

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS COMO
FERRAMENTA INTEGRADA AO PLANEJAMENTO E
PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO NA MANUFATURA ÁGIL

Adilson Akazawa

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Produção*.

Orientador: Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr.

Co-orientador: Prof. Sebastião Carlos da Costa, PhD.

Junho de 2007

Itajubá - MG

Dedicatória

À minha esposa e grande companheira Lilian pela paciência nos momentos em que a minha já havia acabado.

Agradecimentos

Ao meu orientador professor José Arnaldo Barra Montevechi e ao meu co-orientador professor Sebastião Carlos da Costa por acreditarem e apoiarem no desenvolvimento deste trabalho.

A Mectron EIC S.A. por permitir a realização do estudo de caso e a utilização de informações da empresa. Meu agradecimento em especial aos diretores Hermes Nilton Macau e Wagner Campos do Amaral Silva pelo apoio oferecido.

Aos companheiros das áreas de Engenharia Industrial, PCP Industrial e TI da Mectron pelo suporte no desenvolvimento e revisão de dados e informações.

Aos amigos Anielle, Emerson, Hugo, Claiton e Gustavo pelo apoio no desenvolvimento dos primeiros modelos de simulação.

Sumário

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
SUMÁRIO.....	iii
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações iniciais.....	1
1.2. Objetivo do trabalho.....	3
1.3. Relevância do trabalho.....	3
1.4. Metodologia de pesquisa.....	4
1.5. Estrutura do trabalho.....	4
2. MANUFATURA ÁGIL.....	6
2.1. Considerações iniciais.....	6
2.2. Introdução.....	6
2.3. Manufatura Ágil.....	7
2.3.1. A evolução dos sistemas de produção.....	8
2.3.2. Características do sistema de manufatura ágil.....	10
2.3.3. A implantação da manufatura ágil.....	15
2.4. Considerações finais.....	18
3. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	20
3.1. Considerações iniciais.....	20
3.2. Introdução.....	20
3.3. O sistema MRP.....	21
3.3.1. As mudanças e incertezas no ambiente de manufatura.....	23
3.3.2. As limitações do MRP.....	25
3.4. Considerações finais.....	27

4. SIMULAÇÃO.....	29
4.1. Considerações iniciais.....	29
4.2. Introdução.....	29
4.3. Simulação.....	30
4.3.1. O funcionamento da simulação.....	30
4.3.2. A utilização da simulação.....	31
4.3.3. Termos utilizados na simulação.....	32
4.3.4. Classificação da simulação.....	33
4.3.5. Vantagens e desvantagens do uso da simulação.....	34
4.4. Metodologia.....	37
4.5. Considerações finais.....	40
5. OTIMIZAÇÃO.....	42
5.1. Considerações iniciais.....	42
5.2. Introdução.....	42
5.3. Algoritmo evolutivo.....	44
5.4. Simulação + Otimização.....	45
5.5. Considerações finais.....	46
6. APLICAÇÃO.....	47
6.1. Considerações iniciais.....	47
6.2. Descrição do objeto de estudo.....	47
6.3. Definição do problema.....	53
6.4. Modelagem do sistema.....	53
6.4.1. Definição do escopo.....	54
6.4.2. Desenvolvimento e validação do modelo conceitual.....	55
6.4.3. Coleta de dados.....	57
6.4.4. Desenvolvimento do modelo computacional.....	57
6.4.5. Verificação do modelo computacional.....	61
6.4.6. Definição do experimento e experimentação.....	62
6.4.7. Análise e interpretação dos resultados.....	62
6.5. Otimização.....	63
6.5.1. Definição das variáveis de decisão.....	63
6.5.2. Definição dos experimentos.....	66
6.5.3. Análise dos resultados.....	67

6.6. Considerações finais.....	70
7. CONCLUSÃO.....	71
7.1. Considerações iniciais.....	71
7.2. Conclusões e contribuições do trabalho	71
7.3. Sugestões para trabalhos futuros.....	72
7.4. Considerações finais.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXO 1.....	78

Resumo

Este trabalho propõe uma ferramenta para apoiar o sistema de planejamento de produção, dentro da metodologia emergente denominada manufatura ágil. Considerado o novo paradigma da manufatura do século XXI, esta metodologia é o passo seguinte nos sistemas de manufatura. Para um melhor entendimento do desenvolvimento deste trabalho faz-se uma revisão da literatura sobre os conceitos vinculados à manufatura ágil e ao sistema de planejamento baseado no MRP, além de uma breve explicação sobre as deficiências deste sistema de planejamento atualmente em uso. Verificam-se também os conceitos vinculados à simulação de eventos discretos e à otimização de modelos. Com a utilização de uma aplicação realizada em uma empresa alta tecnologia, que atua nos setores de defesa e aeroespacial, sugere-se um sistema integrado de planejamento que utiliza a simulação e a otimização como ferramentas de apoio ao planejamento de produção.

Abstract

This work proposes a tool for support the production planning system, inside the emergent methodology called agile manufacturing. Considered the new manufacturing paradigm of 21st Century, this methodology is the next step on manufacturing systems. For better understanding this work development, a literature review over agile manufacturing and planning system based on MRP is done, furthermore a brief explanation about the deficiencies over this planning system actually in use is done. It is also verified the concepts linked to the discrete event simulation and models optimization. With the use of an application carried through in a high technology company, that acts in defense e aerospace sectors, an integrated planning system that uses simulation and optimization as support tools for production planning system is suggested.

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Características da manufatura ágil	15
Figura 3.1 – Evolução histórica dos <i>ERPs</i>	22
Figura 3.2 – Métodos para a redução da incerteza	25
Figura 6.1 – Míssil ar-ar MAA-1	48
Figura 6.2 – Vista explodida do radar SCP-01	48
Figura 6.3 – <i>Layout</i> simplificado das áreas estudadas, com os respectivos recursos	51
Figura 6.4 – Fluxograma do processo mapeado.	56
Figura 6.5 – <i>Layout</i> do sistema modelado	59
Figura 6.6 – <i>Layout</i> com a representação das rotas possíveis	60
Figura 6.7 – Atributos utilizados no modelo de simulação	64
Figura 6.8 – Representação da regra de decisão para priorização de itens nas filas	65
Figura 6.9 – Fatores de entrada selecionados e função objetivo	66

Lista de Tabelas

Tabela 6.1 – Resumo dos resultados obtidos em cada rodada do experimento	67
Tabela 6.2 – Resumo dos experimentos realizados	69
Tabela 6.3 – Estimativa de redução de custos na produção após otimização	69

Lista de Quadros

Quadro 2.1 – Atributos de uma organização ágil	11
Quadro 2.2 – Características dos sistemas de produção flexível	12
Quadro 4.1 – Adaptado de atributos de uma organização ágil	37
Quadro 6.1 – Relação dos recursos e respectivos códigos	50
Quadro 6.2 – Horário dos turnos	52
Quadro 6.3 – Funcionários x recursos x turnos de trabalho	52
Quadro 6.4 – Relação Recursos x Número da Rota	54
Quadro 6.5 – Exemplo da lógica utilizada para definir rotas	61
Quadro 6.6 – Exemplo dos resultados obtidos com o uso do modelo de simulação	63

Lista de Abreviaturas

AE	Algoritmo evolutivo
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CAPP	<i>Computer-Aided Process Planning</i>
CIMS	<i>Computer Integrated Manufacturing System</i>
CNC	<i>Computerized Numeric Control</i>
EC	<i>Eletronic Commerce</i>
EDI	<i>Eletronic Data Interchange</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FMS	<i>Flexible Manufacturing System</i>
MRP	<i>Material Requirement Planning</i>
MRPII	<i>Manufacturing Resource Planning</i>
PCP	Planejamento e controle da produção
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
SO	<i>Simulation Optimization</i>
TI	Tecnologia da informação
TQC	<i>Total Quality Control</i>
VRS	<i>Virtual Reality Software</i>

INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se algumas considerações iniciais, o objetivo do trabalho e sua relevância. Também são apresentadas a metodologia e a estrutura utilizada na dissertação.

1.1 Considerações iniciais

Mudança tem sido umas das palavras-chave utilizada nos processos de manufatura. Segundo Gunasekaran (1999), torna-se cada vez mais difícil assegurar o sucesso ou mesmo a sobrevivência na manufatura. Este fato está enraizado na emergência da nova era de negócios que tem a “mudança” como uma das suas principais características. Esta situação crítica tem levado a uma grande revisão nas prioridades dos negócios, na visão estratégica e na viabilidade de modelos convencionais e até de modelos relativamente contemporâneos e métodos desenvolvidos a um bom tempo atrás.

A busca da melhoria do desempenho tem levado gerentes a aderir aos princípios utilizados na manufatura enxuta e na manufatura ágil. Para Narasimhan *et al.* (2006) as empresas de manufatura têm se esforçado para melhorar o desempenho das plantas em função do aumento da competição.

Segundo Phillips (1999), a primeira fase da transição para uma empresa se tornar ágil é a adoção da filosofia da manufatura enxuta, pois esta proporciona a entrega de bens com a obtenção dos índices máximos nos quatro critérios ganhadores de pedido: preço, qualidade, entrega no prazo e disponibilidade na quantidade necessária.

Considerando-se o foco na eliminação dos desperdícios, a indústria aeroespacial já vem adotando práticas consagradas da manufatura enxuta, muito embora James-Moore e Gibbons (1997) tenham observado em seus estudos que devido às características das companhias que produzem *SVG* (*super value goods*), e na qual se enquadra a industrial de defesa e aeroespacial, estas tenham que promover modificações no sistema de manufatura enxuta para a obtenção de bons resultados.

A manufatura ágil pode vir a se tornar o representante das adaptações das práticas da manufatura enxuta para empresas que trabalham com os *SVG* e que tenham como características principais a produção em baixo volume, de itens com alta diferenciação, e baixa repetição.

Entender o paradigma da manufatura ágil pode ser um diferencial importante na busca do melhor desempenho operacional. O que se percebe, no entanto, é que a falta de uma completa compreensão é também prejudicada pela falta de ferramentas que auxiliem os gerentes no complexo processo de decisão. A manufatura ágil apresenta como um dos seus alicerces a rápida tomada de decisões frente aos mais variados tipos de cenários possíveis. Um dos pontos críticos onde a tomada de decisão pode ser considerada estratégica é a programação da produção.

Alguns pesquisadores como Koh *et al.* (2000), Caridi e Cigolini (2002) e Moon e Phatak (2005) demonstram algumas limitações do sistema *MRP* (*Material Requirement Planning*) que somadas às dificuldades apresentadas pelo novo paradigma da manufatura ágil pode tornar quase impraticável um gerenciamento com bons resultados. A simulação de eventos discretos surge como uma possível ferramenta que utilizada em conjunto ao *MRP* pode minimizar ou até eliminar as deficiências apontadas pelos pesquisadores.

O PCP é responsável pelo seqüenciamento das operações, ou seja, por definir as prioridades (a ordem) segundo as quais as atividades devem ocorrer num sistema de operações, no intuito de se atingir um conjunto de objetivos de desempenho. O problema é que este conjunto de decisões, conforme o tipo de sistema produtivo, pode ser muito complexo, principalmente em função do volume de diferentes variáveis que podem estar envolvidas (CORRÊA e CORRÊA, 2005).

Simulação em conjunto com a otimização representa uma possibilidade de se contornar o problema da complexidade envolvida nas regras de seqüenciamento. O uso integrado da simulação + otimização pode reduzir o tempo de processamento através do seqüenciamento dos itens em produção, o que pode levar a uma melhora no desempenho geral do sistema, pois segundo Corrêa e Corrêa (2005), o tempo de espera em fila, corresponde em geral a mais de 80% do tempo de atravessamento em processos *job shop* que utilizam a abordagem tradicional de administração de produção.

Job shop ou processo por tarefa consiste da produção de pequenos lotes, de uma grande variedade de produtos, com variados roteiros de fabricação, em geral associados com arranjos físicos funcionais, nos quais os equipamentos são agrupados por função, para permitir que os fluxos percorram qualquer roteiro que seja, eventualmente necessário.

Para Harrel *et al.* (2002), a simulação vem se tornando cada vez mais viável financeiramente. A simulação baseada em PC vem conseguindo eliminar os altos custos de processamento em computador e a mais nova geração de *softwares* vem apresentando reduções consideráveis no tempo necessário para a construção do modelo.

Duarte (2003), observa que não basta ter os recursos tecnológicos à disposição, é necessário ter os recursos humanos disponíveis e treinados. Esta barreira vem aos poucos caindo, pois um dos fatores que a cada dia vem contribuindo mais à transformação da simulação de eventos discretos em ferramenta de uso diário é a disseminação desta entre as equipes de engenharia e planejamento e controle de produção (PCP) das empresas. O modelador está deixando de ser mais um membro da equipe de trabalho, pois o seu papel vem sendo assumido por especialistas que já fazem parte do grupo. Entre as facilidades de se ter um especialista que domine as técnicas de desenvolvimento de modelo de simulação está o fato de se conseguir a redução, quando não a eliminação, de possíveis erros na transformação do modelo conceitual no modelo computacional.

1.2 Objetivo do trabalho

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um modelo de simulação de eventos discretos que possa ser utilizado como ferramenta auxiliar e complementar do sistema planejamento e controle da produção em empresas ligadas aos setores de defesa e aeroespacial.

Utilizando-se o modelo desenvolvido espera-se uma melhoria na previsibilidade e redução de prazos fornecidos para a fabricação de componentes em um ambiente *job shop*. Espera-se também que a utilização de modelos de simulação, do sistema estudado, permita uma melhor compreensão do funcionamento da manufatura em um ambiente *job shop* com características que apontam para a necessidade da adoção de um sistema de manufatura ágil.

1.3 Relevância do trabalho

Espera-se com este trabalho contribuir na busca por transformar a simulação de eventos discretos numa ferramenta de uso comum para o planejamento da produção. Para que tal objetivo seja alcançado é preciso que se quebre o paradigma do alto custo envolvido no desenvolvimento de um modelo de simulação.

A manufatura de produtos que atendam ao mercado de defesa militar e aeroespacial apresenta características peculiares pouco estudadas e o uso da simulação de eventos discretos para o entendimento deste tipo de ambiente e como ferramenta de planejamento pode ser uma alternativa viável.

Com profissionais treinados da própria área, a facilidade cada vez maior de se desenvolver modelos de simulação e a necessidade de respostas rápidas e precisas em um ambiente em

constante mudança espera-se que a simulação de eventos discretos realmente venha a se tornar uma ferramenta de uso diário para auxiliar gerentes na tomada de decisões no planejamento da produção num ambiente de manufatura ágil.

1.4 Metodologia de pesquisa

O método de pesquisa a ser utilizado é a simulação. A pesquisa se realizará com a análise de um sistema de manufatura baseado em um ambiente *job shop*.

Segundo Bertrand e Fransoo (2002), a pesquisa baseada em modelos quantitativos parte do pressuposto que é possível a construção de modelo objetivos que explicam o comportamento (ou parte) de processos operacionais da vida real ou podem capturar os problemas de tomada de decisão (ou parte) enfrentados pelos gerentes em processos operacionais da vida real.

O desenvolvimento do modelo de simulação, pelas as etapas propostas no próprio trabalho, permitirão avaliar aspectos peculiares de sistemas de produção submetidos à influência de mudanças constantes, inclusive nas políticas de prioridades, e à disputa de recursos entre a produção seriada, de baixo volume, e o desenvolvimento de protótipos.

Bertrand e Fransoo (2002) consideram ainda que a pesquisa quantitativa axiomática com o uso da simulação computacional deve ser utilizada quando o modelo ou o problema é muito complexo para a análise matemática formal. Este tipo de pesquisa geralmente leva a resultados de baixa qualidade científica em comparação com pesquisas que fazem uso da análise matemática, mas a relevância científica do processo ou problema estudado pode ser muito maior. Isto ocorre porque a simulação computacional pode lidar com uma maior variedade de modelos científicos em comparação com a análise matemática.

Busca-se com a pesquisa realizada e o modelo de simulação desenvolvido a confirmação das seguintes hipóteses:

1. Um modelo de simulação de eventos discretos pode ser utilizado, pela área de PCP, como uma ferramenta de uso diário, para auxiliar e complementar o sistema *MRP*.
2. A combinação do modelo de simulação e a otimização podem trazer benefícios além da simples previsão de cenários futuros, melhorando o desempenho do sistema analisado.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo refere-se à introdução, com algumas considerações iniciais, o objetivo do trabalho e sua relevância, a metodologia e a

estrutura utilizada na dissertação. No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a manufatura ágil. O terceiro capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o planejamento e controle da produção. O quarto e quinto capítulos fazem menção à simulação e a otimização respectivamente. O sexto capítulo traz informações sobre a empresa onde se realizou o estudo de caso e a aplicação da metodologia na solução do problema identificado. O sétimo capítulo apresenta as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

MANUFATURA ÁGIL

2.1 Considerações iniciais

Mudança constante é o que tem caracterizado o ambiente de negócios neste século XXI. Agilidade é a resposta esperada das organizações que desejam sobreviver à nova era. A manufatura ágil aparece como o novo paradigma dos sistemas de manufatura e visa propiciar a resposta esperada pelo mercado (GUNASEKARAN, 1999). Este capítulo tem a finalidade de apresentar conceitos da manufatura ágil e as vantagens vinculadas à adoção do sistema.

2.2 Introdução

A manufatura ágil vem sendo considerada por alguns pesquisadores, como Yusuf *et al.* (1999), o novo paradigma da manufatura. Ainda segundo os mesmos autores, o conceito de agilidade relacionado à manufatura começou a ser desenvolvido no início de década de 90 nos Estados Unidos e os estudos iniciais tinham como objetivo garantir a liderança dos Estados Unidos na área de manufatura.

Cada vez mais a manufatura ágil vem sendo reconhecida como uma condição necessária para a competitividade. Para Sharifi e Zhang (1999) tem sido cada vez mais difícil o sucesso e a sobrevivência na manufatura. A causa seria o surgimento de uma nova era de negócios que teria a mudança como uma de suas principais características.

Gunasekaran (1999) considera que a ênfase atual da manufatura está na adaptabilidade a mudanças no ambiente de negócios e na forma pró-ativa de se aproximar do mercado e das necessidades dos clientes com o uso de métodos de cooperação como as organizações virtuais.

A manufatura ágil também vem sendo considerada como o próximo passo evolucionário dos sistemas de produção, segundo Booth (1996), Duguay *et al.* (1997), Phillips (1999), Hormozi (2001) e Vázquez-Bustelo e Avella (2006). Considerando-se a evolução dos sistemas de produção têm-se as seguintes etapas: a produção artesanal, a produção em massa, o *lean production*, ou produção enxuta e a quarta era ou etapa evolucionária que seria a manufatura ágil.

Jin-Hai *et al.* (2003) consideram a manufatura ágil não só evolucionária, pois foi desenvolvida com base em sistemas de gerenciamento e tecnologias já existentes, mas também revolucionária, pois rompe com muitos conceitos dos sistemas existentes. A revolução estaria na nova combinação integrada de competências e tecnologias que permitiriam a criação de vantagens colaborativas.

A evolução tende a atingir todas as empresas, pois segundo Sharifi e Zhang (2001), mesmo as empresas que operam em condições relativamente estáveis, com boas posições no mercado estão deparando com mudanças rápidas e inesperadas em seus ambientes de negócio.

Para Booth (1996) a agilidade na manufatura não é apenas uma questão de oportunidade, mas em muitos casos trata-se de um ameaça a ser vencida. Desta forma o sistema tanto pode ser utilizado para atingir múltiplos nichos de mercado, como também para fazer frente a responsividade e a personalização oferecida pelos concorrentes.

2.3 Manufatura Ágil

Vários autores vêm ao longo dos anos tentando conceituar o que vem a ser agilidade no contexto da manufatura. O conceito de agilidade na manufatura e da própria manufatura ágil confundem-se em muitos casos.

Segundo Gunasekaran *et al.* (2002) e Vázquez-Bustelo e Avella (2006) o termo manufatura ágil é utilizado algumas vezes de forma incorreta para referenciar conceitos tais como manufatura flexível, manufatura enxuta ou customização em massa.

Hormozi (2001) considera agilidade como estar apto a reconfigurar operações, processos e relacionamentos nos negócios, de forma eficiente, ao mesmo tempo em que se consegue o desenvolvimento em um ambiente de constantes mudanças. O autor considera ainda a manufatura ágil como um novo método de manufatura onde se produz com alta qualidade, produtos livres de defeitos e em um tempo de atravessamento reduzido. É um sistema que permite a personalização de produtos, entregues onde e quando o cliente desejar, sem os altos custos associados, fazendo uso de alianças virtuais e mão-de-obra flexível.

Para Yusuf *et al.* (1999) agilidade é a exploração bem sucedida de bases competitivas (velocidade, flexibilidade, inovação pró-ativa, qualidade e lucratividade) com a integração de recursos reconfiguráveis e das melhores práticas em um ambiente de amplo conhecimento para prover produtos e serviços direcionados a clientes em um ambiente de rápidas mudanças no mercado.

Duguay *et al.* (1997) utilizam o termo flexibilidade/agilidade para descrever o que consideram a habilidade de adaptação rápida e com constante coordenação em um ambiente de rápidas e constantes mudanças.

Booth (1996) considera que o objetivo da manufatura ágil é criar um negócio habilitado a produzir em volume, mas também entregar em uma larga variedade de nichos de mercado simultaneamente.

