00	0,00048	0,672	1,0	0,00039	0,336	0,5	0,00194	0,4032	1,0
AN22505.00	0,00093	0,672	1,0	0,00077	0,336	0,5	0,00218	0,4032	1,0
AN22505.10	0,00093	0,672	1,0	0,00077	0,336	0,5	0,00218	0,4032	1,0
AN22505.20	0,00093	0,672	1,0	0,00077	0,336	0,5	0,00022	0,4032	1,0
AN22505.30	0,00093	0,672	1,0	0,00077	0,336	0,5	0,00022	0,4032	1,0
AN22871.00	0,00048	0,672	1,0				0,00194	0,4032	1,0
AN23193.00	0,00056	0,672	1,0	0,00077	0,336	0,5	0,00130	0,4032	1,0
AN23347.00	0,00292	0,672	1,0	0,00136	0,366	0,5	0,00218	0,4032	1,0

Tabela 6.4 A – Tempo padrão, setup e refugo da operação peça x máquina

	RB			TA			ESC			BOMB		
	Tempo std [pç/h]	Setup [h/mote]	Refugo [%]	Tempo std [pç/h]	Setup [h/mote]	Refugo [%]	Tempo std [pç/h]	Setup [h/mote]	Refugo [%]	Tempo std [pç/h]	Setup [h/mote]	Refugo [%]
ANEL												
AN15617.00				0,00046	0,336	0,6	0,00106	0,336	0,3	0,00090	0,336	1,5
AN15664.00	0,00059	0,336	0,5	0,00023	0,336	0,6						
AN17069.00	0,00054	0,336	0,5	0,00027	0,336	0,6				0,00105	0,336	1,5
AN17891.04				0,00023	0,336	0,6						
AN18102.00				0,00023	0,336	0,6						
AN18102.04				0,00023	0,336	0,6						
AN18388.00	0,00059	0,336	0,5	0,00023	0,336	0,6	0,00038	0,336	0,3	0,00090	0,336	1,5
AN18388.02	0,00059	0,336	0,5	0,00023	0,336	0,6						
AN18388.04	0,00059	0,336	0,5	0,00046	0,336	0,6						
AN18388.06	0,00059	0,336	0,5	0,00023	0,336	0,6						
AN18446.00	0,00083	0,336	0,5	0,00027	0,336	0,6	0,00038	0,336	0,3			
AN18843.05	0,00054	0,336	0,5				0,00063	0,336	0,3			
AN18937.00				0,00054	0,336	0,6	0,00124	0,336	0,3			
AN19858.00	0,00103	0,336	0,5	0,00035	0,336	0,6	0,00085	0,336	0,3			
AN19858.05	0,00103	0,336	0,5	0,00035	0,336	0,6	0,00085	0,336	0,3			
AN20795.05	0,00054	0,336	0,5				0,00063	0,336	0,3			
AN21909.00	0,00000	0,336	0,5	0,00027	0,336	0,6						
AN22505.00	0,00054	0,336	0,5	0,00073	0,336	0,6	0,00051	0,336	0,3			
AN22505.10	0,00054	0,336	0,5	0,00062	0,336	0,6	0,00051	0,336	0,3			
AN22505.20	0,00054	0,336	0,5	0,00062	0,336	0,6	0,00051	0,336	0,3			
AN22505.30	0,00054	0,336	0,5	0,00062	0,336	0,6	0,00051	0,336	0,3			
AN22871.00				0,00027	0,336	0,6						
AN23193.00	0,00103	0,336	0,5	0,00035	0,336	0,6	0,00085	0,336	0,3			
AN23347.00				0,00031	0,336	0,6	0,00051	0,336	0,3			

Tabela 6.4 B – Tempo padrão, setup e refugo da operação peça x máquina

NÚMERO	DATA	CAUSA	TIPO	MODALIDADE	DURAÇÃO
C I TORNO TFV					
0277887	14/01/02	disjuntor	emergência	eletroeletrônica	0,27
0279116	23/01/02	sist. refrigeração	emergência	mecânica	0,27
0278551	22/01/02	correia	emergência	eletroeletrônica	0,80
0278412	18/01/02	filtro	emergência	mecânica	0,83
0277799	12/01/02	guia	emergência	eletroeletrônica	10,18
Total de paradas: 5			Total de horas:		12,35
C I RB 1					
0280277	31/01/02	sensor	emergência	eletroeletrônica	0,25
0280174	30/01/02	sensor	emergência	eletroeletrônica	0,82
0277421	08/01/02	polia	emergência	mecânica	0,87
Total de paradas: 3			Total de horas:		1,94
C I RB 2					
0278825	22/01/02	bobina	emergência	eletroeletrônica	0,17
0277654	09/01/02	corrente	emergência	mecânica	2,10
Total de paradas: 2			Total de horas:		2,27
C I ESC					
0277895	14/01/02	CLP	emergência	eletroeletrônica	5,47
Total de paradas: 1			Total de horas:		5,47
C I TA					
0279601	25/01/02	correia	emergência	mecânica	0,73
Total de paradas: 1			Total de horas:		0,73
Total geral: 12			Total geral de horas:		21,89

Tabela 6.5 – Exemplo do histórico de manutenção das máquinas da célula I

CÉLULA	ANEL	FAMÍLIA	NUMERO OPA	DATA INÍCIO	N	10/jan	14/jan	S	18/jan	S	21/jan	N	24/jan	S	28/jan	31/jan	4/fev	11/fev	DATA ENTREGA
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300104792	10/jan		14.823													17/jan
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300104997	11/jan		16.342													18/jan
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105004	11/jan		16.598													18/jan
Cel. I	AN21137.00	2330940-0	6202116366	14/jan			12.566												1/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104709	15/jan			6.801												21/jan
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300104831	15/jan			15.725												21/jan
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300104849	15/jan			15.725												21/jan
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300104865	15/jan			10.080												21/jan
Cel. I	AN21137.05	2300945-0	6202116404	16/jan			874												4/fev
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105012	18/jan				18.950											24/jan
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105021	18/jan				15.792											24/jan
Cel. I	AN21138.00	2330980-0	6202116374	19/jan				3.226											7/fev
Cel. I	AN21139.00	2331080-0	6202116382	19/jan				8.400											7/fev
Cel. I	AN15664.00	2300560-0	2300104946	21/jan							7.190								24/jan
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105039	21/jan							15.792								28/jan
Cel. I	AN22505.20	2330705-0	2301106365	22/jan							1.075								28/jan
Cel. I	AN21139.00	2331080-0	6202116391	22/jan							8.198								11/fev
Cel. I	AN22505.30	2330707-0	2301106373	23/jan							874								28/jan
Cel. I	AN22871.00	2330825-0	2301106357	23/jan							2.419								28/jan
Cel. I	AN23193.00	2300805-0	2300105098	24/jan								3.226							1/fev
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105047	25/jan							15.792								1/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111630	25/jan							17.364								4/fev
Cel. I	AN22505.10	2330702-0	2300104920	28/jan											3.226				1/fev
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105055	29/jan											12.701				4/fev
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105063	29/jan											12.701				4/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111672	30/jan											21.302				7/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104881	1/fev												8.602			7/fev
Cel. I	AN19858.00	2330805-0	2300105071	4/fev													14.246		11/fev
Cel. I	AN17891.04	2330824-0	2302111737	4/fev													1.882		7/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111699	5/fev													12.701		14/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111702	5/fev													12.701		14/fev
Cel. I	AN15664.00	2300560-0	2300104954	6/fev													3.830		11/fev
Cel. I	AN22871.00	2330825-0	2301106411	6/fev													2.957		11/fev
Cel. I	AN21909.00	2330810-0	2301106403	11/fev														3.226	14/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104890	12/fev														10.282	18/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104971	12/fev														20.429	18/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111711	13/fev														13.440	21/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111729	13/fev														14.381	21/fev
						47.763	61.770	46.368	35.549	36.382	49.930	8.602	48.317	61.757					

Tabela 6.6 – Tabela de programação diária da produção

6.5 Construção do modelo

O software no qual o modelo foi construído é o ProModel[®], que possui uma interface amigável em ambiente Windows. A construção iniciou-se com um modelo simples, conforme já citado no item 4.2 do capítulo 4, e depois foi sendo incrementado. Neste tópico será descrita passo a passo a construção do modelo no software.

O primeiro passo realizado foi a criação da biblioteca de máquinas a serem usadas no modelo (**Figura 6.9**). Foi optado por não usar os modelos existentes na biblioteca do programa por serem muito diferentes da realidade da empresa, portanto, foi necessário construir uma nova biblioteca que representasse o padrão de desenho em uso nos layouts da empresa. Inicialmente o modelador tentou construir os modelos dentro do Promodel, mas com a construção de dois modelos esta opção mostrou-se muito trabalhosa e improdutiva, a maneira encontrada para contornar a situação foi o processo de importação dos modelos já existentes em Auto Cad.

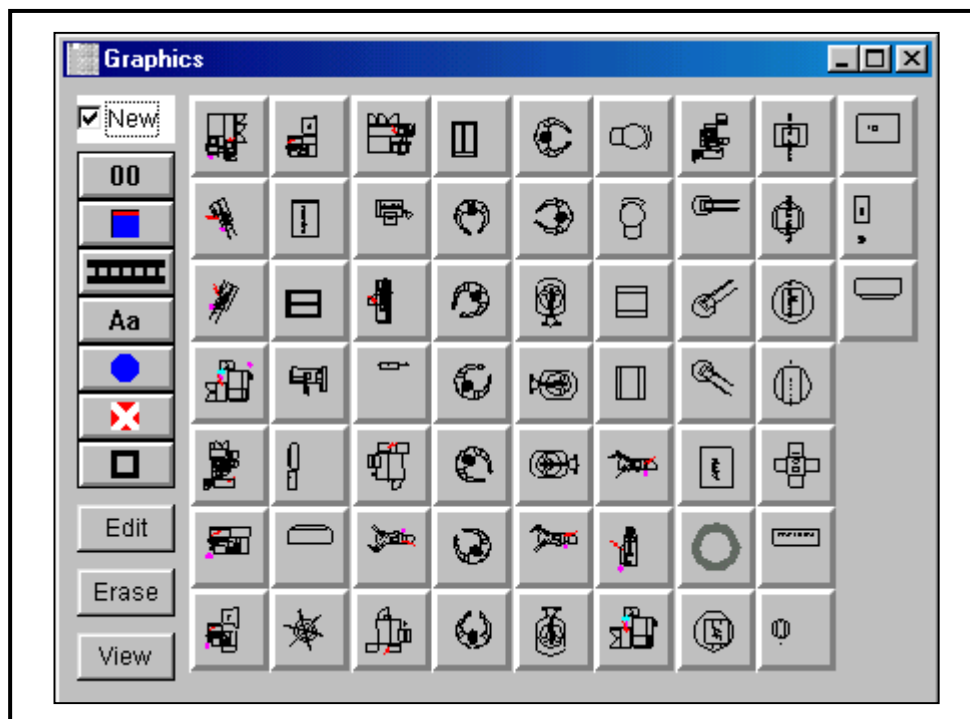


Figura 6.9 – Biblioteca de máquinas

Os elementos básicos da modelagem, dentro do Promodel, são: as "entities" (entidades), "locations" (local/equipamento), "resources" (recursos) e "path networks" (redes de percursos). Estes elementos (comandos) podem ser acessados a partir do menu "built" (construção), onde estão também os comandos "arrivals" (chegadas), "processing"

(processamento), "shifts" (turnos) e "subroutines" (subrotinas) (**Figura 6.10**). Neste menu estão praticamente todos os comandos necessários a construção do modelo.

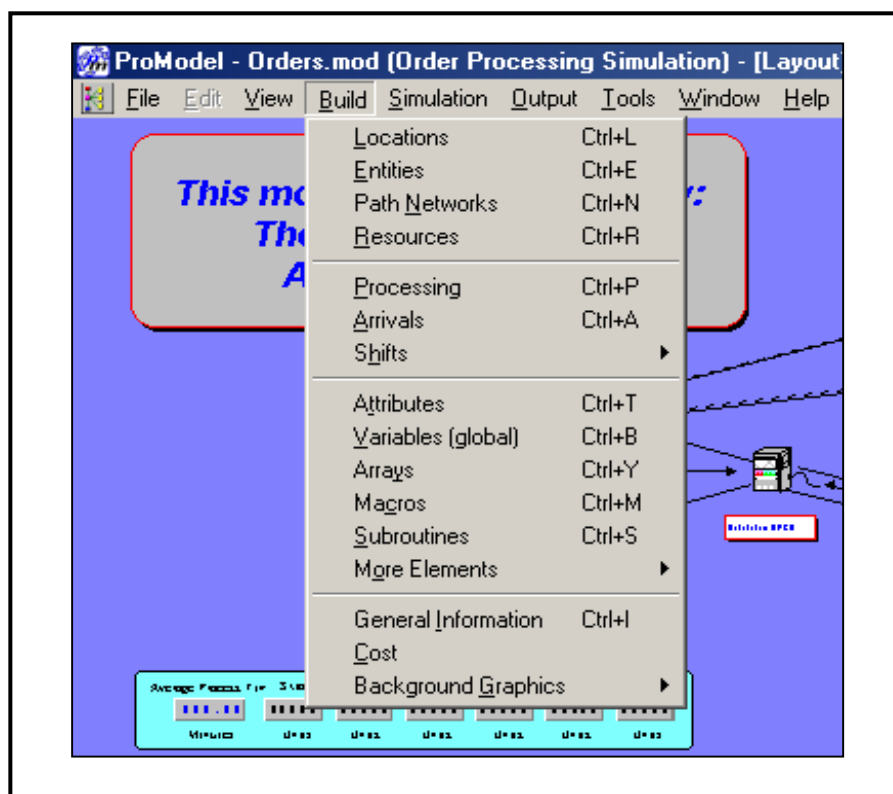


Figura 6.10 – Menu Built do ProModel®

As entidades representam os itens a serem processados no modelo, genericamente podem ser: documentos, líquidos, caixas, peças. Neste trabalho as entidades representam os anéis a serem processados nas máquinas (**Figura 6.11**), sendo necessário em algumas máquinas o agrupamento dos anéis em pacotes (realizado através do comando join) e nas demais as peças são processadas individualmente. O modelo necessitou da programação de 24 tipos diferentes de entidades, uma para cada tipo de anel processado na célula.

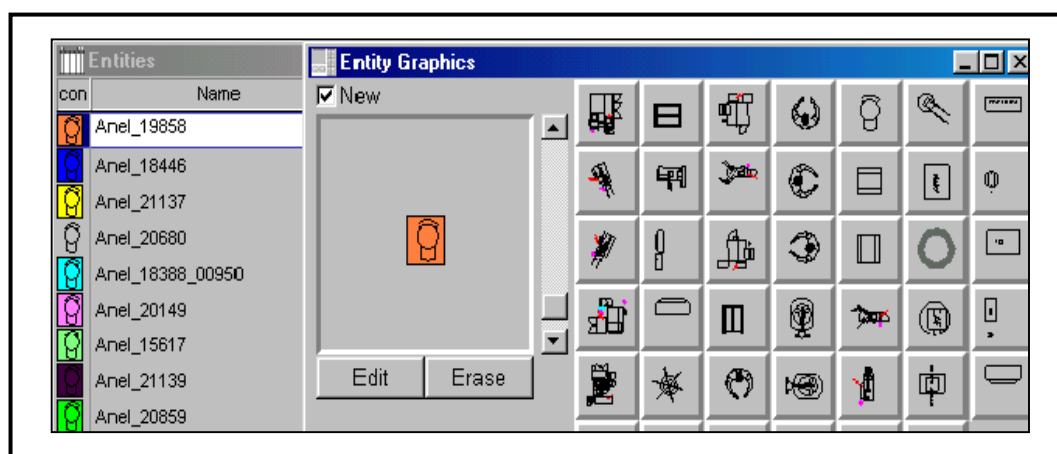


Figura 6.11 – Entities representando anéis

Para diferenciar os anéis durante o processamento as entidades foram diferenciadas por cores. Durante a programação do processamento dos anéis seria necessário agrupá-los em pacotes antes de uma operação e desfazer o pacote para a próxima. Para simplificar a programação considerou-se que todas as máquinas operam com pacotes de anéis, esta decisão não comprometeu o funcionamento do modelo e economizou várias horas de programação. Portanto os anéis são agrupados logo no início do processo e entram no sistema como pacotes. O número de anéis agrupados por pacote varia em função da altura de cada tipo de anel, logo cada tipo de anel terá um número de anéis processados por pacote. Os tempos de processamentos informados na **Tabelas 6.4 A e B** são unitários, então para efeito de programação foi necessário ajustar esse tempo de processamento para cada máquina e tipo de anel utilizando a fórmula:

$$\text{Tempo processamento do pacote} = \frac{\text{altura do pacote}}{\text{altura do anel}} \times \text{tempounit} = \frac{h_p}{h_a} \times t_u \quad (6.18)$$

Para ilustrar a aplicação da fórmula, a **Tabela 6.7** demonstra esse cálculo para dois anéis.

Anel.	Máquina	Tempo processamento unitário [h]	Número de anéis por pacote	Tempo de processamento pacote [h]
AN15617	Torno Vertical	0,00070	73	0,0513
	Gravadora	0,00153		0,1122
	Torno Acabado	0,00155		0,1137
	Topejadora	0,00046		0,0337
	Escovamento	0,00106		0,0777
AN23347	Torno Vertical	0,00292	55	0,1606
	Gravadora	0,00136		0,0748
	Torno Acabado	0,00218		0,1199
	Topejadora	0,00031		0,0170
	Escovamento	0,00051		0,0280

Tabela 6.7 – Exemplo de aplicação da fórmula 6.18

As locations representam os locais (pontos fixos) onde ocorreram os processamentos, armazenamentos e transportes dentro do modelo, portanto, os locais

podem representar: esteiras, transportadores, máquinas, tanques, etc. Neste trabalho os pontos fixos representam as máquinas (**Figura 6.12**) onde são processados os anéis, os locais de armazenamento dos anéis em processo e os carrinhos de anéis na entrada e saída da célula.

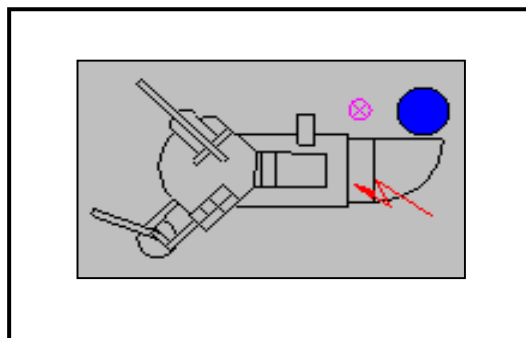


Figura 6.12 – Location representando uma gravadora

Os recursos representam os elementos necessários para efetuar uma ação no sistema, podendo ser: uma pessoa, um carrinho, uma máquina ou um transportador. Foi considerado como recursos na execução deste modelo os colaboradores da célula (**Figura 6.13**).

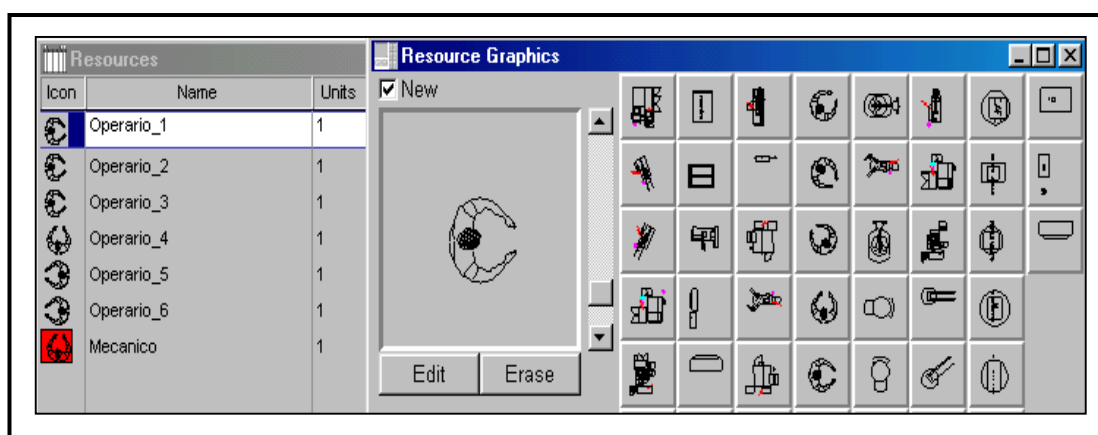


Figura 6.13 – Tela com os recursos do modelo

A célula possui seis colaboradores por turno, e trabalha em regime de três turnos. A troca de turnos foi considerada na programação do modelo e como animação do modelo é possível observar os operários saindo da célula ao final do seu turno na simulação do modelo. Para a troca de turnos a empresa adota o método onde os colaboradores que estão entrando deverão chegar de 5 a 10 minutos antes de iniciar o seu turno, permitindo ao colaborador que está saindo passar todas as informações necessárias e a operação não sofra

nenhuma interrupção. Entretanto esta é uma situação ideal, na prática a produção perde um pouco de tempo nas trocas de turnos. Para o modelo, esta perda de tempo foi adotada em cinco minutos, valor médio da experiência dos supervisores de produção. As características dos colaboradores são consideradas normais e estão contempladas dentro do tempo padrão adotado, não sendo considerada qualquer diferença entre as equipes do primeiro, segundo e terceiro turnos. O programa permite a determinação dos horários de trabalho, assim como as pausas e intervalos para almoço. Isto foi programado conforme a **Tabela 6.8** através do comando Shift-Time.

	Início	Intervalo	Saída
1º Turno	6:00	10:30 – 11:00	14:20
2º Turno	14:20	18:00 – 18:30	22:30
3º Turno	22:30	1:30 – 2:00	6:00

Tabela 6.8 - Horário dos turnos e refeições

Os path ou caminhos (redes de percurso), são os caminhos que as entidades e recursos percorrem dentro do modelo. Os percursos podem ser definidos em unidades de tempo, distancia e velocidade. Quando um sistema é modelado e dependendo do seu objetivo, são criadas diversas redes de percursos para as diferentes possibilidades de execução de uma ou mais tarefas como, por exemplo, uma rede de distribuição de um comércio atacadista. Para o modelo da célula I os deslocamentos de pessoas e peças, dentro da célula, foram programados em unidade tempo. A **Figura 6.14** apresenta um exemplo dos caminhos programados no modelo da célula I.

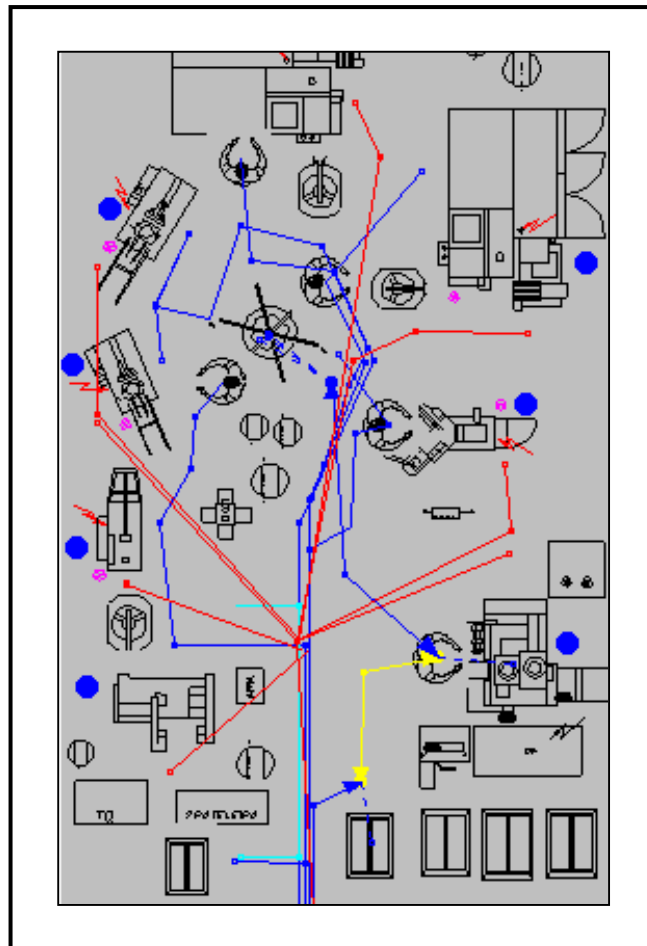


Figura 6.14 – Exemplo da rede de percursos do modelo da célula I

As chegadas ou arrivals definem o tempo, a quantidade, a frequência e o local onde uma entidade entrará no sistema. As chegadas poderão ser: contínuas, periódicas, programadas, descontínuas ou flutuantes e disparadas por algum evento. Em todos os tipos de chegadas as entidades poderão estar agrupadas em lotes ou individualmente.

Os anéis a serem processados na célula I chegam em lotes com quantidade pré-definida de acordo com o pedido do cliente final. O meio de transporte destes anéis é através de carrinhos tipo pirâmide contendo varas de alumínio onde são colocados os anéis. São nestes carrinhos que os lotes de anéis circulam pela fábrica. Cada carrinho pode carregar até quatro diferentes ordens de fabricação de anéis, desde que a quantidade não exceda a sua capacidade ou os anéis não sejam de diâmetros semelhantes de modo a permitir uma mistura visual entre os lotes. No modelo, esses carrinhos foram representados na entrada da célula como quadrados parecidos com caixas. Na **Figura 6.15** estão representados cinco carrinhos de transporte e armazenagem de anéis.