Segundo Jin-Hai *et al.* (2003) o conceito de manufatura ágil envolve a habilidade de cooperação com mudanças pelo uso das competências principais dos parceiros para atender produtos personalizados. Isto requer o uso de diversas tecnologias em um sistema integrado. Objetiva-se a economia de oportunidade ao invés da economia de escala, atendendo-se desta forma até mesmo pequenos nichos de mercado, sem o alto custo associado à personalização. Agilidade compreende a rápida formação de alianças entre várias companhias para a introdução de novos produtos no mercado.

A manufatura ágil é, em suma, a resposta que as empresas de manufatura têm utilizado, ainda como vantagem competitiva, para atender a um ou a vários nichos de mercado, em um curto espaço de tempo, com produtos e serviços altamente personalizados, com uso da rápida reconfiguração de seus recursos e/ou de seus parceiros, visando ainda responder às rápidas e constantes mudanças do mercado em que atua ou pretende atuar.

2.3.1 A evolução dos sistemas de produção

Phillips (1999) considera que o *lean production* é um passo obrigatório para se atingir a manufatura flexível.

Duguay *et al.* (1997) adotam a mesma abordagem de Phillips (1999) que considera a produção flexível/ágil como a evolução direta do sistema de produção em massa. A diferença entre as duas abordagens está no fato dos primeiros considerarem o *lean production* uma melhoria do sistema de produção em massa, onde apenas obteve-se sucesso na eliminação de desperdícios.

Jin-Hai *et al.* (2003) consideram o *lean production* uma simples melhoria do sistema de produção em massa, ao passo que a manufatura ágil supera os moldes da produção em massa com a produção de itens altamente personalizados. Uma companhia enxuta pode ser considerada muito produtiva e eficiente do ponto de vista de custos na produção de bens e serviços, por outro lado uma companhia ágil pode ser caracterizada pela velocidade e por ser uma organização eficiente que aprende. *Lean production* é muito boa para coisas que se pode controlar, mas a manufatura ágil lida com coisas sobre as quais não se tem controle.

James-Moore e Gibbons (1997) estudaram a aplicabilidade do sistema *lean production* em empresas fora do setor automobilístico e eletrônico, onde historicamente o sistema já é utilizado há anos. A pesquisa realizada focou principalmente em empresas com características peculiares de produção com alto valor agregado, baixo volume e baixa repetição. As *SVG* (*super value goods*) são empresas que se caracterizam pelos diferenciais citados anteriormente e abrange particularmente empresas do setor aeroespacial civil. Como resultado da pesquisa, descobriu-se que nem todas as práticas consideradas como parte do conceito *lean production* são aplicadas nas empresas estudadas. Os autores apontam duas possibilidades: as empresas estudadas não completaram ainda todo o percurso necessário para a implantação do *lean production* e/ou algumas práticas não são aplicáveis ao setor estudado.

Apesar da conclusão do estudo realizado por James-Moore e Gibbons (1997) não direcionar a implantação da manufatura ágil, o resultado fortalece a afirmação de outros autores como Duguay *et al.* (1997) e mais recentemente Jin-Hai *et al.* (2003) de que o sistema *lean production* não atende a todas as necessidades e pressões que o mercado vem impondo atualmente às empresas de manufatura. O sistema *lean production* depende de continuidade da demanda e empresas que não possuem esta característica, no mercado em que atuam, tendem a não conseguir a devida implantação do sistema, como foi provado na pesquisa citada anteriormente. Como a tendência é de mudanças constantes e rápidas no mercado (DUGUAY *et al.*, 1997), será cada vez mais difícil obter-se a continuidade da demanda necessária para se efetivar um sistema de produção baseada, por exemplo, em princípios como o *kanban*.

Gunasekaran *et al.* (2002) em sua pesquisa realizada na GEC – Marconi Aerospace (GECMAe) apresentam a possibilidade de se balancear entre as características do *lean production* para os produtos maduros e estabilizados e os atributos de agilidade para a nova geração de produtos. Propõe-se desta forma que o foco da agilidade, com a utilização de sistemas baseados no conhecimento para armazenagem de dados, possa auxiliar em futuros projetos e o foco na eliminação de desperdícios possa reduzir o custo unitário, os itens em processo e os tempos de passagem. Para a GECMAe, representante típico dos setores de defesa e aeroespacial, o caminho proposto para agilidade esbarra na transição entre os velhos e os novos produtos.

2.3.2 Características do sistema de manufatura ágil

Booth (1996) considera que a melhor forma de se atender ao mercado é redesenhando os processos e produtos da companhia para se atender às expectativas dos clientes tanto em personalização como em receptividade, ou seja, tornando-se ágil.

Um dos princípios da manufatura ágil está na simultaneidade. Utilizando-se da simultaneidade é possível a entrega rápida de produtos em pequenas quantidades, chegando-se até mesmo a quantidade unitária, enquanto se reduz a barreira do compartilhamento de conhecimento.

Muitas companhias já possuem as ferramentas necessárias para atingir a agilidade sendo que o que realmente falta são pequenas adaptações e a integração entre elas. A vantagem competitiva vem através da presença de uma forte capacidade funcional (competência principal).

A combinação de organizações que são orientadas por processos, que possuem times para trabalhar de forma simultânea e utilizam, de forma consistente, o sistema de informação, respondem mais rápida e flexivelmente, tanto para as demandas atuais, como para futuras mudanças.

Segundo Jin-Hai *et al.* (2003) os elementos críticos da manufatura ágil são:

1. Processo estratégico:

A manufatura ágil é um processo estratégico de resposta para o ambiente competitivo de constantes e imprevisíveis mudanças pela reação rápida e efetiva às mudanças do mercado. Diferentes empresas tendem a seguir diferentes estratégias para responder às mudanças nos negócios.

2. Múltiplos vencedores:

Nenhuma empresa tem os recursos necessários para atender a todas as oportunidades, desta forma é necessária à formação de alianças estratégicas. A formação de organizações virtuais dá uma nova forma às parcerias, pois permite que todos ganhem. A base deste sistema é a cooperação e a confiança.

3. Integração:

Refere-se à integração de várias tecnologias e métodos gerenciais, onde a manufatura ágil seria o ponto de encontro entre estes conceitos.

4. Competência principal:

As mudanças no ambiente não permitem que companhias isoladas tenham os recursos suficientes para cada etapa do processo de criação de valor. A integração de competências

principais requer aprendizado organizacional coletivo, profundo envolvimento e comprometimento para cruzar as fronteiras da empresa.

As empresas ágeis devem estar comprometidas com a contínua educação e treinamento da mão-de-obra, uma vez que aprendizado contínuo é um atributo da agilidade.

5. Tecnologia da Informação

É uma ferramenta chave para as organizações virtuais, pois permite que indivíduos e times recebam informações no tempo certo.

O **Quadro 2.1** descreve os atributos relacionados à organização ágil.

Quadro 2.1 – Atributos de uma organização ágil. YUSUF *et al.* (1999).

Domínio de decisão	Atributos relacionados
Integração	Execução de atividades de forma simultânea. Integração da empresa. Informação acessível a funcionários.
Competência	Capacidade de multi-risco. Desenvolvimento de práticas de negócios difíceis de se copiar.
Times	Fortalecimento dos trabalhos individuais nos times. Times multifuncionais. Times além das fronteiras da companhia. Decisão descentralizada.
Tecnologia	Consciência tecnológica. Liderança no uso da tecnologia atual. Conhecimentos e habilidades destacando tecnologias. Tecnologia de produção flexível.
Qualidade	Qualidade além da vida do produto. Produtos com substancial valor agregado. Projeto correto na primeira vez. Ciclos de desenvolvimento curtos.
Mudanças	Melhoria contínua. Cultura de mudança.
Parcerias	Formação rápida de parceiras. Relacionamento estratégico com clientes. Relacionamento de proximidade com fornecedores. Relacionamento baseado na confiança com clientes/fornecedores.
Mercado	Introdução de novos produtos. Inovação direcionada a clientes. Satisfação de clientes. Resposta rápida às mudanças de requisitos do mercado.
Educação	Organização que aprende. Pessoas multi-habilidosas e flexíveis. Aumento das habilidades da mão-de-obra. Treinamento e desenvolvimento contínuo.
Bem-estar	Satisfação do funcionário.

O **Quadro 2.2** apresenta um resumo das características de um sistema de produção flexível.

Quadro 2.2 – Características dos sistemas de produção flexível. DUGUAY *et al.* (1997)

Características	Produção flexível/ágil
Objetivo primário	Melhorar a qualidade, custo e tempo simultaneamente.
Orientação principal	Clientes e processos.
Principal meio de melhoria	Melhoria contínua e inovação.
Mão-de-obra	A mão-de-obra realiza o produto, identifica e resolve problemas com o apoio de gerentes.
Fornecedores	Parceiros.
Estrutura organizacional	Orgânica.
Tecnologia	Sistêmica.
Avaliação do desempenho	Promove melhorias contínuas.

Com base nos atributos definidos anteriormente pode-se considerar, de forma resumida, que a manufatura ágil tem como principais características:

1. Processo estratégico de produção:

A forma de implantação depende do mercado em que a empresa atua, bem como as competências que a empresa possui. Em casos extremos sua implantação pode ser a garantia de sobrevivência ou até de liderança do mercado. Jin-Hai *et al.* (2003) avaliam que a manufatura ágil é a consequência da convergência de duas correntes evolucionárias de desenvolvimentos na manufatura: os avanços tecnológicos (*CIMS-Computer Integrated Manufacturing System*, *CAM-Computer-Aided Manufacturing*, *CAPP-Computer-Aided Process Planning*, *CNC-Computerized Numeric Control*, *FMS-Flexible Manufacturing System*, etc) e os progressos em técnicas (*TQC-Total Quality Control*, engenharia simultânea, *QFD-Quality Function Deployment*, *lean production*, etc). A estratégia a ser adotada é que considerará quais técnicas e tecnologias deverão ser utilizadas para fornecer o grau de agilidade necessária à empresa.

2. Organizações virtuais:

Utilizando-se as competências principais de cada parceiro e a rápida configuração de novas parcerias é possível o atendimento de forma rápida às mudanças de requisitos do mercado. A forma de se viabilizar e otimizar este novo conceito de parceria seria com o uso de organizações virtuais. O relacionamento passaria a ser algo além da simples troca comercial, pois passaria a ter uma conotação de aliança baseada na confiança. Hormozi (2001) reitera que corporações virtuais requerem cooperação organizacional para produzir itens que irão beneficiar todos os membros da organização.

3. Tecnologia da Informação:

A utilização de modernos recursos da tecnologia da informação é essencial para compor a infra-estrutura de funcionamento das organizações virtuais. Para Jin-Hai *et al.* (2003) os extraordinários avanços nas telecomunicações e na tecnologia dos computadores, tais como *CAD/CAM* (projeto auxiliado por computador e manufatura auxiliada por computador), *CMIS* (sistema de manufatura integrada por computador), *MRP* (planejamento de materiais), *ERP* (planejamento de recursos), *EC* (comércio eletrônico), *EDI* (transferência eletrônica de dados), *VRS* (*software* de realidade virtual), serviços de rede local, *internet/intranet/extranet* tornaram a agilidade possível.

Orady *et al.* (1997) descrevem que modelos de simulação de eventos discretos para sistemas de manufatura ágil podem ser desenvolvidos para auxiliar na análise da capacidade de processamento do sistema, determinação de gargalos nas operações, otimização do número de estoques de segurança e avaliação de diferentes sistemas de manuseio de materiais.

Segundo Gunasekaran (1999), certas metodologias de modelagem e ferramentas tem sido criadas para auxiliar no desenvolvimento de sistemas de manufatura ágil. Estas ferramentas concentram-se principalmente em aplicações de modelos orientados a objetos e programação utilizando C++ e outros *softwares* comerciais como Shell, Extend, Witness, Arena, Visual Basic e Microsoft Project. Ainda segundo o pesquisador, o uso da modelagem orientada a objetos tem sido largamente utilizada em células de manufatura ágil, pois a reutilização e fácil re-configuração destes modelos auxiliam no processo de modelagem rápida e tomada de decisões apropriadas para o efetivo controle de células de manufatura ágil.

4. Mão-de-obra:

Pode ser considerado um dos pontos chave para o sucesso da implantação do processo. Os funcionários das empresas que se dispõem a tornarem-se ágeis precisam ter multi-habilidades, serem flexíveis e com grande tendência a trabalhar em equipes. Yusuf *et al.* (1999) consideram que os times de trabalho devem ser multifuncionais e devem ir além das fronteiras da companhia. A gestão do conhecimento deve ser fortemente considerada. Para Jin-Hai *et al.* (2003) as empresas ágeis devem estar comprometidas com o contínuo treinamento e educação de sua mão-de-obra.

5. Competência principal:

A competência principal de cada empresa é que garantirá sua posição dentro da organização virtual. O seu desenvolvimento deve focar principalmente práticas difíceis de serem copiadas, para garantir desta forma uma vantagem competitiva. Jin-Hai *et al.* (2003) consideram que as empresas ágeis irão se concentrar na sua competência principal (aqueles aspectos que eles

fazem muito bem), enquanto outras funções ou serviços serão produzidos por seus parceiros dentro da organização virtual. Uma competência que deve ser comum a todas as empresas é a flexibilidade e a capacidade de reduzir drasticamente os tempos de atravessamento. Para Booth (1996) somente o uso da simultaneidade (processos simultâneos) e não do seqüenciamento de atividades permite que companhias executem os processos necessários ao desenvolvimento e à produção de itens de forma rápida.

6. Qualidade e velocidade:

O conceito de qualidade vai além da simples satisfação do cliente. Objetiva-se a qualidade além da vida útil do produto. A possibilidade de personalizações deve oferecer ao cliente uma experiência diferenciada. Yusuf *et al.* (1999) argumentam que os produtos devem ter um substancial valor agregado e uma das formas de se traduzir as necessidades dos clientes seria pelo uso do *QFD*. Para Booth (1996) o uso de processos simultâneos é a chave para redução drástica nos ciclos de desenvolvimento de produtos. Todo o processo, desde a formação de equipes multifuncionais passando pela formação de organizações virtuais, que envolve todo o ciclo de desenvolvimento do produto deve ser realizado no menor tempo possível. A velocidade é um fator que auxilia no aumento da fatia de mercado a ser conquistada. Em seu limite extremo pode garantir a liderança no setor de mercado em que se atua.

A **Figura 2.1** apresenta de forma esquemática as características da manufatura ágil e suas inter-relações. A mão-de-obra passa a fazer parte de mais de uma equipe multifuncional cruzando inclusive as fronteiras das organizações criando as chamadas organizações virtuais. Qualidade, velocidade e a tecnologia da informação sustentam a estrutura virtual dentro do processo estratégico.

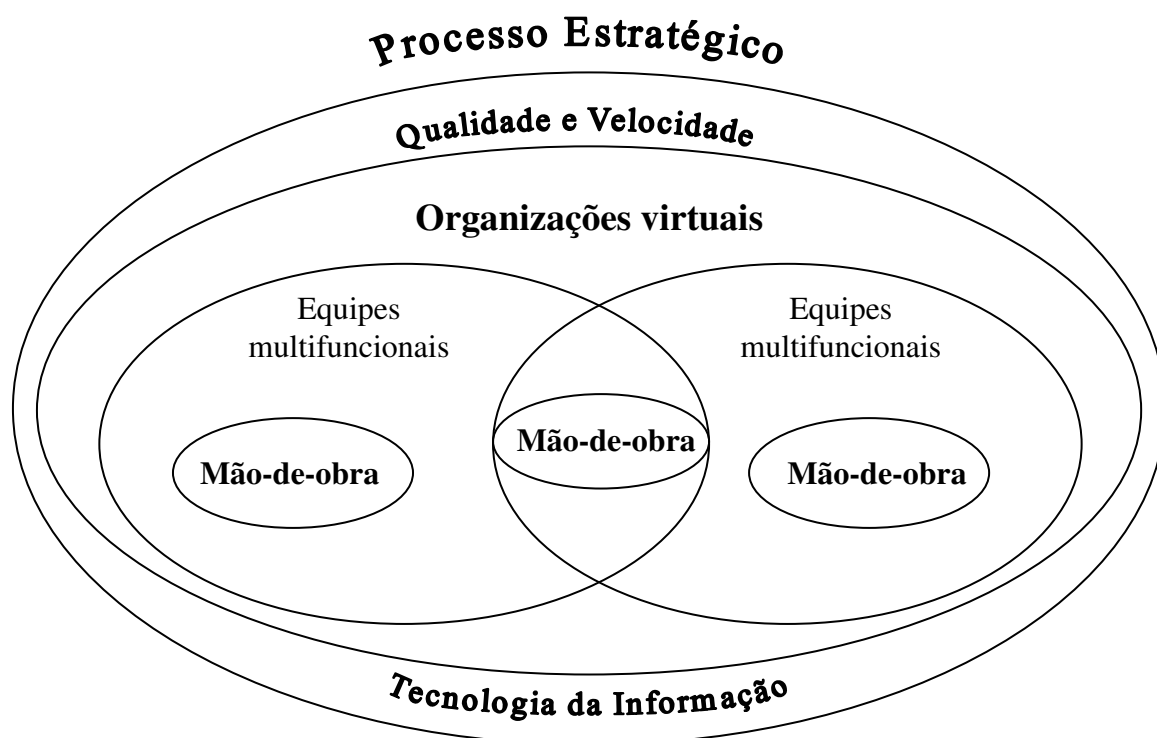


Figura 2.1 – Características da manufatura ágil

2.3.3 A implantação da manufatura ágil

Na visão de Sharifi e Zhang (2001) e Vázquez-Bustelo e Avella (2006) cada companhia responderá de forma específica e diferente às mudanças que vem ocorrendo atualmente no mercado, fazendo uso do desdobramento de suas próprias características ágeis. A agilidade na manufatura pode ser atingida pela implementação e integração de práticas apropriadas que forneçam as habilidades necessárias para a companhia responder adequadamente às mudanças. As práticas de manufatura já desenvolvidas e utilizadas no passado e as novas práticas introduzidas com o surgimento da manufatura ágil devem ser estrategicamente selecionadas e alinhadas para fornecer as habilidades para responder às mudanças.

Hormozi (2001) considera que o sucesso na implantação do novo sistema depende de mudanças em cinco áreas: regulamentações governamentais, cooperação nos negócios, tecnologia da informação, reengenharia e flexibilidade dos funcionários. A atuação nas cinco áreas citadas anteriormente seria:

- Mudanças governamentais que permitam e facilitem a criação de empresas virtuais formadas pela aliança estratégica de várias companhias;

- As empresas devem repensar a forma como realizam seus negócios. Devem se tornar mais criativas, mais flexíveis, inclusive considerando a possibilidade de atualizações dos produtos pós-vendas;
- Deve ser considerado o uso da tecnologia da informação para o comércio eletrônico e o fluxo de informações;
- Os processos de negócios devem ser reavaliados e reconstruídos para aumentar a eficiência e a sua efetividade;
- Os funcionários devem ser preparados para aceitar novos desafios, com o uso da criatividade e do conceito de constante aprendizado.

Sharifi e Zhang (2001) propõem uma metodologia que consiste em três estágios principais: a determinação da agilidade necessária à companhia e a seu grau de agilidade atual, a determinação das capacidades de agilidade requeridas para que a companhia se torne ágil e a identificação de fornecedores de agilidade ou práticas e ferramentas as quais podem trazer as capacidades necessárias à companhia. A metodologia consiste dos seguintes passos:

- Guias para agilidade.
- Um modelo de avaliação que inclui dois elementos:
 - Avaliação da necessidade de agilidade da organização.
 - Avaliação do nível atual de agilidade da organização.
- Avaliação ou análise da diferença.
- Formulação de uma estratégia e identificação de capacidades estratégicas necessárias para a companhia tornar-se ágil e aquelas perdidas na organização.
- Identificação de provedores de agilidade ou práticas ágeis.
- Implementação.
- Medição do desempenho e realimentação.

Para os autores a manufatura ágil, assim como toda a idéia moderna de gerenciamento de negócios, é um conceito adaptável cujo grau de implementação depende da necessidade de cada organização.

A implantação da agilidade pode ser entendida como uma série de etapas que devem ser executadas de forma planejada, a fim de não se perder o foco estratégico do sistema de produção. Considerando-se as propostas realizadas pelos autores anteriormente citados, pode-se enumerar as seguintes etapas para a implantação da manufatura ágil:

1. Entendimento pleno dos conceitos vinculados à manufatura ágil.

2. Avaliação do grau de agilidade necessária no mercado em que se atua ou pretende-se atuar. Sharifi e Zhang (2001) consideram que o grau de agilidade necessária à empresa é função de vários fatores, tais como turbulência no ambiente de negócios, o ambiente no qual a empresa compete e as características da companhia em si.
3. Avaliação do grau de agilidade atual da empresa. Sharifi e Zhang (1999) classificam a agilidade em função das respostas às mudanças que ocorrem. As mudanças podem ser classificadas nas seguintes categorias: mudanças no mercado, mudanças nos critérios competitivos, mudanças nos requisitos dos clientes, mudanças na tecnologia e mudanças em fatores sociais.
4. Análise das diferenças entre os requisitos do mercado e as competências disponíveis na empresa, em relação à agilidade.
5. Definição de estratégia para obtenção das características de agilidade necessárias, conforme avaliação realizada no item anterior. Para Sharifi e Zhang (2001), isto requer a detecção, reconhecimento e classificação das mudanças enfrentadas pela companhia, assim como a análise do impacto que cada mudança trará para a companhia.
6. Avaliação das competências necessárias para atuar no mercado. Sharifi e Zhang (1999) consideram os seguintes itens referentes às competências que as empresas devem possuir:
 - a. Visão estratégica.
 - b. Tecnologia apropriada (*hard e software*) ou habilidade tecnológica suficiente.
 - c. Qualidade nos produtos e serviços.
 - d. Efetividade nos custos.
 - e. Alta taxa de introdução de novos produtos.
 - f. Gestão de mudanças.
 - g. Pessoas habilitadas, competentes e conhecedoras.
 - h. Efetividade e eficiência nas operações.
 - i. Cooperação (interna e externa).
 - j. Integração.
7. Avaliação das competências principais da empresa.
8. Determinação das diferenças e análise de possíveis parceiros que possuam, como competência principal, as competências necessárias observadas.
9. Formação de parcerias através de organizações virtuais. Para Jin-Hai *et al.* (2003) em função das mudanças que vem ocorrendo no ambiente de negócios, os recursos de uma única empresa não são suficientes ou adequados para cada etapa do processo de criação de

valor. As empresas devem se concentrar em sua competência principal, enquanto outras funções ou serviços devem ser produzidos por seus parceiros.