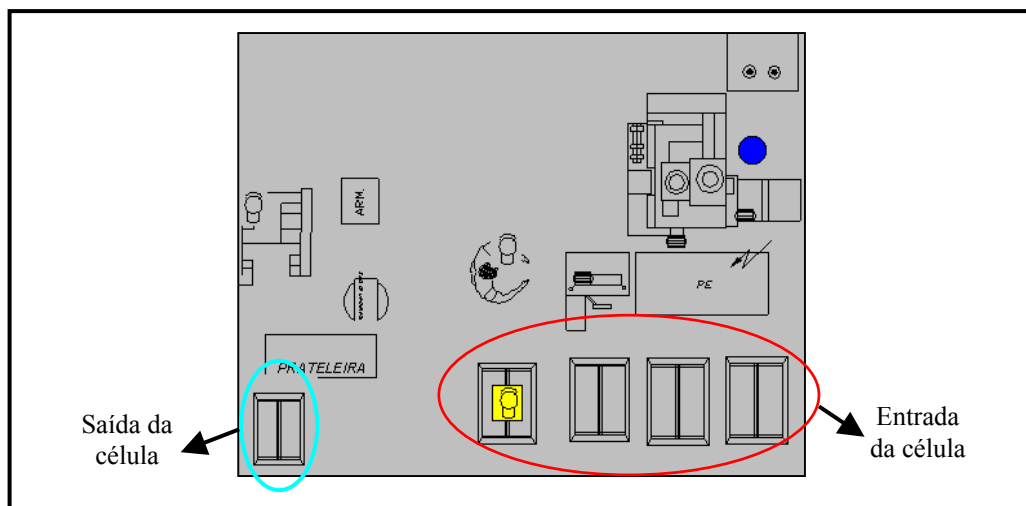
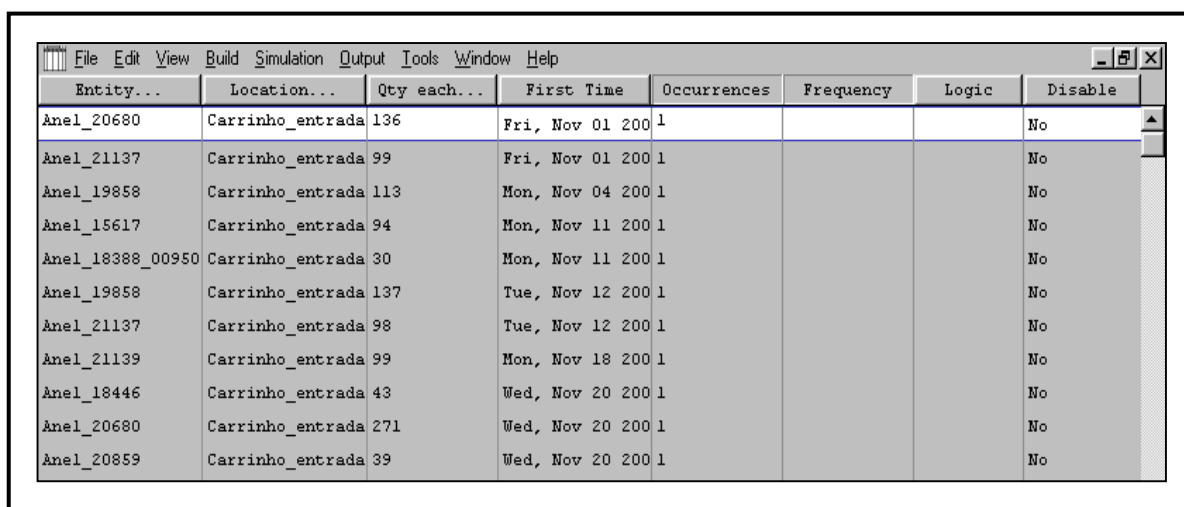


Figura 6.15 – Carrinhos de entrada e saída de anéis da célula I

No modelo, o seqüenciamento de entrada e a quantidade de anéis do lote de fabricação são determinados pelo PCP da mini fábrica em função da necessidade de entrega ao cliente final, conforme exemplo na **Tabela 6.6**. Na programação do modelo assumiu-se que não existem atrasos de um mês para o outro e nem a introdução de ordens de fabricação em regime de urgência. Isto foi realizado em função de simplificar a programação do modelo, uma vez que no objetivo principal não inclui esta análise, mas o autor está ciente de que na realidade existem atrasos e a introdução de ordens em caráter de urgência. Estas considerações na programação do modelo serão realizadas no futuro, com o refinamento do modelo. Como exemplo de programação da produção dentro do modelo tem-se a **Tabela 6.9** com a seqüência e quantidade do lote e a **Figura 6.16** com a tela do Promodel onde são realizados os lançamentos das informações.

DIA	TIPO DO ANEL	QUANTIDADE
1	AN0020680	11.200
1	AN0021137	6.100
4	AN0019858	11.700
11	AN0015617	7.790
11	AN0018388	2.382
12	AN0019858	14.161
12	AN0021137	6.020
18	AN0021139	6.100
20	AN0018446	3.537
20	AN0020680	11.200
20	AN0020680	11.200
20	AN00208590	1.917

Tabela 6.9 – Sequência de produção



Entity...	Location...	Qty each...	First Time	Occurrences	Frequency	Logic	Disable
Anel_20680	Carrinho_entrada	136	Fri, Nov 01 200	1			No
Anel_21137	Carrinho_entrada	99	Fri, Nov 01 200	1			No
Anel_19858	Carrinho_entrada	113	Mon, Nov 04 200	1			No
Anel_15617	Carrinho_entrada	94	Mon, Nov 11 200	1			No
Anel_18388_00950	Carrinho_entrada	30	Mon, Nov 11 200	1			No
Anel_19858	Carrinho_entrada	137	Tue, Nov 12 200	1			No
Anel_21137	Carrinho_entrada	98	Tue, Nov 12 200	1			No
Anel_21139	Carrinho_entrada	99	Mon, Nov 18 200	1			No
Anel_18446	Carrinho_entrada	43	Wed, Nov 20 200	1			No
Anel_20680	Carrinho_entrada	271	Wed, Nov 20 200	1			No
Anel_20859	Carrinho_entrada	39	Wed, Nov 20 200	1			No

Figura 6.16 – Tela do ProModel® de programação das chegadas de peças

O próximo item a ser utilizado no sistema é o processamento (processing), onde é programada a rota de processo de cada entidade. Nesta etapa é realizada a junção entre locais de processamento (máquinas), entidades (peças), recursos (pessoas) e chegadas (entradas de peças) para a formação do sistema em modelamento.

A programação do processo realizada no modelo da célula I, levou em consideração o tempo padrão de cada operação por tipo de anel, o setup, a sequência operacional de cada anel dentro da célula, refugo característico da operação e o tempo de manutenção de cada máquina. Fazer esta sequência é trabalhoso e exige muita atenção do modelador, pois uma

seqüência digitada errada compromete o funcionamento do modelo. O modelo da célula I necessitou de 240 linhas de programação, com o preenchimento de 3.400 campos nas telas do Promodel. A **Figura 6.17** é um exemplo dos campos a serem preenchidos e da programação de cada operação e a **Figura 6.18** mostra um exemplo do processo já realizado no modelo.

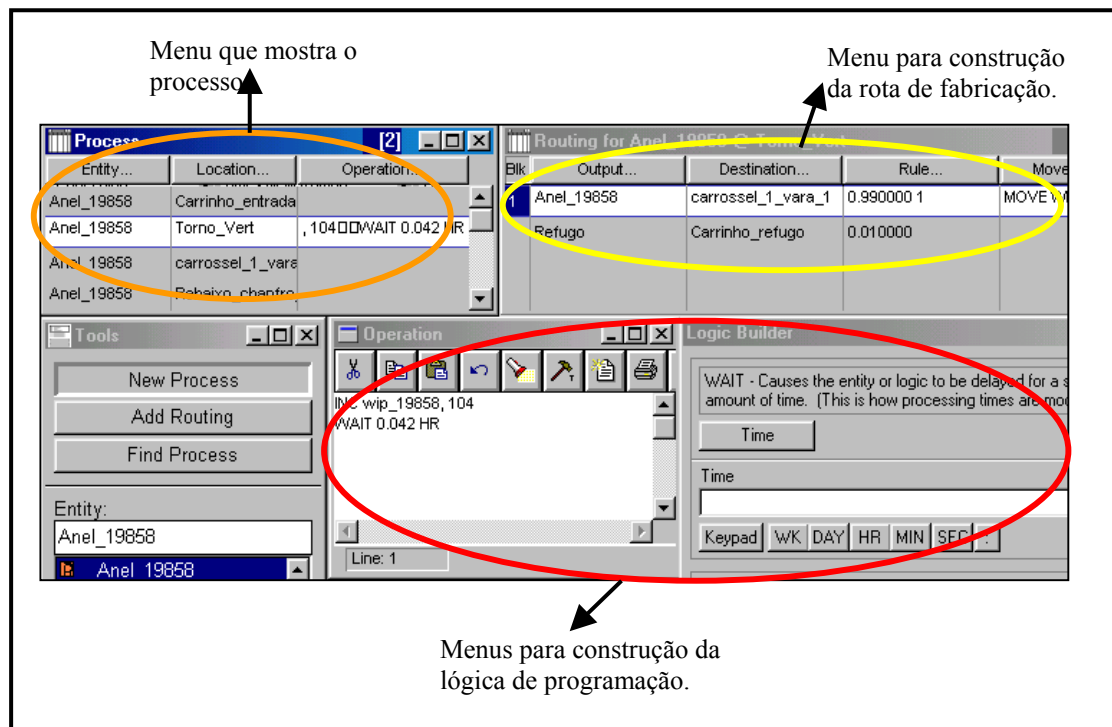


Figura 6.17 – Telas de programação do processo do ProModel

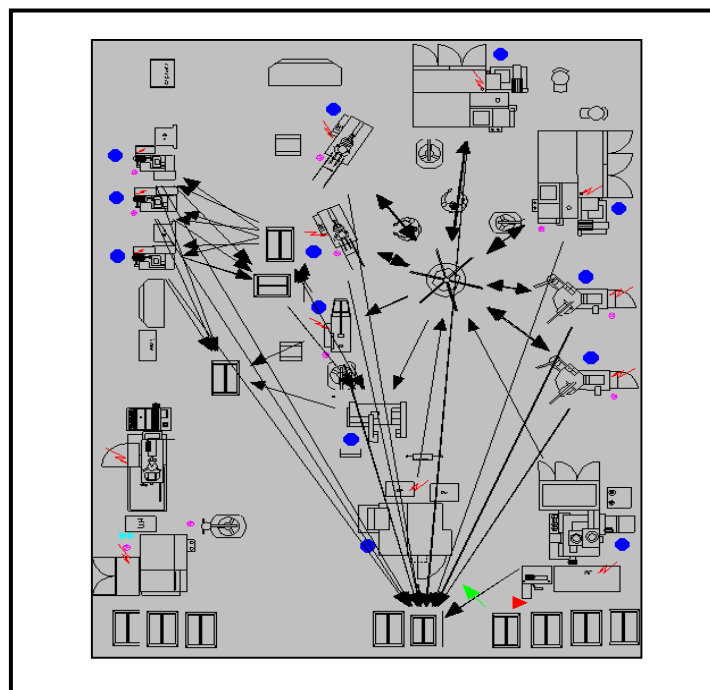


Figura 6.18 – Exemplo de roteamento do processo dentro da célula

Para facilitar a visualização do que está ocorrendo durante o processamento do modelo, foram criados três tipos de variáveis: estoque em processo (WIP) por anel que estiver sendo processado no momento dentro da célula, porque na situação real existe mais de um tipo de anel ao mesmo tempo em processo; quantidade de anéis acabados por tipo de anel; refugo gerado. A **Figura 6.19** mostra estas variáveis que mudam de estado durante a simulação.

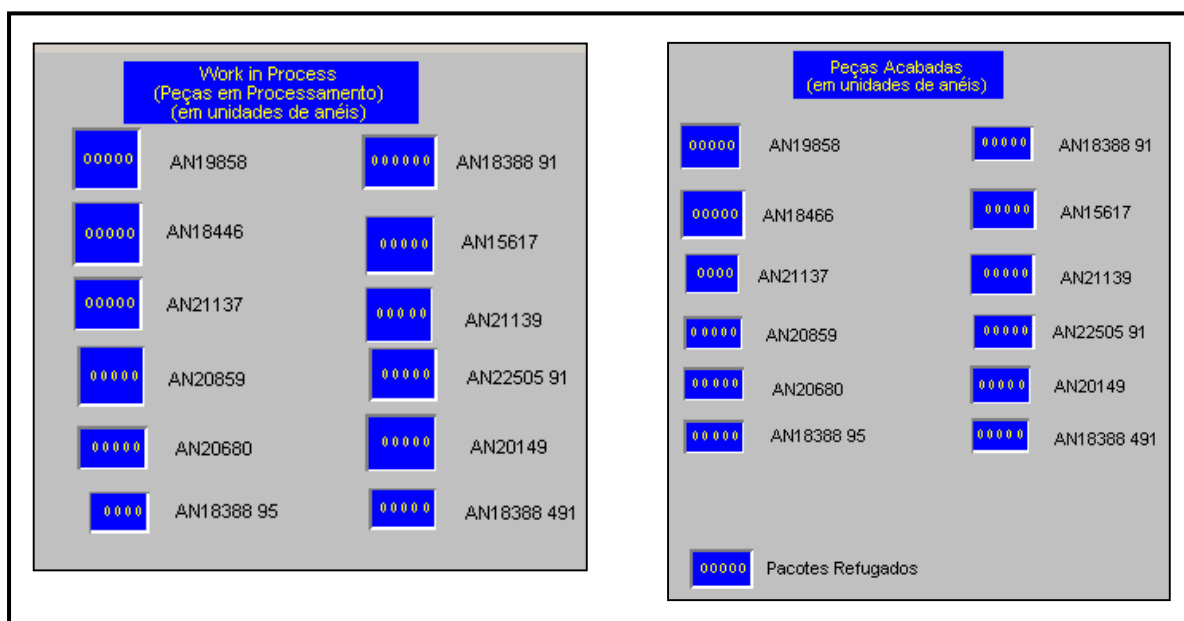


Figura 6.19 – Variáveis de estoque em processo e anéis acabados

O resultado final do processo de modelagem foi a execução de dois modelos para a célula I: o primeiro modelo foi o existente e o segundo modelo foi o proposto no item 6.3, com o layout mostrado na **Figura 6.7**. O trabalho foi extenso devido ao grande número de dados a serem considerados, apesar das simplificações adotadas, gerando ao todo 60 modelos intermediários até a consolidação nos dois modelos finais apresentados nas **Figuras 6.20 e 6.21**.

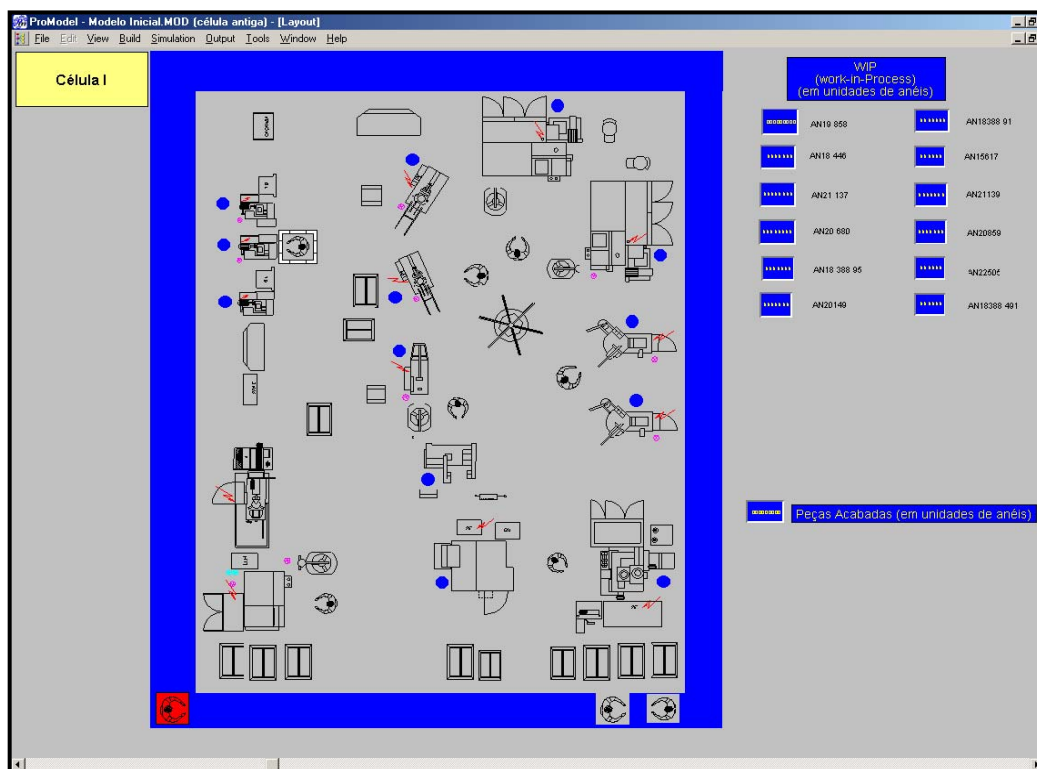


Figura 6.20 – Modelo da célula I atual

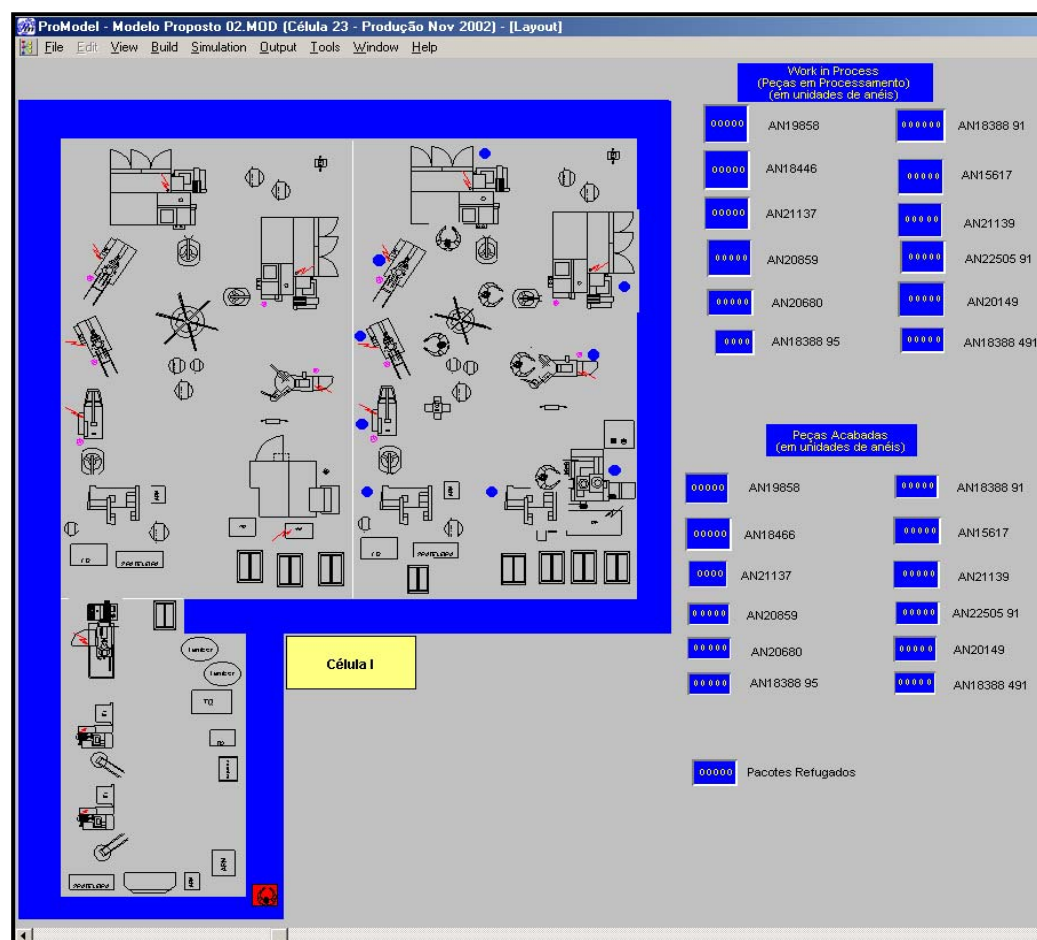


Figura 6.21 –Modelo proposto para a célula I

6.6 Verificação e validação do modelo

A verificação e validação do modelo são pontos importantes para se iniciar a análise dos resultados gerados e simular os experimentos. Como foi visto no capítulo 3 item 3.7, o primeiro passo realizado foi a depuração dos erros de programação existentes nos modelos. Esta etapa foi realizada pelo modelador em paralelo a execução dos modelos, ou seja, após a construção do modelo básico e a depuração de erros de sintaxe e lógica do mesmo, a cada novo processo introduzido o modelador realizava os testes de verificação de funcionamento dos modelos. Portanto os dois modelos foram considerados satisfatórios do ponto de vista da verificação.

Quanto ao processo de validação do modelo atual, o autor optou pela utilização de três tipos de testes: observação da animação, comparação com o sistema atual e utilização de dados históricos do sistema real. O teste de animação foi perfeito, com o modelo representando os caminhos percorridos pelas peças e operadores. O teste com o sistema real realizado para dez anéis ainda não fabricados versus a previsão de saída do modelo, mostrada na **Tabela 6.10** e o teste com os dados históricos (**Tabela 6.11**) apresentaram uma variação considerada aceitável para os objetivos do modelo.

Tipo do anel	Célula I Real	Célula I Modelo
AN15617-90	1.709	1.832
AN18388-95	3.248	2.923
AN18388-91	6.972	6.560
AN18446-90	590	611
AN19858-90	1.563	1.602
AN20680-95	656	657
AN20859-91	2.956	2.227
AN21137-95	510	588
AN21139-95	490	557
AN22505-91	1.002	1.114
Refugio	200	159
Total de peças	19.696	18.671
Diferença [%]	5,2	

Tabela 6.10 – Saída real x previsão do modelo

Tipo do anel	Célula I histórico	Célula I Modelo
AN18388.06	4.020	4.200
AN18446.00	1.257	1.200
AN18843.05	10.522	10.701
AN18937.00	2.346	2.239
AN19858.00	805	780
AN19858.05	1.288	1.390
AN20795.05	3.019	3.111
AN21909.00	2.204	2.290
AN22505.00	9.980	10.145
AN22505.10	4.200	4.560
Refugo	957	204
Total de peças	39.641	40.616
Diferença [%]	2,4	

Tabela 6.11 – Saída histórico x saída do modelo

Para validar o modelo proposto o autor adotou o critério de comparação com o modelo já validado da célula atual. Os resultados foram exatamente iguais aos obtidos pela célula atual nos testes de previsão de saída e histórico de produção. Este resultado era o esperado pela equipe, porque toda a base de dados (tempos, manutenção, refugos) usada foi a mesma do modelo atual e como já mostrado nos cálculos dos balanceamentos e levantamentos dos fluxos a exigência dos recursos de produção deveria ser a mesma.

6.7 Análise dos relatórios gerados

A simulação dos modelos das células I, atual e proposta, é do tipo não terminante, ou seja, será necessário determinar o seu período de aquecimento (warm-up). A variável estoque em processo foi escolhida (WIP) para ser o indicativo da estabilização do sistema, pois ela indica a existência de peças em todos os pontos do sistema. Foram realizadas cinco replicações e coletados a cada meia hora o valor total das peças em processo, **Tabela 6.12**, e como se pode observar no gráfico da **Figura 6.22** o sistema começa a estabilizar-se a partir de uma hora do início da operação. Este período de aquecimento somente é utilizado quando o sistema parte a primeira vez, ou seja, parte em vazio.

Tempo [h]	Replicação 1 [pç]	Replicação 2 [pç]	Replicação 3 [pç]	Replicação 4 [pç]	Replicação 5 [pç]	Média
0,5	100	90	99	80	110	96
1,0	601	544	765	656	478	609
1,5	901	976	878	893	988	927
2,0	919	940	902	910	890	912
2,5	896	912	901	910	899	904
3,0	900	909	903	898	910	904
3,5	879	905	901	920	905	902
4,0	901	904	898	900	920	905
4,5	903	909	887	919	874	898
5,0	902	900	899	906	930	907
5,5	913	902	904	910	893	904
6,0	901	896	904	900	911	902

Tabela 6.12 – Estoque em processo na célula

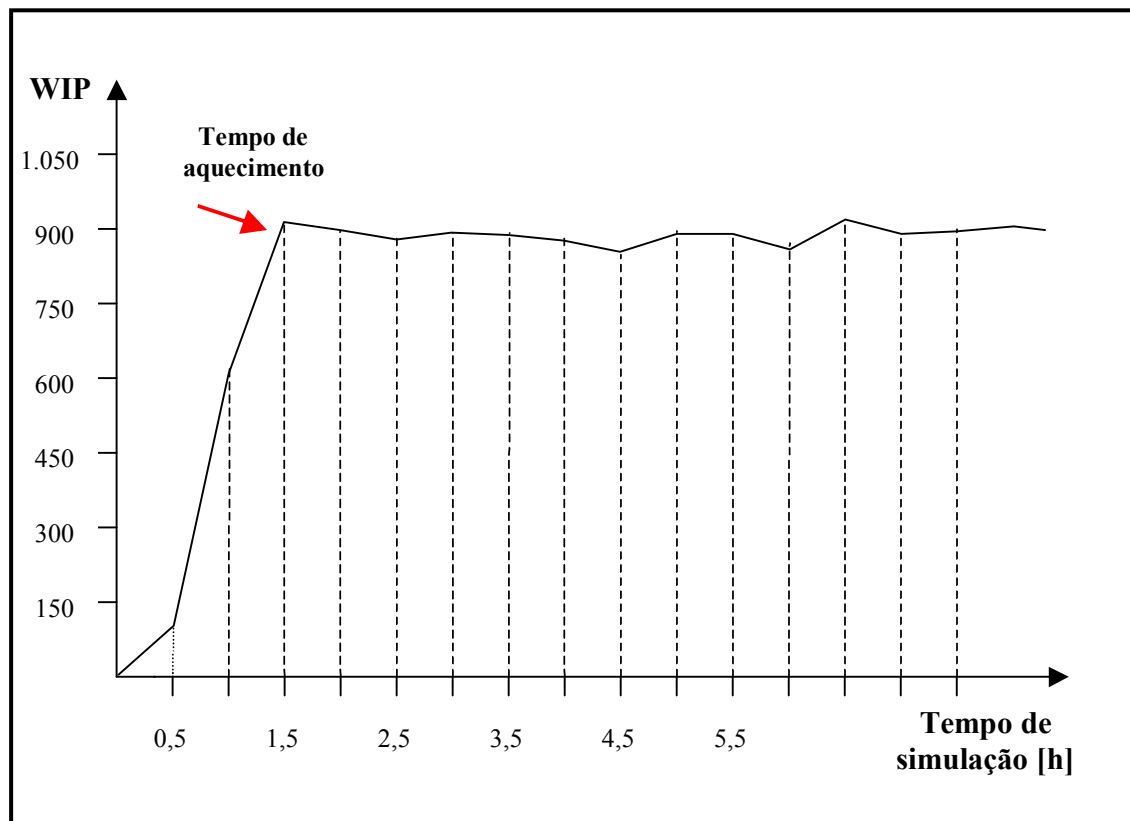


Figura 6.22 – Tempo de aquecimento da célula I

Como estes modelos não contêm somente dados determinísticos a cada replicação do sistema os resultados serão diferentes. Então qual deverá ser o número mínimo de replicações do sistema para ter-se um conjunto de resultados estatisticamente confiáveis? Segundo PEREIRA (2000) e HARRELL *et al.* (2000), o número mínimo de replicações do sistema poderá ser determinado a partir da análise do intervalo de confiança utilizando-se a distribuição *t* de Student para amostras $N < 30$ e desvio padrão σ desconhecido. A equação 6.19 fornece o intervalo de confiança, onde $(\alpha - 1)100$ representa o intervalo de confiança para a diferença entre a média encontrada $\bar{X}$ e a verdadeira média μ . A amostra considerada tem tamanho n , portanto com $n - 1$ graus de liberdade, e o desvio padrão dessa amostra é S .

$$P\left[-t_{\alpha/2;n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \bar{X} - \mu \leq t_{\alpha/2;n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha \quad (6.19)$$

Da equação 6.19, obtém-se o valor do número de replicações, equação 6.20, que deverão ser executadas para que se obtenha a diferença desejada entre a média da amostra $\bar{X}$ e a verdadeira média μ .

$$n = \left(t_{\alpha/2;n-1} \frac{S}{\bar{X} - \mu}\right)^2 \quad (6.20)$$

Para determinar o número de replicações que serão necessárias ao modelo da célula I para que se obtenha 95% de confiança de que a diferença entre a média dos resultados obtidos $\bar{X}$ e a verdadeira média μ não seja maior que mil peças. Foram realizadas dez replicações de 45 horas cada uma e coletados o número total de anéis produzidos neste período simulado, descontado o tempo de aquecimento do sistema. A **Tabela 6.13** mostra estes valores, a média e o desvio padrão.