10. Formação de times multifuncionais compostas por membros das várias companhias participantes da organização virtual. Jin-Hai *et al.* (2003) consideram que a exploração das competências principais das empresas participantes da organização virtual depende da habilidade da corporação em conseguir a integração, comunicação e cooperação entre os diferentes parceiros. A coordenação deve ser feita pelos times multifuncionais. O uso de equipes multifuncionais também é vital para o aumento da velocidade das empresas, pois permite a concorrência nos processos. Booth (1996) afirma que só a concorrência, ou seja, o não seqüenciamento de processos, pode permitir que companhias ágeis atendam aos objetivos de rápida entrega de produtos em pequenas quantidades. A engenharia simultânea não é uma novidade, mas ainda é raramente praticada hoje em dia.
11. Preparação da infra-estrutura de tecnologia da informação para o rápido compartilhamento de informações entre os membros da organização virtual. Hormozi (2001) e Jin-Hai *et al.* (2003) tem o mesmo ponto de vista em relação à tecnologia da informação ser um fator de grande importância na infra-estrutura das organizações virtuais. Com o uso desta infra-estrutura as alianças dinâmicas são possíveis. A troca de informações em tempo real permite o incremento no comércio eletrônico e a engenharia simultânea além das fronteiras das empresas.

2.4 Considerações finais

A manufatura ágil é o grande paradigma da produção do século XXI. Apesar de emergente, o conceito vem sendo cada vez mais alvo de estudos, pois são fortes os argumentos que indicam ser este o caminho para a liderança na manufatura. A definição cada vez mais detalhada de conceitos inicialmente especulativos vem ganhando sustentação com base nas primeiras pesquisas de campo realizadas por pesquisadores como Sharifi e Zhang (1999 e 2001) e Vázquez-Bustelo e Avella (2006).

Estudos mais detalhados devem ser realizados para se determinar o modelo mais próximo à realidade de cada empresa. Os passos sugeridos para a implantação da manufatura ágil devem ser aprimorados pelas pesquisas de campo. Os resultados devem ser criteriosamente analisados, pois somente as melhores práticas devem ser efetivamente consideradas.

Vázquez-Bustelo e Avella (2006) em seu estudo de caso consideraram que o tipo de produto ou processo de produção podem limitar certas alternativas estratégicas da manufatura ágil, mas não impedem a implementação do modelo.

A análise das mudanças no ambiente de negócios precisam ser monitorados com rigor, pois estes serão os guias para direcionar a estratégia de implantação do sistema de manufatura ágil. O assunto manufatura ágil ainda está longe de ser algo palpável e de simples implantação. Por ser um conceito estratégico deve ser muito bem sustentado por princípios que realmente garantam a liderança da organização no mercado.

PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

3.1 Considerações iniciais

Segundo Russomano (2000), os sistemas de Planejamento e Controle de Produção representam um papel decisivo entre as ações que vêm sendo tomadas para enfrentar a competição mundial e as crescentes exigências dos consumidores. Melhor qualidade, maior variação de modelos, entregas mais confiáveis e menores custos estão entre as expectativas dos consumidores.

Este capítulo tem a finalidade de apresentar o Planejamento e Controle da Produção (PCP) como uma das áreas chave para obtenção da manufatura ágil.

3.2 Introdução

Russomano (2000) considera que entre as responsabilidades do PCP estariam incluídos a organização e o planejamento dos processos de fabricação, através do planejamento do seqüenciamento de operações, da programação da movimentação e da coordenação da inspeção e do controle de materiais, métodos, ferramental e tempos operacionais. O objetivo final seria a organização do suprimento e movimentação de recursos humanos, utilização de máquinas e atividades relacionadas, de modo a atingir os resultados de produção desejados, em termos de quantidade, qualidade, prazo e lugar.

Segundo Koh *et al.* (2000), a habilidade de uma empresa em satisfazer os requisitos dos clientes em termos de quantidade, prazo de entrega, projeto de produto e qualidade do produto, são essenciais para se permanecer no negócio.

Caridi e Cigolini (2002) consideram que a pressão da competição baseada no tempo, a inexorável propagação da informação e das tecnologias de comunicação dentro das organizações e a velocidade de resposta requerida pela era da Internet tem forçado companhias a reconhecer a necessidade de serem ágeis, com o uso de atividades efetivas de planejamento da manufatura, para amenizar a incerteza vinda da variação relativa ao mercado.

Para Koh e Simpson (2005), a nova economia implica no *e-business* (comércio eletrônico) e em empresas direcionadas ao conhecimento, que utilizam métodos mais responsivos e ágeis para

lidar com as mudanças e incertezas nos ambientes de manufatura dinâmicos. Responsividade e agilidade são as chaves das vantagens competitivas para empresas de manufatura.

Koh e Gunasekaran (2006) consideram que as empresas de manufatura de hoje devem ser rápidas em responder e aptas a lidar com a incerteza. Devem também responder de forma robusta para manter ou melhorar a competitividade nos negócios. Para responder a incertezas na demanda, nos processos de fornecimento e de produção, o papel e o desempenho do sistema de planejamento e controle da produção, dentro de uma empresa de manufatura estão sendo desafiados.

Para Corrêa e Corrêa (2005) embora os efeitos das decisões sobre a capacidade sejam sentidos a curto, médio e longo prazo, em geral as decisões sobre capacidade produtiva têm impacto estratégico importante, pois:

1. envolvem grandes somas de capital investido – não raro, incrementos de capacidade produtiva podem custar dezenas ou centenas de milhões de reais;
2. muitas vezes, as decisões sobre alterações de níveis de capacidade produtiva em operações requerem grande antecedência;
3. uma decisão de capacidade produtiva equivocada tem impacto direto no desempenho operacional da unidade produtiva.

No sistema de manufatura ágil todas as funções descritas como sendo de responsabilidade do PCP estão presentes, no entanto, soma-se a estas atividades o fator agilidade, que é uma das formas de resposta às mudanças e incertezas presentes no mercado.

3.3 O sistema MRP

Uma das principais ferramentas de apoio ao PCP é o *MRP (Material Requirement Planning)*. Os primeiros computadores começaram a ficar disponíveis para o uso comercial prático – ainda que a preços enormes se comparados aos atuais – nos anos '60. Nesta época, em termos de apoio operacional à tomada de decisão, uma das primeiras aplicações dos recém introduzidos computadores foi a automatização do tratamento das listas de materiais componentes dos produtos – as chamadas *bill of materials (BOM)*. Já nos anos '70, passou a ser possível acrescentar às respostas sobre “o que” e “quanto”, a informação de “quando produzir e comprar”, já que a inclusão da variável tempo de ressuprimento – ou no jargão da área, o tempo de atravessamento de cada item então permitia que se planejassem, não só as quantidades das ordens de produção e compras, mas também exatamente em que momentos futuros estas ordens deveriam ser liberadas e recebidas. Surgia uma poderosa ferramenta de

gestão, o *MRP* (sigla para *Material Requirements Planning*, ou planejamento da necessidade de materiais) (CORRÊA *et al.*, 2001)

No final dos anos 1970, o escopo do *MRP* foi expandido para incluir recursos e o *MRP II* (*Manufacturing Resource Planning*) tornou-se disponível. O foco do *MRP II* está nas operações internas. Finalmente nos anos 1990, os desenvolvedores de software criaram o *ERP/ERP II* (*Enterprise Resource Planning*), um conjunto completo de aplicações capazes de ligar todos os processos internos, bem como os processos interorganizacionais (BEHESHTI, 2006).

A **Figura 3.1** representa a evolução dos sistemas de *ERPs* em comparação à evolução dos computadores.

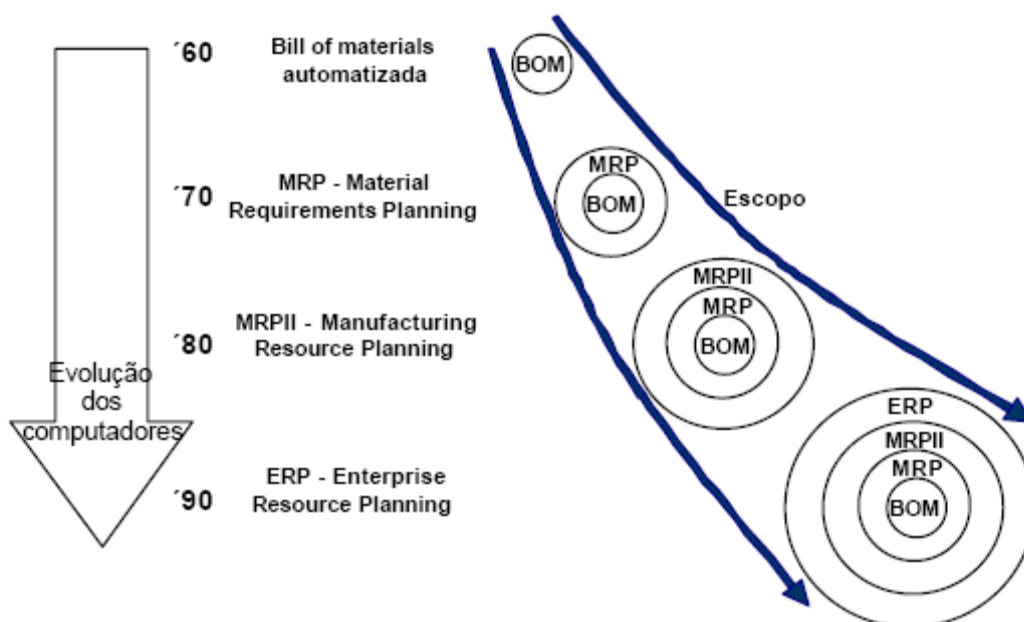


Figura 3.1 – Evolução histórica dos *ERPs* (CORRÊA *et al.*, 2001)

Para Beheshti (2006) a popularidade do *ERP* pode ser atribuída a sua capacidade de melhorar a rentabilidade potencial de uma organização pela redução de tempo e custos de todas as atividades do negócio. O sistema é particularmente útil em fornecer aos gerentes informações necessárias para a tomada de decisões críticas.

Moon e Phatak (2005) apresentam um ponto de vista diferente, pois, segundo os pesquisadores, os sistemas atuais de *ERP* foram projetados principalmente para as transações de contabilidade, ou seja, os sistemas de *ERP*, em sua forma original, são bons para a monitoração e registro da contabilidade dos eventos, mas isto não significa que auxiliem no processo de tomada de decisão.

Embora haja divergência de opiniões, verifica-se que o *ERP* é a abordagem atualmente mais popular para o desenvolvimento de um sistema integrado de amplitude empresarial.

Beheshti (2006) observa que a implementação de um sistema *ERP* geralmente exige mudanças fundamentais na forma como os empregados e as áreas funcionais realizam seu trabalho. A mudança pode vir a acontecer por dois motivos:

1. manter-se competitivo, ou
2. ganhar vantagem sobre a concorrência.

Outro ponto a ser considerado na implementação de um sistema *ERP* é relativo ao alto custo envolvido tanto na implementação, como na manutenção e neste aspecto há também uma convergência de opiniões dos pesquisadores Moon e Phatak (2005) e Beheshti (2006). O *ERP* deve ser avaliado do ponto de vista de investimento potencial que poderá reduzir os custos atuais trazendo um retorno substancial ao investimento.

Apesar de muitas empresas já adotarem sistemas de *ERP*, o planejamento e a programação da produção continuam sendo baseados em rotinas *MRP*, uma vez que a lógica *MRP* é utilizada como a função central do planejamento (MOON e PHATAK, 2005).

3.3.1 As mudanças e incertezas no ambiente de manufatura

Segundo Koh *et al.* (2000), durante o ciclo de planejamento/produção, existem muitas incertezas às quais as empresas devem responder. Estes requisitos dinâmicos afetam a operação eficiente de sistemas *MRP*. Tradicionalmente os sistemas *MRP* são bem definidos e estruturados, o que permite pouca flexibilidade. É necessário que se repense como o desempenho do sistema *MRP* e sistemas relacionados podem ser adaptados para atender as mudanças.

Koh e Simpson (2005) definem mudança como o efeito da incerteza na variação e ajuste de parâmetros, feito no planejamento de produção e sistema de controle, para refletir o estado atual do sistema de manufatura dinâmico, diferente da mudança cultural ou organizacional discutida na literatura de comportamento organizacional. No ambiente dinâmico de manufatura, clientes geralmente demandam tempos de atravessamento curtos, serviços de entrega perfeitos ou próximos à perfeição, redução do ciclo de vida do produto e aumento da personalização.

Para Caridi e Cigolini (2002) na origem das dimensões das incertezas podem ser considerados quatro tipos de variações, conforme a literatura: demanda, fornecimento, disponibilidade de máquina e desempenho do equipamento. Demanda é reconhecida como a fonte de incerteza mais difícil de se controlar, como pode ser confirmado pelo grande número de modelos dirigidos a este problema. Poucos modelos sequer consideram outras fontes de variação.

Observa-se que cada vez mais pressão sobre os gerentes para melhorar rapidamente seu desempenho empresarial e adaptar-se a mudanças e incertezas de forma a manter alguma vantagem competitiva.

Na manufatura ágil as constantes mudanças decorrentes do ambiente reforçam a ação da incerteza sobre o processo de planejamento da produção.

Koh e Simpson (2005) em sua pesquisa observaram que o *ERP* pode melhorar a velocidade de resposta e a agilidade às mudanças, mas não à incerteza. Desta forma, as PMEs (pequenas e médias empresas) podem criar uma vantagem competitiva, respondendo mais rapidamente às mudanças, fazendo uso do *ERP* como ferramenta de planejamento e controle de produção. Estas mudanças referem-se a qualquer informação que necessite atualização, por exemplo, extensão da data de entrega do pedido do cliente e alterações dimensionais no projeto do produto, no sistema *ERP*, antes da geração de pedidos de compra e ordem de serviço. Embora as mudanças sejam efeitos da incerteza. Os sistemas *ERP* não conseguem lidar com a incerteza por serem muito rígidos para enfrentar a natureza estocástica (aquela que ocorre aleatoriamente) e imprevisível das incertezas, que geralmente ocorre após o pedido de compra ou ordem de serviço ter sido emitido e liberado. Como resultado muitas PMEs utilizam uma gama de técnicas para atenuar os efeitos das variações para serem competitivas na entrega.

Caridi e Cigolini (2002) consideram que duas diferentes abordagens têm sido propostas para a redução dos efeitos da incerteza. Uma abordagem é baseada nas folgas nos recursos, por exemplo, estoques de segurança, tempos de atravessamento de segurança e capacidade de segurança. O método popular de estoques de segurança consiste na definição de um inventário pré-determinado de reserva, não considerado nos planos mestres e empregados em eventos não esperados. A técnica do tempo de atravessamento de segurança consiste no uso, para propósitos de programação, de um tempo de atravessamento médio, acrescentado de uma margem de segurança. Capacidade de segurança é definida como a folga de capacidade empregada para prevenir que o sistema de produção atinja a saturação completa.

A segunda abordagem utiliza a técnica de gerenciamento de pedidos para criar uma barreira contra as incertezas, com o uso do congelamento do plano mestre de produção ou com o uso do sobre-planejamento de pedidos. A técnica de congelamento do plano mestre de produção consiste em definir um horizonte de tempo para o plano mestre de produção (por exemplo, as próximas duas semanas) dentro do qual nenhuma modificação é permitida. A técnica do sobre-planejamento consiste em definir uma quantidade de produção a ser adicionada a cada pedido do cliente, quando da liberação da ordem de produção correspondente.

A **Figura 3.2** apresenta uma visão geral dos métodos utilizados para a redução da incerteza, de acordo com a pesquisa realizada por Caridi e Cigolini (2002), na literatura.

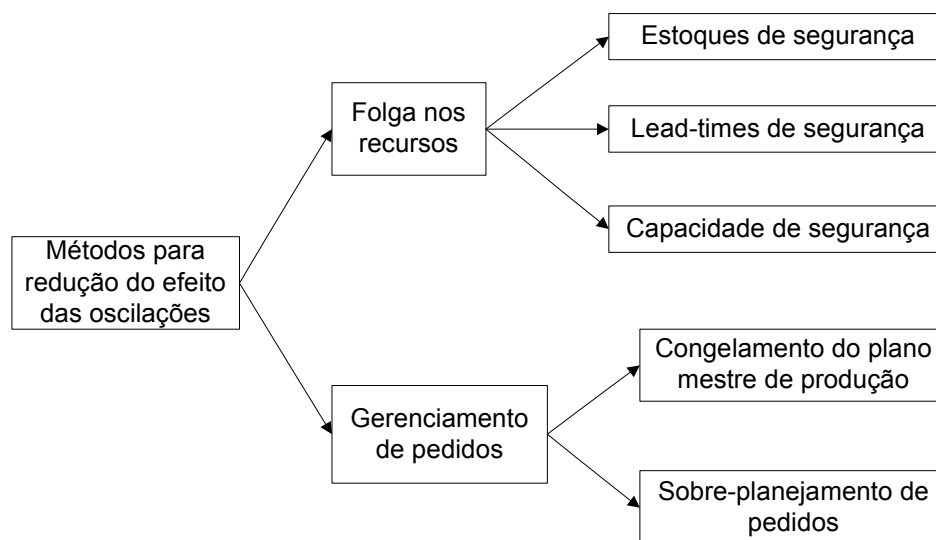


Figura 3.2 – Métodos para a redução da incerteza (CARIDI e CIGOLINI, 2002)

Koh e Simpson (2005) observaram em suas pesquisas que os estoques de segurança e tempos de atravessamento de segurança são robustos para várias incertezas. Embora a solução para cada tipo específico de ambiente de manufatura, produção para estoque, produção por pedido e sistema misto, nas pequenas e médias empresas, não tenha sido identificado. Ainda assim, os pesquisadores consideram que há uma falta de conhecimento e perícia em como modificações posteriores, realimentações e o gerenciamento podem ser realizados ou arrançados para permitir que os sistemas de *MRP* tenham um melhor desempenho como ferramenta de planejamento e controle da produção, além de uma falta de ferramentas e técnicas para gerenciar estrategicamente as incertezas e mudanças.

Koh *et al.* (2000) consideram que apesar do uso amplamente difundido de estoques intermediários e sistemas que amenizem as variações e outras abordagens para lidar com as incertezas, o desempenho de sistemas *MRP* é ainda, em geral, muito pobre.

3.3.2 As limitações do *MRP*

Caridi e Cigolini (2002) observam que a maioria dos estudos foca na comparação entre tempos de atravessamento de segurança e estoque de segurança, quando a demanda e o tempo de fornecimento são incertos. Várias conclusões são reportadas na literatura, dependendo do ambiente de manufatura considerado.

Moon e Phatak (2005) consideram que o *MRP* apresenta algumas deficiências:

- 1) a suposição de capacidade ilimitada dos recursos e
- 2) sua natureza não estocástica.

A suposição da capacidade é contornada de alguma forma, nos sistemas *ERP*, com o uso do gerenciamento das restrições e mecanismos de ciclos de realimentação, no entanto, o problema da incapacidade de lidar com situações estocásticas permanece.

Além dos problemas descritos anteriormente, Koh *et al.* (2000) e Moon e Phatak (2005), ainda observam as seguintes limitações relacionadas ao *MRP*:

a) Tempo de atravessamento fixo

Os sistemas *MRP* utilizam tempos de atravessamento fixo para planejar a compra de materiais e a manufatura de produtos. Ignoram-se as incertezas da vida real na indisponibilidade de fornecimento e variações de filas, preparação e tempos de processamento no chão de fábrica. Como resultado ocorrem faltas ou excesso de materiais, sub-montagens e produtos acabados, com impacto direto nos custos e desempenho de entrega ao cliente.

b) Recursos infinitos

Todos os sistemas de produção podem produzir, dentro de um dado período de planejamento, um número máximo pré-definido de produtos, limitado pela taxa de saída da máquina gargalo e pela disponibilidade de componentes. Se a demanda do mercado ultrapassa a capacidade do sistema, em pelo menos um dos períodos de planejamento considerados, o sistema é de capacidade finita, caso contrário é considerado de capacidade ilimitada (CARIDI e CIGOLINI, 2002).