Replicação	Número de peças
1	79.586
2	79.917
3	80.546
4	79.876
5	82.450
6	81.211
7	80.594
8	81.908
9	81.517
10	81.967
Média	80.957
Desvio padrão	998

Tabela 6.13 – Desvio padrão para dez replicações

Considerando-se um nível de confiança de 95%, ou seja, $(\alpha - 1)100 = 95$, tem-se que $\alpha = 0,05$ e $t_{0,025;9} = 2,262$.

Substituindo-se esses valores na equação 6.20, considerando-se que a diferença máxima que se quer entre $\bar{X}$ e μ é de mil peças ($\bar{X} - \mu = 1.000$), e utilizando-se as informações da tabela 6.13, pode-se determinar o número mínimo de replicações.

$$n = \left(2,262 * \frac{998}{1000} \right)^2 = 5,01 \cong 5 \quad (6.21)$$

Deste modo, ao se realizarem pelo menos cinco replicações, tem-se 95% de confiança de que a média verdadeira não vai distanciar de mil peças da média encontrada, ou seja, o erro ficará entorno de 1%.

Com esta informação pôde-se programar o número ótimo de replicações dos modelos e analisar os resultados sem a preocupação de se fazer o tratamento estatístico para cada diferente tipo de experimento realizado.

Os relatórios de saída gerados no ProModel[®] e utilizados para análise dos modelos foram: relatório geral de estatísticas (general statistics report), gráfico de utilização das máquinas (location utilization) e gráfico de estado dos recursos (resource states).

O relatório geral de estatísticas é uma radiografia do comportamento do sistema como um todo, fornecendo informações como: duração da simulação em horas, dias, semanas, etc; percentual de utilização dos equipamentos e recursos; quantidades produzidas por equipamento e total do período; custos; falhas; bloqueios; desvio padrão; média, quando é realizada mais de uma replicação; estoque em processo. A **Figura 6.23** é um exemplo deste relatório gerado para o modelo atual e a **Figura 6.24** para o modelo proposto.

General Report										
Output from C:\Meus documentos\arquivos novos dissertação\Modelo célula atual										
Date: Sep/12/2003 Time: 11:25:35 PM										

Scenario : Normal Run										
Replication : Average (replication 1 - 5)										
Period : Final Report (0 sec to 810 hr Elapsed: 810 hr)										
Simulation Time : 810 hr										

LOCATIONS										
Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Hours Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util		

Torno Vertical 1	810	1	2011	0.10	0.25	1	0	25.77	(Average)	
Torno Vertical 2	810	1	1942	0.08	0.20	1	0	20.31	(Average)	
Gravadora 1	810	1	1903.8	0.15	0.35	1	0	35.89	(Average)	
Gravadora 2	810	1	1957.8	0.18	0.44	1	0	44.06	(Average)	
Torno acabado 1	810	1	1619.8	0.10	0.21	1	0	21.15	(Average)	
Torno Acabado 2	810	1	1596.2	0.10	0.20	1	0	20.79	(Average)	
Reb Chanfro 1	810	1	1043.6	0.13	0.17	1	0	17.15	(Average)	
Reb Chanfro 2	810	1	1031.8	0.13	0.17	1	0	17.18	(Average)	
Topejadora	810	1	2022.6	0.26	0.66	1	1	66.23	(Average)	
Escovamento	810	1	2563.2	0.17	0.56	1	0.2	56.63	(Average)	
Bombeamento 1	810	1	543.6	0.16	0.10	1	0.2	10.84	(Average)	
Bombeamento 3	810	1	543.2	0.15	0.10	1	0.2	10.34	(Average)	
Bombeamento 2	810	1	543.4	0.13	0.09	1	0	9.24	(Average)	
Retífica	810	1	0	0.00	0	0	0	0.00	(Average)	
Carrinho entrada	810	10000	3953	17.29	84.39	1156	0	0.84	(Average)	
Carrinho saída	810	10000	2630.2	0.00	0	1	0	0.00	(Average)	
Carrinho intermediario	810	10000	1630.8	0.08	0.17	12	0.4	0.00	(Average)	
Carrinho refugio	810	100000	161.4	0.00	0	1	0	0.00	(Average)	
Carrinho retorno bomb	810	100000	538	12.99	8.50	91.6	2.8	0.01	(Average)	
LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)										
Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down					

Carrossel vara 1	810	42.88	57.12	0.00	0.00	(Average)				
Carrossel vara 2	810	64.60	35.40	0.00	0.00	(Average)				
Carrossel vara 3	810	19.49	80.51	0.00	0.00	(Average)				
Carrossel vara 4	810	26.84	73.16	0.00	0.00	(Average)				
Carrinho entrada	810	63.05	36.95	0.00	0.00	(Average)				
Carrinho intermediario	810	87.60	12.40	0.00	0.00	(Average)				
Carrinho retorno bomb	810	69.26	30.74	0.00	0.00	(Average)				

Figura 6.23 – Relatório geral do modelo atual

General Report

Output From C:\Meus documentos\arquivos novos dissertação\Modelo Proposto Produção Nov 2002

Date: Sep/13/2003 Time: 11:13:49 AM

Scenario : Normal Run

Replication : Average (replication 1 - 5)

Period : Final Report (0 sec to 822 hr Elapsed: 822 hr)

Simulation Time : 822 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Hours Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util	
Torno Vert	822	1	3258.6	0.12	0.48	1	0.4	48.14	(Average)
Torno Vert	0	0	25.68	0.01	0.04	0	0.54	4.52	(Std. Dev.)
Torno acabado 1	822	1	1255.2	0.13	0.21	1	0	21.02	(Average)
Torno acabado 1	0	0	16.36	0.01	0.02	0	0	2.17	(Std. Dev.)
Torno acabado 2	822	1	1297.6	0.09	0.14	1	0.4	14.32	(Average)
Torno acabado 2	0	0	13.33	0.01	0.02	0	0.54	2.40	(Std. Dev.)
Rebaixo chanfro 1	822	1	1000.8	0.12	0.14	1	0.2	14.99	(Average)
Rebaixo chanfro 1	0	0	28.61	0.02	0.02	0	0.44	2.43	(Std. Dev.)
Rebaixo Chanfro 2	822	1	962.2	0.12	0.14	1	0.2	14.33	(Average)
Rebaixo Chanfro 2	0	0	16.13	0.01	0.01	0	0.44	1.98	(Std. Dev.)
Topejadora	822	1	2513.6	0.06	0.19	1	0.4	19.55	(Average)
Topejadora	0	0	27.64	0.00	0.03	0	0.54	3.09	(Std. Dev.)
Escovamento.1	822	1	2054.4	0.11	0.29	1	0	29.84	(Average)
Escovamento.1	0	0	29.42	0.02	0.05	0	0	5.28	(Std. Dev.)
Bombeamento2	822	1	0	0.00	0	0	0	0.00	(Average)
Bombeamento2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	(Std. Dev.)
Gravadora 1	822	1	3175.6	0.09	0.37	1	0.4	37.38	(Average)
Gravadora 1	0	0	24.80	0.00	0.03	0	0.54	3.49	(Std. Dev.)

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down	
carrossel 1 vara 1	822	91.09	8.91	0.00	0.00	(Average)
carrossel 1 vara 1	0	2.18	2.18	0.00	0.00	(Std. Dev.)
carrossel 1 vara 2	822	94.68	5.32	0.00	0.00	(Average)
carrossel 1 vara 2	0	2.16	2.16	0.00	0.00	(Std. Dev.)
Carrossel 1 vara 3	822	85.67	14.33	0.00	0.00	(Average)
Carrossel 1 vara 3	0	3.18	3.18	0.00	0.00	(Std. Dev.)
Carrossel 1 vara 4	822	87.69	12.31	0.00	0.00	(Average)
Carrossel 1 vara 4	0	2.36	2.36	0.00	0.00	(Std. Dev.)
Carrinho entrada	822	6.19	93.81	0.00	0.00	(Average)

Figura 6.24 – Relatório geral do modelo proposto

Outro tipo de relatório de saída que o ProModel[®] fornece são os gráficos de estado e utilização das máquinas, recursos e peças. São um complemento para a análise do relatório geral de estatística, pois são apresentados na forma de gráfico de barras ou pizza sendo sua interpretação mais rápida e fácil. As **Figuras 6.25, 6.26 e 6.27** representam exemplos destes gráficos gerados na simulação do modelo atual, sendo respectivamente: porcentagem de utilização das máquinas; os estados das máquinas durante o período simulado (em operação, parada, em espera, em manutenção) e os estados dos operadores (movimentação em vazio e trabalhando, em operação, ocioso).

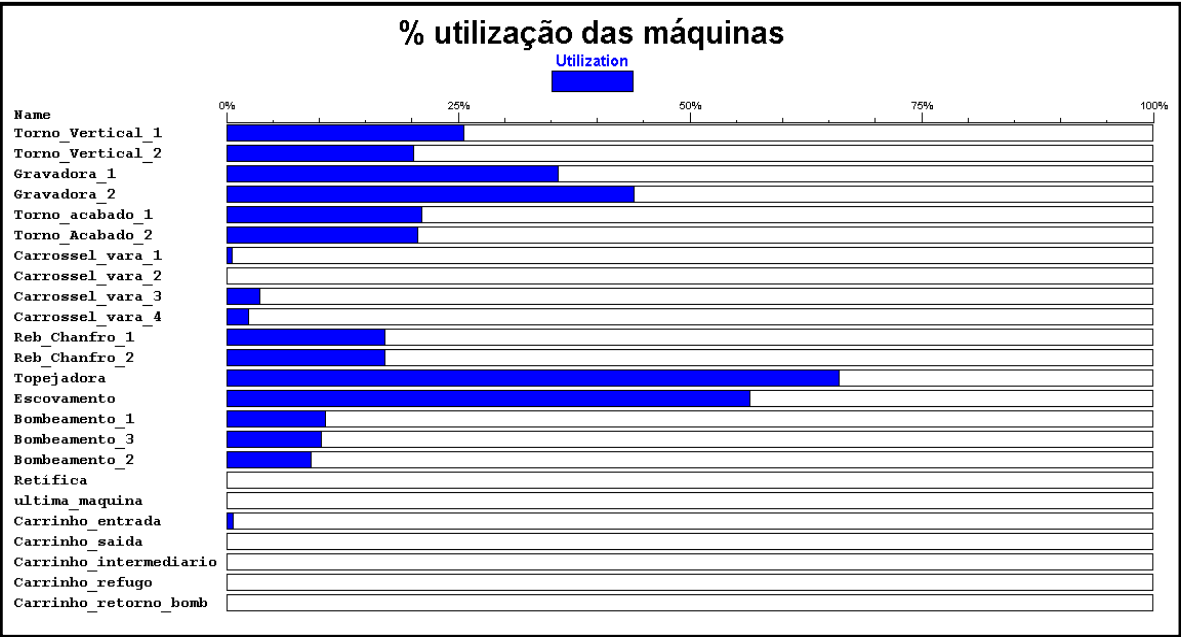


Figura 6.25 – Gráfico de utilização das máquinas

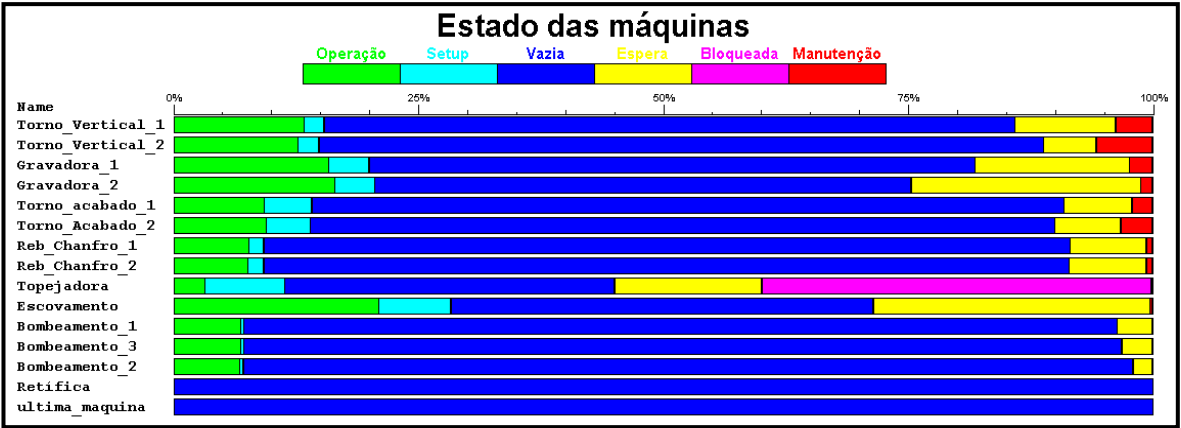


Figura 6.26 – Gráfico do estado das máquinas

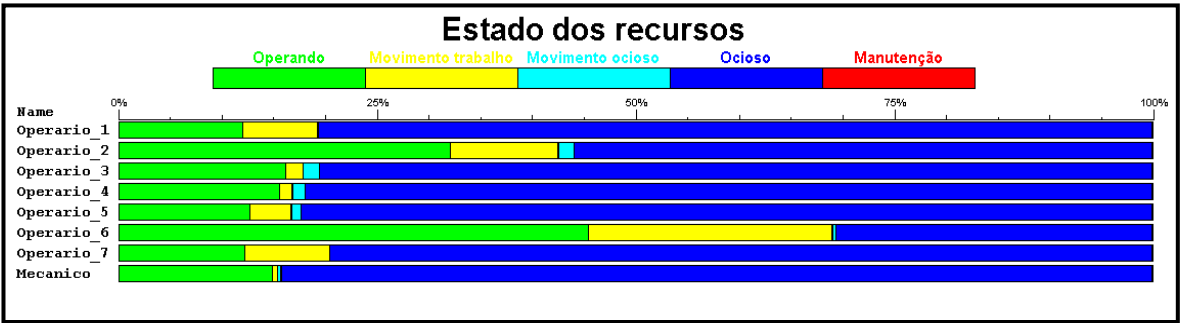


Figura 6.27 – Gráfico do estado dos recursos

Os mesmos tipos de gráficos gerados para o modelo proposto estão representados nos exemplos das Figuras 6.28, 6.29 e 6.30.

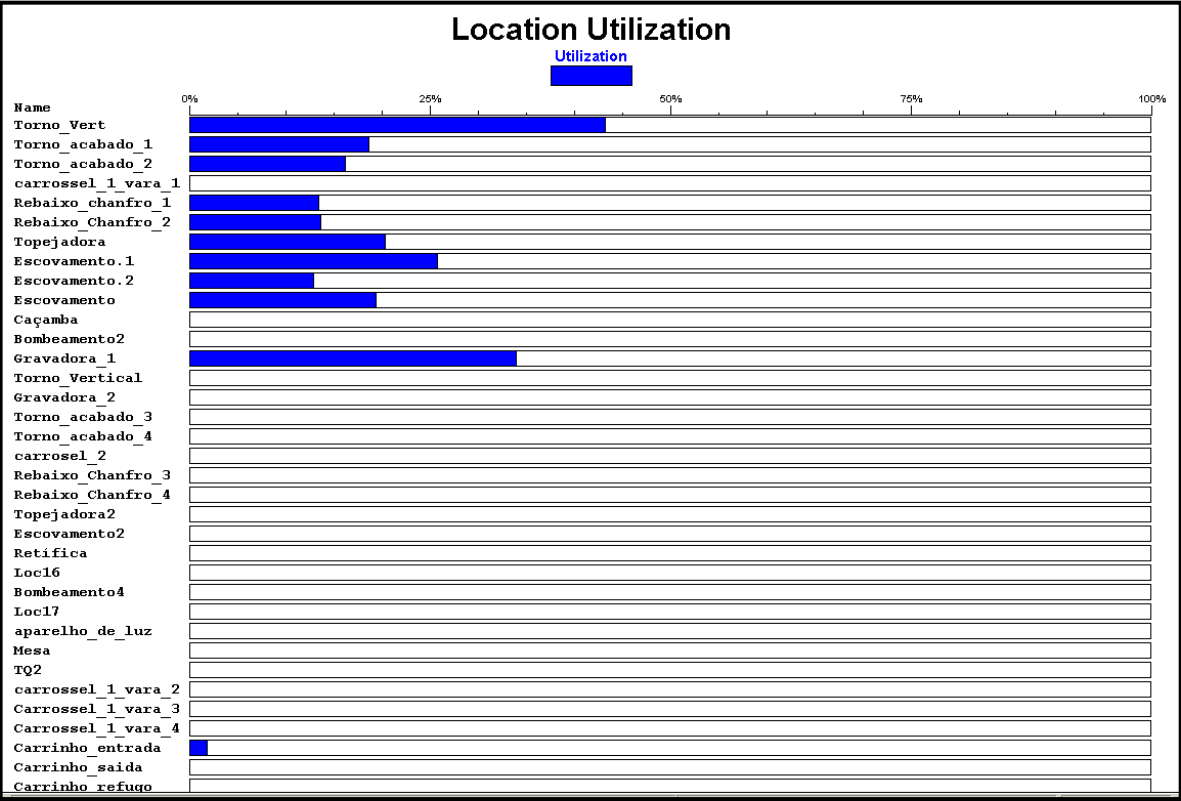


Figura 6.28 – Gráfico de utilização das máquinas no modelo proposto

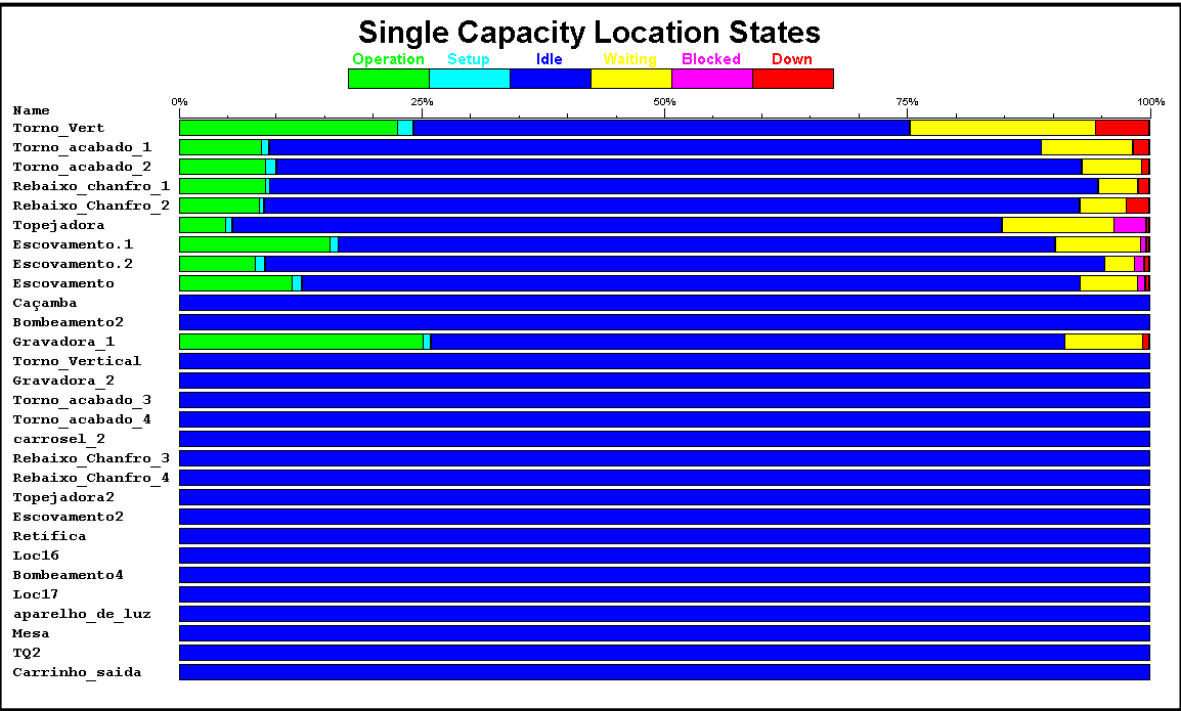


Figura 6.29 – Gráfico do estado das máquinas do modelo proposto

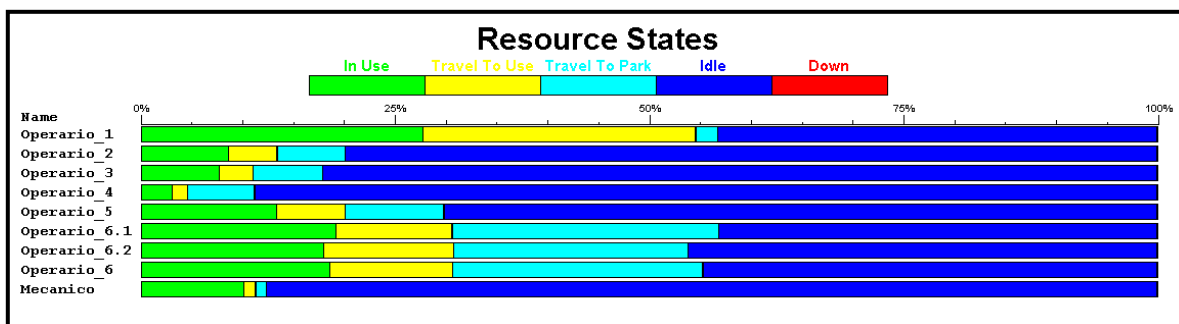


Figura 6.30 – Gráfico do estado dos recursos do modelo proposto

Com os relatórios e gráficos gerados pelo ProModel® e as informações colidas no levantamento de campo, o autor pôde analisar o comportamento do sistema real e da solução proposta para o aumento de capacidade para atender a futura demanda. As conclusões desta análise estão descritas abaixo.

Realmente o torno TVF esta em duplicidade para o mix atual de produtos, conforme detectado pelo cálculo de balanceamento, podendo ser disponibilizado para utilização em outra célula. Também ficou evidenciado o comportamento do fluxo paralelo existente para as máquinas de bombeamento e retifica além da não utilização do torno M. Com a retirada do torno TVF e do torno M e também a criação de uma nova área para alocar o bombeamento e a retifica, a família de peças da célula I terá um impacto positivo no seu custo de fabricação. Também as outras peças não pertencentes à família e que utilizavam o bombeamento e a retifica terão o seu custo afetado positivamente. Porque pagavam a taxa hora com todo o imobilizado e insumos da célula I. A desoneração do custo de fabricação para estas peças tornará o lucro maior ou poderá dar a estes produtos mais competitividade no mercado.

Com relação ao uso da mão de obra, constatou-se que o operador da gravadora ficava ocioso enquanto os operadores dos tornos TC e TFV, dependendo do produto o gargalo alterna-se entre as duas máquinas, transformavam-se em gargalos do sistema. A solução adotada foi mudar o método de trabalho da gravadora e o seu operador passou a dar assistência aos operadores dos tornos TC e TFV. Também o mecânico dedicado à célula I passou a atender mais um setor.

Pelos relatórios também se pode identificar indícios de problemas, que durante a sua investigação foram classificados como de natureza administrativa: retirada de operadores da célula para executar outras funções emergenciais, anéis de outras células sendo

executados na célula I, emergências ou cancelamentos de ordens de fabricação e sequenciamento da programação.

Pelos resultados da simulação, tanto na célula atual como na célula proposta, as máquinas de rebaixo ficaram subutilizadas, indicando a possibilidade de retirada de uma. Porém analisando-se o processo dos anéis que possuem rebaixo superior e inferior e simulando esta situação no modelo, gerou a necessidade de realmente existirem duas máquinas. Este foi um ponto de refinamento dos modelos que não estavam considerando este detalhe do processo. Quanto à utilização do topejamento e do escovamento estarem abaixo de 50% não é significativo, pois é utilizado um operador para as duas máquinas e não compensa financeiramente investir no projeto e construção das mesmas para uma capacidade menor (estas máquinas são de projeto e fabricação da empresa). Também não é viável a utilização das duas máquinas, no layout proposto, para atender simultaneamente às células I A e B, porque as mesmas irão trabalhar de maneira totalmente independente e a utilização mutua das duas máquinas no final de célula poderia induzir ao erro: mistura de peças de lotes diferentes ou a execução da operação com parâmetros de regulagem errados.