O *MRP* não considera a disponibilidade de recursos simultaneamente, mas identifica os recursos necessários como atividades subseqüentes separadas. Isto resulta em uma malha de re-planejamento, uma vez que o planejamento inicial considera disponibilidade infinita dos recursos. Na realidade, este processo de re-planejamento normalmente não ocorre, causando incertezas inerentes à data final esperada. Não se leva em conta nenhum dos efeitos significativos da eficiência e perdas na utilização, o que também geram as incertezas.

c) Roteiros fixos

No sistema *MRP*, um roteiro pré-definido é utilizado para seqüenciar o fluxo de materiais e sub-montagens de máquina para máquina ou de estação de trabalho para estação de trabalho. No caso de eventos não planejados, por exemplo, a quebra de uma máquina, o fluxo inicial poderá necessitar de uma re-orientação. O sistema *MRP* não possui uma opção para roteiros alternativos nestas circunstâncias. O efeito é o atraso de componentes ou sub-montagens para o próximo nível, o que eventualmente resultará em atrasos o prazo de entrega.

Koh *et al.* (2000) ainda consideram os seguintes problemas:

d) Taxa de refugo constante

O sistema *MRP* pode ser alimentado com uma taxa pré-determinada de sucata. Qualquer aumento nesta taxa levará automaticamente a incertezas na data de entrega, a menos que sejam tomadas ações corretivas.

e) Aderência da programação recebida em relação à programação liberada

O *MRP* não considera as incertezas no suprimento, tais como, falta de material, falta de mão-de-obra, falta de componentes e quebras de máquinas, as quais pode tornar a programação recebida diferente da liberada. Mudanças na programação devido a qualquer uma das incertezas mencionadas podem afetar diretamente no desempenho de entrega ao cliente.

A pesquisa realizada por Caridi e Cigolini (2002) considera o ajuste apropriado de parâmetros do *MRP* como pré-requisito para atingir a agilidade na área de gerenciamento da manufatura. Para este propósito, tanto as técnicas de gerenciamento da manufatura enxuta e sistemas de auxílio orientados à decisão ágil, normalmente fornecem aos gerentes de planta uma notável gama de estratégias de planejamento, cada uma delas assumindo uma notável consistência de dados.

Para Marvel *et al.* (2005) assuntos como a incerteza na demanda e disponibilidade de equipamentos de produção requerem um método mais robusto para a geração e validação da programação do chão de fábrica.

3.4 Considerações finais

Apesar de conhecidos, os problemas relativos às limitações do *MRP* ainda representam dificuldades ao PCP. A necessidade de repostas rápidas e precisas no ambiente onde se exige a manufatura ágil aumenta o fator dificuldade, no planejamento da produção.

Neste capítulo foram apresentados alguns métodos utilizados para reduzir os impactos das variações causadas pelas mudanças e incertezas. Estas técnicas apesar de úteis não solucionam a limitação relativa à falta de capacidade do *MRP* em trabalhar com dados estocásticos. Outro fator a ser considerado é a interdependência entre os fatores que devem ser levados em consideração durante a fase de planejamento da produção, que normalmente dificultam uma análise mais precisa e realista de possíveis cenários.

Moon e Phatak (2005) observam que muitas pesquisas demonstram que as funcionalidades limitadas do sistema *ERP* podem ser complementadas com o uso de sistemas externos, como os modelos de simulação de eventos discretos.

Para Marvel *et al.*(2005) o desenvolvimento de modelos de simulação é um meio de prover uma ferramenta de planejamento que fornece não só a habilidade de determinar se a capacidade do planejamento do processo é válida, como também a habilidade de: planejar o balanceamento de uma linha de produção, identificar problemas que possam afetar o serviço ao cliente e a possibilidade de avaliar o impacto de atividades de melhoria contínua.

A simulação de eventos discretos passa a ser cada vez mais utilizada como ferramenta de trabalho em áreas como o PCP. O seu uso complementa a ferramenta principal do planejamento que é o *MRP*.

SIMULAÇÃO

4.1 Considerações iniciais

A simulação vem se tornando cada vez mais uma ferramenta de uso comum para a análise e solução de problemas relacionados a sistemas reais já existentes ou em projeto.

À medida que as organizações tentam responder rapidamente às mudanças dos seus mercados, um modelo de simulação validado pode ser uma excelente ferramenta para a avaliação de respostas rápidas (HARREL *et al.*, 2002).

Banks (2000) considera que a simulação é uma metodologia de solução de problemas indispensável para a solução de muitos problemas do mundo real, pois pode ser utilizada para descrever e analisar o comportamento de um sistema, perguntar questões do tipo “e se” e ajudar no projeto de sistemas reais.

Este capítulo tem a finalidade de apresentar conceitos vinculados à simulação e como sua utilização pode trazer benefícios no suporte às decisões em um ambiente de manufatura.

4.2 Introdução

Para Harrel *et al.* (2002), o construtor de modelos de simulação nunca deveria esquecer que simulação é uma ferramenta para solução de problemas. Se entendermos que um modelo bem construído irá nos ajudar a responder a questões importantes, a simulação poderá ser uma técnica útil e poderosa. A simulação apresenta excelente desempenho na avaliação de mudanças propostas a um sistema existente ou no projeto de um novo sistema. Um modelo bem construído poderá gerar estimativas de desempenho em termos de tempo de passagem, utilização de recursos, dimensionamento de filas e tempo produtivos. Se provida da capacidade de animação do modelo em tela de computador, a simulação pode também, apresentar uma representação gráfica, ilustrando o fluxo das peças, pessoas e outras entidades do sistema.

A simulação pode ser considerada uma importante ferramenta de análise de sistemas do mundo real, que permite a realização de experimentos sem que ocorram interferências no sistema real ou mesmo sem a existência deste.

O uso do computador propiciou o aumento da utilização da simulação como ferramenta de análise.

4.3 Simulação

Segundo Shannon (1998), simulação é o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender o comportamento do sistema e para avaliar as várias estratégias para a operação do sistema.

Banks (2000), define simulação como a imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real ao longo do tempo. A simulação envolve a geração de uma história artificial de um sistema e a observação desta história artificial para extrair inferências a respeito das características operacionais do sistema real que está representado.

Chwif e Medina (2006) descrevem o que não é simulação, numa forma de se evitar confusões sobre o termo. Segundo os autores a simulação:

- Não é uma bola de cristal. A simulação não pode prever o futuro, mas pode prever, com certa confiança, o comportamento de um sistema baseado em dados de entradas específicos e respeitado um conjunto de premissas.
- Não é um modelo matemático. A simulação não pode ser reduzida a um simples cálculo ou fórmula matemática.
- Não é uma ferramenta estritamente de otimização. A simulação é na verdade uma ferramenta de análise de cenários e que pode vir a ser combinada com ferramentas de otimização.
- Não é substituta do pensamento inteligente. A simulação não pode substituir o ser humano no processo de tomada de decisão.
- Não é uma técnica de último recurso.
- Não é uma panacéia que irá solucionar todos os problemas.

4.3.1 O funcionamento da simulação

Segundo Harrel *et al.* (2002) a simulação de eventos discretos é um processo repetitivo de um conjunto de instruções que podem incluir elementos estocásticos ou determinísticos. As instruções definem como os valores mudam devido à ocorrência de eventos. Um modelo de simulação de eventos dinâmicos (muda em relação ao tempo) e discretos (as mudanças ocorrem em instantes distintos) efetua iterativamente uma sequência de instruções parecidas com o que se segue:

- 1) Determina que tipo de evento ocorrerá na sequência;
- 2) Ajusta uma variável temporal de simulação num valor igual ao tempo do evento em questão;
- 3) Atualiza, onde necessário, todas as variáveis estatísticas;
- 4) Efetua ações (cálculos) associadas ao evento atual; e
- 5) Programa um tempo para a próxima ocorrência daquele tipo de evento.

4.3.2 A utilização da simulação

A escolha da simulação, como o de qualquer outra ferramenta de análise, deve ser baseada nas possibilidades que esta ferramenta pode oferecer ao usuário.

Chwif e Medina (2006), fazem a seguinte observação quanto ao uso da simulação:

- Se o problema for estático, isto é, se os estados do sistema não se alteram com o tempo, então, a simulação de eventos discretos não tem nenhuma utilidade prática.
- Se o problema for determinístico, isto é, não apresenta nenhum comportamento aleatório, a simulação pode ser utilizada – obviamente ela será sub-utilizada.
- Se o problema em questão for complexo, dinâmico e apresenta aleatoriedade, então a melhor escolha é a simulação.

Seguindo na mesma linha de raciocínio, Harrel *et al.* (2002) afirmam que a maioria dos sistemas atuais é dinâmica e estocástica por natureza. Problemas que são inerentes a sistemas dinâmicos e estocásticos via de regra se tornam mais difíceis de analisar a medida em que a quantidade de variáveis estocásticas e de inter-relacionamentos se multiplica. A simulação apóia a investigação das conseqüências da variação e promove o acesso a ocorrências de alterações aleatórias em um sistema em relação a um objeto. As características inter-relacionais e a interdependência de pessoas, equipamentos, métodos e materiais podem ser examinados à medida que elas evoluem ao longo do tempo.

A utilização do tempo simulado é um dos diferenciais que a simulação oferece e que permite a avaliação de sistemas dinâmicos.

Uma forma de se entender as possibilidades do uso da simulação é descrever algumas aplicações onde esta já é utilizada.

Kellner *et al.* (1999) enumeram seis categorias de possíveis usos da simulação:

- Gerenciamento estratégico: os gerentes podem comparar resultados da simulação de modelos em cenários alternativos, para auxiliar em suas decisões.

- Planejamento: a simulação pode auxiliar no gerenciamento do planejamento, fornecendo as previsões de custos, programação, gargalos, alocação de recursos e análise de riscos.
- Gerenciamento e controle operacional: A simulação pode facilitar o acompanhamento de um projeto, uma vez que, parâmetros chave do projeto podem ser monitorados e comparados com os valores planejados pela simulação.
- Melhoria do processo e adoção de tecnologia: a simulação pode auxiliar com a previsão do impacto de uma mudança potencial antes que a mesma seja colocada em prática pela organização.
- Entendimento: a simulação pode promover a melhoria do entendimento de muitos processos, com base no melhor entendimento dos fluxos destes processos.
- Treinamento e aprendizado: a participação em uma boa variedade de projetos de simulação pode fornecer oportunidades de aprendizado que no mundo real levariam anos para serem obtidos.

A simulação pode ser considerada uma ótima ferramenta para o auxílio nas decisões, pois sua capacidade de lidar com dados estocásticos e inter-dependentes possibilita a análise de cenários futuros com alto grau de confiabilidade.

Para April *et al.* (2006) uma vez que a simulação se aproxima da realidade, isto permite a inclusão da incerteza e da variabilidade no processo de previsão do desempenho.

4.3.3 Termos utilizados na simulação

Para que se entenda como são trabalhados os elementos dentro de um modelo de simulação é importante que se tenha conhecimento dos termos mais comumente utilizados.

- Sistema – segundo Harrel *et al.* (2002) são os conjuntos organizados de entidades, tais como pessoas, equipamentos, métodos e peças, que trabalham juntos em direção a um objetivo específico.
- Modelo – para Chwif e Medina (2006), é uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real. Já Harrel *et al.* (2002), consideram que um modelo de simulação caracteriza matematicamente um sistema pela descrição de respostas que podem resultar da interação entre as entidades.
- Evento – Schriber e Brunner (2004) consideram como evento um acontecimento que modifica o estado de um modelo (ou sistema).

- Entidade – Banks (2000) descreve entidade como a representação de um objeto que necessita de uma definição explícita. A entidade pode ser dinâmica quando se move pelo sistema ou estática quando serve a outras entidades. Segundo Schriber e Brunner (2004) uma entidade também pode ser externa, quando criada e manipulada pelo modelador ou interna, quando criada e manipulada implicitamente pelo *software* de simulação.
- Atributos – são valores locais definidos para cada entidade, embora cada entidade possa ter vários atributos associados.
- Recurso - Banks (2000) define recurso como uma entidade que fornece serviços a entidades dinâmicas. Segundo Schriber e Brunner (2004) os recursos normalmente tem capacidade limitada, o que obriga as entidades competirem pelo seu uso e em alguns casos aguardar pelo seu uso, o que acaba gerando as filas.
- Experimentos: segundo Schriber e Brunner (2004), um projeto de simulação é composto de experimentos e estes se diferenciam entre si pelo uso de alternativas na lógica ou nos dados do modelo.
- Rodada: Harrel *et al.* (2002) definem rodada como a operação da simulação por um período determinado de tempo com um único conjunto de valores.
- Replicação: para Schriber e Brunner (2004), cada experimento é composto por uma ou mais replicações. A replicação é a simulação que utiliza a mesma lógica e dados de um experimento, mas com um conjunto diferente de números aleatórios, o que acaba produzindo resultados estatísticos diferentes que então podem ser analisados ao longo do conjunto de replicações.

4.3.4 Classificação da simulação

A simulação pode ser classificada conforme a seguir:

Quanto ao tipo de modelo:

- Modelo estático: é aquele que não sofre influência do tempo, ou seja, o relógio de simulação não é utilizado.
- Modelo dinâmico: é aquele que sofre alterações conforme avança o relógio de simulação.
- Modelo estocástico: contém eventos que ocorrem aleatoriamente.
- Modelo determinístico: não apresenta comportamento aleatório.

Quanto ao estado do sistema ao longo do tempo:

- Simulação de eventos discretos: o relógio de simulação avança até que um evento aconteça. Segundo Harrel *et al.* (2002), na simulação de eventos discretos, o computador mantém um dispositivo temporal conhecido por “relógio de simulação” que avança à medida que cada evento acontece num determinado instante. Se um evento representa o início de uma atividade que será concluída no futuro, a simulação adicionará o tempo de conclusão a uma lista de futuros eventos e avançará o relógio para o próximo evento a ocorrer.
- Simulação contínua: o estado do sistema varia continuamente, ou seja, a ação não cessa. Para Harrel *et al.* (2002) eventos contínuos envolvem uma taxa temporal de mudança, normalmente representadas por equações diferenciais.

Quanto às condições iniciais:

- Simulação em estado pronto: é aquela que não necessita um período de pré-aquecimento para que os dados sejam coletados.
- Simulação com período de aquecimento: necessita de um período para entrar em regime.

Quanto ao período a ser simulado:

- Simulação terminante: é aquela que para após um rodar por um período pré-determinado ou até que um evento específico ocorra. Utilizado para se estudar o modelo em um determinado período de tempo.
- Simulação não-terminante: é a utilizada para se analisar um sistema após a entrada em regime e cujo estudo pode se estender indefinidamente.

4.3.5 Vantagens e desvantagens do uso da simulação

Os avanços da informática têm permitido a popularização de programas, como os utilizados na simulação, fazendo com que estes se tornem ferramentas comuns para auxílio nas decisões de problemas operacionais diários. Esta tendência à popularização leva ao questionamento sobre as reais vantagens e desvantagens associadas ao seu uso.

Segundo Shannon (1998) e Banks (2000) entre as vantagens do uso da simulação podem-se citar:

- O conceito básico da simulação é fácil de se compreender e portanto é, com freqüência, fácil de se justificar para gerentes ou clientes, em relação aos modelos analíticos.

- O modelo de simulação tem maior credibilidade, ou porque seu comportamento pode ser comparado com o sistema real ou porque requer poucas simplificações para capturar melhor as características reais do sistema em estudo. Segundo Harrel *et al.* (2002), sua capacidade de imitação pode ser medida pelo grau de adequação das respostas reais de um sistema existente ou hipotético com as respostas que o modelo fornece quando é submetido aos mesmos estímulos experimentados ou esperados pelo sistema em estudo.
- Podem-se testar novos projetos ou modificações antes de se comprometer os recursos para a sua implementação.
- Podem-se explorar novas políticas de pessoal, procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informações, etc. sem interromper as operações em andamento.
- A simulação permite que se identifique os gargalos nos fluxos de informação, material e produto e que se teste opções para aumentar o fluxo.
- Podem-se testar hipóteses sobre como e porque certos fenômenos ocorrem no sistema. Esta análise leva a uma melhor compreensão de como funciona o sistema real.
- A simulação permite que se controle o tempo. Pode-se comprimir ou expandir o tempo simulado e desta forma operar um sistema em experimento, por vários meses ou anos, em poucos segundos, permitindo que se verifique rapidamente um horizonte de longo prazo. Pode-se também expandir o tempo de um fenômeno para que se realize um estudo mais detalhado.
- Pode-se aumentar a compreensão sobre como um sistema modelado funciona atualmente e entender quais são as variáveis mais importantes para o seu desempenho. Harrel *et al.* (2002) ainda complementam que quando executado apropriadamente, o processo de simulação traz consigo uma ampla gama de conhecimento, informação e especialização de uma grande variedade de fontes. Questões, problemas e preocupações são encaminhadas de múltiplos pontos de vista. Uma melhor compreensão do sistema como um todo é alcançada porque as interdependências de todos os componentes são compartilhadas e entendidas por todas as partes envolvidas que colaboram para as entradas do sistema. Pessoas são freqüentemente forçadas a reconsiderar crenças e palpites pessoais que podem ser ou não válidos.
- A simulação permite um melhor entendimento sobre as interações que podem acontecer simultaneamente em um sistema complexo. Segundo Harrel *et al.* (2002), a

simulação pode levar em conta os efeitos da ocorrência de variâncias em um sistema (a variância implica em que alguma coisa mudou de um incidente para outro). Os métodos analíticos, tais como modelos matemáticos estáticos, não encaminham efetivamente esta questão porque o desempenho dos seus cálculos é geralmente derivado de valores constantes baseados em médias. Modelos matemáticos estáticos desprezam o impacto dos processos estocásticos que existem em quase todos os sistemas porque eles não incluem o papel do tempo quando da análise do sistema.

- A simulação permite que se teste situações novas e não familiares e que se responda às questões do tipo “e se”.
- Pode-se utilizar um modelo de um sistema para o treinamento de pessoal. As decisões tomadas podem ser introduzidas no modelo de simulação e as pessoas podem aprender com os erros cometidos sem que comprometa o sistema real.

Entre as desvantagens do uso da simulação pode-se citar:

- O uso da simulação requer treinamento específico e aprendizado que se adquire ao longo do tempo e da experiência.
- O desenvolvimento de modelos e a análise de resultados podem consumir muito tempo.
- Não é uma ferramenta de otimização, ou seja, não fornece ao usuário a melhor resposta.

O uso de modelos de simulação e a simulação associada à otimização podem auxiliar na introdução da manufatura ágil, pois permitem o fortalecimento de alguns atributos, conforme observado no **Quadro 4.1**.

Quadro 4.1 – Adaptado de atributos de uma organização ágil. YUSUF *et al.* (1999).

Domínio de decisão	Atributos relacionados	Uso da simulação
Integração	Execução de atividades de forma simultânea.	Auxilia.
	Integração da empresa.	Promove.
	Informação acessível a funcionários.	Promove.
Competência	Capacidade de multi-risco.	Não influi.
	Desenvolvimento de práticas de negócios difíceis de se copiar.	Auxilia.
Times	Fortalecimento dos trabalhos individuais nos times.	Não influi.
	Times multifuncionais.	Promove.
	Times além das fronteiras da companhia.	Não influi.
	Decisão descentralizada.	Não influi.
Tecnologia	Consciência tecnológica.	Auxilia.
	Liderança no uso da tecnologia atual.	Promove.
	Conhecimentos e habilidades destacando tecnologias.	Promove.
	Tecnologia de produção flexível.	Promove.
Qualidade	Qualidade além da vida do produto.	Não influi.
	Produtos com substancial valor agregado.	Não influi.
	Projeto correto na primeira vez.	Não influi.
	Ciclos de desenvolvimento curtos.	Não influi.
Mudanças	Melhoria contínua.	Auxilia.
	Cultura de mudança.	Promove.
Parcerias	Formação rápida de parceiras.	Não influi.
	Relacionamento estratégico com clientes.	Não influi.
	Relacionamento de proximidade com fornecedores.	Auxilia.
	Relacionamento baseado na confiança com clientes/fornecedores.	Auxilia.
Mercado	Introdução de novos produtos.	Auxilia.
	Inovação direcionada a clientes.	Não influi.
	Satisfação de clientes.	Não influi.
	Resposta às mudanças de requisitos do mercado.	Promove.
Educação	Organização que aprende.	Auxilia.
	Pessoas multi-habilidosas e flexíveis.	Não influi.
	Aumento das habilidades da mão-de-obra.	Não influi.
	Treinamento e desenvolvimento contínuo.	Auxilia.
Bem-estar	Satisfação do funcionário.	Não influi.

4.4 Metodologia

Um projeto de simulação deve seguir etapas, como as sugeridas a seguir, pois a falta de planejamento pode levar ao fracasso todo o tempo e o esforço envolvido.

1. Definição do problema: é necessário um claro entendimento do responsável pelo desenvolvimento do modelo.
2. Definição do sistema: investigação da forma como o sistema a ser modelado funciona.

3. Definição do escopo e níveis de detalhes a serem considerados no modelo: nesta fase o modelador deve separar quais fatores que realmente causam impacto no comportamento do modelo, em relação ao que se deseja simular do sistema real.
4. Desenvolvimento do modelo conceitual: o mapeamento do processo que se deseja simular é de grande importância nesta fase.
5. Validação do modelo conceitual: Sargent (2004) considera que nesta etapa devem ser verificadas se as teoria e suposições relativas ao modelo conceitual estão corretas e se o modelo representativo do problema e sua estrutura, lógica e matemática e as relações causais são razoáveis para o propósito do modelo.
6. Coleta de dados: identificação e separação dos dados que são necessários ao correto funcionamento do modelo.
7. Transformação do modelo conceitual no modelo computacional: realizada com o uso de linguagens específicas ou programas de simulação de forma que possa reproduzir o sistema simulado com o uso do computador.
8. Verificação: Uma das etapas críticas do processo de simulação. Segundo Sargent (2004) a verificação do modelo computadorizado assegura que a programação do computador e a implementação do modelo conceitual estão corretas. É mais crítica quando se utiliza linguagem de programação não específica para a simulação. Pode-se utilizar uma série de técnicas nos processos de verificação e validação, entre eles podemos citar:
 - Animação: verifica-se o comportamento operacional do modelo, com uso da interface gráfica.
 - Comparação com outros modelos: os resultados podem ser comparados com outros modelos já validados.
 - Testes degenerativos: o comportamento degenerativo do modelo é testado com base na seleção apropriada de valores de entrada e parâmetros internos.
 - Validação de eventos: eventos ocorridos no modelo são comparados com aqueles do sistema real para determinar se são similares.
 - Teste de condições extremas: a estrutura e as saídas do modelo devem ser plausíveis para qualquer combinação extrema e improvável de níveis de fatores no sistema.
 - Validação face-a-face: pergunta-se a indivíduos com conhecimento do sistema se o modelo e/ou seu comportamento são razoáveis.

- Validação com dados históricos: se existirem dados históricos do sistema, parte dos dados pode ser utilizada para a construção do modelo e o restante pode ser utilizado para determinar se o modelo se comporta como o sistema real.
 - Variabilidade de parâmetro – análise de sensibilidade: consiste em alterar os valores de entrada e os parâmetros internos do modelo para determinar o efeito sobre o comportamento do modelo ou da saída. As mesmas relações devem ocorrer no modelo e no sistema real.
 - Validação preditiva: o modelo é utilizado para prever o comportamento do sistema. Fazem-se então comparações entre o comportamento do sistema e a previsão do modelo para verificar se são iguais.
 - Rastreamento: o comportamento de diferentes tipos de entidades específicas são rastreadas (acompanhadas) através do modelo para determinar se a lógica está correta e se a precisão necessária foi obtida.
 - Teste de *Turing*: conhecedores da operação do sistema modelado são questionados se conseguem discriminar entre a saída do modelo e a saída do sistema.
9. Validação operacional: outra etapa crítica do processo, pois segundo Sargent (2004) a validação operacional determina se o comportamento da saída do modelo de simulação tem a precisão necessária para o propósito do modelo.
 10. Definição do experimento: segundo Banks (2000) para cada cenário a ser simulado deve-se decidir sobre o tamanho da rodada da simulação, o número de rodadas (replicações) e a forma de inicialização, quando necessário.
 11. Experimentação: é a execução da simulação propriamente dita, com a geração dos dados a serem analisados.
 12. Análise e interpretação dos resultados: com base na análise dos dados espera-se obter a resposta do problema definido no item 1. A análise dos dados pode também levar a necessidade de criação de novos cenários ou da revisão do projeto de experimento definido anteriormente.
 13. Documentação: uma etapa geralmente negligenciada é a da documentação. Banks (2000) afirma que a documentação é necessária por várias razões. Se o modelo de simulação será utilizado pelo mesmo analista ou um analista diferente, é necessário que se entenda como o modelo de simulação opera. Isto permitirá confiar no modelo de simulação para que o cliente possa tomar decisões baseadas nas análises. Além

disto, se o modelo vir a ser modificado isto pode ser muito facilitado com a documentação adequada.

14. Implementação: Harrel *et al.* (2002) considera que a implementação começa na verdade com o início do projeto de simulação. A extensão na qual as recomendações do estudo serão colocadas em prática depende amplamente da efetividade de cada uma das etapas anteriores. Se o usuário final, cujo trabalho sofrerá impacto, e outras partes interessadas mantiverem-se informadas e ativamente envolvidas na condução do processo, eles estarão muito mais propensos a auxiliar na implementação da solução selecionada.

4.5 Considerações finais

A cada dia verificam-se novas possibilidades de aplicação da simulação. A simulação de eventos discretos é sem dúvida uma ferramenta que se utilizada corretamente pode proporcionar ganhos substanciais em termos de economia, pois com a possibilidade de se testar antecipadamente soluções e novos projetos reduzem-se os riscos dos erros em investimentos. Se comparados a ferramentas menos adaptadas à aleatoriedade e aos sistemas complexos com múltiplas interações, a simulação permite respostas mais adequadas e confiáveis.

Devem-se observar os passos para a realização da simulação, pois o risco de fracasso do projeto aumenta na medida em que etapas são desprezadas, além disto, Shannon (1998) chama a atenção sobre os caminhos que podem levar ao fracasso:

- Falha na definição de um objetivo claro e tangível.
- Planejamento inadequado e subestimação dos recursos necessários.
- Participação inadequada de usuários.
- Codificação do sistema antes que o mesmo seja entendido.
- Nível inadequado de detalhes incluídos (normalmente mais que o necessário).
- Conjunto inadequado de habilidades da equipe.
- Falta de confiança e suporte do gerente.

Um dos maiores ganhos obtidos com o uso da simulação é um aumento do conhecimento do sistema a ser simulado, pois se as etapas para o uso da ferramenta forem seguidas corretamente, estas acabam obrigando a equipe de trabalho a buscar informações que talvez não fossem verificadas em um processo normal de implantação, ou seja, sem o uso da

simulação. Segundo Harrel *et al.* (2002) a simulação educa as pessoas no que se refere ao modo como os sistemas operam e como este responde às mudanças.

OTIMIZAÇÃO

5.1 Considerações iniciais

Este capítulo faz uma breve descrição de conceitos vinculados à otimização de modelos de simulação. Será dada ênfase na forma de funcionamento do SimRunner[®], pacote de otimização utilizada na versão 4.22 do Promodel[®].

5.2 Introdução

Segundo April *et al.* (2006) a necessidade de otimizar modelos de simulação surge quando o analista do processo precisa encontrar um conjunto de especificações para o modelo (parâmetros de entrada e/ou suposições estruturais) que levam a um desempenho ótimo.

A otimização é uma técnica que quando utilizada em conjunto com a simulação pode ampliar a gama de aplicações de um modelo de simulação.

Segundo Chwif e Medina (2006) a simulação é uma ferramenta avaliadora de soluções, e, não uma geradora de soluções. Uma abordagem que faz com que esta condição comece a ser mudada é a utilização de técnicas de otimização na simulação computacional.

Para Azadivar (1999) e Chwif e Medina (2006), enquanto a simulação responde a questões do tipo “e se”, a otimização busca os valores ótimos para as variáveis de decisão do sistema, que permitem a minimização ou maximização de uma função objetivo (ou medida de desempenho).

April *et al.* (2006) consideram que uma vez desenvolvido um modelo de simulação para representar um sistema ou um processo, pode-se desejar encontrar a melhor configuração, de acordo com algumas medições de desempenho, entre um conjunto de possíveis escolhas. Quando os processos são complexos e a configuração depende de um certo número de decisões estratégicas, a aplicação da abordagem de tentativa e erro terá um sucesso bem limitado. Nestes casos pode-se fazer uso da ferramenta de otimização para guiar na procura da melhor configuração.

A grande dificuldade que se observa na maioria dos modelos de simulação é que estes trabalham com dados estocásticos e normalmente são complexos a ponto de impedir a

utilização da programação linear para se obter a resposta ótima. Quanto maior a quantidade de variáveis de decisão mais complexa fica a análise.

Para April *et al.* (2006) se por um lado a faixa de valores dos parâmetros e o número de combinações de parâmetros é muito grande para que os analistas simulem todos os possíveis cenários, então eles necessitam de uma forma para guiar a procura por boas soluções. Por outro lado, sem a simulação muitos problemas do mundo real são tão complexos para serem modelados com o uso de formulações matemáticas que se tornam o âmago de puros métodos de otimização. Isto cria um obstáculo; modelos de pura otimização sozinhos são incapazes de capturar toda a complexidade e dinâmica do sistema e desta forma tem de recorrer à simulação, a qual não pode facilmente encontrar as melhores soluções. A otimização da simulação contorna este obstáculo com o uso da combinação dos dois métodos.

Fu (2001) divide as técnicas de otimização nas seguintes categorias:

- Procedimentos estatísticos: metodologia de superfície de resposta sequencial, procedimentos de classificação e seleção e procedimentos de múltiplas comparações.
- Meta-heurísticos: métodos adaptados diretamente de estratégias de busca de otimização determinística, como por exemplo o recozimento simulado, busca tabu e algoritmos genéticos.
- Otimização estocástica: busca aleatória, aproximação estocástica.
- Outros incluindo otimização ordinal e otimização de amostra de trajetória.

A maioria dos pacotes de otimização comercialmente disponível utiliza a abordagem meta-heurística, que segundo Harrel *et al.* (2002) e Chwif e Medina (2006) são consideradas técnicas “sub-otimizantes”, uma vez que não garantem o ótimo, mas apresentam soluções boas ou quase ótimas. Harrel *et al.* (2002) observam ainda que em muitos casos há muitas soluções para serem analisadas em um curto espaço de tempo. Assim sendo, deve-se estabelecer um ponto de equilíbrio entre encontrar a solução ótima e o tempo alocado para tal. Segundo April *et al.* (2006) o termo meta-heurística foi cunhado pelo Dr. Fred Glover em 1986 e significa uma estratégia mestre que guia e modifica outras heurísticas para produzir soluções além daquelas normalmente geradas em uma busca pelo ótimo local.

Fu *et al.* (2005) descrevem que inicialmente quatro meta-heurísticas foram aplicadas com algum sucesso na otimização da simulação: recozimento simulado, algoritmos genéticos, busca tabu e busca *scatter* (ocasionalmente complementados por procedimentos do tipo redes neurais no papel de previsão ou ajuste de curva). Destes, a busca tabu e a busca *scatter*

provaram ser de longe os mais efetivos e são hoje o ponto central dos *softwares* de otimização de simulação mais utilizados.

O SimRunner[®], pacote de otimização utilizada na versão 4.22 do Promodel[®], utiliza técnicas de otimização tais como a busca tabu e algoritmos evolutivos, tendo mais semelhanças com este último.

5.3 Algoritmo evolutivo

Os algoritmos evolutivos têm sua base nos conceitos da teoria da evolução, proposta por Charles Darwin. Segundo as informações contidas no SimRunner User's Guide (2002), os algoritmos evolutivos imitam o processo evolucionário no qual as entidades adaptam-se ao seu ambiente para sobreviver. Os algoritmos evolutivos manipulam a população de soluções de um problema de forma que, dentro da população de respostas, as piores soluções são eliminadas e as melhores soluções continuam na busca de uma solução ótima. Este processo é extremamente útil, pois fornece não apenas uma solução “otimizada”, mas várias boas alternativas.

Harrel *et al.* (2002) consideram que a principal diferença entre os algoritmos evolutivos e as técnicas tradicionais de otimização não lineares é que a primeira executa a busca na superfície de resposta valendo-se de uma gama de soluções ao invés de uma única solução. Este tipo de abordagem aumenta as chances de se encontrar uma solução ótima que seja global.

O objetivo de um *software* de otimização não é realizar uma busca do ótimo cobrindo toda a faixa de valores possíveis. De acordo com o exposto no SimRunner User's Guide (2002), o que se deseja é um algoritmo que explore eficientemente a superfície de resposta e foque nas áreas que retornem com boas respostas, sem que se avalie todas as possibilidades.

Segundo Harrel *et al.* (2002) os algoritmos evolutivos seguem basicamente os seguintes passos:

1. Gera uma gama de soluções para o problema distribuindo-as, aleatoriamente, em todo o campo de soluções.
2. Analisa apuradamente a resposta de cada solução.
3. Com base na análise das respostas de cada solução, seleciona as melhores soluções e aplica o tipo de “operador genético idealizado” para produzir uma nova geração de soluções.
4. Continua retornando ao passo 2 enquanto o algoritmo estiver localizando soluções melhoradas.

5.4 Simulação + Otimização

Segundo Chwif e Medina (2006), tanto a simulação, como a otimização, possuem algumas limitações. O termo *Simulation Optimization – SO* surgiu justamente pela junção das ferramentas de simulação e otimização, com o objetivo de minimizar as desvantagens de cada uma delas.

Para April *et al.* (2006), pode-se considerar, no contexto da otimização da simulação, que o modelo de simulação é uma função (cuja forma explícita é desconhecida) que avalia o mérito de um conjunto de especificações, tipicamente representado como um conjunto de valores. Visualizar o modelo de simulação como uma função motivou uma série de abordagens para a otimização da simulação baseadas em superfícies de resposta e meta-modelo.

O uso de *softwares* comerciais de otimização, de acordo com Chwif e Medina (2006), elimina a necessidade de se desenvolver um algoritmo de otimização para otimizar um modelo de simulação. Ainda segundo os autores os passos a serem seguidos pelos analistas, para o uso destes *softwares*, são praticamente os mesmos, conforme se observa à seguir:

1. Definir quais são as variáveis de decisão e suas faixas de variação;
2. Definir quais são as possíveis restrições do problema;
3. Definir a função objetivo e se o objetivo é maximizá-la ou minimizá-la;
4. Definir o número de rodadas de simulações ou um tempo de limite para ser feita a otimização e o número de replicações em cada rodada.

Conforme pode ser observado em um dos passos indicados anteriormente, a definição das restrições segundo April *et al.* (2006) é uma característica importante dos *softwares* de otimização da simulação. Restrições podem ser especificadas com expressões matemáticas ou como declarações baseadas na lógica. No contexto da otimização da simulação, as restrições podem ser formuladas com a entrada de fatores ou respostas.

Segundo Harrel *et al.* (2002), uma desvantagem em potencial do uso dos Algoritmos Evolutivos (AEs) para a otimização da simulação, é o fato de que eles, algumas vezes, requerem a avaliação de muitas soluções chamadas ao modelo de simulação. Isto pode se tornar proibitivo se o tempo de processamento for limitado. Não obstante, existem procedimentos que podem ser utilizados para reduzir o número de vezes que o modelo de simulação é chamado.

O SimRunner, de acordo com o descrito no SimRunner User's Guide (2002), às vezes utiliza algoritmos genéticos antes dos algoritmos evolutivos, de acordo com as características do

problema a ser resolvido. Na fase 1 verifica-se a situação de convergência do algoritmo genético e na fase 2 a situação de convergência do algoritmo evolutivo.

Para Bowden e Hall (1998), o uso da estratégia de duas fases pode reduzir significativamente o número de vezes que o modelo de simulação é chamado para avaliar as soluções, sem que haja grandes sacrifícios na qualidade das soluções. Talvez o ponto mais importante a ser considerado na estratégia de otimização de duas fases é determinar quando se deve realizar a transição da primeira fase para a segunda fase.

5.5 Considerações finais

Harrel *et al.* (2002) lembram que a questão mais importante a ser considerada não é se uma técnica de otimização garante a localização da solução ótima no menor espaço de tempo, para todos os possíveis problemas que possa encontrar, mas sim que a técnica de otimização encontre, de forma consistente, boas soluções para os problemas, as quais são melhores do que as que os analistas encontrariam por seus próprios meios.

Chwif e Medina (2006) consideram que a abordagem *SO (Simulation Optimization)*, mesmo sendo generativa, não substitui o analista, que possui papel fundamental na definição da função objetivo e das variáveis a serem otimizadas.

Tendo-se em mente a importância do papel do analista para o sucesso de um projeto de otimização, o SimRunner User's Guide (2002), faz uma observação quanto aos erros que os analistas podem cometer e que podem levar ao fracasso da otimização:

- Utilização de um modelo não validado;
- Análise considerando fatores insignificantes;
- Análise não considerando fatores significativos;
- Função objetivo formulada de forma imprópria;
- Resultados de testes não são escrutinizados.

Silva (2005), considera ainda que em um estudo de otimização em simulação, tão importante quanto conhecer o funcionamento dos programas é a sequência e o modo de execução de cada etapa do projeto. Assim é preciso que se siga uma metodologia de implementação bastante consistente e devidamente planejada.

APLICAÇÃO

6.1 Considerações iniciais

Este capítulo faz uma breve descrição da empresa onde está inserido o objeto de estudo e os produtos utilizados no estudo. O problema analisado consiste em desenvolver um modelo de simulação que permita a avaliação da carga de produção nos setores de usinagem, acabamento superficial e controle de qualidade. Além da possibilidade de análise da carga de produção, pretende-se também otimizar as filas de cada centro de trabalho, com o uso da otimização da simulação.

6.2 Descrição do objeto de estudo

O estudo foi desenvolvido na Mectron - Engenharia, Indústria e Comércio Ltda, empresa formada pela associação de engenheiros de aeronáutica, eletrônica e mecânica, sediada em São José dos Campos, São Paulo, a qual iniciou suas atividades em fevereiro de 1991.

Desde a sua fundação, a empresa dedicou-se a projetos de alto teor tecnológico, atuando nas áreas de automação industrial, médica, aeronáutica, espacial e defesa.

Atualmente a Mectron é uma empresa brasileira com plena capacitação para o desenvolvimento e fabricação de sistemas inteligentes de defesa. Seu quadro de funcionários está distribuído em áreas de engenharia, projeto, manufatura e administração.

O estudo foi realizado com base em três diferentes produtos, cujos perfis de produção apresentam certa distinção em relação à sequência e aos recursos utilizados.

O MAA-1 é um míssil ar-ar de curto alcance, supersônico, de guiagem passiva, com detecção infravermelha do alvo, utilizado por aeronaves de alto desempenho nos combates aéreos do tipo "*dog-fight*" (perseguição à curta distância, dentro do campo visual do piloto).

Seu sistema de detecção de alvo opera com base na radiação infravermelha emitida pela aeronave alvo (saída do turboreator ou aquecimento cinético da estrutura) o que possibilita o emprego "*fire and forget*" (dispare e esqueça).

A **Figura 6.1** apresenta uma visão dos componentes internos do MAA-1.



Figura 6.1 – Míssil ar-ar MAA-1.

Sua navegação é do tipo proporcional modificada, com atuadores de manobra pneumáticos a gás frio que defletem superfícies aerodinâmicas frontais (*canards*) aos pares. Sua configuração aerodinâmica é cruciforme com empennas alinhadas aos *canards* e controle de rolamento passivo com superfície aerodinâmica articulada nas pontas das empennas acionadas por efeito giroscópico (*rollerons*).

Os componentes usinados que compõe o produto MAA-1 possuem, em sua maioria, características para serem produzidos em tornos.

O Radar SCP-01 foi projetado para ser instalado a bordo do Avião AM-X (atual A1) e operar como o sensor principal do seu subsistema de armamentos. Sua função principal é a detecção e o rastreamento de alvos marítimos (modo Ar-Mar), terrestres no modo Ar-Terra e aéreos (modo Ar-Ar).

Componentes usinados que compõem o Radar SCP-01 possuem características mais voltadas à produção em fresadoras e centros de usinagem CNC.

A **Figura 6.2** apresenta uma vista explodida esquemática com as principais partes que compõe o radar.

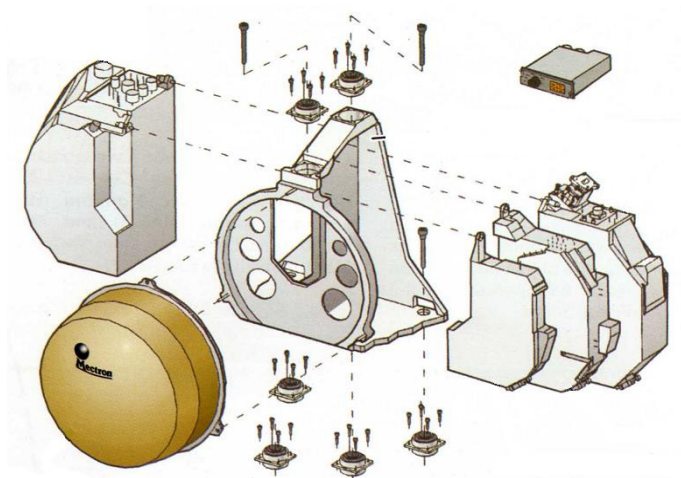


Figura 6.2 – Vista explodida do Radar SCP-01.

O terceiro produto avaliado não se trata especificamente de uma única parte, mas sim de um conjunto de equipamentos que compõe o sistema de logística para apoio em solo e instalação do míssil MAA-1 nas bases aéreas.

Os itens usinados que compõem os equipamentos de logística não apresentam tendência para nenhum processo específico de usinagem, em suas etapas de produção. Desta forma a distribuição dos componentes é relativamente uniforme em todos os recursos disponíveis.

As áreas avaliadas neste estudo trabalham em geral interligadas entre si, ora atuando como fornecedoras, ora agindo como clientes da cadeia produtiva. São responsáveis pela fabricação de itens primários que compõe a estrutura mecânica dos produtos finais, tais como os apresentados anteriormente.

Características das áreas que foram avaliadas:

- 993 peças produzidas em média por mês;
- 80 ordens de produção realizadas em média por mês;
- Não há mais de uma ordem de produção para o mesmo tipo de peça no mês;
- 50% das ordens são de peças singulares ou lotes compostos por duas peças.

Recursos do setor de usinagem:

- Fresadoras convencionais (03);
- Tornos convencionais (05), sendo um de grande porte;
- Torno *CNC* (01);
- Centros de usinagem (02);
- Serra para corte de matéria-prima (01);
- Máquina para gravação (01);
- Área específica para atividades de ajustagem.

Recursos do setor de acabamento superficial:

- Tanques para realização de passivação crômica;
- Máquinas de jateamento e tamboreamento;
- Área para preparação de partes a serem pintadas;
- Cabine de pintura;
- Estufa.

Recursos do setor de controle de qualidade:

- Bancadas para medição e inspeção visual;
- Máquina de medição por coordenadas – Tri-dimensional;
- Durômetro.