Com a comparação entre o comportamento do modelo atual e o comportamento do modelo proposto, comparação baseada nos relatórios de simulação com os dados históricos, a equipe decidiu pela implantação da solução proposta. Inicialmente com a formação da célula I A e formação da área de bombeamento e retífica, deixando a área e o torno TFV já disponíveis para a implantação da célula I B. A adoção da proposta do novo layout ao invés da duplicação da célula atual resultou em uma economia de 140 m² na área ocupada e US\$ 2.810.000 em investimento com equipamentos, a **Tabela 6.14** resume a análise do custo x benefício entre as duas alternativas.

	Custo total por tipo de máquina [US\$]		
	Layout atual	Proposta 1	Proposta2
Torno TFV	2.400.000	4.800.000	2.400.000
Gravadora	100.000	200.000	100.000
Torno TC	400.000	800.000	800.000
Rebaixo	120.000	240.000	240.000
Topejadora	50.000	100.000	100.000
Escovamento	40.000	80.000	80.000
Torno M	30.000		
Retifica	60.000	120.000	60.000
Bombeamento	180.000	360.000	180.000
Área ocupada [US\$]	90.000	180.000	110.000
Custo total [US\$]	3.470.000	6.880.000	4.070.000
Capacidade instalada [pç/dia]	46.000	92.000	92.000

Tabela 6.14 – Custo x benefício entre as propostas 1 e 2

6.8 Sequenciamento da produção

Conforme discutido no item 6.7, um dos pontos de improdutividade levantados na investigação das discrepâncias entre o relatório da simulação e o sistema real foi o sequenciamento da produção. O programa de produção mensal é passado pelo setor de logística da empresa ao PCP da mini fábrica e este faz a programação semanal das ordens de fabricação, gerando os kanbans. O sequenciamento da programação semanal é realizado em função da data de entrega na expedição, mas este sequenciamento não necessariamente é o melhor em termos de minimizar o lead time total de produção da semana. Conforme discutido no capítulo 2 item 2.5, existem diversos algoritmos para minimizar o lead time de fabricação através do sequenciamento da programação das ordens de produção. PINHO (1999) desenvolveu em sua dissertação um software que auxilia o programador da produção na otimização do sequenciamento (anexo X). Para testar o impacto da programação realizada pelo PCP da mini fábrica versus a programação otimizada via software, foi escolhido um período de programação do histórico da produção e realizada a otimização, conforme mostra o exemplo da **Figura 6.31**.

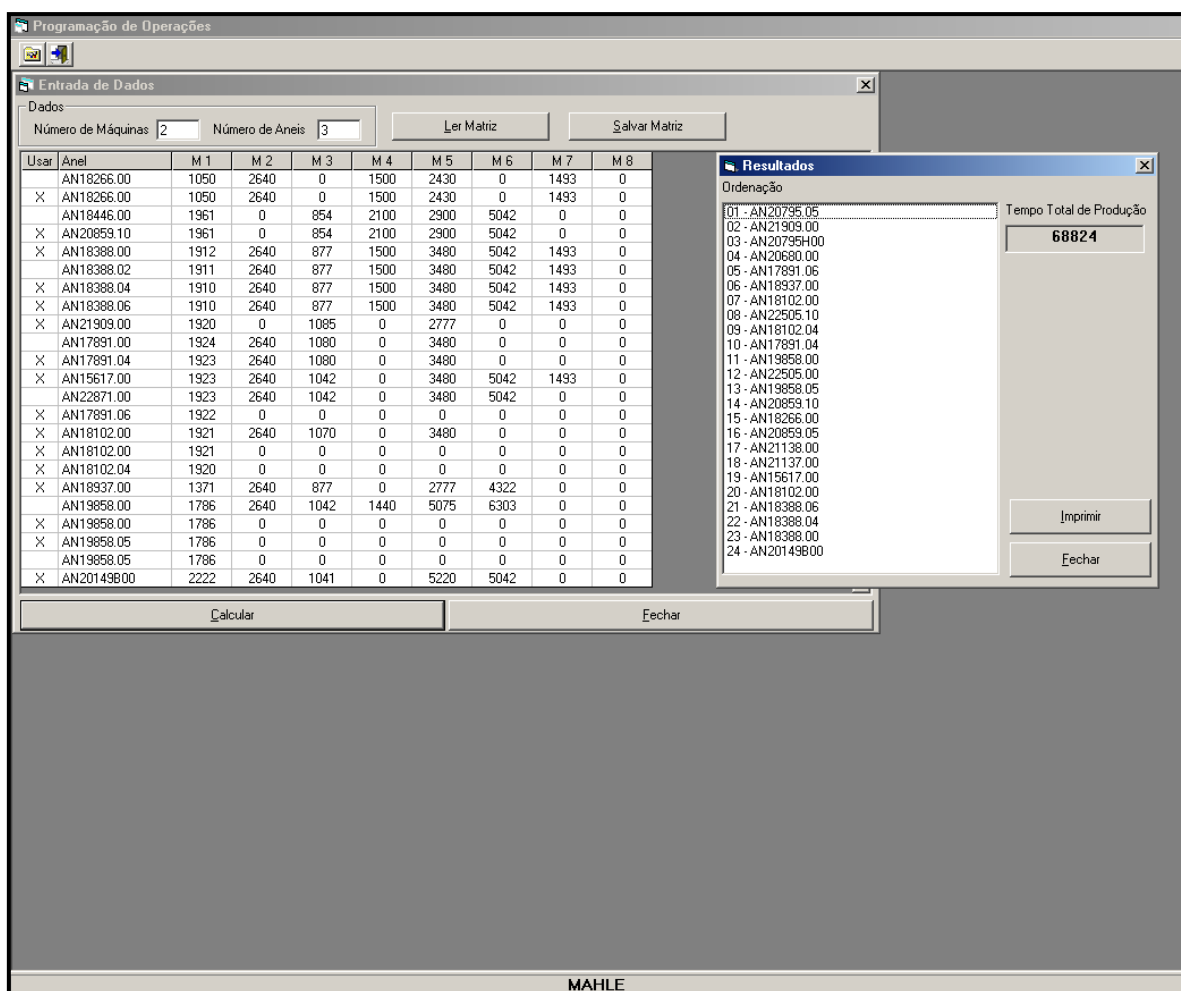


Figura 6.31 – Otimização da programação da produção

A seqüência histórica original foi programada no modelo e realizada a simulação, sendo colhido o tempo total para executar a programação. Agora o modelo foi carregado com a seqüência otimizada pelo software e realizado a simulação, com os resultados mostrados na **Tabela 6.15**.

	Seqüência original	Seqüência otimizada
Tempo de simulação [h]	109	96
Diferença [%]	12	

Tabela 6.15 – Seqüenciamento real x otimizado

O seqüenciamento otimizado realmente minimizou o lead time total da célula em 12%, mas este valor é apenas um indicativo que reforça a influência do seqüenciamento na

produtividade da célula. O ganho de 12% no lead time é válido somente no período analisado, sendo necessária a aplicação da otimização do seqüenciamento durante um período maior da produção e registrar o seu ganho formando um histórico e deduzindo o valor esperado na redução real do lead time.

6.9 Considerações finais

A aplicação da simulação não é trivial, ela requer uma pessoa ou uma equipe com profundo conhecimento do sistema onde será aplicada e também ou uma pessoa ou uma equipe que domine a ferramenta de simulação de modo que os conhecimentos possam se complementar e dar origem a um modelo robusto que represente a realidade com uma confiabilidade na qual decisões possam ser tomadas com base nos resultados gerados a partir do modelo.

No caso específico da célula I, esta confiabilidade foi atingida e o resultado final foi à implantação do novo layout proposto e o seu comportamento, após início de operação, foi muito similar ao retratado na simulação.

Um outro ponto observado além da não trivialidade do processo de simulação, é o de que realmente é necessário se ter uma metodologia para realizar o trabalho. Na execução deste trabalho foi seguida a metodologia proposta por LOBÃO e PORTO (1997) e adaptada por PEREIRA (2000), mostrando-se como um farol a guiar o rumo evitando as armadilhas de “queima” ou esquecimento de etapas.

Mas a metodologia destes autores é focada no processo de simulação e nas literaturas consultadas também a preocupação está centrada na simulação, mas a simulação de processos industriais voltados à fabricação tipo job-shop ou flow-shop necessita de uma preparação prévia para poder-se aplicar a simulação e não usá-la para preparar os arranjos iniciais. Por este motivo foi montado um roteiro simplificado de como a simulação esta inserida no contexto do estudo de linhas de produção e o uso após a implantação do projeto, mostrado na **Figura 6.32**. Este roteiro não relaciona todo o potencial de aplicação da simulação, mas apenas cita alguns exemplos de utilização, sendo a sua função olhar o conjunto do contexto onde a simulação esta inserida.

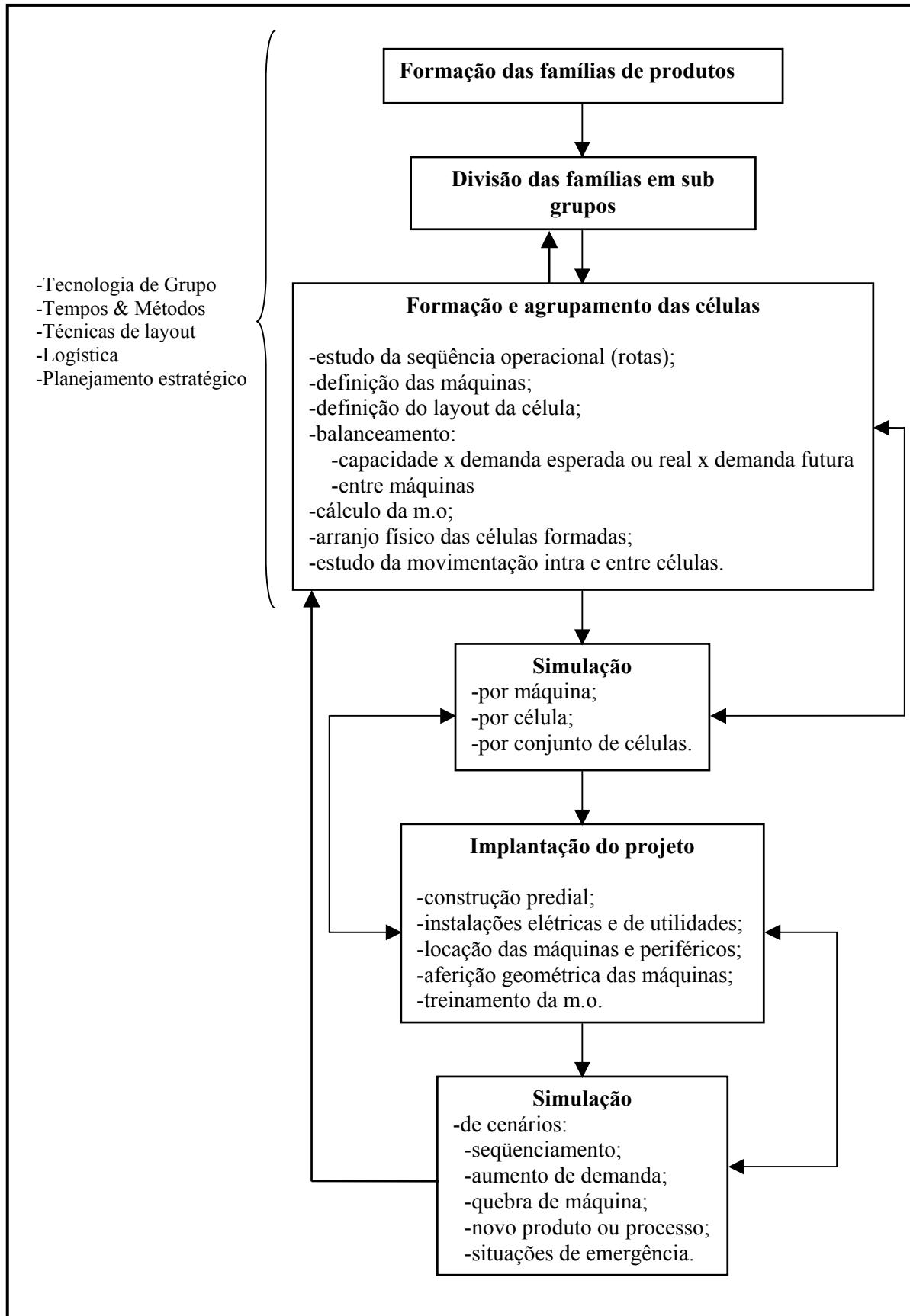


Figura 6.32 – Roteiro geral de implantação de sistemas de manufatura tipo flow-shop e job-shop

CONCLUSÕES

7.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas e as recomendações para futuros trabalhos. Inicialmente serão abordadas as conclusões a respeito da aplicação da simulação em um ambiente fabril dinâmico. Posteriormente será comentada a contribuição do trabalho e sugestões para o desenvolvimento de futuros trabalhos na área de simulação. Também vale a pena ressaltar que durante o desenvolvimento deste trabalho foram gerados diversos artigos e um trabalho de iniciação científica, estando listados no anexo I.

7.2 Conclusões e contribuições do trabalho

A simulação computacional está evoluindo com uma velocidade muito grande, principalmente pela facilidade e avanços nas áreas de hardware e software. Há alguns anos o trabalho de modelagem e análise realizado nesta dissertação seriam inviáveis pelo tempo gasto e o custo envolvido. Mas no desenvolvimento do trabalho pode-se constatar que não basta ter os recursos tecnológicos a disposição é necessário ter os recursos humanos disponíveis e treinados. Por este motivo foi importante a montagem de uma equipe de trabalho (detalhada no item 6.2.2), com cada membro sendo um especialista no seu campo de atuação e sabendo o seu papel no projeto; ressaltando apenas que os membros da empresa não ficaram dedicados exclusivamente a este trabalho, e os levantamentos realizados seriam os necessários a condução da solução do problema e esta dissertação apenas direcionou e monitorou estes levantamentos de modo a não serem cometidos erros ou omissões de informações e registros. A afirmação sobre a necessidade da formação da equipe está embasada na experiência inicial do projeto, onde as informações não fluíam, demoravam a serem levantadas, muitas vezes não estavam ou no formato ou com os registros necessários e após a formação da equipe de trabalho o projeto ganhou um novo ritmo e confiabilidade dos levantamentos.

Para a execução do trabalho foi seguida a metodologia proposta por LOBÃO e PORTO (1997) e adaptada por PEREIRA (2000), discutida no item 4.3. No transcorrer do desenvolvimento do trabalho pode-se constatar a utilidade de ter-se adotado esta metodologia, porque o trabalho foi extenso e composto de muitos dados e detalhes, e a metodologia auxiliou na organização e planejamento das etapas evitando o re-trabalho ou o esquecimento de alguma etapa importante no processo e possibilitou o planejamento de eventos simultâneos acelerando o andamento do projeto. Porém como crítica construtiva a metodologia é a falta do enfoque da formação da equipe de trabalho para um trabalho detalhado como este que foi realizado. Também se constatou na prática que muitas das observações e alertas feitos por PEREIRA (2000), como: a necessidade de integração entre modelador e usuário; iniciar a construção do modelo de forma simples e ir crescendo o grau de complexidade gradativamente; achar o ponto de equilíbrio entre o grau de detalhamento e a necessidade da aplicação, são armadilhas escondidas no caminho e por mais experiente que o usuário e/ou modelador forem poderão cometer estas falhas. A principal falha cometida foi iniciar o modelo já partindo com a construção de uma lógica de programação complexa, não funcionou e o modelo teve de ser reconstruído seguindo a lógica do mais simples para o mais complexo. Outro ponto decisivo na construção do modelo foi encontrar o ponto de equilíbrio entre o nível ótimo de detalhamento, onde todos os parâmetros fossem contemplados e de forma estocástica, e o nível suficiente de detalhes para atender aos objetivos do projeto. Optou-se pelo nível necessário aos objetivos do projeto, ou seja, alguns dados foram assumidos com determinísticos e o conjunto de dados sobre a manutenção foi assumido como estocástico. Sendo esta decisão baseada no estudo de PERSON (2002), onde é discutido o impacto do nível de detalhamento no projeto de simulação, concluindo que o nível ideal do detalhamento é aquele que forneça os resultados de saída com a confiabilidade necessária aos objetivos do projeto levando-se em conta o custo e o tempo disponíveis. Segundo o mesmo autor, caso disponha-se de recursos o ideal seria detalhar ao máximo o modelo para obter os resultados com a máxima confiabilidade.

A análise dos relatórios do modelo simulado possibilitou o questionamento a respeito de muitas práticas de cunho administrativo que normalmente são pouco perceptíveis ou difíceis de serem comprovadas.

As principais contribuições deste trabalho foram a de trazer a experiência da aplicação prática da simulação em um sistema complexo para dentro da universidade, colocar à disposição da indústria uma ferramenta de previsão e condução de experimentos sem a necessidade de interferir com a sua produção, consolidar a importância da aplicação

de uma metodologia na execução do projeto de simulação, mostrar de forma explícita a importância e como fazer a montagem de uma equipe para o projeto de simulação e a proposição de um fluxo macro das etapas de execução para um projeto de manufatura envolvendo o processo de simulação (**Figura 6.32**).

A proposição inicial do trabalho foi a aplicação da simulação computacional em um caso real de manufatura do tipo flow-shop, ou seja, de fabricação em lotes. Este ponto foi plenamente atingido, estando descrita a aplicação em detalhes no capítulo 6. E os resultados dos objetivos complementares foram:

- O modelamento da célula utilizando um software comercial de simulação: foi atingido utilizando-se o software ProModel[®], no qual foram construídos os dois modelos da célula em estudo e gerados todos os relatórios e gráficos necessários a análise e tomadas de decisão;
- Solucionar o problema da falta de capacidade para a demanda futura: o objetivo foi atingido com a validação da segunda alternativa de layout, na qual foi proposta a duplicação da célula otimizada;
- Analisar o comportamento do modelo versus o sistema real: o objetivo foi atingido com os resultados do modelo não distanciando, em relação ao volume total produzido, de 6% em relação ao sistema real conforme detalhado no capítulo 6;
- Comparar alternativas de layout e servir de base para a decisão gerencial de implantação: objetivo também alcançado, pois o novo layout proposto foi implantado e os resultados previstos na modelagem foram confirmados após a implantação gerando uma economia de 41% em investimentos e de 39% na área ocupada, conforme descrito no capítulo 6;
- Analisar o impacto do seqüenciamento da produção no lead time da célula: objetivo também alcançado, com o resultado de 12% a favor do seqüenciamento otimizado em relação ao seqüenciamento utilizado pelo programador do PCP da mini fábrica no período do histórico de produção analisado.

7.3 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para futuros trabalhos a partir desta dissertação tem-se a continuação do refinamento do modelo desenvolvido nos seguintes pontos:

- Utilizar o tempo de setup e o tempo padrão como sendo uma distribuição de probabilidades, o que irá melhorar a precisão do modelo;
- Modelar toda a cadeia produtiva desta família de peças, uma vez que o modelo desenvolvido nesta dissertação focou somente uma parte da cadeia de produção;
- Aplicar o DOE ou o Factorial Design em experimentos com o modelo da célula I implantada;
- Modelar o tempo homem nos micros movimentos e separar do tempo máquina;
- Modelar toda a cadeia de logística interna dos insumos e peças, associando o custo de movimentação e o tempo improdutivo;
- Analisar de forma integrada a célula sob a ótica dos indicadores de produção e custeio;
- Otimizar o transporte interno de peças (entre edifícios e entre setores/células).

E como aplicação da simulação em outros setores, as sugestões são as seguintes:

- Aplicar a simulação no setor de serviços médicos (clínicas, postos de saúde e hospitais);
- Aplicar a simulação no setor de distribuição/estoque de uma empresa ou comércio atacadista, visando otimizar o sistema de estocagem e as rotas de transporte. Com um enfoque financeiro;
- Aplicar a simulação em uma linha de montagem, por exemplo, a montagem de chicotes para veículos.

7.4 Considerações finais

O presente trabalho aplicou uma metodologia proposta para a sistematização da simulação. A aplicação desta metodologia mostrou-se extremamente útil na organização das etapas do trabalho, evitando re-trabalhos e duplicidade de atividades. O desenvolvimento do trabalho em um ambiente fabril de alta complexidade mostrou que a condução de um trabalho de simulação não é trivial e o usuário tem que orientar muito bem o modelador para que o mesmo entenda o processo a ser simulado e os resultados esperados do modelo. Outro ponto importante a ressaltar é a importância da qualidade dos dados que são fornecidos como entrada para a construção do modelo, devendo ser formado um arquivo detalhando como os dados foram obtidos e o tratamento estatístico dado aos mesmos. Também deve ser ressaltado o poder que tem a simulação como ferramenta de

análise de um sistema produtivo complexo onde existam diversas interações entre as suas variáveis, mas nem sempre claras ao entendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. A. Os gargalos da produção. Caderno de Pesquisa em Engenharia de produção. Universidade Federal de São Carlos, 1993.
- ALMEIDA, D. A. Gerencia da produção. Apostila do curso de MBA-UNIFEI, 2002.
- AL-MUBARAK, F.; CANEL, C.; KHUMAWALA, B. M. A simulation study of cellular manufacturing as an alternative batch-processing layout. International Journal of production Economics, 2003.
- BAKER, K. R. Introduction to sequence and scheduling. John Wileys & Sons, Inc.: New York, 1974.
- BALAKRISHNAN, J.; LAU, C. M.; CONWAY, D. G.; CHENG, C. I. A hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem. International journal of Production Economics, 2003.
- BALDWIN, L. P.; ELDABI, T.; HLUPIC, V.; IRANI, Z. Enhancing simulation software for use in manufacturing. Logistics information Management, vol. 13, pp. 263-270, 2000.
- BALESTRASSI, P. P. Estatística aplicada. Notas de aula pós-graduação. UNIFEI, 2003.
- BANKS, J. Introduction to simulation. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Atlanta, 2000.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L. Discrete event system simulation. 3 rd Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- BARNES, R. M. Estudo de movimentos e de tempos: Projeto e medida do trabalho. Editora Edgard Blücher Ltda, 1986.
- BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. O.; GOGG, T. J.; HARRELL, C. R.; MOTT, J. R. A. System improvement using simulation. Utah: Promodel Corp., 1997.
- BELGE [*on line*, <http://www.belge.com.br/clientes.html>; capturado em agosto/2003].
- BLACK, J. T. O projeto da Fábrica com Futuro. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- BLANCHARD, B. S. System engineering management. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- BOWKER, A. H.; LIEBERMAN, G. J. Engineering statistics. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1972.
- BRYMAN, A. Research Methods and Organization Studies. London: Unwin Hyman Ltd, 1989.

- BURBIDGE, J. L. The first step in planning group technology. *International Journal of Production Economics*, Volume 43. Elsevier Science, 1996.
- COSTA NETO, P. L. O. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- CHAN, K. K.; SPEDDING, T. A. An integrated multidimensional process improvement methodology for manufacturing systems. *Computers & industrial Engineering*, 44, pp 673-693, 2003.
- CHEN, Ja-S.; HERAGU, S. S. Stepwise decomposition approaches for large scale cell formation problems. *European Journal of Operational Research*, Volume 113. Elsevier Science, 1999.
- DIETZ, M. Outline of a successful simulation projects. *Industrial Engineering*, Nov., 1992.
- DOWLATSHAHI, S.; NAGARAJ, M. Application of Group Technology for design data management. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier Science, 1997.
- FERNANDES, F. C. F. e DALALIO, A. G. Balanceamento e re-balanceamento de linhas de montagem operadas por grupos de trabalho autogerenciados. *Gestão & produção*, v.7, n.3 -.378-398, dez. 2000.
- FERREIRA, J. C. E.; MOURA, E. B.; RIBEIRO, L. P. G. O uso da simulação para aumentar a competência da indústria junto ao mercado externo. XXII ENEGEP. Curitiba, outubro 2002.
- FERREIRA, J. C. E.; ANDRIOLLI, G. F. Programas para a Internet visando à determinação do lote ótimo e o balanceamento de linha. XXII ENEGEP. Curitiba, outubro 2002a.
- GAITHER, N. e FRAZAIR, G. *Administração da produção e operações*. São Paulo: Pioneira Tronsom Learninig, 8ª ed., 2001.
- GLENNEY, N. E.; GERALD T. M. Modeling & Simulation Provide Key to CIM implementation Philosophy. *Industrial Engineering*, may 1985.
- GONÇALVES FILHO, E. V.. Arranjo físico da fabrica: um modelo para o processo de projeto e um algoritmo genético para a formação de células de fabricação. Tese de livre docência. São Carlos: USP, 2001.
- GROOVER, M. P. *Fundamentals of modern manufacturing*. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- GROOVER, M. P., *Automation, Production System and Computer Integrated Manufacturing*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1987.
- HARRELL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. *Simulation using ProModel*. Boston: McGraw-Hill, 2000.

- HARRELL, C. R. e DONALD, H. Simulation software component architecture for simulation-based enterprise applications. In Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference pp. 1717-21. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- KAMRANI, A. K., HUBBARD, PARSANEL, H. R. and LEEP, H. R. – Simulation-Based Methodology for machine cell design. Computers & Industrial Engineering, Volume 34. Elsevier Science, 1998.
- KANAWATY, G. Introduction to Work Study. 4^a edition. Geneva: International Labor Office, 1992.
- KOSTURIK, J.; GREGOR, M. Simulation in production system life cycle. Computer in Industry, 38, pp. 159-172, 1999.
- KUO, R. J., CHI, S. C. and TENG, P. W. Generalized part family formation through fuzzy self-organizing feature map neural network. Computers & Industrial Engineering, Volume 40. Elsevier Science, 2001.
- KUSIAK, A.; DORF, R. C. Handbook of design, manufacturing and automation. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1994.
- LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. How simulation pays off. Manufacturing Engineering, pp. 37-39, February 1988.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. Simulation modeling and analysis. New York: Mc Graw-Hill, 1982.
- LEE, S. D.; CHIANG, C. P. Cell formation in the uni-directional loop material handling environment. European Journal Operational Research, 137, pp. 401-420, 2002.
- LI, J. W. Improving the performance of job shop manufacturing with demand-pull production control by reducing set-up/processing time variability. International Journal of Production Economics, 84, pp. 255-270, 2003.
- LIM, M. K.; ZHANG, Z. A multi-agent based manufacturing control strategy for responsive manufacturing. Journal of Materials Processing Technology, 139, pp. 379-384, 2003.
- LIU, J.; MACCARTHY, B. L. A global MILP model for FMS scheduling. European Journal of Operational Research, 100, pp. 441-453, 1997.
- LIU, J.; REEVES, C. R. Constructive and composite heuristic solutions to the $P/\sum C_i$ scheduling problem. European Journal of Operational Research, 132, pp. 439-452, 2001.
- LUONG, L., HE, J., ABHARY, K. and QIU, L. A decision support system for cellular manufacturing system design. Computers & Industrial Engineering, Volume 42. Elsevier Science, 2002.