O **Quadro 6.1** apresenta a codificação utilizada para cada tipo de recurso analisado.

Quadro 6.1 – Relação dos recursos e respectivos códigos.

Máquina/Local	Código
Serra	I3-091
Torno convencional	I3-011
Torno CNC	I3-012
Torno grande	I3-013
Fresadora	I3-021
Centro de usinagem Makino	I3-031
Centro de usinagem Discovery	I3-032
Bancada	I3-081
Máquina de gravação	I5-101
Jateamento	I3-084
Passivação crômica	I3-082
Inspeção	Q4
Pintura	I5-051

A **Figura 6.3** apresenta um *layout* simplificado das áreas estudadas. Pode-se verificar que o arranjo físico é funcional, ou seja, os recursos com função ou processo similar são agrupados. Segundo Corrêa e Corrêa (2005), o arranjo físico funcional é, em geral, usado quando os fluxos que passam pelos setores são muito variados e ocorrem intermitentemente. As possibilidades deste tipo de arranjo físico em lidar com diferentes roteiros para os fluxos são enormes, o que faz com que seja considerado bastante flexível.

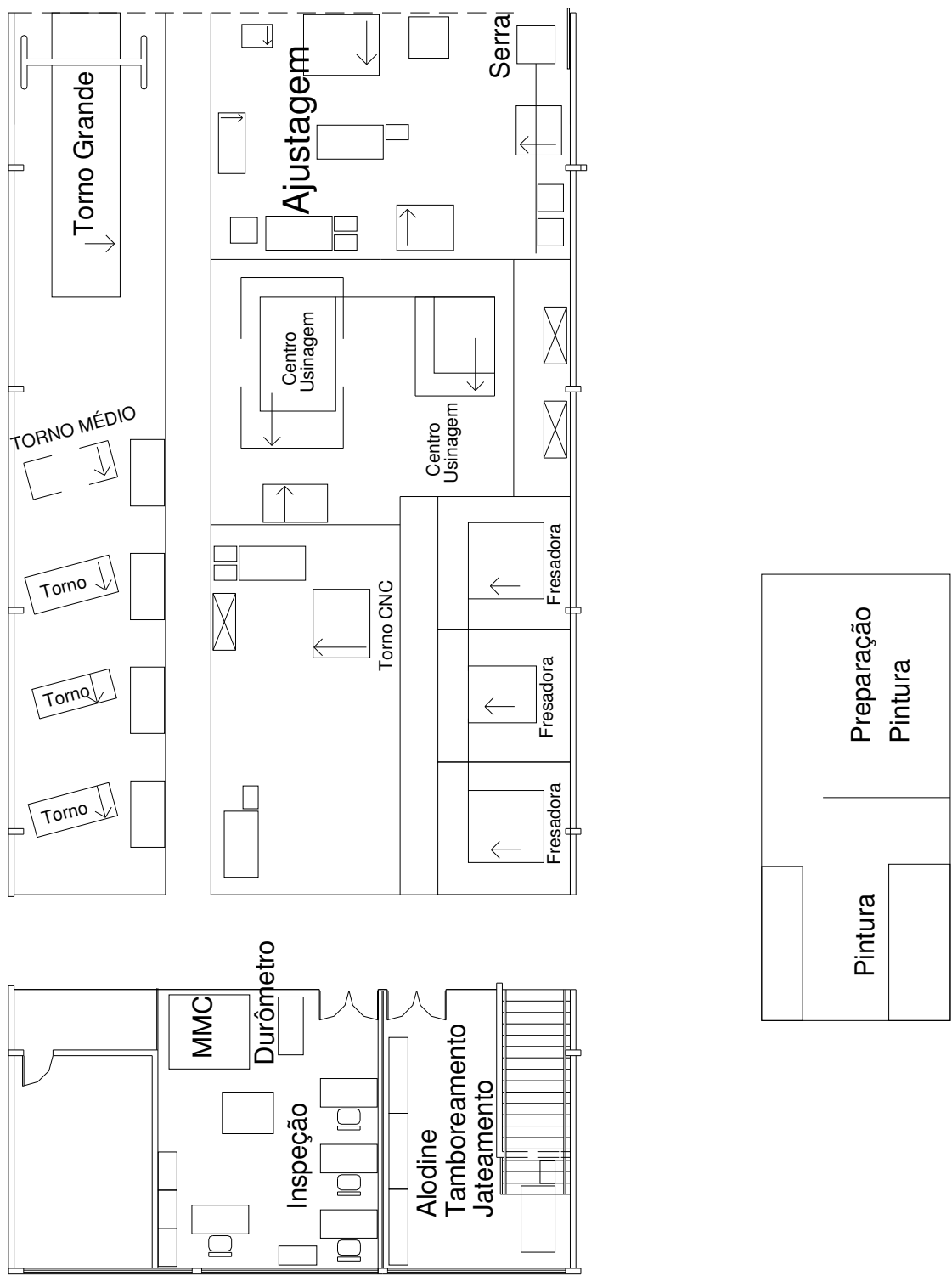


Figura 6.3 – Layout simplificado das áreas estudadas, com os respectivos recursos.

O **Quadro 6.2** apresenta os horários dos turnos dos funcionários das áreas estudadas.

Quadro 6.2 – Horário dos turnos.

Turno	Entrada	Intervalo		Saída
Normal	07:46	11:30	12:30	17:00
1o.	05:45	11:30	12:10	14:30
2o.	14:30	18:30	19:00	23:10

O **Quadro 6.3** apresenta a relação dos operadores que fazem parte das áreas estudadas, os recursos nos quais cada funcionário executa suas atividades e seu respectivo turno de trabalho. Nos casos em que se observa mais de um recurso para o mesmo funcionário considera-se que este atua preferencialmente no primeiro recurso da coluna à sua direita, buscando atividades nas demais quando não houver itens a serem produzidos nestes recursos prioritários.

Quadro 6.3 – Funcionários x recursos x turnos de trabalho.

Operador	Recursos			Turno
1	I3-091			Normal
2	I3-011			1o.
3	I3-011			2o.
4	I3-011			1o.
5	I3-011			2o.
6	I3-011			1o.
7	I3-011			1o.
8	I3-012			2o.
9	I3-013			1o.
10	I3-021			1o.
11	I3-021			2o.
12	I3-021			1o.
13	I3-021			1o.
14	I3-021			2o.
15	I3-031			1o.
16	I3-032			1o.
17	I3-031	I3-032		2o.
18	I3-081	I3-082	I3-084	Normal
Inspetor 1	Q4			Normal
Inspetor 2	Q4			Normal
Inspetor 3	Q4			Normal
Inspetor 4	Q4			Normal
Montador	I5-101			Normal
Pintor	I5-051			Normal

Vale ressaltar que nas áreas estudadas também são produzidas quantidades consideráveis de protótipos, os quais disputam os recursos com itens comuns de produção. Há uma alta complexidade nos itens produzidos e freqüentes mudanças na programação da produção.

6.3 Definição do problema

O objetivo principal do estudo realizado é o desenvolvimento de uma ferramenta que permita a rápida análise da carga de produção e a previsão de término de cada item e a otimização do fluxo produtivo em um ambiente *job shop*. O problema neste tipo de ambiente ocorre quando os fluxos começam a ficar intensos, passa a haver então um cruzamento destes, o que acarreta piora na eficiência e aumento no tempo de atravessamento dos fluxos (CORRÊA e CORRÊA, 2005).

A complexidade dos itens produzidos bem como as freqüentes alterações no plano mestre de produção acabam criando um ambiente de grande instabilidade, onde o fator velocidade acaba tendo importante papel na sobrevivência da empresa. O enquadramento da empresa dentro das características da manufatura ágil direciona parte dos esforços na busca de uma ferramenta de auxílio à programação de produção, que apóie as decisões frente aos possíveis cenários apresentados.

6.4 Modelagem do sistema

O desenvolvimento do modelo foi baseado nas seguintes premissas do sistema:

- 1 partindo-se do ponto de entrada do material (normalmente o ponto de entrada da matéria-prima no sistema), pode-se direcionar o serviço a ser executado para qualquer um dos recursos do sistema.
- 2 O último recurso a ser utilizado sempre será a Inspeção (Q4), o que não impede sua utilização em etapas intermediárias do processo de fabricação.

O direcionamento para o próximo recurso é feito pela leitura do roteiro de fabricação do componente. O roteiro de fabricação, por sua vez, é elaborado utilizando-se o módulo de planejamento e produção do sistema *ERP*.

O **Quadro 6.4** apresenta a relação entre os códigos de recursos utilizados no sistema e o número da rota a ser seguida pelo componente durante o processo de fabricação.

Todas as possíveis rotas que um dado componente pode seguir dentro do modelo estão representadas neste quadro. A lógica utilizada pelo sistema é verificar no roteiro de fabricação

qual o próximo recurso a ser utilizado e direcionar o elemento que simula o componente ao recurso correto.

Quadro 6.4 – Relação Recursos x Número da Rota.

Recurso	Rota
I3-091	1
I3-011	2
I3-012	3
I3-013	4
I3-021	5
I3-031	6
I3-032	7
I3-081	8
I5-101	9
I3-084	10
I3-082	11
I5-051	12
Q4	13
Saída	14

Além da verificação e direcionamento do componente ao recurso correto, o sistema deve interpretar no roteiro o tempo de utilização do recurso requisitado pelo componente em questão.

6.4.1 Definição do escopo

O sistema a ser estudado compreende as áreas responsáveis pela fabricação de componentes primários. O foco do estudo é a área de usinagem, mas em função da forte relação cliente x fornecedor interno, decidiu-se por complementar o modelo do sistema com as áreas de acabamento superficial e controle da qualidade.

Com o foco na análise de cenários futuros e programação da produção, o modelo deve considerar aspectos diretamente ligados à disponibilidade dos recursos. A relação representada no **Quadro 6.3** é um dos fatores críticos, pois é desta relação que se determina o tempo disponível de cada recurso do sistema. Os horários dos turnos e paradas para as refeições devem ser rigorosamente considerados, pois são aspectos fundamentais que garantem a característica de recurso de capacidade finita ao sistema.

O tempo de recurso requisitado em cada operação de fabricação foi simplificado, pois as ordens de fabricação são compostas por lotes pequenos o suficiente para não serem separados a cada etapa do processo. Cada lote de componente somente segue ao próximo recurso após todos os componentes do lote passarem pelo recurso atual. A fórmula que representa o tempo

necessário de utilização do recurso (Tempo) é representada pela **Equação 6.1**, onde T_setup representa o tempo de preparação do recurso para a confecção do lote, T_fabr refere-se ao tempo de fabricação de cada peça, utilizando-se o recurso em questão. Lote é a quantidade de peças que compõe o lote a ser fabricado.

$$\text{Tempo} = T_{\text{setup}} + (T_{\text{fabr}} \times \text{lote}) \quad (6.1)$$

6.4.2 Desenvolvimento e validação do modelo conceitual

O acompanhamento das atividades dentro do sistema permitiu a realização do mapeamento do processo que permitiu gerar um fluxograma extremamente simplificado, mas que representa a dimensão de todas as atividades realizadas.

A **Figura 6.4** representa o fluxograma do processo conforme mapeamento realizado no sistema em análise.

Por se tratar de um fluxo simples a validação do modelo conceitual foi baseada apenas na consulta a especialistas que lidam diretamente com os processos em questão. Um aspecto importante observado e incluído no mapeamento foi a necessidade da representação da lógica de paradas por fim de turno e para refeições.

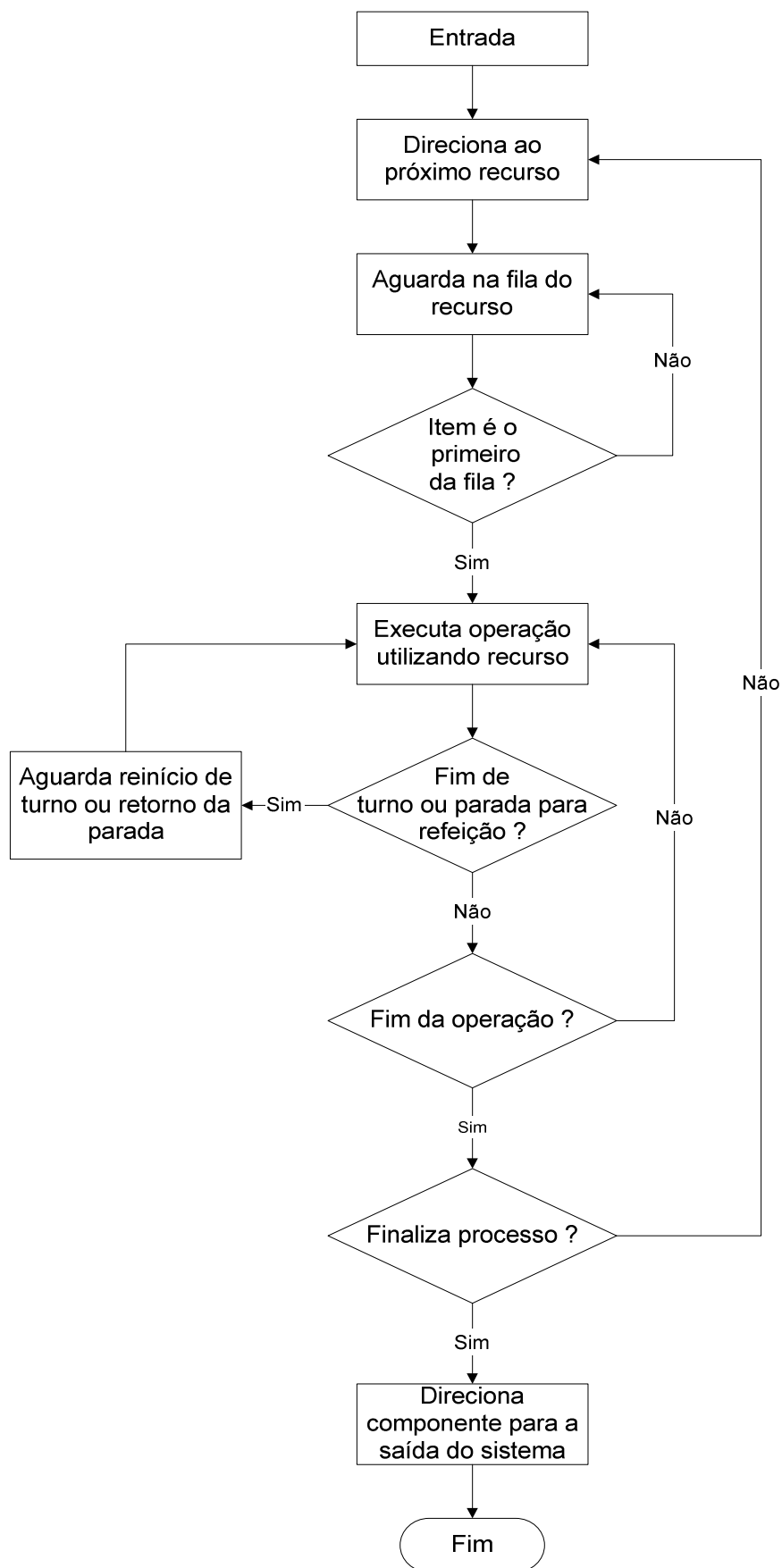


Figura 6.4 – Fluxograma do processo mapeado.

6.4.3 Coleta de dados

Os dados necessários para o desenvolvimento do modelo foram extraídos dos roteiros de fabricação armazenados no sistema *ERP*.

Como a proposta do modelo é, basicamente, trabalhar com cenários futuros e planejamento da produção e em função da empresa, no qual está inserido o objeto de estudo, não possuir um sistema de coleta de dados totalmente implantado, decidiu-se pela utilização de tempos de roteiro, ou seja, foram utilizados os tempos padrão na forma de dados determinísticos.

Outro motivo que levou à escolha de dados determinísticos foi a baixa repetição de itens no processo produtivo. Como já descrito no item 6.2 (Descrição do objeto de estudo), grande parte dos itens produzidos são compostos por protótipos, dos quais não se tem nenhum histórico que possibilite o uso de dados estocásticos.

Não foi necessária a validação dos dados uma vez que os mesmos são valores padronizados e obtidos por fórmulas que determinam o tempo padrão de cada operação, além de serem estes os valores atualmente utilizados para a programação de produção nos moldes convencionais, ou seja, apenas com o uso do *MRP*.

Uma vez que o sistema de coleta de dados esteja devidamente implantado, e caso seja de interesse da empresa, será possível a substituição dos tempos padrão por valores estocásticos coletados diretamente do processo pela simples substituição da planilha que fornece os valores ao modelo de simulação.

6.4.4 Desenvolvimento do modelo computacional

A transformação do modelo conceitual em modelo computacional foi realizada com o auxílio do *software* de simulação de eventos discretos ProModel[®] versão 4.22.

A escolha do ProModel[®] foi baseada nas seguintes aspectos:

- Possibilidade de análises com uso de animação gráfica.
- Possibilidade de integração do modelo com o *software* de simulação SimRunner[®].
- Fácil integração com o sistema *ERP* com o uso de planilhas eletrônicas.
- Conhecimento do pesquisador sobre o desenvolvimento e otimização de modelos utilizando o ProModel[®] e SimRunner[®].
- Disponibilidade dos *softwares* ProModel[®] e SimRunner[®] na instituição onde se realizou a pesquisa.

Segundo Harrel *et al.* (2002) o modelo normalmente se inicia como uma abstração conceitual do sistema, com crescentes níveis de detalhes adicionados à medida que se procede o seu desenvolvimento.

Adotando-se a estratégia descrita anteriormente, o modelo foi construído partindo-se de uma configuração simplificada, com apenas alguns recursos representando parte do sistema. Inicialmente verificou-se a lógica de movimentação das peças entre os recursos.

A segunda etapa do trabalho envolveu o desenvolvimento da lógica relativa às paradas de fim de turno e refeições.

Foram acrescentados os demais recursos do sistema para a verificação do funcionamento das rotinas desenvolvidas.

A entrada de dados foi alterada para que o modelo realizasse a leitura de informações relativas às entidades diretamente de planilhas eletrônicas. Os principais dados de entrada do sistema modelado são os códigos das partes a serem produzidas, ordenadas conforme uma prioridade pré-estabelecida, os recursos a serem utilizados e os tempos de processo em cada recurso.

Realizou-se a introdução de macros que permitiram a modificação do parâmetro ligado à priorização do item dentro das filas de cada recurso. Esta macro foi utilizada durante a fase de otimização do modelo para a obtenção de uma priorização refinada e otimizada dos itens ao longo do processo produtivo.

Finalmente desenvolveu-se uma rotina que permitiu a obtenção de um relatório de saída com dados relativos a cada peça (entidade) do sistema. A principal informação obtida foi a data e hora estimada para a finalização de cada um dos itens processados no sistema modelado.

O desenvolvimento completo do modelo foi realizado através de 11 etapas. A cada etapa o modelo foi devidamente verificado antes da implementação das mudanças e melhorias.

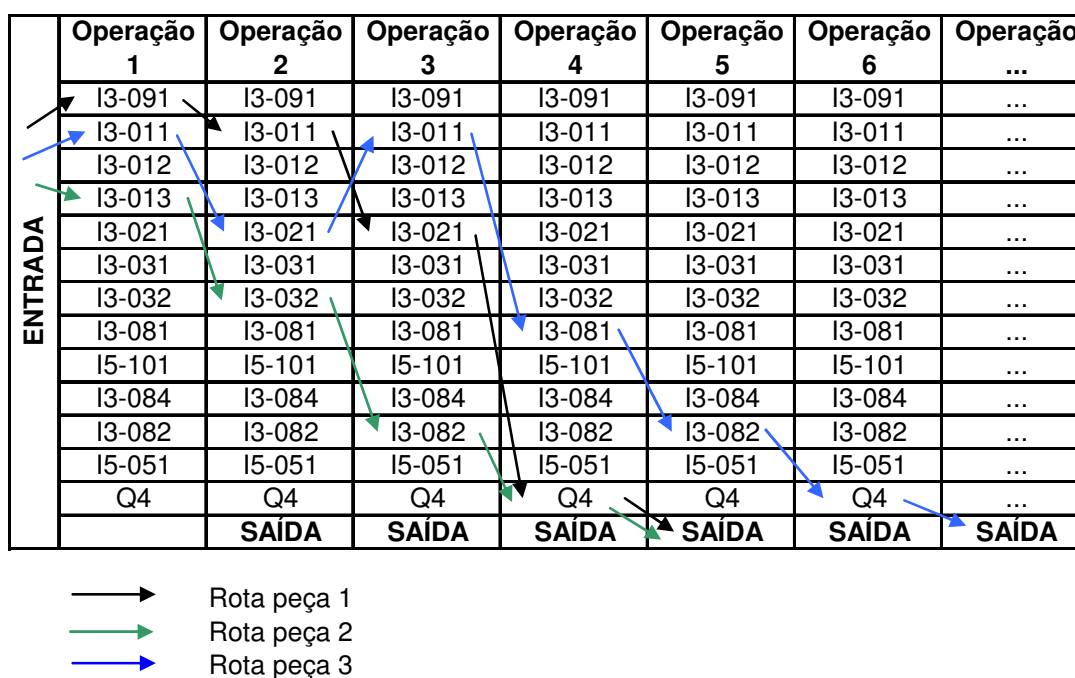
A **Figura 6.5** apresenta uma tela do ProModel[®] com o *layout* do sistema modelado.



Figura 6.5 – *Layout* do sistema modelado.

A **Figura 6.6** apresenta o *layout* do sistema com todos os caminhos possíveis de serem percorridos por uma peça (entidade).

Quadro 6.5 – Exemplo da lógica utilizada para definir rotas.



6.4.5 Verificação do modelo computacional

A verificação do modelo, realizada em cada uma das etapas de desenvolvimento, foi realizada com as seguintes técnicas:

- Animação: verificou-se com esta técnica o correto direcionamento de cada entidade ao recurso indicado no roteiro de operações.
- Validação face-a-face: especialistas ligados às áreas simuladas no modelo foram consultados sobre a validade dos eventos verificados.
- Rastreamento: foram selecionadas entidades, ao acaso, que passaram a ser rastreadas ao longo do modelo. O comportamento das entidades foi comparado ao previsto no roteiro de operações.
- Validação preditiva: realizou-se a comparação entre os resultados de saída e a previsão fornecida pelo modelo e o comportamento real do sistema. A comparação não foi realizada em sua totalidade em função da ausência de dados precisos relativos à coleta de informações na produção. Esta validação foi complementada pela validação face-a-face.

O resultado positivo obtido em cada técnica de validação foi decisivo à continuidade do desenvolvimento do modelo até a obtenção do modelo final, considerado completo o suficiente para atender aos objetivos do estudo em processo.

6.4.6 Definição do experimento e experimentação

O fato de se utilizar apenas dados determinísticos no modelo torna simples o processo de experimentação, pois não é necessária a definição do tamanho e do número de rodadas.

Como já apresentado anteriormente a escolha pela utilização de dados determinísticos deriva da falta de dados coletados confiáveis. Se por um lado o fato de não se utilizar dados estocásticos empobrece de certa forma a qualidade do resultado obtido, por outro a utilização de dados com baixo grau de confiabilidade pode fazer com que a utilização de dados estocásticos indiquem resultados muito menos confiáveis que os fornecidos pela simulação com dados determinísticos.

O processo de experimentação foi realizado com base na produção de itens primários de três diferentes produtos, conforme descrito no item 6.2. A escolha de diferentes perfis de produção permitiu a análise posterior da validade do conceito utilizado na otimização do sistema.

Realizada a experimentação, realizou-se uma nova validação do modelo com base nos resultados observados.

6.4.7 Análise e interpretação dos resultados

Os resultados obtidos com o modelo de simulação permitem a análise de diferentes cenários e fornecem um importante suporte às decisões que serão tomadas sobre a priorização da fabricação de cada item em produção. Segundo O’Kane *et al.* (2000), o uso da simulação, em seu estudo, provou que sempre que uma decisão estratégica está para ser realizada esta pode ser feita com segurança nos resultados e implementada com o menor tempo de parada.

O **Quadro 6.6** apresenta um exemplo parcial da planilha de resultados obtidos. Pode-se observar na coluna “Início” a data e a hora prevista para o início da produção de cada item, da mesma forma na coluna “Fim” verifica-se a data e a hora prevista para o término de cada item. A coluna “T.Proc.” informa quanto minutos cada item permaneceu no sistema.

Quadro 6.6 – Exemplo dos resultados obtidos com o uso do modelo de simulação

Item	Início	Fim	T.Proc.
1	6/2/07 6:18	13/2/07 16:48	178:30:00
2	6/2/07 6:27	6/2/07 15:39	9:12:00
3	6/2/07 7:54	6/2/07 13:01	5:07:00
4	6/2/07 8:35	6/2/07 9:15	0:40:00
5	6/2/07 8:42	6/2/07 9:22	0:40:00
6	5/2/07 6:48	9/2/07 16:18	105:30:00
7	6/2/07 8:57	6/2/07 12:42	3:45:00
8	5/2/07 16:47	6/2/07 15:40	22:53:00
9	6/2/07 7:52	6/2/07 16:37	8:45:00
10	5/2/07 8:51	6/2/07 13:47	28:56:00

6.5 Otimização

O objetivo de se realizar a otimização no modelo de simulação é conseguir algo além da previsão futura de cenários que permitam a tomada de decisões sobre a política de produção a ser utilizada. Espera-se a obtenção do melhor desempenho do sistema modelado, tendo como foco a elevação da velocidade de resposta frente às incertezas e constantes mudanças, comuns em um ambiente de manufatura ágil.

Segundo Corrêa e Corrêa (2005), não há regra mágica que maximize o desempenho da unidade produtiva em todos os aspectos. O resultado de pesquisas sobre regras de seqüenciamento sinaliza para que, na escolha de regras, seja dada preferência a:

- regras dinâmicas em oposição às estáticas (que contemplem as alterações que as condições analisadas sofrem ao longo do tempo, como ordens que estão sendo gradualmente processadas, por exemplo);
- regras globais em oposição às locais (as que consideram o conjunto de operações em relação as que consideram só a operação local).

6.5.1 Definição das variáveis de decisão

A simulação do sistema estudado permitiu a observação da formação de filas de peças que concorriam pelo mesmo recurso durante a execução do processo produtivo.

Cada recurso apresenta uma fila própria e esta se altera a cada movimento de uma peça entre os recursos do sistema. A complexidade de fatores que levam a uma determinada composição de fila, antes de cada recurso, torna quase impossível a elaboração de uma lógica que satisfaça à composição de uma fila ideal.

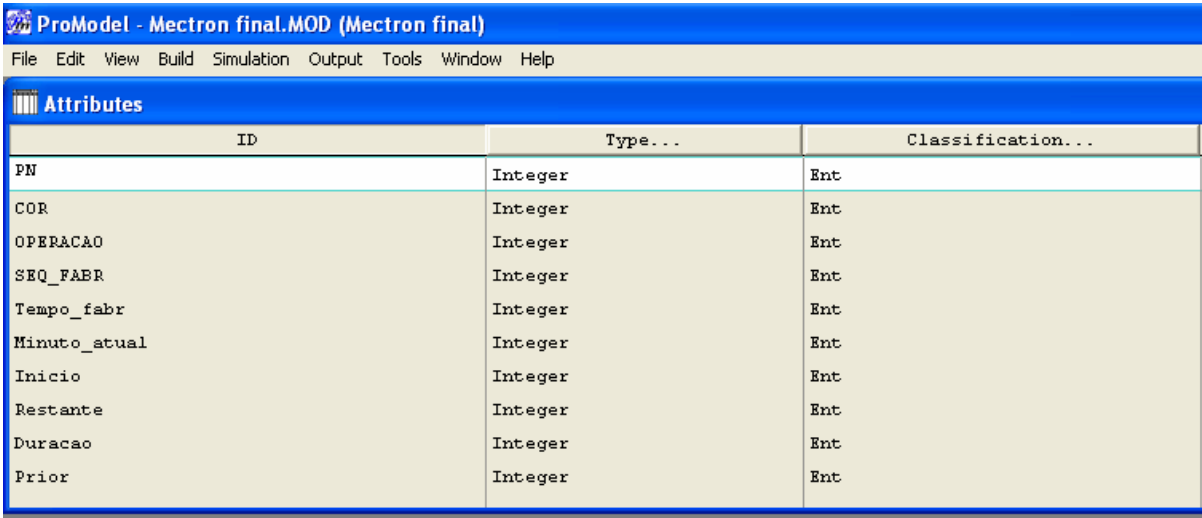
A priorização de cada item é um fator que pode auxiliar na formação da melhor composição de fila, de forma a se obter um menor tempo de passagem para cada item ao longo do sistema.

Decidiu-se pela utilização de um processo de priorização onde cada item pode receber dois fatores de priorização. O primeiro fator é independente do sistema simulado e é fornecido pelo programador de produção em função da data de necessidade de um conjunto do qual o componente fabricado faz parte. O segundo fator de priorização é a variável de decisão do sistema.

A lógica para compor o índice de priorização de um dado item é fornecido pela **Equação 6.2** onde Ind_Prior é o índice de priorização de cada item, Prior * 10 é o fator de priorização independente multiplicado por 10 e Prior_sec é o fator de priorização a ser obtido com a otimização do sistema:

$$\text{Ind_Prior} = \text{Prior} * 10 + \text{Prior_sec} \quad (6.2)$$

No modelo de simulação o fator Prior apresenta-se como um atributo do item a ser produzido, conforme se verifica na **Figura 6.7**.



ID	Type...	Classification...
PN	Integer	Ent
COR	Integer	Ent
OPERACAO	Integer	Ent
SEQ_FABR	Integer	Ent
Tempo_fabr	Integer	Ent
Minuto_atual	Integer	Ent
Inicio	Integer	Ent
Restante	Integer	Ent
Duracao	Integer	Ent
Prior	Integer	Ent

Figura 6.7 – Atributos utilizados no modelo de simulação.

O fator de priorização secundário (Prior_sec) é uma variável que pode assumir os valores 0, 1 ou 2. Inicialmente o modelo tem como valor padrão o número 1.

O modelo desenvolvido utiliza uma regra de decisão para ordenar a fila na entrada de cada recurso. A regra utiliza o índice de priorização obtido com a **Equação 6.2** sendo que os fatores cujo índice são menores são priorizados em relação aos demais. A **Figura 6.8** apresenta a regra de decisão utilizada.

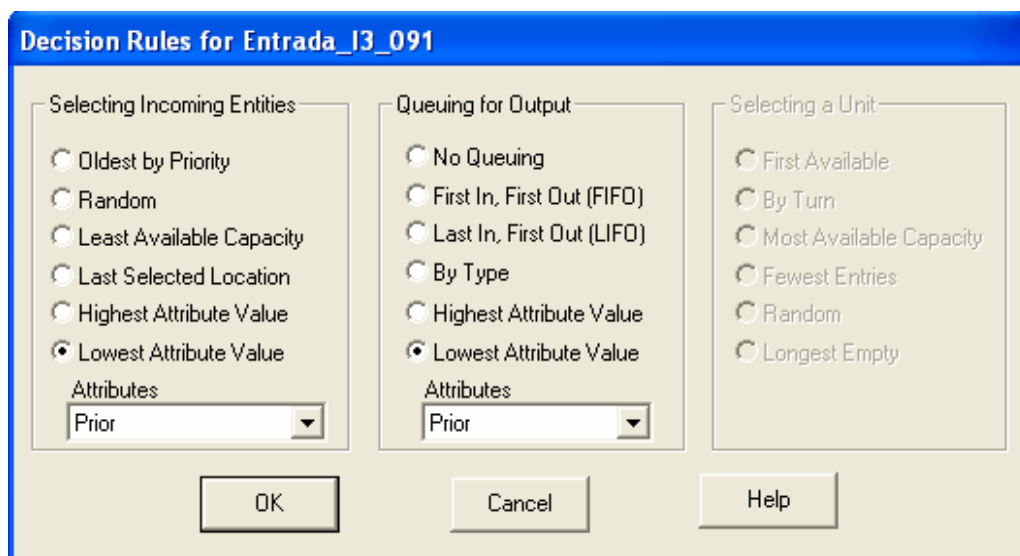


Figura 6.8 – Representação da regra de decisão para priorização de itens nas filas.

Como o valor padrão do índice *Prior_sec* é 1, o número 0 indica que o item deve ser priorizado e o número 2 indica que o item deve permitir que itens na fila com índices 0 ou 1 sejam priorizados. O exemplo a seguir demonstra a lógica utilizada:

Supondo-se uma fila composta por itens cujos índices de priorização são: 21, 31, 11, 22, 10. Considerando-se que a ordem apresentada é a ordem de chegada dos itens, o primeiro item a utilizar o recurso seria aquele que possui o índice 10, seguido por 11, 21, 22 e 31.

O fator de priorização secundário de cada item deveria ser fornecido pelo modelo, após o processo de otimização, no entanto verificou-se a limitação do modelo em atribuir estes valores para um número de itens superior a 50. Como a quantidade de itens a serem produzidos em um mês, e também a ser analisado no modelo, superam a capacidade do *software* de otimização, foi necessária a realização de experimentos a fim de se obter uma lógica que permita a escolha dos itens a serem otimizados e, por conseguinte priorizados no modelo.

A utilização do valor padrão 1 para o índice de priorização secundário permitiu que a otimização dos itens escolhidos realizasse o avanço na fila de itens com fator 0 e o atraso de itens com fator 2, em relação a todos os demais itens não escolhidos como variáveis no processo de otimização.

O objetivo desejado com a otimização do modelo é a minimização do tempo médio dos itens no sistema. A **Figura 6.9** apresenta alguns itens selecionados como fatores de entrada e a função objetivo definida para a otimização do modelo.

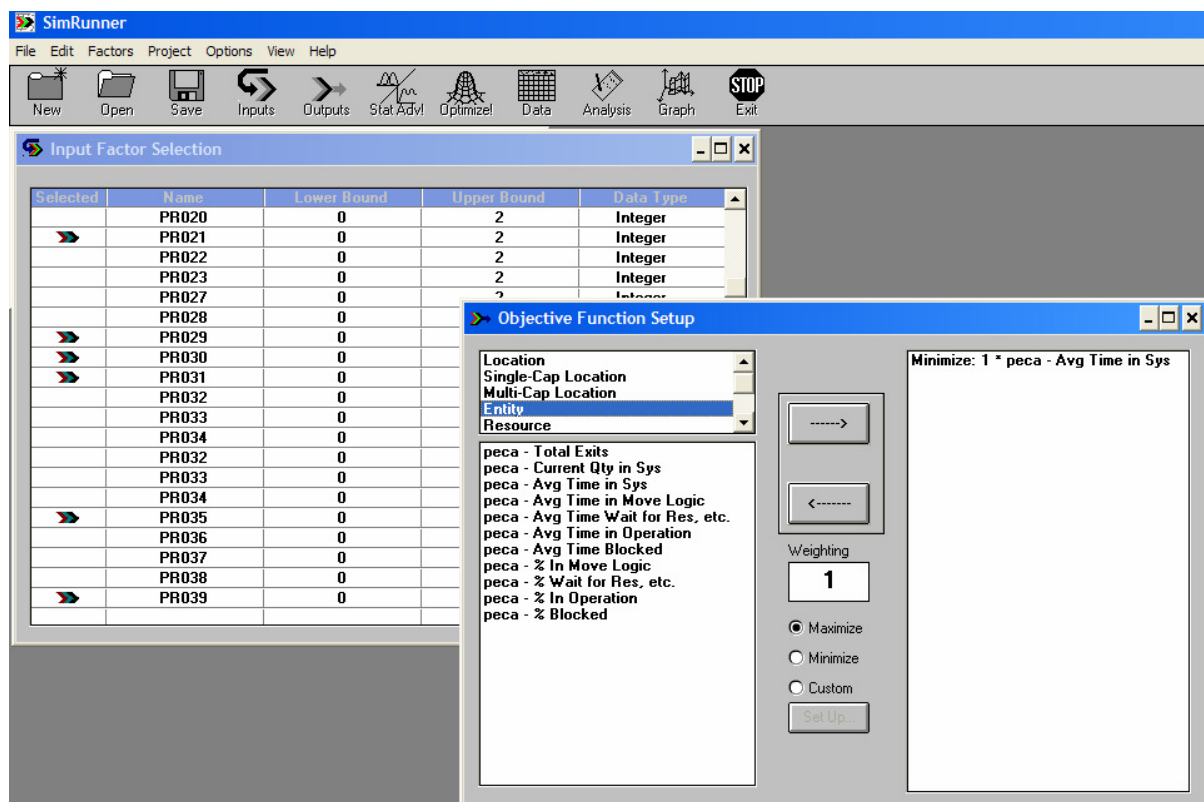


Figura 6.9 – Fatores de entrada selecionados e função objetivo.

6.5.2 Definição dos experimentos

Os experimentos foram realizados com os mesmos itens utilizados na verificação e validação do modelo desenvolvido. Os diferentes perfis característicos de cada conjunto permitiram tornar abrangentes os resultados avaliados. Foram impostas três diferentes situações para cada um dos três diferentes conjuntos de componentes (MAA-1, radar e logística). Como não há a utilização de variáveis estocásticas, definiu-se a realização de um total de nove rodadas.

As situações utilizadas em cada rodada foram:

- Uma rodada sem otimização para a coleta de dados inicial.
- Uma rodada com a otimização de itens cuja quantidade de recursos utilizados ultrapassava a média de recursos utilizados pelos itens do conjunto estudado.
- Uma rodada com a otimização de itens cujo tempo total de utilização de recursos ultrapassava a média de tempo total de utilização de recursos dos itens do conjunto estudado.

6.5.3 Análise dos resultados

Na **Tabela 6.1**, as linhas “s/ otimização” apresentam os resultados utilizados como referência para a verificação dos ganhos obtidos na otimização do sistema, em cada uma dos conjuntos analisados.

As linhas “Rota” indicam os resultados obtidos com a otimização dos itens cuja quantidade de recursos utilizados ultrapassava a média de recursos utilizados pelos itens do conjunto estudado.

As linhas “Tempo” indicam os resultados obtidos com a otimização dos itens cujo tempo total de utilização de recursos ultrapassava a média de tempo total de utilização de recursos dos itens do conjunto estudado.

Observa-se que há reduções nos tempo médios dos itens no sistema tanto na otimização pelos itens com maior quantidade de recursos utilizados, como na otimização pela escolha de itens com maior tempo total de utilização de recursos. Pode-se notar também que há pouca diferença entre os ganhos obtidos em cada rodada realizada, embora seja relevante o ganho obtido de maneira geral.

Resultados obtidos com os itens da Logística			
Itens produzidos	Rodada	Tempo médio no sistema (min.)	Redução Tempo médio no sistema
102	s/ otimização	16862,17	referência
	Rota	15233,47	-9,66%
	Tempo	14809,62	-12,17%
Resultados obtidos com os itens do MAA-1			
Itens produzidos	Rodada	Tempo médio no sistema (min.)	Redução Tempo médio no sistema
111	s/ otimização	7320,95	referência
	Rota	6576,89	-10,16%
	Tempo	6679,09	-8,77%
Resultados obtidos com os itens do Radar			
Itens produzidos	Rodada	Tempo médio no sistema (min.)	Redução Tempo médio no sistema
111	s/ otimização	10378,25	referência
	Rota	9050,24	-12,80%
	Tempo	9183,51	-11,51%

Tabela 6.1 - Resumo dos resultados obtidos em cada rodada do experimento.

Com base na análise dos dados utilizados nos experimentos foi possível verificar-se que a ordenação dos itens, na entrada do sistema, baseado na priorização primária definida pelo programador de produção, pode ser um fator extra de contribuição para a redução do tempo médio dos itens em produção. Desta forma decidiu-se pela reordenação dos itens na lista de

entrada do sistema. Os itens de logística não passaram por este processo, uma vez que já se encontravam ordenados.

Deve-se observar que a ordenação baseada na priorização primária não é um procedimento normal da área de programação e controle da produção da empresa estudada.

Na **Tabela 6.2** observam-se os ganhos obtidos na redução do tempo médio dos itens no sistema com a adoção da ordenação dos itens antes da entrada no sistema.

A simples ordenação dos itens conforme a priorização primária já permite algum ganho, conforme observado na linha “Ordenado”.

Além da ordenação e da otimização dos itens com base nos parâmetros citados anteriormente, ou seja, pelos itens com maior quantidade de recursos utilizados e itens com os maiores tempos totais de utilização de recursos, realizou-se uma otimização com base numa composição dos dois parâmetros.

A composição de parâmetros foi baseada na escolha de itens que se encontravam acima do terceiro quartil tanto em relação à quantidade de recursos utilizados, como em relação ao tempo total de utilização de recursos.

Observando-se os resultados obtidos, verifica-se que nos itens do Radar, o melhor resultado é obtido com a ordenação inicial dos itens e posterior priorização secundária baseada nos itens com maior quantidade de recursos utilizados. Muito embora o resultado isolado seja promissor, é necessária a adoção de uma regra única que permita bons ganhos com a realização de apenas uma rodada de otimização, de forma a realmente tornar simples tanto a definição de um procedimento, como a utilização da ferramenta.

O resumo geral de resultados aponta a combinação denominada “Ordenado Rota + Tempo” uma boa opção de regra geral a ser utilizada.

A redução do tempo médio dos itens no sistema implica diretamente numa redução dos custos de produção do lote, pois permite a liberação antecipada das máquinas para um novo lote de produção ou no caso da carga de produção ter atingido o limite disponível, evita a compra desnecessária de horas de usinagem em fornecedores devidamente qualificados.

Resultados obtidos com os itens da Logística			
Itens produzidos	Rodada	Tempo médio no sistema (min.)	Redução Tempo médio no sistema
102	s/ otimização	16862,17	referência
	Rota	15233,47	-9,66%
	Tempo	14809,62	-12,17%
	Rota + Tempo	14651,2	-13,11%
Resultados obtidos com os itens do MAA-1			
Itens produzidos	Rodada	Tempo médio no sistema (min.)	Redução Tempo médio no sistema
111	s/ otimização	7320,95	referência
	Rota	6576,89	-10,16%
	Tempo	6679,09	-8,77%
	Ordenado	6990,19	-4,52%
	Ordenado Rota	6495,95	-11,27%
	Ordenado Tempo	6467,01	-11,66%
	Ordenado Rota + Tempo	6434,22	-12,11%
Resultados obtidos com os itens do Radar			
Itens produzidos	Rodada	Tempo médio no sistema (min.)	Redução Tempo médio no sistema
111	s/ otimização	10378,25	referência
	Rota	9050,24	-12,80%
	Tempo	9183,51	-11,51%
	Ordenado	10094,41	-2,73%
	Ordenado Rota	8453,12	-18,55%
	Ordenado Tempo	9356,2	-9,85%
	Ordenado Rota + Tempo	9089,13	-12,42%

Tabela 6.2 – Resumo dos experimentos realizados.