- LLOYD, S.; MELTON, K. Using statistical process control to obtain more precise distribution fitting using distribution fitting software. *Simulators international* XIV 29, n.3, pp. 193-198, April, 1997.
- LOBÃO, E. C. Discussão, sistematização e modelamento do processo de realização de estudos de simulação. Tese doutorado. São Carlos: USP, 2000.
- LOBÃO, E. C.; PORTO, A. J. V. Evolução das técnicas de simulação. Rio de Janeiro: Revista Produção, vol. 9, nº 1, pp. 13-22, 1999.
- LOBÃO, E. C.; PORTO, A. J. V. Proposta para sistematização de estudos de simulação. ENEGEP, 1997.
- LOPES, J. A. E.; FRANCISCHINI, P. G. Indicadores de produtividade da mão-de-obra em projetos de estruturas metálicas. XXI ENEGEP. Salvador, outubro, 2001.
- LOPES, M. C. Modelo para focalização da produção com células de manufatura. Dissertação de mestrado. UFSC. Santa Catarina, 1998.
- LORINI, F. J. Tecnologia de grupo e organização da manufatura. Florianópolis: Editora da UFSC, 1993.
- Manual Doutor em Motores. São Paulo: Cofap Anéis, 1980.
- MARTINS, Eliseu. Contabilidade de Custos. São Paulo: Editora ATLAS, 1996.
- MONTEVECHI, J. A. B. Métodos de formação de famílias de peças usados em tecnologia de grupo. Apostila curso pós-graduação de Tecnologia de Grupo. Itajubá: UNIFEI, 1996.
- MONTEVECHI, J. A. B. Contribuição para identificação de similaridades entre peças – abordagem baseada na lógica fuzzy em sistemas de apoio computadorizados. Tese de Doutorado. São Paulo: USP, 1995.
- MOREIRA, M. E. Softwares auxiliam na construção de fábricas. *Revista CADesign*, ano 7, nº 79, pp. 20-25, 2001.
- MUTHER, Richard. Planejamento do layout: Sistema SLP. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1978.
- NAWAZ, M.; ENSCORE JR, E. E.; HAM, I. A heuristic algorithm for the m - machine, n – job flow-shop sequencing problem. *Omega – the international Journal of Management S.*, vol. 11, nº 1, pp. 91-95, 1983.
- NETO, M. S. e FILHO, E. E. Estrutura Organizacional e Equipes de Trabalho: Estudo da Mudança Organizacional em Quatro Grandes Empresas industriais. *Gestão & Produção*, v.7, n.2, p. 136-145, ago. 2000.

- NYE, T. J. et al. Optimal investment in setup reduction in manufacturing systems with WIP inventories. *European Journal of Operational Research*, 135, pp. 128-141, 2001.
- O'KANE, J. F.; SPENCELEY, J. R.; TAYLOR, R. Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 107, pp 412-424, 2000.
- PATSIATZIS, D. I.; PAPAGEORGIOU, L. G. Optimal multi-floor process plant layout. *Computers & Chemical Engineering*, 26, pp. 575-583, 2003.
- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. An introduction to fuzzy sets – analysis and design. Massachusetts: A Bradford Book, 1997.
- PEREIRA, I. C. Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes. Itajubá, MG: Dissertação de Mestrado, UNIFEI, 2000.
- PERSON, J. F. The impact of different levels of detail in manufacturing systems simulation models. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18, pp. 319-325, 2002.
- PIDD, M. Modelagem empresarial. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- PIDD, M. Five simple principles of simulation modeling. Rio de Janeiro: Workshop de Simulação, 1997.
- PINHO, A. F. Uma contribuição para a resolução de problemas de programação de operações, em sistemas de produção intermitentes flow-shop: a consideração de incertezas. Dissertação de Mestrado. Itajubá: UNIFEI, 1999.
- PMI. A guide to the Project Management Body of Knowledge. North Carolina: PMI Publishing Division, 2002.
- PRADO, D. S. Planejamento e controle de projetos. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.
- PRISTSKER, A. B.; PEGDEN, C. D. Introduction to Simulation and SLM. New York: Jonh Wiley & Sons, 1979.
- RINALDI, Rosa e MAÇADA, Antonio C. G. Indicadores de produtividade no auxílio à tomada de decisão em um terminal de containeres na cidade do Rio Grande. XXII ENEGEP. Curitiba, outubro 2002.
- ROSA, E. B. Parâmetros de desempenho: a vantagem competitiva das empresas, estudo de caso. Dissertação de mestrado – EFEI, 1996.
- ROSA, E. B. Racionalização da produção. Apostila do curso de Pós-Graduação Especialização em Produtividade e Qualidade – UNIFEI, 2002.
- RUSSEL, R. S.; TAYLOR III, B. W. Operations management, focusing on quality and competitiveness. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

- SAAD, S. M. The reconfiguration issues in manufacturing systems. *Journal of Materials Processing Technology*, 138, pp. 277-283, 2003.
- SARKER, B. R., LI, K. – Simultaneous route selection and cell formation: a mixed-integer programming time cost model. *Integrated Manufacturing Systems*, 1997,370-377.
- SENGE, P. *The fifth discipline*. New York: Double day, 1990.
- SIMON, H. A. *Models of man*. New York: John Willey & Sons, 1957.
- SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. Planejamento e medição para a performance. Trad. Elenice Mazzili e Lúcia Faria Silva. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1993.
- STONNER, R. *Ferramentas de Planejamento*. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2001.
- SCHALLER, J. et al. Scheduling a flow line manufacturing cell with sequence dependent family setup times. *European Journal of Operational Research*, 125, pp. 324-339, 2000.
- SCHMIDT, J. W.; TAYLOR, R. E. *Simulation and analysis of industrial systems*. Irwin, Home-wood, III, 1970.
- SHABAYCK, A. A.; YCUNG, W. W. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. *European Journal of operation Research*, 140, 2002.
- SHINGO, S. *O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção*. Trad. Eduardo Schaan. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SLACK, Nigel; et al. *Administração da produção*. Trad. Henrique Corrêa, Irineu Giancesi. São Paulo: Atlas, 1997.
- SOARES J. F.; FARIAS, A. A.; CESAR, C. C. *Introdução à estatística*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1991.
- SPENCER, J.; PRUSS, A. *Gerenciando sua Equipe*. São Paulo: Siciliano, 1994.
- SPIEGEL, M. R. *Probabilidade e estatística*. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.
- SUKIMAN, D.; IRANI, S. A. Melhorias de layout em uma célula de montagem. *Revista Máquinas e Metais*, março, 2001.
- TAHARA, C. S.; CARVALHO, M. M.; GONÇALVES, E. V. *Revido a bibliografia recente sobre a formação de células de manufatura*. Gramado: 17º ENEGEP, 1997.
- TOLEDO JR, Itys F. B. *Lay-out*. São Paulo: ITYS-FIDES BUENO DE TOLEDO JR & CIA LTDA, 1984.
- TOLEDO JR, Itys F. B. *Tempos e métodos*. São Paulo: ITYS-FIDES BUENO DE TOLEDO JR & CIA LTDA, 1989a.
- TOLEDO JR, Itys F. B. *Balanceamento de linhas*. São Paulo: ITYS-FIDES BUENO DE TOLEDO JR & CIA LTDA, 1989b.

- TRIOLA, M. F. Introdução à estatística. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1999.
- VAZ, C. C.; GILL, W. Planejamento de modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial. São José dos Campos : II Workshop Brasileiro de Simulação, 1988.
- XAMBRE, A. R.; VILARINHO, P. M. A simulated annealing approach for manufacturing cell formation with multiple identical machines. *European Journal of operation Research*, 151, pp. 434-446, 2003.
- YANG, Y. H.; HADDAD, K.; CHOW, C. W. Capacity planning using Monte Carlo simulation: An illustrative application of commonly available PC software. *International Journal of Operations and Production Management*, V. 27, N. 5, pp 33-53, 2001.
- YANG, T.; KUO, C. A hierarchical AHP/DEA methology for the facilities layout design problem. *European Journal of Operational Research*, 147, pp. 128-136, 2003.
- YASUDA, K.; YIN, Y. Dissimilarity measure for solving the cell formation problem in cellular manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 39. Elsevier Science, 2001.
- YU, J.; SARKER, B. R. Directional decomposition heuristic for a linear machine-cell location problem. *European Journal of Operational Research*, 149, pp. 142-184, 2003.
- WANG, J. Formation of machine cells and part families in cellular manufacturing systems using a linear assignment algorithm. *Automatica*, 39, pp. 1607-1615, 2003.

Bibliografia Auxiliar

- ALVES, L. C. L.; GOMES, C. A. A.; FUKS, S. Avaliação da perda de efetividade em um sistema de manufatura com demanda variável, através de um modelo não linear de seleção de equipamentos. Campos do Jordão: XXXIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, nov., 2001.
- AHMAD, S.; SCHOROEDER, R. G.; SINHA, K. K. The role of infrastructure practices in the effectiveness of JIT practices: implications for plant competitiveness. *Journal of Engineering and Technology Management*, 20, pp. 161-191, 2003.
- ANG., D. S. An algorithm for handling exceptional elements in cellular manufacturing systems. *Industrial Management & Data Systems*, 100/6, pp. 251-254, 2000.
- ANILE, A. M.; DEODATO, S.; PRIVITERA, G. Implementing fuzzy arithmetic. *Fuzzy Sets Systems*, 72, pp. 239-250, 1995.
- ARONS, H. S.; BOER, C. A. Storage and retrieval of discrete-event simulation models. *Simulation Practice and Theory*, 8 pp. 555-576, 2001.
- BATISTA Jr, E. D.; MUNIZ Jr, J.; MORAES, L. H.; COUTO NETO, A. G. A utilização da simulação de sistemas no aumento da produtividade de uma linha de montagem de transmissões. Campos do Jordão: XXXIII SBPO, novembro, 2001.
- BAYKASOGLU, A.; GINDY, N. N. Z.; COBB, R. C. Capability based formulation and solution of multiple objective cell formation problems using simulated annealing. *Integrated Manufacturing Systems*, 12/4, pp. 258-274, 2001.
- BILLO, R. E. A design methodology for configuration of manufacturing cells. *Computer Industrial Engineer*, vol. 34, nº 1, pp. 63-75, 1998.
- BUZZO, W. R.; MOCCELLIN, J. V. Programação da produção em sistemas flow shop utilizando um método heurístico híbrido algoritmo genético- simulated annealing. *Revista Gestão & Produção*, v.7, n. 3, pp. 364-377, dez., 2000.
- CARON, F.; MARCHET, G.; PEREGO, A. Layout design in manual picking systems: a simulation approach *Integrated Manufacturing Systems*, 11/2, pp. 94-101, 2000.
- CHANG, P. T.; LEE, E. S. A multisolution method for cell formation – exploring practical alternatives in group technology manufacturing. *Journal Computers & Mathematics with Applications*, 40, pp 1285-1296, 2000.
- DAWSON, P. Contextual shaping in the origination, implementation and uptake of manufacturing cells. *Integrated Manufacturing Systems*, 12/4 ,pp. 296-305, 2001.

- DÍAZ, B. A.; LOZANO, S.; RACERO, J.; GUERRERO, F. Machine cell formation in generalized group technology. *Computers & industrial Engineering*, 41, pp. 227-240, 2001.
- DRISCOLL, J.; THILAKAWARDANA, D. The definition of assembly line balancing difficulty and evaluation of balance solution quality. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17, pp. 81-86, 2001.
- EFSTATHIOU, J.; GOLBY, P. Application of a simple method of cell design accounting for product demand and operation sequence. *Integrated Manufacturing Systems*, 12/4, pp. 246-257, 2001.
- FU, M. W.; ONG, S. K.; LEE, I. B. H.; NEE, A. Y. C. An approach to identify design and manufacturing features from a data exchanged part model. *Computer Aided Design*, 35, pp.979-993, 2003.
- GARAVELLI, A. C. Flexibility configurations for the supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 85, pp. 141-153, 2003.
- GASNIER, Daniel Georges. Guia prático para gerenciamento de projetos. São Paulo: IMAM, 2000.
- GOMES, G. E.; MELLO, J. C. C. B. S.; LINS, M. P. E. Modelos DEA com soma de outputs constante. Campos do Jordão: XXXIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, nov., 2001.
- HOLST, L.; BOLMSJO, G. Simulation integration in manufacturing system development: a study of Japanese industry. *Industrial Management & Data Systems*, 101/7, pp. 339-356, 2001.
- HUQ, F.; HENSLER, D. A.; MOHAMED, Z. M. A simulation analysis of factors influencing the flow time and through-put performance of functional and cellular layouts. *Integrated Manufacturing Systems*, 12/4, pp. 285-295, 2001.
- KHAN, M. R. R.; HARLOCK, S. C.; LEAF, G. A. V. Computer simulation of production systems for woven fabric manufacture. *Computers & Industrial Engineering*, 37, pp. 745-756, 1999.
- KIM, J. G.; KIM, Y. D. Layout planning for facilities with fixed shapes and input output points. *International Journal of production Research*, 38, pp. 4635-4653, 2000.
- LEAL, F. Um diagnostico do processo de atendimento a clientes em uma agencia bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional. Itajubá: UNIFEI, Dissertação de Mestrado, 2003.

- LIN, L. C.; SHARP, G. P. Quantitative and qualitative indices for the plant layout evaluation problem. *European journal of Operational Research* ,11, pp. 100-117, 1999.
- LIU, J. The impact of neighborhood size on the process of simulated annealing: computational experiments on the flow-shop scheduling problem. *Computer & Industrial Engineering*, 37, pp. 285-288, 1999.
- LIU, M.; WU, C. Scheduling algorithm base on evolutionary computing in identical parallel machine production line. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2003.
- MACEDO, R. S.; SCHIMITZ, E. A. Ferramentas de modelagem de processo: uma avaliação. Campos do Jordão: XXXIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, nov., 2001.
- MINEGISHI, S.; THIEL, D. System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. *Simulation Practice and Theory*, 8, pp. 321-339, 2000.
- MOLLEMAN, E.; SLOMP, J.; ROLEFES, S. The evolution of a cellular manufacturing system – a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 75, pp. 305-322, 2002.
- PINHO, A. F.; MONTEVECHI, J. A. B. Contribuição para a resolução de problemas de programação de operações flow-shop com consideração de incertezas. Campos do Jordão: XXXIII SBPO, novembro, 2001.
- PRADO, D. S. Gerenciamento de projetos nas organizações. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2000.
- PRINCE, J.; KAY, J. M. Combining lean and agile characteristics: Creation of virtual groups by enhanced production flow analysis. *International Journal of Production Economics*, 85, pp. 305-318, 2003.
- RATCHEV, S. M. Concurrent process and facility prototyping for formation of virtual manufacturing cells. *Integrated Manufacturing Systems*, 12/4, pp. 306-315, 2001.
- ROBINSON, S. General concepts of quality for discrete-event simulation. *European journal of Operational Research* ,138, pp. 103-117, 2002.
- ROOKS, B. Manufacturing week targets assembly and vision.. *Assembly Automation*, vol. 21, n° 2, pp. 117-122, 2001.
- ROOKS, B. Software planning of assembly lines. *Assembly Automation*, vol. 20, n° 4, pp. 300-304, 2000.

- SABRI, E. H.; BEAMON, B. M. A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *The International Journal of Management Science*, 28, pp. 581-598, 2000.
- SANTORO, M. C.; MORAES L. H. Planejamento e projeto de arranjo físico (Plant layout) de uma fábrica de motores. XXII ENEGEP. Curitiba, outubro 2002.
- SILVA FILHO, O. S. Estratégias sequenciais subótimas para planejamento agregado da produção sob incertezas. *Revista Gestão & Produção*, v.7, n. 3, pp. 247-268, dez., 2000.
- SHA, D. Y.; CHEN, C. W. A new approach to the multiple objective facility layout problems. *Integrated Manufacturing Systems*, 12/1, pp. 59-66, 2001.
- STRUSEVICH, V. A. Group technology approach to the open shop scheduling problem with batch setup times. *Operations Research Letters*, 26, pp. 181-192, 2000.
- TREIN, F. A.; AMARAL, F. G. A aplicação de técnicas sistemáticas para a análise e melhoria de layout de processo na indústria de beneficiamento de couro. XXII ENEGEP. Curitiba, outubro 2002.
- VIEIRA, A. C. G. Manual de layout (arranjo físico). São Paulo: CNI, 1970.
- VILLAR, A. M.; TUBINO, D. F. A inserção das técnicas de prevenção e combate a incêndio na metodologia de elaboração do arranjo físico geral de instalações industriais. XXII ENEGEP. Curitiba, outubro 2002.
- WEST, A. A.; RAHIMIFARD, S.; HARRISON, R. The development of visual interactive simulation of packing flow lines. *International Journal of Production Research*, vol. 38, n. 18, pp. 4717-4741, 2000.
- YUCESAN, E.; GROOTE, X. Lead times, order release mechanisms, and customer service. *European Journal of Operational Research*, 120, pp. 118 -130, 2000.

ANEXOS

- I. Trabalhos publicados.
- II. Tabelas de fator de fadiga, fator de monotonia, ritmo de trabalho.
- III. Layout geral da planta de Itajubá.
- IV. Tabela de classificação e codificação do produto.
- V. Levantamento dos métodos e tempos padrões das operações da célula I.
- VI. Levantamento do histórico da manutenção da célula I.
- VII. Levantamento do histórico da programação de produção.
- VIII. Demanda futura das peças.
- IX. Cronograma do projeto.
- X. Modelo computacional para otimizar o seqüenciamento da produção.
- XI. Levantamento dos tempos da célula I.

Trabalhos gerados

Artigos

The layout reorganization in minifactories managed by multi discipline teams over the supply chain in a manufacturing enterprise.

18th International Logistics Congress and Exhibition – ICL 2002 – SOLE – 6 a 8 de Outubro de 2002, Munich – Germany.

O reflexo da mudança organizacional sobre o desempenho de uma empresa de autopeças: um estudo de caso.

XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP - VIII International Conference on Industrial Engineering and Operational Management. 23 a 25 de Outubro de 2002, PUC, Curitiba-PR.

Revista Máquinas e Metais, edição de agosto 2003.

Otimização do custo de fundição da liga de ferro fundido: Um estudo de caso.

XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional -SOBRAPO – 8 a 11 de Outubro de 2002, IME, Rio de Janeiro-RJ.

O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura – um estudo de caso.

XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP - IX International Conference on Industrial Engineering and Operational Management. 21 a 24 de Outubro de 2003, UFOP – Ouro Preto, MG.

A Combinação entre a Gestão Baseada no Custeio das Atividades e a Simulação Computacional como Ferramenta de Ajuste e Modelagem da Manufatura Celular.

XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional -SOBRAPO – 4 a 7 de novembro, 2003, UFRN, Natal, RN.

Simulação Computacional de uma Célula de Manufatura do setor de auto-peças.

IV SIMMEC – Simpósio Mineiro de Mecânica Computacional – 17 a 19 maio de 2004, UNIFEI, Itajubá – MG.

*resumo aprovado.

Iniciação científica

O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura – um estudo de caso.

Gustav Vinhas Nilsson. CNPq – UNIFEI, julho 2003

10.1. Quadro Recapitulativo dos Coeficientes D x P Masculino / Feminino

**QUADRO RECAPITULATIVO DOS COEFICIENTES D x P
MASCULINO / FEMININO**

POSIÇÃO	ESFORÇO COMBINADO	ESFORÇO EM Kg.										
		0à1	1à3	3à6	6à10	10à15	15à20	20à25	25à30	30à35	35à40	40à45
		1,07	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24	1,26
		1,11	1,12	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29
		1,13	1,14	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31
		1,15	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34
		1,17	1,18	1,19	1,21	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36
		1,19	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,35	1,37	1,39
		1,24	1,25	1,26	1,28	1,30	1,32	1,35	1,37	1,39	1,42	1,44
		1,26	1,27	1,28	1,30	1,33	1,35	1,37	1,40	1,42	1,44	1,46
		1,28	1,29	1,30	1,33	1,35	1,37	1,40	1,42	1,44	1,47	1,49
		1,32	1,33	1,35	1,37	1,40	1,42	1,44	1,47	1,49	1,52	1,54
		1,39	1,40	1,41	1,44	1,46	1,49	1,51	1,54	1,56	1,59	1,61

Tabela - 1

COEFICIENTE DE MONOTONIA MUSCULAR

% DE SOLICITAÇÃO MUSCULAR	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
COEFICIENTE M	1,10	1,12	1,14	1,17	1,21	1,25	1,30	1,35	1,41	1,47	1,54

TOLERÂNCIAS PARA NECESSIDADES PESSOAIS

DESCRIÇÃO RESUMIDA	DESCRIÇÃO DE OPERAÇÃO	% NESC. PESSOAIS	
		HOMEM	MULHER
T.F	TORNO FORMA	5.5	-
TFV.	TORNO FORMA VERT.	5.5	-
MBR	MANDRILADORA BR.	5.5	-
MAC	MANDRILADORA AC.	5.5	-
ESCM	ESCOV. NA MANDR.	5.5	-
GRAV	GRAVAÇÃO	5.5	-
GRAVL	GRAVAÇÃO LASER	4.9	-
ELRE	BATER REBARBA	5.5	-
T.C.	TORNO CANAL	6.0	-
TCA.	TORNO CANAL ACABADO	6.0	-
TAP	TORNO ACABADO PARAL.	6.0	-
TAC.	TORNO ACABADO CHANF.	6.0	-
TAR.	TORNO ACABADO REB.	6.0	-
TCN.	TORNO CONICO	6.0	-
TCC.	TORNO CONICO CHANF.	6.0	-
TCR.	TORNO CONICO REB.	6.0	-
TKAT	TORNO KATAOKA	6.0	-
F.F.	FRESAR FENDAS	5.9	-
GARF	GARFEAMENTO	5.2	4.5
T.A.	TOPEJAMENTO	5.3	-
RBCH	REBAIXO E CHANFROS	5.3	-
ESCE	ESCOVAMENTO EXT.	5.3	-
EFER	ENCHIM. FERROX	4.8	-
METC	METALIZAÇÃO ARAME	4.8	-
METP	METALIZAÇÃO PLASMA	4.8	-
RCIL	RET. CILINDRICA	4.8	-
RTPF	RET. STUDER	4.8	-
RTPF	RET. KATAOKA	4.8	-
RTPF	RET. CINCINNATI	4.8	-
TAMB	TAMBOREAMENTO	4.8	-
RTL	RET. LAT. CROM. / MOLIB.	5.9	-
C.I.	CANAL INTERNO	5.5	-
ESCI	ESCOVAMENTO INT.	5.3	-
RTPZ	RET. TRAPEZOIDAL	4.7	-
STPZ	RET. SEMI TRAP. UNIL.	4.7	-

10.3. Tolerâncias - % de interferência por número de máquinas
(Relação entre M.O. do operador por tempo de máquina)

TOLERÂNCIAS
% DE INTERFERÊNCIA POR Nº DE MÁQUINAS
(RELAÇÃO ENTRE M.O. DO OPERADOR POR TEMPO DE MÁQUINA)

Nº MÁQUINAS POR OPERADOR	% CARGA TRAB. DO OPERADOR	ATÉ 50 %	51 A 70 %	71 A 90 %	91 A 110 %	ACIMA 110 %
1 MÁQUINA		0.5	1.0	2.0	3.5	4.5
2 MÁQUINAS		0.7	1.8	3.5	5.6	6.1
3 MÁQUINAS		0.8	2.0	3.9	6.2	7.0
4 MÁQUINAS		0.9	2.2	4.3	6.9	7.9
5 MÁQUINAS		1.0	2.4	4.8	7.6	8.8
6 MÁQUINAS		1.1	2.6	5.3	8.5	9.7
7 MÁQUINAS		1.2	2.9	5.9	9.4	10.8
8 MÁQUINAS		1.3	3.3	6.5	10.4	12.0
9 MÁQUINAS		1.4	3.6	7.2	11.5	13.3
10 MÁQUINAS		1.5	4.0	8.0	12.8	14.8

EXEMPLO PARA DEFINIR CARGA DE TRABALHO (%) DO OPERADOR NO CICLO PRODUTIVO

$$\frac{\text{M.O. 0.30 Cts MIN.}}{\text{T.M. 0.45 Cts MIN.}} \times 100 = 67\% \text{ (51\% A 70\%)}$$

OBS: NÃO UTILIZAR TABELA PARA TRABALHO MANUAL, SOMENTE USAR QUANDO HOUVER RELAÇÃO
HOMEM / MÁQUINA

10.4. Tolerâncias - % de interferencia por trabalho e/ou interferencias não cronometradas

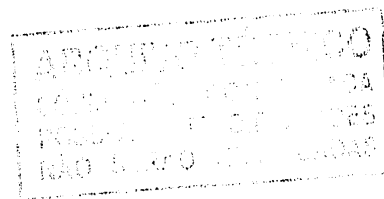
**TOLERÂNCIAS
% DE INTERFERENCIA POR TRABALHO E/OU INTERFERENCIAS
NÃO CRONOMETRADAS**

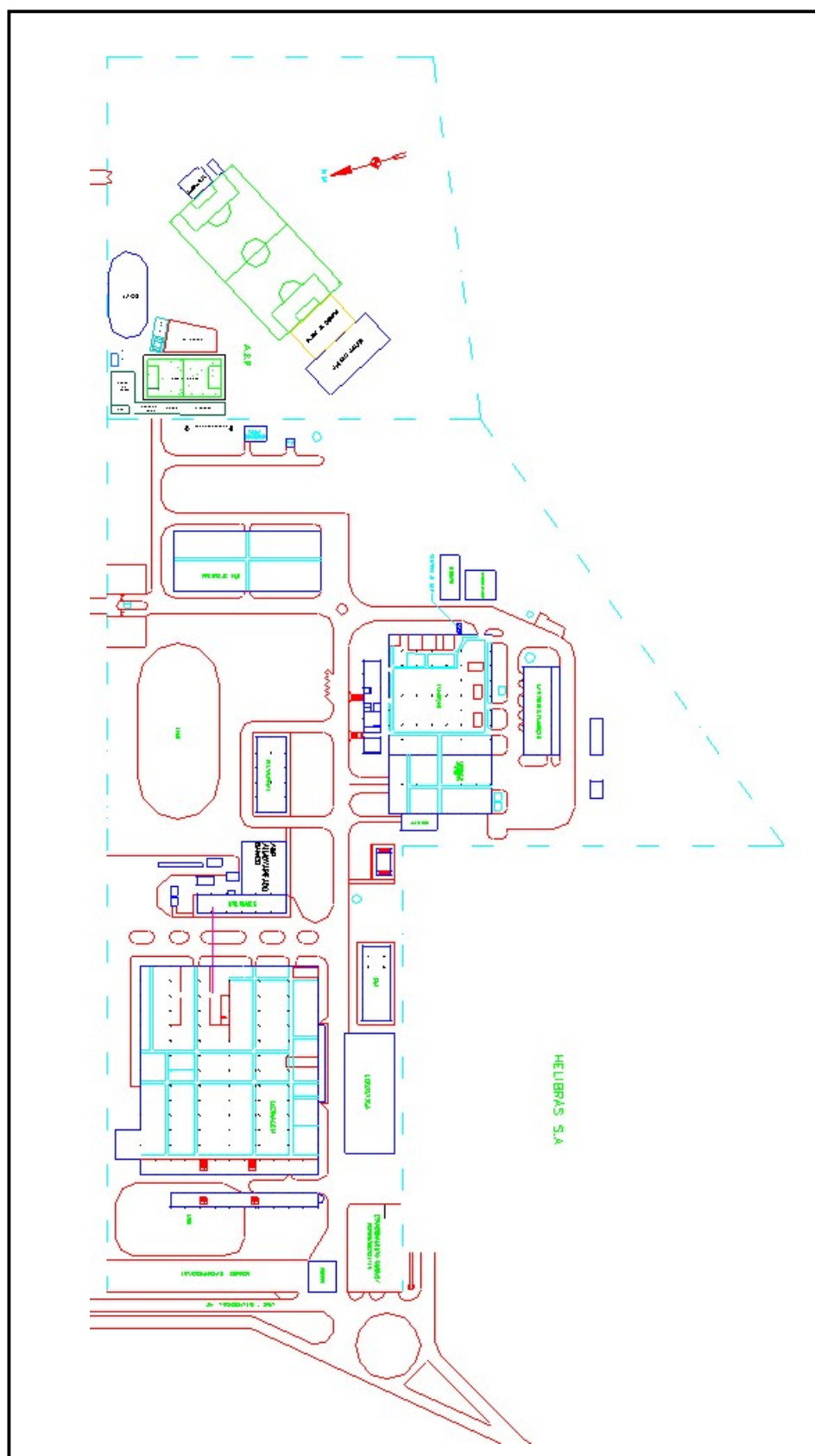
OCORRÊNCIAS	% APLICADA
1) - AJUSTES / ACERTOS / TROCAS DE FERRAMENTAS / LIMPEZA DE MÁQUINA OU BANCADA. TEMPO: DE 5 A 10 MIN. / TURNO OCORRÊNCIA: MÍNIMO 1	1.7
2) - PREENCHIMENTO DE GRÁFICOS / ATUAÇÃO DA CHEFIA / INSPEÇÃO / APONTAMENTO. TEMPO: DE 1 A 3 MIN. / TURNO OCORRÊNCIA: MÍNIMO 3	1.3
3) - QUEBRA DE CICLO: RETOMADA DE PRODUÇÃO APÓS PARADA POR IMPRODUTIVIDADE OU OUTROS MOTIVOS TÉCNICOS. TEMPO: DE 1 A 5 MIN. / TURNO OCORRÊNCIA: MÍNIMO 1	0.7
4) - QUEBRA DE CICLO: a) SAIDA / ENTRADA (REFEIÇÕES) TEMPO: 3 MIN. / TURNO OCORRÊNCIA: MÍNIMO 1	0.7
b) SAIDA / ENTRADA (TROCA DE TURNO) TEMPO: DE 4 A 5 MIN. / TURNO OCORRÊNCIA: MÍNIMO 1	1.0

OBSERVAÇÕES:

- a) ITENS 1, 2, 3 E 4 APLICADOS AOS SETORES PRODUTIVOS DA FÁBRICA.
(MÁQUINA, DISPOSITIVO, BANCADA, TRAB. MANUAL)
- b) ITENS 2 E 4 APLICADOS AOS SETORES NÃO PRODUTIVOS DA FÁBRICA.
(INSPEÇÃO FINAL, TRABALHO DE ESCRITÓRIO E OUTROS)

- c) % APLICADAS PARA CARGA DE TRABALHO DO OPERADOR ENTRE 85% A 115%.





Layout geral da fábrica

NP 03	NORMA DE PRODUTO CÓDIGO DE ANÉIS DE FERRO FUNDIDO EM GERAL E DE COMPRESSÃO FEITOS DE AÇO
REVISÃO Nº 33	
CONFORME:	

■ Anexo 5.1- Código do Produto: Anéis de Ferro Fundido em Geral e de Compressão feitos de aço.

SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO	SÍMBOLO
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

GRÁFICO DO FLUXO DE PROCESSO 1		
Método atual	☐	
Método Proposto	☐	
ASSUNTO PESQUISADO: Análise do processo de torneamento – máquina TFV		
LOCAL: Célula I		Data: 17/12/2002
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
1,10	○ ⇨ □ ● ▽	Aguardar ferramental
0,30	○ ⇨ □ ● ▽	Setup da máquina
0,12	○ ⇨ □ ● ▽	Aguardando peça (programação)
0,27	○ ⇨ □ ● ▽	Apanhar o canal e posicionar ao lado da bancada de alinhamento de pacotes.
10,00	○ ⇨ □ ● ▽	Montar o pacote de anéis.
40,00	● ⇨ □ ▽	Peça sendo processada no torno
0,10	○ ⇨ □ ▽	Apanhar o pacote de anéis usinados, posicionar na fresa e startar.
2,15	● ⇨ □ ▽	Peça sendo processada na fresa
0,10	○ ➡ □ ▽	Retirar pacotes de anéis da fresa e posicionar no canal (suporte do carrinho).
0,49	○ ⇨ ■ ▽	Apanhar três anéis e inspecionar folga entre pontas/força tangencial.
0,21	○ ➡ □ ▽	Retirar canal do suporte do carrinho, posicionar no carrinho e posicionar suporte no canal do carrinho.

GRÁFICO DO FLUXO DE PROCESSO 2		
Método atual	x	
Método Proposto		
ASSUNTO Análise do processo de Gravação PESQUISADO:		
LOCAL: Célula I		Data: 17/12/2002
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
50,00	○ ⇒ □ ● ▽	Setup da máquina
0,25	○ ⇒ □ ● ▽	Aguardando peça
0,30	○ ➡ □ □ ▽	Apanhar produto no carrinho
0,41	○ ⇒ □ ● ▽	Posicionar produto no suporte do carrinho.
5,00	● ⇒ □ □ ▽	Desengraxar a peça.
0,50	○ ➡ □ □ ▽	Retirar do tanque
0,30	● ⇒ □ □ ▽	Transportar peça para a gravadora
0,21	○ ➡ □ □ ▽	Posicionar no suporte da gravadora
1,96	○ ➡ □ □ ▽	Alinhar e marcar o lado da gravação
0,11	○ ➡ □ □ ▽	Alimentar a gravadora.
0,02	● ⇒ □ □ ▽	Processar a peça na Engaver.
2,00	○ ➡ □ □ ▽	Retirar peça e fazer o visual.
0,09	○ ➡ □ □ ▽	Posicionar as peças no canal.
0,11	○ ➡ □ □ ▽	Apanhar canal e colocar no suporte do volante fixo

GRÁFICO DO FLUXO DE PROCESSO 3		
Método atual	☐	x
Método Proposto	☐	
ASSUNTO PESQUISADO: Análise do processo de torneamento – máquina TAC		
LOCAL: Célula I		Data: 17/12/2002
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
45,00	● ⇨ □ ▢ ▽	Setup da máquina
1,66	○ ⇨ □ ■ ▽	Aguardando peça (programação)
0,46	○ ➡ □ ▢ ▽	Montar a árvore.
0,10	○ ⇨ □ ■ ▽	Alimentar a máquina
3,40	● ⇨ □ ▢ ▽	Processar a árvore.
0,09	● ⇨ □ ▢ ▽	Descarregar
0,67	● ⇨ ■ ▢ ▽	Inspecionar e preencher histograma.
3,00	○ ⇨ □ ■ ▽	Preencher OPA
0,39	○ ➡ □ ▢ ▽	Desmontar árvores usinadas e posicionar peças no canal

GRÁFICO DO FLUXO DE PROCESSO 4		
Método atual	☒	
Método Proposto	☐	
ASSUNTO PESQUISADO:		Análise do processo de rebaixo
LOCAL: Célula I		Data: 17/12/2002
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
46,87	○ ⇨ □ ● ▽	Setup da máquina
0,18	○ ➡ □ ▽	Retirar canal do suporte e posicionar no suporte do rebaixo
0,10	○ ➡ □ ▽	Alimentar manualmente a máquina.
0,28	○ ⇨ □ ● ▽	Máquina parada (fazendo regulagem no rebaixo)
3,90	● ⇨ □ ▽	Fazer o canal.
2,15	○ ■ □ ▽	Peça sendo processada na fresa
0,13	○ ➡ □ ▽	Retirar pacote, fazer visual e colocar no canal da máquina de escovar.

GRÁFICO DO FLUXO DE PROCESSO 5		
Método atual	☒	
Método Proposto	☐	
ASSUNTO PESQUISADO: Análise do processo de Topejamento		
LOCAL: Célula I Data: 17/12/2002		
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
0,10	○ ⇨ □ ■ ▽	Apontamento da Opa que sai
0,17	○ ⇨ □ ■ ▽	Providenciar calibre de folga
1,15	○ ⇨ □ ■ ▽	Espera pela peça.
0,08	○ ⇨ □ ■ ▽	Preencher ficha da peça que entra
34,00	○ ⇨ □ ■ ▽	setup
0,13	○ ➡ □ ▮ ▽	Apanhar peça no canal da máquina de rebaixo e alimentar topejadora
0,02	● ⇨ □ ▮ ▽	Peça sendo processada na topejadora
0,40	○ ■ □ ▮ ▽	Retirar peça da topejadora, fazer a inspeção visual e posicionar no suporte do canal
1,58	○ ⇨ □ ■ ▽	Inspecionar folga e preencher histograma (a cada oito peças).
0,08	○ ➡ □ ▮ ▽	Posicionar canal vazio ao lado da máquina

GRÁFICO DO FLUXO DE PROCESSO 6		
Método atual	x	
Método Proposto		
ASSUNTO PESQUISADO: Análise do processo de Escovamento		
LOCAL: Célula I		Data: 17/12/2002
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
145,00	○ ⇨ □ ● ▽	Setup da máquina
0,13	○ ⇨ □ ● ▽	Descarregar máquina
0,50	○ ⇨ □ ● ▽	Carregar máquina e startar
0,47	● ⇨ □ ▯ ▽	Peça sendo processada.
0,05	○ ⇨ □ ● ▽	Restante da desmontagem
0,58	○ ⇨ □ ● ▽	Montar
0,32	● ⇨ □ ▯ ▽	Trocar canais

GRÁFICO DO FLUXO DE PROCESSO 7		
Método atual	x	
Método Proposto		
ASSUNTO PESQUISADO: Análise do processo de Bombeamento		
LOCAL: Célula I		Data: 17/12/2002
Tempo [minutos]	Símbolos	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
30,00	○ ⇨ □ ● ▽	Setup da máquina
0,15	○ ➡ □ ▢ ▽	Apanhar peças no canal e posicionar no suporte da máquina.
0,13	○ ⇨ □ ● ▽	Lavar pacotes de peças e posicionar no canal.
0,88	● ⇨ □ ▢ ▽	Peça sendo processada.
0,13	○ ⇨ □ ● ▽	Retirar peça do suporte da máquina e posicionar no canal.

Janeiro

NÚMERO	DATA	CAUSA	TIPO	MODALIDADE	DURAÇÃO
C I TORNO TFV					
0277887	14/01/02	disjuntor	emergência	eletroeletrônica	0,27
0279116	23/01/02	sist. refrigeração	emergência	mecânica	0,27
0278551	22/01/02	correia	emergência	eletroeletrônica	0,80
0278412	18/01/02	filtro	emergência	mecânica	0,83
0277799	12/01/02	guia	emergência	eletroeletrônica	10,18
Total de paradas: 5			Total de horas:		12,35

C I RB 1					
0280277	31/01/02	sensor	emergência	eletroeletrônica	0,25
0280174	30/01/02	sensor	emergência	eletroeletrônica	0,82
0277421	08/01/02	polia	emergência	mecânica	0,87
Total de paradas: 3			Total de horas:		1,94

C I RB 2					
0278825	22/01/02	bobina	emergência	eletroeletrônica	0,17
0277654	09/01/02	corrente	emergência	mecânica	2,10
Total de paradas: 2			Total de horas:		2,27

C I ESC					
0277895	14/01/02	CLP	emergência	eletroeletrônica	5,47
Total de paradas: 1			Total de horas:		5,47

C I TA					
0279601	25/01/02	correia	emergência	mecânica	0,73
Total de paradas: 1			Total de horas:		0,73

Total geral: 12			Total geral de horas:		21,89
------------------------	--	--	------------------------------	--	--------------

Fevereiro

C I RB					
0281824	26/02/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,68
0281908	26/02/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,07
0280613	04/02/02	PNEUM.- CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,18
0280496	01/02/02	CLP	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	1,75
Total de paradas:	4			Total de horas:	4,68
C I GRAV					
0281482	18/02/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,88
0281032	08/02/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,90
0280617	05/02/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,75
Total de paradas:	3			Total de horas:	4,53
C I PILÃO					
0281969	28/02/02	ACOPLAMENTO MECANI	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,50
0281723	24/02/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	5,90
Total de paradas:	2			Total de horas:	7,40
C I TFV					
0281581	19/02/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,68
0281025	08/02/02	CABO ELÉTRICO	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	0,97
Total de paradas:	2			Total de horas:	1,65
C I RB					
0280548	01/02/02	PNEUM.- VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,07
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,07
C I TQ SECADOR	Localização : 02200509				
0281968	27/02/02	HIDR.- MANGUEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I TA	Localização : 02203607				
0281869	26/02/02	DISJUNTOR	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	0,13
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,13
C I TORNO TC	Localização : 02203411				
0281966	27/02/02	CONTRA-PONTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,08
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,08
Total Geral:	15				21,54

Março

C I GRAV	Localização : 02203208				
0283676	25/03/02	DISJUNTOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,35
0282137	02/03/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,05
0283765	27/03/02	LUBRIFIL	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,23
0283206	19/03/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,27
0283687	26/03/02	SENSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,45
0283528	21/03/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,58
0283555	23/03/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,48
0283702	26/03/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	5,85
0283804	28/03/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	6,85
0283567	24/03/02	BARRAMENTO MECANIC	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	22,73
Total de paradas:	10			Total de horas:	44,84
C I TFV	Localização : 02202901				
0283367	21/03/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,98
0282828	12/03/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,32
0283551	22/03/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,57
0282139	01/03/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,75
0282875	14/03/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,97
0282126	01/03/02	DESGASTE	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,97
0283309	19/03/02	DESREGULAGEM	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	3,63
Total de paradas:	7			Total de horas:	14,19
C I PILÃO	Localização : 02202514				
0283201	15/03/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,77
0283712	26/03/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,87
0283696	26/03/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,98
Total de paradas:	3			Total de horas:	3,62
C I TC	Localização : 02203411				
0283894	28/03/02	CHAVE/BOTOEIRA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,92
0283896	29/03/02	CONTRA-PONTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,23
0282305	06/03/02	BOMBA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,03
Total de paradas:	3			Total de horas:	4,18
C I BOMB	Localização : 02200129				
0283697	26/03/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,45
0282602	08/03/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,63
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,08
C I TA	Localização : 02203607				
0283341	19/03/02	FUSÍVEL	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,92
0283548	22/03/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,47
Total de paradas:	2			Total de horas:	2,39
C I ESCOV	Localização : 02203003				
0282650	07/03/02	CABO ELÉTRICO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,18
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,18
C I PILÃO	Localização : 02202515				
0282624	09/03/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,83
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,83

C I RB	Localização : 02200413				
0282805	12/03/02	CONVERSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,70
Total de <i>paradas</i> :	1			Total de horas:	0,70
C I RTB	Localização : 02200201				
0282622	09/03/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,48
Total de <i>paradas</i> :	1			Total de horas:	0,48
Total Geral:	31				76,49

Abril

C I TFV	Localização :	02202901			
0284057	03/04/02	POLIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0284942	19/04/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0285454	27/04/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
0284012	02/04/02	POLIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,00
0285336	25/04/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,00
0284329	05/04/02	HIDR.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	7,00
0284899	17/04/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	7,00
0285335	25/04/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	8,00
0284310	04/04/02	HIDR.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	10,00
0283872	02/04/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	11,00
0284416	08/04/02	HIDR.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	16,00
Total de paradas:	11			Total de horas:	68,00
C I GRAV	Localização :	02203208			
0284245	05/04/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0284902	18/04/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0285113	22/04/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0285428	27/04/02	SENSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
0284647	10/04/02	SENSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,00
0285263	26/04/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
0285300	27/04/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,00
0284722	15/04/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	6,00
Total de paradas:	8			Total de horas:	17,00
C I TC	Localização :	02203411			
0283932	01/04/02	CONTRA-PONTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0285094	22/04/02	CHAVE/BOTOEIRA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
0284448	10/04/02	CORREIA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	3,00
Total de paradas:	3			Total de horas:	5,00
C I ESC	Localização :	02203003			
0284648	13/04/02	CHAVE/BOTOEIRA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
0284925	19/04/02	CHAVE FIM-DE-CURSO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,00
C I PILÃO	Localização :	02202513			
0284527	11/04/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I RB	Localização :	02200406			
0284508	11/04/02	CONVERSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I RTC	Localização :	02200201			
0283965	03/04/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,00
C I TA	Localização :	02203607			
0285433	27/04/02	BARRAMENTO MECÂNICO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I TC	Localização :	02203412			
0283919	01/04/02	PRESSOSTATO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,00
Total Geral:	29				100,00

Maio

C I TFV	Localização :	02202901			
0286382	20/05/02	BOMBA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,40
0285688	03/05/02	PRESSOSTATO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,62
0285996	10/05/02	HIDR.-CONEXÃO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,05
0286952	30/05/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,10
0285631	04/05/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,72
0286582	23/05/02	SOLENOÍDE	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	3,98
0285701	02/05/02	CONECTOR/BORNE	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	8,48
Total de paradas:	7			Total de horas:	21,35
C I PILAO	Localização :	02202514			
0286296	17/05/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,90
0286652	24/05/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,03
0286183	15/05/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,10
0286516	23/05/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,82
0285497	02/05/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,40
Total de paradas:	5			Total de horas:	7,25
C I GRAV	Localização :	02203208			
0285776	07/05/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,92
0286855	29/05/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,32
0285860	10/05/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,03
Total de paradas:	3			Total de horas:	6,27
C I BOMB	Localização :	02200127			
0286239	16/05/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,97
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,97
C I PILAO	Localização :	02202515			
0285755	08/05/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,62
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,62
C I RTB	Localização :	02200201			
0286168	16/05/02	CHAVE/BOTOEIRA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,95
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,95
C I TQ SECADOR	Localização :	02200509			
0286149	13/05/02	CONECTOR/BORNE	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	8,37
Total de paradas:	1			Total de horas:	8,37
C I TC	Localização :	02203412			
0286626	24/05/02	CHAVE FIM-DE-CURSO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,95
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,95
Total Geral:	20				49,73

Junho

C I TVF	Localização :	02202901			
0287505	14/06/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,85
0287496	13/06/02	CLP	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,95
0287404	11/06/02	CHAVE/BOTOEIRA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,05
0287498	14/06/02	CONECTOR/BORNE	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,27
0287886	24/06/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,38
0287557	17/06/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,42
0287583	17/06/02	CLP	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,42
0287878	24/06/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,60
0287382	12/06/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,63
0287118	05/06/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	4,95
0288052	27/06/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	40,22
Total de paradas:	11			Total de horas:	57,74
C I GRAV	Localização :	02203208			
0287187	07/06/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,20
0287105	05/06/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,40
0288050	28/06/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,80
Total de paradas:	3			Total de horas:	5,40
C I ESC	Localização :	02203003			
0287327	05/06/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,25
0288020	25/06/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,27
Total de paradas:	2			Total de horas:	1,52
C I PILÃO	Localização :	02202514			
0287368	11/06/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,57
0288104	28/06/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,88
Total de paradas:	2			Total de horas:	2,45
C RB	Localização :	02200413			
0287611	18/06/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,20
0287381	12/06/02	POLIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,83
Total de paradas:	2			Total de horas:	5,03
C I RTC	Localização :	02200201			
0287503	14/06/02	BOMBA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,60
0287949	25/06/02	BOMBA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,12
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,72
C I TA	Localização :	02203607			
0287877	24/06/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,75
0288193	28/06/02	CHAVE FIM-DE-CURSO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,12
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,87
C I BOMB	Localização :	02200129			
0287884	24/06/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,57
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,57
C I RB	Localização :	02200406			
0287455	13/06/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,95
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,95
C I TC	Localização :	02203412			
0287113	04/06/02	CLP	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,62
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,62
Total Geral:	27				83,87

Julho

C I TFV		Localização : 02202901			
0288345	04/07/02	HIDR.- VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0288946	18/07/02	CLP	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	1,00
0288321	01/07/02	CHAVE FIM-DE- CURSO	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	2,00
0289345	26/07/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
0289507	30/07/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	6,00
0288541	06/07/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	33,00
Total de paradas:	6			Total de horas:	45,00
C I ESC		Localização : 02203003			
0289423	29/07/02	CHAVE FIM-DE- CURSO	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	2,00
0289619	25/07/02	CABO ELÉTRICO	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	3,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	5,00
C I GRAV		Localização : 02203208			
0288230	01/07/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0288313	02/07/02	CABO ELÉTRICO	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	1,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	2,00
C I BOMB		Localização : 02200127			
0289320	25/07/02	PNEUM.- MANGUEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0289037	22/07/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	1,00
C I BOMB		Localização : 02200129			
0289348	26/07/02	PNEUM.- VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
0289541	31/07/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	4,00
C I RB		Localização : 02200406			
0288767	16/07/02	PNEUM.- VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
0288842	16/07/02	PNEUM.- CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	7,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	9,00
C I RTC		Localização : 02200201			
0288902	13/07/02	CHAVE FIM-DE- CURSO	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	0,00
0289023	19/07/02	BARRAMENTO MECÂNICO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	1,00
C I TA		Localização : 02203607			
0288702	12/07/02	FUSÍVEL	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	0,00
0288778	13/07/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	62,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	62,00

C I T C A	Localização : 02203411				
0288317	03/07/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
0288604	08/07/02	CORREIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	5,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	7,00
C I T C B	Localização : 02203412				
0288342	04/07/02	CONTRA-PONTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0289070	23/07/02	HIDR.- VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,00
C I P I L Ã O	Localização : 02202513				
0288925	18/07/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I P I L Ã O	Localização : 02202514				
0288989	20/07/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,00
Total Geral:	26				142,00

Agosto

C I TFV	Localização :	02202901			
0290670	27/08/02	CHAVE FIM-DE-CURSO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,03
0289756	05/08/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,32
0290705	29/08/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,82
0290160	14/08/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	16,08
Total de paradas:	4			Total de horas:	21,25
C I PILÃO	Localização :	02202515			
0290242	14/08/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,58
0290717	28/08/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,67
0289719	05/08/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,43
Total de paradas:	3			Total de horas:	2,68
C I R B A	Localização :	02200406			
0290492	22/08/02	CONVERSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,23
0290601	26/08/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,40
Total de paradas:	2			Total de horas:	4,63
C I R B B	Localização :	02200413			
0290072	12/08/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,15
0290491	22/08/02	CONVERSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,42
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,57
C I RTC	Localização :	02200201			
0290457	22/08/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,25
0290260	14/08/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	6,22
Total de paradas:	2			Total de horas:	8,47
C I GRAV	Localização :	02203208			
0290718	28/08/02	ACOPLAMENTO MECANI	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,55
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,55
C I BOMB	Localização :	02200127			
0290555	23/08/02	LUBRIFIL	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,25
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,25
C I PILÃO 2	Localização :	02202514			
0290707	29/08/02	PNEUM.-MANGUEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,05
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,05
C I TA	Localização :	02203607			
0290426	21/08/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,27
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,27
C I TC	Localização :	02203411			
0290599	26/08/02	CONTATOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,13
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,13
Total Geral:	18				44,85

Setembro

CI BOMB 1	Localização :	02200129			
0291491	16/09/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0291821	21/09/02	PNEUM.-MANGUE	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0291986	25/09/02	CRUZETA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0291996	25/09/02	SENSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
0291628	18/09/02	SENSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,00
0291522	13/09/02	HIDR.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,00
Total de paradas:	6			Total de horas:	7,00
CI TFV	Localização :	02202901			
0291099	03/09/02	SIST. LUBRIFICAÇÃO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0291819	21/09/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0291407	13/09/02	SENSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	3,00
0291726	17/09/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	3,00
Total de paradas:	4			Total de horas:	6,00
CI PILÃO	Localização :	02202514			
0291602	17/09/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0291912	24/09/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	1,00
CI TC	Localização :	02203411			
0291264	12/09/02	CONTRA-PONTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	9,00
0291575	18/09/02	HIDR.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	18,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	27,00
CI BOMB 2	Localização :	02200127			
0290812	03/09/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	10,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	10,00
CI PILÃO 2	Localização :	02202515			
0291464	16/09/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,00
CI RB	Localização :	02200406			
0291362	12/09/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,00
CI RTC	Localização :	02200201			
0291820	21/09/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	4,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	4,00
CI TQ SECADOR	Localização :	02200509			
0292008	25/09/02	FUSÍVEL	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,00
CI TA	Localização :	02203607			
0291808	21/09/02	DISJUNTOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,00
Total Geral:	20				57,00

Outubro

C I T F V	Localização :	02202901			
0292435	02/10/02	FILTRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0292988	18/10/02	CLP	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	0,00
0293083	21/10/02	SOLENOÍDE	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
0293171	22/10/02	CONTATOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,00
0293227	24/10/02	BARRAMENTO MECÂNICO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	8,00
Total de paradas:	5			Total de horas:	11,00
C I GRAV	Localização :	02203208			
0293127	22/10/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
0293132	18/10/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,00
0292821	15/10/02	ROLAMENTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	8,00
Total de paradas:	3			Total de horas:	13,00
C I BOMB	Localização :	02200129			
0292471	07/10/02	PNEUM.-MANGUEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0292606	09/10/02	CABO ELÉTRICO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	3,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,00
C I RB	Localização :	02200413			
0292719	10/10/02	CONVERSOR	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
0293050	18/10/02	CABO ELÉTRICO	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	2,00
C I BOMB	Localização :	02200127			
0293648	30/10/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,00
C I PILAO 1	Localização :	02202515			
0293505	28/10/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I PILÃO 2	Localização :	02202514			
0292296	01/10/02	APERTADEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,00
C I RTC	Localização :	02200201			
0292436	04/10/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
Total Geral:	16				31,00

Novembro

C I GRAV	Localização :	02203208			
0293959	07/11/02	ACOPLAMENTO MECANI	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0294256	14/11/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	1,00
C I BOMB	Localização :	02200129			
0294046	04/11/02	ACOPLAMENTO MECANI	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0294796	28/11/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	2,00
C I RTC	Localização :	02200201			
0294260	14/11/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0294804	20/11/02	HIDR.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	ELETRO-ELET	2,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,00
C I BOMB 2	Localização :	02200163			
0294887	29/11/02	EIXO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	3,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	3,00
C I PILAO	Localização :	02202515			
0293948	05/11/02	PNEUM.-CILINDRO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I PILÃO 1	Localização :	02202513			
0294672	26/11/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I PILAO 2	Localização :	02202514			
0295188	29/11/02	PNEUM.-VÁLVULA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	1,00
C I TC	Localização :	02203412			
0293947	06/11/02	CONTRA-PONTO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,00
Total Geral:	11				14,00

Dezembro

C I BOMB	Localização :	02200127			
0295645	18/12/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0295415	12/12/02	PNEUM.- MANGUEIRA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	3,00
C I RTC	Localização :	02200201			
0295078	05/12/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
0294901	03/12/02	PARAFUSO	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	2,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	2,00
C I TA	Localização :	02203607			
0295643	18/12/02	GUIA	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
0295662	17/12/02	SOLENOÍDE	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	1,00
Total de paradas:	2			Total de horas:	2,00
C I GRAV	Localização :	02203208			
0295197	09/12/02	MOTOR	EMERGÊNCIA	MECÂNICA	0,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	0,00
C I TC	Localização :	02203412			
0294944	02/12/02	PNEUM.- VÁLVULA	EMERGÊNCIA	ELETRO- ELET	2,00
Total de paradas:	1			Total de horas:	2,00
Total Geral:	8				9,00

CÉLULA	ANEL	TIPO	FAMILIA	NÚMERO OPA	DATA INÍCIO	ATRASSO	N 11/jan	15/jan	S 18/jan	22/jan	N 25/jan	29/jan	S 31/jan	5/fev	12/fev	DATA ENTREGA
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300104776	4/dez	20328										10/jan
Cel. I	AN21137 00	T3HK 94,00-2,0-4,05	2330940-0	6202116358	5/dez	10878										24/jan
Cel. I	AN15664 00	4RE 56,00-1,85-3,80	2300560-0	2300104687	7/jan	5185										10/jan
Cel. I	AN18446 00	T3RR 69,00-1,5-3,05	2330690-0	2300104717	7/jan	10205										14/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300104784	7/jan	19811										14/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300104792	10/jan		14823									17/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300104997	11/jan		16342									18/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105004	11/jan		16598									18/jan
Cel. I	AN21137 00	T3HK 94,00-2,0-4,05	2330940-0	6202116366	14/jan			12566								1/fev
Cel. I	AN18446 00	T3RR 69,00-1,5-3,05	2330690-0	2300104709	15/jan			6801								21/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300104831	15/jan			15725								21/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300104849	15/jan			15725								21/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300104865	15/jan			10080								21/jan
Cel. I	AN21137 05	T3HK 94,50-2,0-4,05	2300945-0	6202116404	16/jan											4/fev
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105012	18/jan				18950							24/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105021	18/jan				15792							24/jan
Cel. I	AN21138 00	T3HK 98,00-2,0-4,25	2330980-0	6202116374	19/jan				3226							7/fev
Cel. I	AN21139 00	T3HK 108,00-2,0-4,65	2331080-0	6202116382	19/jan				8400							7/fev
Cel. I	AN15664 00	4RE 56,00-1,85-3,80	2300560-0	2300104946	21/jan					7190						24/jan
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105039	21/jan					15792						28/jan
Cel. I	AN22505 20	64LN 212-2,0-3,05	2330705-0	2301106365	22/jan					1075						28/jan
Cel. I	AN21139 00	T3HK 108,00-2,0-4,65	2331080-0	6202116391	22/jan					8198						11/fev
Cel. I	AN22505 30	64LN 212-2,0-3,05	2330707-0	2301106373	23/jan					874						28/jan
Cel. I	AN22871 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2301106357	23/jan					2419						28/jan
Cel. I	AN23193 00	T6LW 80,50-1,2-3,10	2300805-0	2300105098	24/jan											1/fev
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105047	25/jan						3226					1/fev
Cel. I	AN15617 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2302111630	25/jan						15792					1/fev
Cel. I	AN22505 10	64LN 212-2,0-3,05	2330702-0	2300104920	28/jan						17364					4/fev
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105055	29/jan							3226				1/fev
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105063	29/jan							12701				4/fev
Cel. I	AN15617 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2302111672	30/jan							12701				4/fev
Cel. I	AN18446 00	T3RR 69,00-1,5-3,05	2330690-0	2300104881	1/fev							21302				7/fev
Cel. I	AN19858 00	TZLG 80,50-1,2-3,10	2330805-0	2300105071	4/fev								8000			7/fev
Cel. I	AN17891 04	T6RR 82,40-1,5-3,55	2330824-0	2302111737	4/fev									14246		11/fev
Cel. I	AN15617 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2302111699	5/fev									1882		7/fev
Cel. I	AN15617 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2302111702	5/fev									12701		7/fev
Cel. I	AN15664 00	4RE 56,00-1,85-3,80	2300560-0	2300104954	6/fev									12701		14/fev
Cel. I	AN22871 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2301106411	6/fev									3830		14/fev
Cel. I	AN21137 00	T6RR 81,00-1,75-3,55	2330810-0	2301106403	11/fev									2957		11/fev
Cel. I	AN18446 00	T3RR 69,00-1,5-3,05	2330690-0	2300104890	12/fev										3226	14/fev
Cel. I	AN18446 00	T3RR 69,00-1,5-3,05	2330690-0	2300104971	12/fev										10282	18/fev
Cel. I	AN15617 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2302111711	13/fev										20429	18/fev
Cel. I	AN15617 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2302111729	13/fev										13440	21/fev
Cel. I	AN15617 00	T6RR 82,50-1,5-3,55	2330825-0	2302111729	13/fev										14381	21/fev

CÉLULA	ANEL	FAMÍLIA	NUMERO OPA	DATA INÍCIO	N 10/jan	S 14/jan	S 18/jan	N 21/jan	N 24/jan	S 31/jan	4/fev	11/fev	DATA ENTREGA
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300104792	10/jan	14.823								17/jan
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300104997	11/jan	16.342								18/jan
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105004	11/jan	16.598								18/jan
Cel. I	AN21137.00	2330940-0	6202116366	14/jan		12.566							1/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104709	15/jan		6.801							21/jan
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300104831	15/jan		15.725							21/jan
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300104849	15/jan		15.725							21/jan
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300104865	15/jan		10.080							21/jan
Cel. I	AN21137.05	2300945-0	6202116404	16/jan		874							4/fev
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105012	18/jan			18.950						24/jan
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105021	18/jan			15.792						24/jan
Cel. I	AN21138.00	2330980-0	6202116374	19/jan			3.226						7/fev
Cel. I	AN21139.00	2331080-0	6202116382	19/jan			8.400						7/fev
Cel. I	AN15664.00	2300560-0	2300104946	21/jan				7.190					24/jan
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105039	21/jan				15.792					28/jan
Cel. I	AN22505.20	2330705-0	2301106365	22/jan				1.075					28/jan
Cel. I	AN21139.00	2331080-0	6202116391	22/jan				8.198					11/fev
Cel. I	AN22505.30	2330707-0	2301106373	23/jan				874					28/jan
Cel. I	AN22871.00	2330825-0	2301106357	23/jan				2.419					28/jan
Cel. I	AN23193.00	2300805-0	2300105098	24/jan					3.226				1/fev
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105047	25/jan					15.792				1/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111630	25/jan					17.364				4/fev
Cel. I	AN22505.10	2330702-0	2300104920	28/jan						3.226			1/fev
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105055	29/jan					12.701				4/fev
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105063	29/jan					12.701				4/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111672	30/jan					21.302				7/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104881	1/fev						8.602			7/fev
Cel. I	AN19658.00	2330805-0	2300105071	4/fev							14.246		11/fev
Cel. I	AN17891.04	2330824-0	2302111737	4/fev							1.882		7/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111699	5/fev							12.701		14/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111702	5/fev							12.701		14/fev
Cel. I	AN15664.00	2300560-0	2300104954	6/fev							3.830		11/fev
Cel. I	AN22871.00	2330825-0	2301106411	6/fev							2.957		11/fev
Cel. I	AN21909.00	2330810-0	2301106403	11/fev								3.226	14/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104890	12/fev								10.282	18/fev
Cel. I	AN18446.00	2330690-0	2300104971	12/fev								20.429	18/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111711	13/fev								13.440	21/fev
Cel. I	AN15617.00	2330825-0	2302111729	13/fev								14.381	21/fev
					47.763	61.770	46.368	35.549	36.382	49.930	8.602	48.317	61.757

CÉLULA	ANEL	FAMILIA	NÚMERO OPA	DATA INÍCIO	N	11/jan	15/jan	S	22/jan	N	25/jan	S	31/jan	5/feb	12/feb	DATA ENTREGA
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300104792	10/jan	14823											17/jan
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300104997	11/jan	16342											18/jan
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105004	11/jan	16598											18/jan
Cel I	AN21137.00	2330940-0	6202116366	14/jan			12566									1/feb
Cel I	AN18446.00	2330690-0	2300104709	15/jan			6801									21/jan
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300104831	15/jan			15725									21/jan
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300104849	15/jan			15725									21/jan
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300104865	15/jan			10080									21/jan
Cel I	AN21137.05	2300945-0	6202116404	16/jan			874									4/feb
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105012	18/jan				18950								24/jan
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105021	18/jan				15792								24/jan
Cel I	AN21138.00	2330980-0	6202116374	19/jan				3226								7/feb
Cel I	AN21139.00	2331080-0	6202116382	19/jan				8400								7/feb
Cel I	AN15664.00	2300560-0	2300104946	21/jan					7190							24/jan
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105039	21/jan					15792							28/jan
Cel I	AN22505.20	2330705-0	2301106365	22/jan					1075							28/jan
Cel I	AN21139.00	2331080-0	6202116391	22/jan					8198							11/feb
Cel I	AN22505.30	2330707-0	2301106373	23/jan					874							28/jan
Cel I	AN22871.00	2330825-0	2301106357	23/jan					2419							28/jan
Cel I	AN23193.00	2300805-0	2300105098	24/jan						3226						1/feb
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105047	25/jan						15792						1/feb
Cel I	AN15617.00	2330825-0	2302111630	25/jan						17364						4/feb
Cel I	AN22505.10	2330702-0	2300104920	28/jan								3226				1/feb
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105055	29/jan								12701				4/feb
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105063	29/jan								12701				4/feb
Cel I	AN15617.00	2330825-0	2302111672	30/jan								21302				7/feb
Cel I	AN18446.00	2330690-0	2300104881	1/feb									8000			7/feb
Cel I	AN19838.00	2330805-0	2300105071	4/feb										14246		11/feb
Cel I	AN17891.04	2330824-0	2302111737	4/feb										1882		7/feb
Cel I	AN15617.00	2330825-0	2302111699	5/feb										12701		14/feb
Cel I	AN15617.00	2330825-0	2302111702	5/feb										12701		14/feb
Cel I	AN15664.00	2300560-0	2300104954	6/feb										3830		11/feb
Cel I	AN22871.00	2330825-0	2301106411	6/feb										2957		11/feb
Cel I	AN21909.00	2330810-0	2301106403	11/feb											3226	14/feb
Cel I	AN18446.00	2330690-0	2300104890	12/feb											10282	18/feb
Cel I	AN18446.00	2330690-0	2300104971	12/feb											20429	18/feb
Cel I	AN15617.00	2330825-0	2302111711	13/feb											13440	21/feb
Cel I	AN15617.01	2330825-1	2302111728	12/feb											14380	20/feb
					47763	61770	46368	35549	36382	49930	8000	48317	61756			

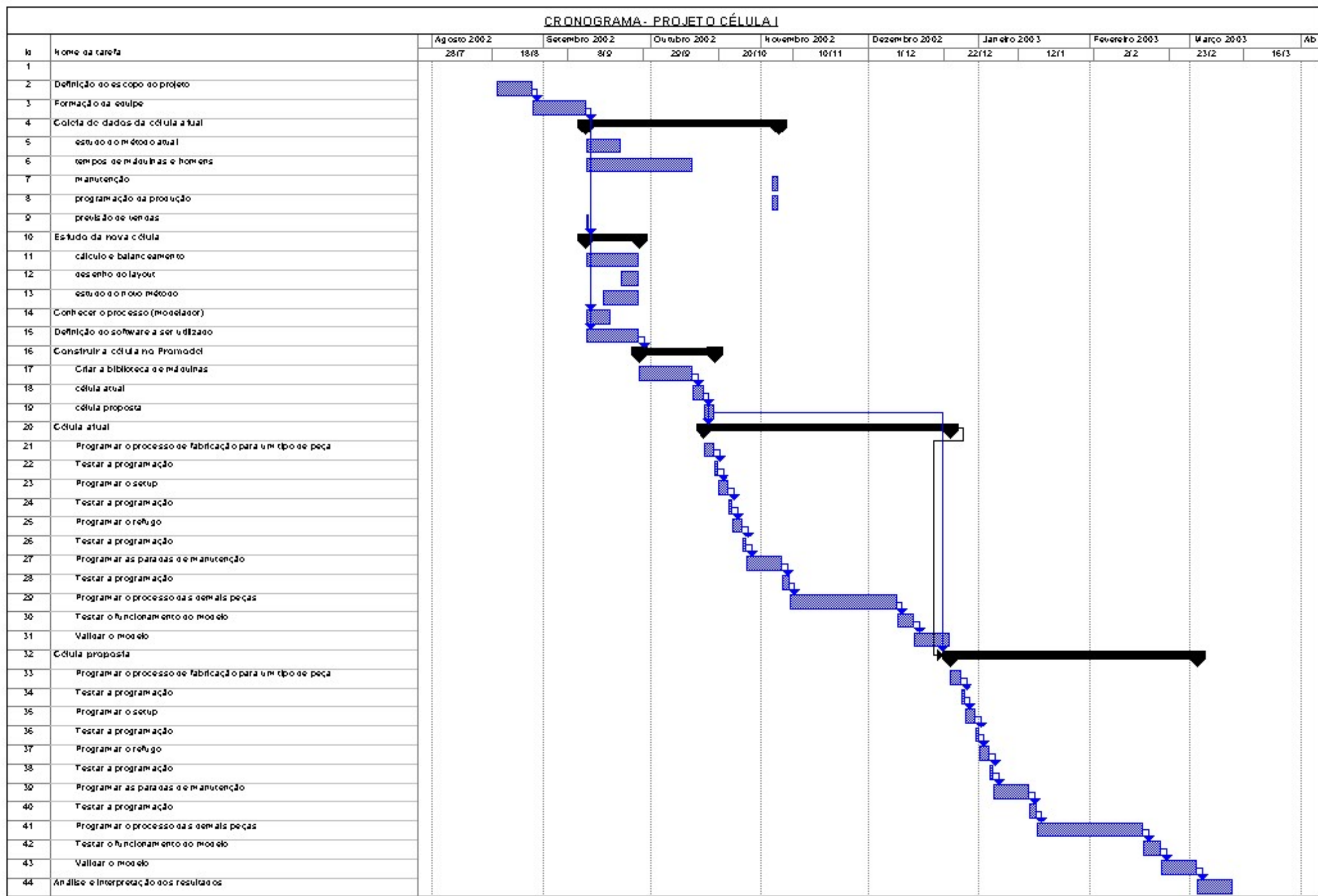
CÉLULA	ANEL	FAMILIA	NUMERO OPA	DATA INICIO	11/fev	S	18/fev	N	25/fev	S	4/mar	7/mar	11/mar	S	18/mar	N	DATA ENTREGA
Cel.I	AN21909.00	2330810-0	2301106403	11/fev	3.075												14/fev
Cel.I	AN23193.00		2300105250	11/fev	5.376												18/fev
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116471	12/fev	15.214												1/mar
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116480	12/fev	14.475												1/mar
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300104890	12/fev	13.709												18/fev
Cel.I	AN18843.05		2302111800	12/fev	2.822												18/fev
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111851	13/fev	21.302												21/fev
Cel.I	AN23193.00		2300105276	14/fev		4.032											21/fev
Cel.I	AN19858.00	2330805-0	2300105179	15/fev		16.988											21/fev
Cel.I	AN21139.00	2331080-0	6202116536	16/fev		7.258											7/mar
Cel.I	AN21138.00	2330980-0	6202116561	16/fev		2.218											7/mar
Cel.I	AN21137.00	2330940-0	6202116552	16/fev		3.293											7/mar
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116498	18/fev			15.254										7/mar
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116501	18/fev			15.859										7/mar
Cel.I	AN21139.00	2331080-0	6202116544	19/fev			6.317										11/mar
Cel.I	AN21909.00	2330810-0	2301106471	20/fev			2.419										25/fev
Cel.I	AN23193.00		2300105284	21/fev				3.629									1/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111869	22/fev				23.722									4/mar
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300105144	25/fev					15.994								1/mar
Cel.I	AN19858.00	2330805-0	2300105187	26/fev					17.069								4/mar
Cel.I	AN22505.00	2330699-0	2300105268	26/fev					4.166								1/mar
Cel.I	AN15664.00	2330560-0	2300105128	26/fev					7.056								1/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111761	27/fev					23.722								7/mar
Cel.I	AN22505.10	2330702-0	2300105241	27/fev					4.973								4/mar
Cel.I	AN22871.00	2330825-0	2301106489	28/fev						1.613							4/mar
Cel.I	AN21909.00	2330810-0	2301106501	4/mar						3.226							7/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111770	5/mar						27.082							14/mar
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300105152	5/mar						25.267							14/mar
Cel.I	AN15664.00	2330560-0	2300105136	6/mar						15.994							11/mar
Cel.I	AN17069.00		2301106527	6/mar						5.510							11/mar
Cel.I	AN18102.04	2330834-0	2302111834	11/mar						538							11/mar
Cel.I	AN17891.00	2330820-0	4602106561	11/mar						2.150							14/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111788	12/mar						2.957							14/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111818	12/mar						15.792							21/mar
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300105161	13/mar						15.792							18/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111885	14/mar						15.859							25/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111893	14/mar						15.792							25/mar
Cel.I	AN22505.30	2330707-0	2301106462	20/mar													25/mar
					75.974	33.788	39.830	27.330	72.979	1.613	77.616		52.550	31.584	874	874	

CÉLULA	ANEL	FAMILIA	NÚMERO OFA	DATA INICIO	S 18/fev	21/fev	N 25/fev	28/fev	S 4/mar	7/mar	N 11/mar	14/mar	S 18/mar	21/mar	N 25/mar	28/mar	S 1/abr	DATA ENTREGA
Cd.I	AN21138.00	2330980-C	6202116609	19-fev	3.629													11-mar
Cd.I	AN20680.00	2330720-C	6202116668	20-fev	4.435													11-mar
Cd.I	AN23193.00			21-fev		3.790												1-mar
Cd.I	ANI5664.00	2300105284	2300105284	22-fev		7.060												1-mar
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302111869	22-fev		16.612												4-mar
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302111907	22-fev		16.101												4-mar
Cd.I	ANI9828.00	2330805-C	2300105187	22-fev			17.069											4-mar
Cd.I	AN22305.10	2330702-C	2300105241	27-fev			6.182											4-mar
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302111761	27-fev			15.725											7-mar
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302111915	27-fev			14.717											7-mar
Cd.I	AN21139.00	2331080-C	6202116544	27-fev			7.352											18-mar
Cd.I	AN21139.00	2331080-C	6202116617	27-fev			3.629											18-mar
Cd.I	AN22871.00	2330825-C	2301106489	28-fev				3.226										4-mar
Cd.I	AN21137.00	2330940-C	6202116587	1-mar				5.510										21-mar
Cd.I	ANI5664.00	2300560-C	2300105136	4-mar				5.553										11-mar
Cd.I	AN21909.00	2330810-C	2301106501	4-mar				3.226										7-mar
Cd.I	ANI8446.00	2330690-C	2300105144	5-mar				15.967										11-mar
Cd.I	ANI8446.00	2330690-C	2300105152	5-mar				7.795										11-mar
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302111770	5-mar				28.338										14-mar
Cd.I	ANI7069.00		2301106527	6-mar				538										11-mar
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302111818	8-mar						12.365								18-mar
Cd.I	AN18102.04	2330834-C	2302111834	11-mar						2.150								14-mar
Cd.I	AN24947.00		2302112130	11-mar						7.862								18-mar
Cd.I	ANI7891.00	2330820-C	4602106561	11-mar						2.957								14-mar
Cd.I	AN21137.00	2330940-C	6202116595	14-mar								6.989						4-abr
Cd.I	AN21139.00	2331080-C	6202116625	14-mar								6.720						4-abr
Cd.I	AN21137.00	2330940-C	6202116633	14-mar								6.989						4-abr
Cd.I	AN21138.00	2330980-C	6202116641	14-mar								6.384						4-abr
Cd.I	AN21139.00	2331080-C	6202116650	14-mar								6.586						4-abr
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2300105292	18-mar									7.394					28-mar
Cd.I	AN22303.20	2330705-C	2301106543	18-mar									2.419					25-mar
Cd.I	ANI9838.00	2330805-C	2300105322	20-mar									19.157					28-mar
Cd.I	ANI9838.00	2330805-C	2300105331	20-mar									19.157					28-mar
Cd.I	ANI9838.00	2330805-C	2300105249	20-mar									19.157					28-mar
Cd.I	AN22303.30	2330707-C	2301106462	20-mar									866					25-mar
Cd.I	AN22303.00	2330699-C	2301106535	20-mar									1.882					25-mar
Cd.I	ANI5664.00	2300560-C	2300105381	21-mar										10.752				28-mar
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302112059	21-mar										23.722				1-abr
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302112067	21-mar										23.722				1-abr
Cd.I	ANI9838.00	2330805-C	2300105357	22-mar										20.563				1-abr
Cd.I	AN18446.00	2330690-C	2300105306	26-mar											22.176			1-abr
Cd.I	AN22303.10	2330702-C	2300105373	26-mar											2.621			1-abr
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302112075	26-mar											23.722			4-abr
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302112083	26-mar											23.722			4-abr
Cd.I	ANI9838.00	2330805-C	2300105365	29-mar											21.302			8-abr
Cd.I	AN22303.00	2330699-C	2300105268	1-abr												4.166		4-abr
Cd.I	ANI8446.00	2330690-C	2300105314	2-abr												26.109		8-abr
Cd.I	ANI5617.00	2330825-C	2302112091	2-abr	8.064	43.563	64.673	8.736	61.436	12.365	12.970	33.667	72.030	78.758	72.240	21.302	26.275	11-abr

CELULA	ANEL	FAMILIA	NUMERO OPA	DATA INICIO	S 28/fev	N 7/mar	S 11/mar	S 14/mar	N 18/mar	S 21/mar	S 25/mar	S 29/mar	N 1abr	N 4abr	S 8abr	S 11abr	DATA ENTREGA
Cel.I	AN18651.00		2302111923	2/mar	18.816												11/mar
Cel.I	AN18651.00		2302111931	2/mar	18.334												11/mar
Cel.I	AN18651.00		2302111940	2/mar	18.803												11/mar
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116706	2/mar	15.053												21/mar
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116714	2/mar	15.053												11/mar
Cel.I	AN15664.00	2300560-0	2300105136	4/mar	5.407												7/mar
Cel.I	AN21909.00	2330810-0	2301106501	4/mar	3.199												11/mar
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300105144	5/mar	15.819												14/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2300105292	5/mar	15.120												14/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111770	5/mar	28.338												14/mar
Cel.I	AN22505.20	2330705-0	2300105390	8/mar		2.486											14/mar
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302111818	8/mar		7.997											18/mar
Cel.I	AN18102.04	2330834-0	2302111834	11/mar			2.150										14/mar
Cel.I	AN17891.00	2330820-0	4602106561	11/mar			2.957										14/mar
Cel.I	AN21137.00	2330940-0	6202116633	11/mar			6.989										1abr
Cel.I	AN21138.00	2330980-0	6202116641	11/mar			6.384										1abr
Cel.I	AN21139.00	2331080-0	6202116650	11/mar			7.048										1abr
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300105152	13/mar			16.061										18/mar
Cel.I	AN21137.00	2330940-0	6202116595	14/mar				6.989									4abr
Cel.I	AN21139.00	2331080-0	6202116625	14/mar				6.720									4abr
Cel.I	AN19838.00	2330805-0	2300105322	15/mar				19.757									25/mar
Cel.I	AN19838.00	2330805-0	2300105331	15/mar				19.757									25/mar
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116722	15/mar				15.053									25/mar
Cel.I	AN22505.20	2330705-0	2301106543	18/mar				2.419									8abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116731	18/mar				15.053									8abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116749	18/mar				15.053									28/mar
Cel.I	AN19838.00	2330805-0	2300105349	20/mar				19.757									25/mar
Cel.I	AN22505.30	2330707-0	2301106462	20/mar				845									25/mar
Cel.I	AN22505.00	2330699-0	2301106535	20/mar				1.882									28/mar
Cel.I	AN15664.00	2300560-0	2300105381	21/mar					10.886								1abr
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302112059	21/mar					23.722								1abr
Cel.I	AN19838.00	2330805-0	2300105357	22/mar					23.722								1abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116757	22/mar					15.053								11abr
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300105306	26/mar						22.781							1abr
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302112075	26/mar						23.722							4abr
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302112083	26/mar						23.722							4abr
Cel.I	AN17891.00	2330820-0	4602106846	27/mar						1.546							1abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116765	27/mar						15.053							15abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116773	27/mar						15.053							15abr
Cel.I	AN22505.00	2330699-0	2300105268	28/mar						4.017							8abr
Cel.I	AN19838.00	2330805-0	2300105365	29/mar						21.302							8abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116781	1abr													18abr
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302112091	2abr									15.053				11abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116790	3abr									15.053				22abr
Cel.I	AN20680.00	2330720-0	6202116811	3abr									15.053				22abr
Cel.I	AN18446.00	2330690-0	2300105314	5abr										22.781			11abr
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302112105	10abr											17.808		18abr
Cel.I	AN15617.00	2330825-0	2302112113	10abr											10.080		18abr
Cel.I	AN18388.00	2330864-0	2301106551	13abr	86.058	67.903	41.589		55.009		101.875		71.434		27.888	1.613	18abr

DEMANDA FUTURA ANUAL	
COD. ANEL	TOTAL [pç/ano]
AN18446.00	1.815.262
AN22505.00	159.466
AN22505.10	282.071
AN22505.20	126.900
AN22505.30	40.993
AN19858.00	6.010.301
AN23193.00	412.426
AN19858.05	186.755
AN21909.00	257.069
AN17891.04	140.067
AN15617.00	6.081.175
AN22871.00	180.779
AN17069.00	29.881
AN18102.00	7.844
AN18102.04	140.067
AN18388.00	102.715
AN18388.02	2.148
AN18388.04	24.745
AN18388.06	24.278
AN23347.00	140.067
AN18937.00	93.378
AN18843.05	204.497
AN15664.00	655.255
AN20795.05	1.868

Tabela da demanda futura das peças



Cronograma de execução do projeto de modelagem

Este texto foi extraído do trabalho de PINHO (1999), servindo como um manual do software utilizado na otimização do seqüenciamento da produção.

Apêndice: Modelo computacional

A.1 – Considerações iniciais

Será apresentado, neste capítulo, um modelo computacional protótipo que permitirá a implementação da metodologia proposta no capítulo 3 desta dissertação. Esta ferramenta recebeu o nome de *Fuzzy Scheduling* e foi desenvolvida pelo programa *Microsoft Visual Basic 5.0*¹.

Inicialmente é apresentado um diagrama com o intuito de facilitar o entendimento da lógica funcional do sistema implementado. E, para ilustrar a facilidade de interação como o usuário as principais telas de interface do *software* protótipo também são mostradas.

Cabe ressaltar que esta ferramenta foi apenas utilizada no estudo de caso apresentado no capítulo 4. Portanto, o desenvolvimento deste *software* terminou quando se chegou a uma ferramenta suficientemente capaz de testar a metodologia proposta.

Desta maneira, esta primeira versão, aqui apresentada, é a base para que novas versões, com um maior número de algoritmos com inserção de incertezas, possam ser implementados em trabalhos futuros.

A.2 – O software e suas principais telas

O fluxograma apresentado na figura A1.1 representa de maneira generalizada as principais etapas realizadas pelo modelo computacional proposto.

Inicialmente, o usuário pode optar por começar um novo estudo ou abrir um estudo existente. Se a opção escolhida for um novo estudo de caso, o usuário deverá fornecer a matriz com os tempos de operação de cada atividade e escolher qual algoritmo será utilizado na resolução do problema.

Vencida esta etapa, o sistema realiza automaticamente a fuzzificação da matriz com os tempos de operação, transformando-os em números triangulares *fuzzy*, sendo que o usuário tem total liberdade de alterar qualquer um desses números *fuzzy* gerados.

¹ Linguagem de programação comercializada pela Microsoft® Corporation

Finalmente, então, o sistema gera os resultados para o problema proposto. Se ocorrer mais de uma ordenação como resposta, deverá ser realizado uma análise dos possíveis resultados das ordenações geradas pelo sistema, conforme visto no item 3.4.

Se inicialmente o usuário optar por abrir um estudo de caso já existente, este poderá modificar as incertezas já existentes e/ou efetuar uma nova análise dos possíveis resultados gerados pelo *software*.

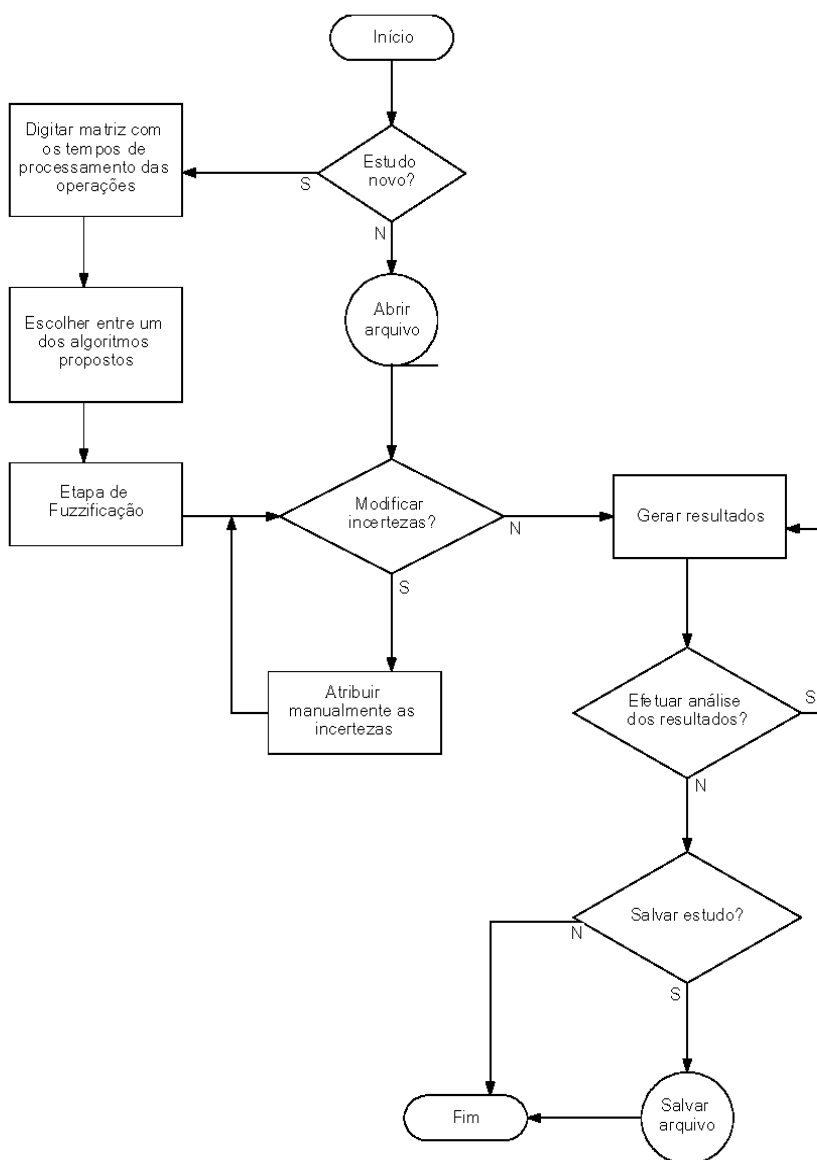


Figura A.1 – Fluxograma do modelo computacional proposto

A figura A.2 mostra a tela inicial do sistema. Nota-se que o programa possui três submenus, sendo estes: Arquivo, Opções e Sobre.

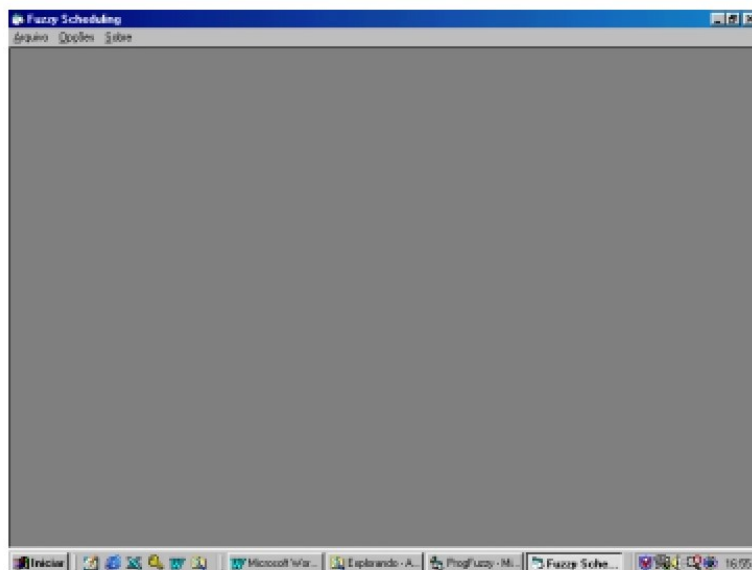


Figura A.2 – Tela Inicial do sistema

O menu “Arquivo” possibilita acessar um estudo já realizado, gravar um estudo realizado pelo *software*, iniciar um novo estudo de caso, fechar o estudo de caso que está sendo avaliado e sair do programa.

O menu “Opções”, possibilita ao usuário determinar se os gráficos de *Gantt* deverão aparecer juntamente com os resultados da programação de operações ou não.

O menu “Sobre” fornece informações detalhadas sobre o autor do software.

Sempre que o usuário iniciar um novo estudo, será apresentada uma janela mostrada na figura A.3. Nesta janela, o usuário deve optar por um dos algoritmos disponibilizados, informar a quantidade de máquinas e tarefas, e então digitar os valores dos tempos padrão de processamento de cada operação.

Entrada da matriz com o tempo de operações

Algoritmo

- 2 Máquinas (Johnson)
- NEH

Número de máquinas: 4

Número de tarefas: 3

Pieças	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3	Máquina 4
1	9	4	5	8
2	9	3	10	1
3	5	9	8	10

Continuar Fechar

Figura A.3 – Janela para iniciar um novo estudo

É importante mencionar que atualmente o modelo trabalha com 2 algoritmos (NEH e JOHNSON), que foram analisados e desenvolvidos na metodologia deste trabalho. Entretanto o software foi elaborado prevendo-se uma expansão para vários outros algoritmos.

Vencida esta etapa, o sistema gera automaticamente os números triangulares *fuzzy* para todos os tempos de operação. Esta fuzzificação é realizada com base na teoria de obtenção de tempo padrão discutida no item 3.2 da metodologia proposta. A matriz com os tempos de processamento de cada operação *fuzzy* pode ser vista na figura A.4.

Matriz com os tempos de processamento com incertezas

Pieças	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3	Máquina 4
1	(7,4 ; 9 ; 10)	(3,3 ; 4 ; 4,4)	(4,1 ; 5 ; 5,6)	(6,6 ; 8 ; 8,9)
2	(7,4 ; 9 ; 10)	(2,5 ; 3 ; 3,3)	(8,2 ; 10 ; 11,1)	(0,8 ; 1 ; 1,1)
3	(4,1 ; 5 ; 5,6)	(7,4 ; 9 ; 10)	(6,6 ; 8 ; 8,9)	(8,2 ; 10 ; 11,1)

Para alterar um número basta clicar sobre o mesmo e redefinir-lo pelas barras de rolagem

2.5 3 3.3

Atualizar

Resultado

Figura A.4 – Janela com os tempos de processamento *fuzzy*

Como previsto pela teoria *fuzzy*, ainda na figura A.4, o decisor é capaz de alterar qualquer um dos tempos de processamento gerados pelo sistema através da fuzzificação. Para tal, basta selecionar o tempo de operação que deseja-se alterar, onde este tempo ficará marcado com a coloração amarela e será exibido ao lado direito da janela sobre a forma de um

número triangular. O usuário digita os novos valores nas caixas de texto correspondentes e clica no botão *Atualizar*.

Completada a etapa de entrada de dados o sistema apresenta os resultados da programação de operações conforme mostrado nas figuras A.5 e A.6. Percebe-se que na figura A.5 os resultados foram apresentados sem os gráficos de *Gantt*. Já na figura A.6, os resultados foram apresentados juntamente com seus gráficos de *Gantt*

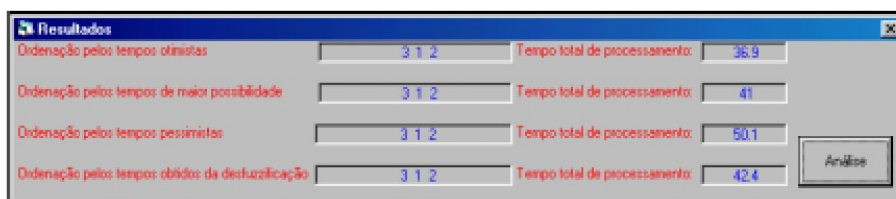


Figura A.5 – Janela de resultados sem os gráficos de *Gantt*

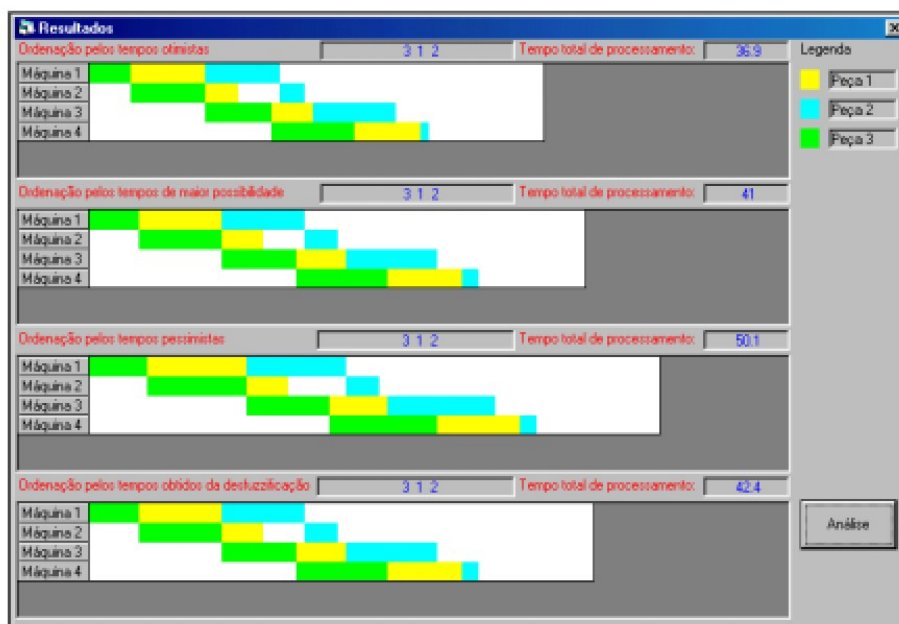


Figura A.6 – Janela de resultados com os gráficos de *Gantt*

Optou-se por possibilitar a apresentação dos resultados através dos gráficos de *Gantt*, pois estes permitem uma melhor idéia do tempo de ocupação de cada máquina.

Conforme apresentado no capítulo 3 – *Metodologia proposta*, percebe-se que existem quatro resultados de programação distintos. O primeiro é para a matriz de tempos considerada

otimistas, o segundo, para a matriz de tempos de maior possibilidade, o terceiro, para a matriz de tempos pessimistas, e por último, para a matriz de tempos obtidos pela desfuzzificação dos números *fuzzy*.

Nesta janela, os quatro resultados da programação de operações apresentaram a mesma ordenação. Entretanto, nem sempre as ordenações obtidas são as mesmas (item 3.4). Neste caso é necessário efetuar a análise das possíveis ordenações e escolher dentre as diversas possibilidades, aquela que apresenta um melhor resultado do ponto de vista do tempo total de processamento (*makespan*). Esta análise é realizada na janela apresentada nas figuras A.7 e A.8, onde a primeira apresenta os resultados com os gráficos de *Gantt* e a segunda, sem os gráficos de *Gantt*.

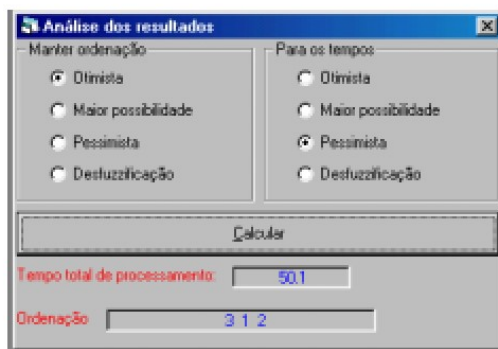


Figura A.7 – Janela para análise dos resultados sem os gráficos de *Gantt*

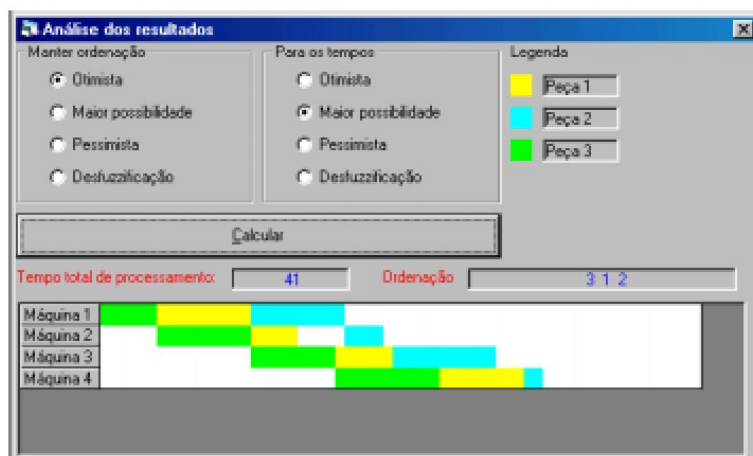


Figura A.8 – Janela para análise dos resultados com os gráficos de *Gantt*

A.3 – Considerações finais

O *Fuzzy Scheduling* foi desenvolvido utilizando-se a técnica de programação por janelas. Ou seja, na prática, cada fase do fluxograma mostrado na figura A.1 corresponde a uma, ou mais, janela do programa. Com isto busca-se uma maior concentração do usuário, através do controle de suas opções.

Percebe-se, também, que existiu uma grande preocupação no desenvolvimento desta ferramenta em possibilitar uma interação com usuário bastante amigável. Isto pôde ser observado nas figuras apresentadas neste capítulo.

O modelo computacional apresentado neste capítulo foi desenvolvido em um processador *Pentium* de 200 MHz, 32 Mb de RAM (*Random Access Memory*) e monitor SVGA (*Super Video Graphics Array*). Porém, um processador *486 DX2* (de apenas 66 MHz) com 8 Mb de RAM é suficiente para sua utilização, desde que o sistema operacional seja o *Windows 9x* (ou *Windows NT*) uma vez que foram utilizados, na elaboração do *software*, recursos presentes em tais sistemas operacionais.

**Tipo = HK 97,0 - 2,5 - 4,20
AN20795.00**

1

Torno TFV

anéis/hora = 3.000

rpm=205

avanço=0,50 mm/rot

Tempo[min]

set up

0.40

Fora do tempo máquina

- descarregar, carregar e startar

0.43

0.00

Dentro do tempo máquina

- apanhar o canal e posicionar ao lado da bancada de alinhamento de pacotes

0.36

- montar pacote de anéis e posicionar na mesa da máquina

1.22

- apanhar pacote de anéis usinados, posicionar na fresa e startar

0.13

- retirar pacote de anéis da fresa e posicionar no canal (no suporte do carrinho)

0.13

- apanhar três anéis e inspecionar folga entre pontas/força tangencial

0.66

- retirar canal do suporte do carrinho, posicionar no carrinho e

posicionar canal no suporte do carrinho

0.28

tempo máquina do torno = 7,40

tempo máquina da fresa = 4,15

Gravação

anéis/minuto=100

anéis/hora=3000

set up

20.16

- apanhar o canal do carrinho

0.40

- posicionar anéis no suporte do carrinho

0.55

- desengraxe

6.72

- retirar do tanque

0.67

- ir até a gravadora

0.40

- posicionar no suporte da gravadora

0.28

- alinhar e marcar o lado da gravação

2.63

- alimentar a gravadora

0.15

- retirar anéis e fazer visual

0.34

- posicionar anéis no canal

0.12

- apanhar canal e posicionar no suporte giratório

0.15

Rebaixo da face interna

anéis/minuto=100

anéis/hora= 1500

set up	31.25
--------	-------

- retirar canal do suporte e posicionar no suporte do rebaixo (máquina)	0.24
(p/ cada canal)	

- alimentar manualmente a máquina	0.13
-----------------------------------	------

- retirar pacote, fazer visual, posicionar no canal da máquina de escovar	0.17
---	------

rpm da placa porta/ferramenta=230

OBS: 1 operador e uma máquina

Escovamento da face externa

anéis/hora=4000

set up	20.16
--------	-------

- descarregar máquina	0.17
-----------------------	------

- carregar e startar	0.17
----------------------	------

- tempo máquina	0.63
-----------------	------

- restante da desmontagem	0.07
---------------------------	------

- montar	0.78
----------	------

- troca de canais	0.43
-------------------	------

122mm de anéis na árvore

tempo: 5 segundos para cada lado

Bombeamento N1

anéis/hora=1000

set up	36.29
--------	-------

Durante o tempo máquina

- apanhar anéis no canal e posicionar no suporte da máquina	0.16
---	------

- lavar o pacote de anéis bombeado e posicionar no canal	0.31
--	------

- retirar anéis bombeados do suporte da máquina e posicionar no canal	0.17
---	------

Fora do tempo máquina

- retirar pacote bombeado da máquina, alimentar com pacote de anéis a ser bombeado e startar	0.13
--	------

<i>tempo máquina=</i>	1.18
-----------------------	------

visual nos anéis bombeados (feito por outro operador)

apanhar o canal e posicionar na bancada

fazer o visual

devolver o canal no carrinho

OBS: 1 operador e uma máquina

Tipo = LN 212 - 2,0 - 3,05
AN22505.00

Tempo[min]

Torno TFV

anéis/hora=

rpm=300

avanço=0,48mm/rot

set up 0.40

Fora do tempo máquina

- descarregar, carregar e startar 0.43

Dentro do tempo máquina

- apanhar o canal e posicionar ao lado da bancada de alinhamento de pacotes 0.36

- montar pacote de anéis e posicionar na mesa da máquina 1.22

- apanhar pacote de anéis usinados, posicionar na fresa e startar 0.13

- retirar pacote de anéis da fresa e posicionar no canal (no suporte do carrinho) 0.13

- apanhar três anéis e inspecionar folga entre pontas/força tangencial 0.66

- retirar canal do suporte do carrinho, posicionar no carrinho e 0.28

posicionar canal no suporte do carrinho

tempo máquina do torno =

tempo máquina da fresa =

Gravação

anéis/minuto=44

anéis/hora=3000

set up 20.16

- apanhar o canal do carrinho 0.40

- posicionar anéis no suporte do carrinho 0.55

- desengraxe 6.72

- retirar do tanque 0.67

- ir até a gravadora 0.40

- posicionar no suporte da gravadora 0.28

- alinhar e marcar o lado da gravação 2.63

- alimentar a gravadora 0.15

- retirar anéis e fazer visual 0.34

- posicionar anéis no canal 0.12

- apanhar canal e posicionar no suporte giratório 0.15

Torneamento acabado

anéis/hora=1000

set up 37.48

Fora do tempo máquina

- alimentar e startar 0.13
- restante do tempo de montar árvore 0.62
- descarregar 0.12
- inspecionar/preencher histograma 0.90
- preencher OPA no término da OPA 4.03

Dentro do tempo máquina

- desmontar árvores usinadas e posicionar anéis no canal 0.52

OBS: árvores com espaçadores centrais de 3mm
 quantidade de anéis/árvore = 22
 1 operador e uma máquina
 Tempo máquina =

Rebaixo da face interna

anéis/minuto=27

anéis/hora=2000

set up 31.25

- retirar canal do suporte e posicionar no suporte do rebaixo (máquina) 0.24
- (p/ cada canal)
- alimentar manualmente a máquina 0.13
- retirar pacote, fazer visual, posicionar no canal da máquina de escovar 0.17

OBS: 1 operador e uma máquina

Topejamento acabado

anéis/hora = 2000

set up 28.22

rpm=2456

avanço=4 a 6 golpes por minuto

régua =11,5mm

- apanhar anel no canal da máquina de rebaixo e alimentar a máquina 0.27
- retirar anéis da topejadora, fazer o visual e posicionar no suporte do canal 0.65
- inspecionar folga e preencher histograma (a cada 8 peças) 0.97
- posicionar canal vazio ao lado da máquina 0.11

Escovamento da face externa

anéis/hora = 3782

set up

20.16

- descarregar máquina
- carregar e startar
- tempo máquina
- restante da desmontagem
- montar
- troca de canais

0.17
0.17
0.63
0.07
0.78
0.43

122mm de anéis

tempo: 5 segundos para cada lado