A economia obtida com a possível redução de horas de usinagem compradas de fornecedores qualificados é uma referência financeira válida para se verificar os ganhos obtidos. Pode ser verificada no **Tabela 6.3** que embora não sejam altos os ganhos do ponto de vista financeiro, deve-se observar que não é necessário nenhum investimento extra para atingi-los.

Resultados obtidos na otimização do sistema						
Itens produzidos	Rodada	Tempo médio no sistema (min.)	Redução Tempo médio no sistema	Tempo reduzido (min.)	Custo hora (R\$)	Economia esperada (R\$)
Logística	Rota + Tempo	14651,2	-13,11%	-1920,77	70,00	-2240,90
MAA-1	Ordenado Rota + Tempo	6434,22	-12,11%	-779,18	70,00	-909,05
Radar	Ordenado Rota + Tempo	9089,13	-12,42%	-1128,87	70,00	-1317,01

Tabela 6.3 – Estimativa de redução de custos na produção após otimização.

Para Corrêa e Corrêa (2005), a forma com que se seqüenciam as ordens de produção em sistemas *job shop* é influenciadora do desempenho da operação em termos de aspectos que têm repercussão estratégica, como:

- Percentual de ordens de produção completadas no prazo;
- Tempo médio “de atravessamento” da ordem.
- Níveis de estoques em processo na unidade produtiva;
- Níveis de utilização de recursos – percentual do tempo durante o qual os recursos estão sendo efetivamente utilizados.

O ganho financeiro total obtido com a liberação antecipada das máquinas é de difícil mensuração, pois implica num aumento da produtividade, ou num aumento de horas de máquinas disponíveis para o desenvolvimento de protótipos, cujo efeito final pode ser um produto mais estável do ponto de vista da manufaturabilidade.

6.6 Considerações finais

A utilização do modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido para o sistema analisado, verificou-se que é possível a previsão da data de finalização de qualquer item a ser produzido.

O simples uso do modelo já representa uma ferramenta que pode contribuir muito na programação e controle da produção de um sistema de produção baseado em um sistema *job shop*. O uso da otimização aliada ao modelo desenvolvido demonstrou a possibilidade de ganhos com a redução de tempos de processamento que intuitivamente seriam impossíveis de se obter em um sistema com tal complexidade.

Pode-se ressaltar também que a utilização da simulação é uma ferramenta que pode vir a fortalecer vários atributos vinculados à manufatura ágil.

CONCLUSÕES

7.1 Considerações iniciais

Este capítulo tem a finalidade de apresentar as conclusões obtidas com o desenvolvimento deste trabalho, pela aplicação das ferramentas propostas. Serão apresentadas também as contribuições oferecidas e as sugestões para trabalhos futuros.

7.2 Conclusões e contribuições do trabalho

O uso da simulação de eventos discretos como ferramenta para o estudo do comportamento de um determinado sistema é um recurso que não pode ser desprezado pelas empresas que estão inseridas num contexto onde o paradigma da manufatura ágil apresenta-se como a próxima fronteira a ser desbravada.

A flexibilidade oferecida pelos atuais *softwares* de simulação de eventos discretos permite uma ampliação da gama de possibilidades que vão além do conceito básico de previsão de complexos cenários futuros. A proposta de utilização de um modelo desenvolvido para uso como ferramenta de apoio ao planejamento da produção é uma forma de se tentar desmistificar e tornar mais popular o uso da simulação de eventos discretos no meio empresarial.

A necessidade de suprir a área de PCP com uma ferramenta que complemente as já conhecidas limitações do sistema *MRP* é mais um argumento que aponta para o uso da simulação como possível solução de integração no ambiente de produção.

Os resultados obtidos com o uso do modelo desenvolvido neste trabalho confirmam as hipóteses inicialmente levantadas:

1. Um modelo de simulação de eventos discretos pode ser utilizado, pela área de PCP, como uma ferramenta de uso diário, para auxiliar e complementar o sistema *MRP*.
2. A combinação do modelo de simulação e a otimização podem trazer benefícios além da simples previsão de cenários futuros, melhorando o desempenho do sistema analisado.

A otimização realizada demonstrou a possibilidade de redução do tempo de processamento dos itens, observado pela redução do tempo médio dos itens no sistema.

Embora o valor da economia direta obtida pela otimização seja baixo, deve-se observar o ganho com a melhoria da estimativa de entrega do produto final ao cliente. Da correta estimativa de entrega ao cliente depende todo o faturamento e o correto planejamento financeiro da empresa.

Entre as contribuições deste trabalho, pode-se citar:

- A utilização da simulação de eventos discretos como uma ferramenta de auxílio ao entendimento do novo paradigma dos sistemas de manufatura, ou seja, a manufatura ágil.
- A utilização da simulação de eventos discretos como uma ferramenta de apoio a área de planejamento e controle da produção em um ambiente de produção *job shop* inserido no contexto da manufatura ágil.

7.3 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para a linha de estudo desenvolvida, podemos citar:

- Integrar o sistema de planejamento com um sistema automático de coleta de dados na produção para permitir a realimentação do sistema de planejamento da produção.
- Implementar dados estocásticos e eventos que ocorram no sistema para melhorar a previsibilidade das datas de entrega dos produtos.
- Ampliar o modelo desenvolvido de forma a englobar todo o sistema produtivo, até a obtenção do produto final.
- Desenvolver novos modelos de simulação para testar e ampliar os conceitos sobre a manufatura ágil.

7.4 Considerações finais

O trabalho apresentado buscou aumentar o conhecimento sobre o novo paradigma da manufatura denominado manufatura ágil. Com o desenvolvimento de modelos de simulação de eventos discretos verificou-se a possibilidade do uso desta ferramenta como apoio ao estudo do sistema a ser analisado, bem como sua utilização como ferramenta de apoio à área de planejamento e controle da produção.

Conforme afirmação de Jin-Hai *et al.* (2003) e o modelo apresentado com as características da manufatura ágil, a área de tecnologia da informação é a grande responsável por prover a infraestrutura necessária à agilidade das empresas. Neste contexto o modelo de simulação de

eventos discretos desenvolvido é mais uma das ferramentas que pode compor o pacote de recursos a serem oferecidos pela TI.

Apesar das dificuldades ainda presentes para o uso da simulação de eventos discretos, a busca por popularizar esta ferramenta não deve ser realizada sem a correta implementação de todos os passos sugeridos.

A simulação de eventos discretos ainda é a mais acessível forma de auxílio à análise e apoio à decisão de sistemas produtivos complexos.

Referências Bibliográficas

APRIL, J.; BETTER, M.; GLOVER, F.; KELLY, J.; LAGUNA, M. Enhancing business process management with simulation optimization. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2006.

AZADIVAR, F. Simulation optimization methodologies. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 1999.

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

BEHESHTI, H.M. What managers should know about ERP/ERP II. **Management Research News**, v. 29, n. 4, p. 184-493, 2006.

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BOOTH, R. Agile manufacturing. **Engineering Management Journal**, p. 105-112, abril 1996.

BOWDEN, R.O.; HALL, J.D. Simulation optimization research and development. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 1998.

CARIDI, M.; CIGOLINI, R. Improving materials management effectiveness. A step towards agile enterprise. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 32, n. 7, p. 556-576, 2002.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C.; **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 1ª.ed. São Paulo: Bravarte, 2006.

CORRÊA, H.L.; CORRÊA C.A. **Administração de produção e de operações**. Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 2ª.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2005

CORRÊA, H.L.; GIANESE, I.G.N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRPII / ERP: Conceitos, Uso e Implantação**, 4ª.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2001

DUARTE, R. N. **Simulação computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

DUGUAY, C.R.; LANDRY, S.; PASIN, F. From mass production to flexible/agile production. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 12, p. 183-1195, 1997.

FU, M.C. Simulation optimization. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2001.

FU, M.C., GLOVER, F.W., APRIL, J. Simulation optimization: a review, new developments, and applications. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2005.

GUNASEKARAN, A. Editorial: Design and implementation of agile manufacturing systems. **International Journal of Production Economics**, v. 62, p. 1-6, 1999.

GUNASEKARAN, A.; TIRTIROGLU, E.; WOLSTENCROFT, V. An investigation into the application of agile manufacturing in an aerospace company. **Technovation**, v. 22, p. 405-415, 2002.

HARREL, C.R.; MOTT, J.R.A.; BATEMAN, R.E.; BOWDEN, R.G.; GOGG, T.J. **Simulação: otimizando os sistemas**. 2^a ed. Instituto IMAM, 2002 traduzido da 5^a ed. Promodel Corporation, 1997.

HORMOZI, A.M. Agile manufacturing: the next logical step. **Benchmarking: an International Journal**, v. 8, n. 2, p. 132-143, 2001.

JAMES-MOORE, S.M.; GIBBONS, A. Is lean manufacture universally relevant? An investigative methodology. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 9, p. 899-911, 1997.

JIN-HAI, L.; ANDERSON, A.R.; HARRISON, R.T. The evolution of agile manufacturing. **Business Process Management Journal**, v. 9, n. 2, p. 170-189, 2003.

KELLNER, M.I.; MADACHY, R.J.; RAFFO, D.M. Software process simulation modeling: Why? What? How? **The Journal of System and Software**, v. 96, p. 91-105, 1999.

KOH, S.C.L.; GUNASEKARAN, A. A knowledge management approach for managing uncertainty in manufacturing. **International Management & Data System**, v. 106, n. 4, p. 439-459, 2006.

KOH, S.C.L.; JONES, M.H.; SAAD, S.M.; ARUNACHALAM, S.; GUNASEKARAN, A. Measuring uncertainties in MRP environments. **Logistics Information Management**, v. 13, n. 3, p. 177-183, 2000.

KOH, S.C.L.; SIMPSON, M. Change and uncertainty in SME manufacturing environments using ERP. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 16, n. 6, p. 629-653, 2005.

MARVEL, J.H.; SCHAUB, M.A.; WECKMAN, G. Validating the capacity planning process and flowline product sequencing through simulation analysis. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2005.

MOON, Y. B.; PHATAK, D. Enhancing ERP system's functionality with discrete event simulation. **Industrial Management & Data Systems**, v. 105, n. 9, p. 1206-1224, 2005.

NARASIMHAN, R.; SWINK, M.; KIM, S.W. Disentangling leanness and agility: An empirical investigation. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 5, p. 440-457, 2006.

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

ORADY, E.A.; OSMAN, T.A.; BAILO, C.P. Capability study of robotics and manufacturing cell simulation software. **21st International Conference on Computers and Industrial Engineering**, v. 33, n. 1-2, p. 83-86, 1997.

PHILLIPS, M. Agile manufacturing in the aerospace industry: an industry viewpoint. **International Journal of Agile Management Systems**, p. 17-22, 1999.

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

SARGENT, R.G. Validation and verification of simulation models. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2004.

SCHRIBER, T.J.; BRUNNER, D.T. Inside discrete-event simulation software: how it works and why it matters. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2004.

SHANNON, R.E. Introduction to the art and science of simulation. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 1998.

SHARIFI, H.; ZHANG, Z. A methodology for achieving agility in manufacturing organizations: An introduction. **International Journal of Production Economics**, v. 62, p. 7-22, 1999.

SHARIFI, H.; ZHANG, Z. Agile manufacturing in practice. Application of a methodology. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n. 5/6, p. 772-794, 2001.

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

SIMRUNNER USER'S GUIDE. ProModel Corporation, 2002.

VÁZQUEZ-BUSTELO, D.; AVELLA, L. Agile manufacturing: Industrial case studies in Spain. **Technovation**, v. 26, n. 10, p. 1147-1161, outubro 2006.

YUSUF, Y.Y.; SARHADI, M.; GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing: The drivers, concepts and attributes. **International Journal of Production Economics**, v. 62, p. 33-43, 1999.

ANEXO 1

Programação do modelo no ProModel

```
*****
*
*                               *
*       Formatted Listing of Model:       *
* C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\Modelos\Mectron final.MOD *
*
*****
```

```
Time Units:           Minutes
Distance Units:       Meters
```

```
*****
*                               *
*       Locations               *
*****
```

Name	Cap	Units	Stats	Rules	Cost
Entrada	inf	1	Time Series	Min(Prior), Min(Prior),	
Entrada_I3_091	inf	1	Time Series	Min(Prior), Min(Prior),	
I3_091	1	1	Time Series	Oldest, ,	
Entrada_I3_011	inf	1	Time Series	Min(Prior), Min(Prior),	
I3_011	1	4	Time Series	Oldest, , First	
I3_011.1	1	1	Time Series	Oldest, ,	
I3_011.2	1	1	Time Series	Oldest, ,	
I3_011.3	1	1	Time Series	Oldest, ,	
I3_011.4	1	1	Time Series	Oldest, ,	
Entrada_I3_012	inf	1	Time Series	Min(Prior), Min(Prior),	
I3_012	1	1	Time Series	Oldest, ,	
Entrada_I3_013	inf	1	Time Series	Min(Prior), Min(Prior),	
I3_013	1	1	Time Series	Oldest, ,	
Entrada_I3_021	inf	1	Time Series	Min(Prior), Min(Prior),	
I3_021	1	3	Time Series	Oldest, , First	
I3_021.1	1	1	Time Series	Oldest, ,	

I3_021.2	1	1	Time Series Oldest, ,
I3_021.3	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_I3_031	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
I3_031	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_I3_032	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
I3_032	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_I3_081	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
I3_081	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_I5_101	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
I5_101	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_I3_084	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
I3_084	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_I3_082	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
I3_082	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_I5_051	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
I5_051	1	1	Time Series Oldest, ,
Entrada_Q4	inf	1	Time Series Min(Prior), Min(Prior),
Q4	4	1	Time Series Oldest, ,
Saida	inf	1	Time Series Oldest, ,

```

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

```

Name	Speed (mpm)	Stats	Cost
-----	-----	-----	-----
peca	50	Time Series	

```

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

```

Name	Type	T/S	From	To	BI	Dist/Time	Speed Factor
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Rede_01	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	3.19	1
			N2	N3	Bi	28.27	1
Rede_02	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	2.07	1
			N2	N3	Bi	6.87	1

Rede_03	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	2.44	1
			N1	N3	Bi	8.67	1
Rede_04	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	3.53	1
			N1	N3	Bi	10.87	1
Rede_05	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	6.40	1
			N1	N3	Bi	11.50	1
Rede_06	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	2.20	1
			N2	N3	Bi	14.02	1
Rede_07	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	4.09	1
			N1	N3	Bi	21.16	1
Rede_08	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	3.38	1
			N1	N3	Bi	14.52	1
Rede_09	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	4.90	1
			N1	N3	Bi	13.68	1
Rede_10	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	6.46	1
			N1	N3	Bi	13.80	1
Rede_11	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	4.81	1
			N1	N3	Bi	14.60	1
Rede_12	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	3.53	1
			N1	N3	Bi	17.93	1
Rede_13	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	4.55	1
			N2	N4	Bi	3.16	1
			N4	N5	Bi	3.82	1
			N1	N6	Bi	15.68	1
Rede_14	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	2.55	1
			N2	N3	Bi	1.80	1
			N3	N4	Bi	1.98	1
			N4	N5	Bi	22.43	1
			N1	N8	Bi	13.54	1
			N5	N6	Bi	2.49	1
Rede_15	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	5.33	1
			N1	N3	Bi	21.67	1
Rede_16	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	2.25	1
			N1	N3	Bi	8.72	1
Rede_17	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	2.86	1
			N1	N3	Bi	8.14	1

```

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

```

Net	Node	Location
-----	-----	-----
Rede_01	N1	Entrada_I3_091
	N2	I3_091
Rede_02	N2	I3_011
	N1	Entrada_I3_011
Rede_03	N2	I3_011
	N1	Entrada_I3_011
Rede_04	N2	I3_011
	N1	Entrada_I3_011
Rede_05	N2	I3_011
	N1	Entrada_I3_011
Rede_06	N1	Entrada_I3_012
	N2	I3_012
Rede_07	N2	I3_013
	N1	Entrada_I3_013
Rede_08	N1	Entrada_I3_021
	N2	I3_021
Rede_09	N1	Entrada_I3_021
	N2	I3_021
Rede_10	N2	I3_021
	N1	Entrada_I3_021
Rede_11	N1	Entrada_I3_031
	N2	I3_031
Rede_12	N1	Entrada_I3_032
	N2	I3_032
Rede_13	N1	Entrada_I3_031
	N2	I3_031
	N4	Entrada_I3_032
	N5	I3_032
Rede_14	N1	Entrada_I3_082
	N2	I3_082
	N3	Entrada_I3_084
	N4	I3_084

	N5	Entrada_I3_081
	N6	I3_081
Rede_15	N1	Entrada_I5_051
	N2	I5_051
Rede_16	N1	Entrada_I5_101
	N2	I5_101
Rede_17	N1	Entrada_Q4
	N2	Q4

 * Resources *

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
Operador_01	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_01 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador_02	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_02 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador_03	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_02 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador_04	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_03 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador_05	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_03 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	
Operador_06	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_04 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm	

Operador_07 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_05 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_08 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_06 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_09 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_07 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_10 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_08 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_11 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_08 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_12 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_09 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_13 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_10 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_14 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_10 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_15 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_11 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm
Operador_16 1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_12 Home: N1 (Return)	Empty: 50 mpm Full: 50 mpm

Operador_17	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_13	Empty: 50 mpm
					Home: N1	Full: 50 mpm
					(Return)	
Operador_18	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_14	Empty: 50 mpm
					Home: N1	Full: 50 mpm
					(Return)	
Pintor	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_15	Empty: 50 mpm
					Home: N1	Full: 50 mpm
					(Return)	
Montador	1	By Unit	Closest	Oldest	Rede_16	Empty: 50 mpm
					Home: N1	Full: 50 mpm
					(Return)	
Inspetor	4	By Unit	Closest	Oldest	Rede_17	Empty: 50 mpm
					Home: N1	Full: 50 mpm
					(Return)	

 * Processing *

Process			Routing				
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----
ALL	Entrada	GRAPHIC COR					
		Prior_sec[1] = PR001					
		Prior_sec[2] = PR002					
		Prior_sec[3] = PR003					
		Prior_sec[4] = PR004					
		Prior_sec[5] = PR005					
		Prior_sec[6] = PR006					
		Prior_sec[7] = PR007					
		Prior_sec[8] = PR008					
		Prior_sec[9] = PR009					

Prior_sec[10] = PR010
Prior_sec[11] = PR011
Prior_sec[12] = PR012
Prior_sec[13] = PR013
Prior_sec[14] = PR014
Prior_sec[15] = PR015
Prior_sec[16] = PR016
Prior_sec[17] = PR017
Prior_sec[18] = PR018
Prior_sec[19] = PR019
Prior_sec[20] = PR020
Prior_sec[21] = PR021
Prior_sec[22] = PR022
Prior_sec[23] = PR023
Prior_sec[24] = PR024
Prior_sec[25] = PR025
Prior_sec[26] = PR026
Prior_sec[27] = PR027
Prior_sec[28] = PR028
Prior_sec[29] = PR029
Prior_sec[30] = PR030
Prior_sec[31] = PR031
Prior_sec[32] = PR032
Prior_sec[33] = PR033
Prior_sec[34] = PR034
Prior_sec[35] = PR035
Prior_sec[36] = PR036
Prior_sec[37] = PR037
Prior_sec[38] = PR038
Prior_sec[39] = PR039
Prior_sec[40] = PR040
Prior_sec[41] = PR041
Prior_sec[42] = PR042
Prior_sec[43] = PR043
Prior_sec[44] = PR044
Prior_sec[45] = PR045
Prior_sec[46] = PR046
Prior_sec[47] = PR047
Prior_sec[48] = PR048
Prior_sec[49] = PR049

Prior_sec[50] = PR050
Prior_sec[51] = PR051
Prior_sec[52] = PR052
Prior_sec[53] = PR053
Prior_sec[54] = PR054
Prior_sec[55] = PR055
Prior_sec[56] = PR056
Prior_sec[57] = PR057
Prior_sec[58] = PR058
Prior_sec[59] = PR059
Prior_sec[60] = PR060
Prior_sec[61] = PR061
Prior_sec[62] = PR062
Prior_sec[63] = PR063
Prior_sec[64] = PR064
Prior_sec[65] = PR065
Prior_sec[66] = PR066
Prior_sec[67] = PR067
Prior_sec[68] = PR068
Prior_sec[69] = PR069
Prior_sec[70] = PR070
Prior_sec[71] = PR071
Prior_sec[72] = PR072
Prior_sec[73] = PR073
Prior_sec[74] = PR074
Prior_sec[75] = PR075
Prior_sec[76] = PR076
Prior_sec[77] = PR077
Prior_sec[78] = PR078
Prior_sec[79] = PR079
Prior_sec[80] = PR080
Prior_sec[81] = PR081
Prior_sec[82] = PR082
Prior_sec[83] = PR083
Prior_sec[84] = PR084
Prior_sec[85] = PR085
Prior_sec[86] = PR086
Prior_sec[87] = PR087
Prior_sec[88] = PR088
Prior_sec[89] = PR089

```

Prior_sec[90] = PR090
Prior_sec[91] = PR091
Prior_sec[92] = PR092
Prior_sec[93] = PR093
Prior_sec[94] = PR094
Prior_sec[95] = PR095
Prior_sec[96] = PR096
Prior_sec[97] = PR097
Prior_sec[98] = PR098
Prior_sec[99] = PR099
Prior_sec[100] = PR100
Prior_sec[101] = PR101
Prior_sec[102] = PR102
Prior_sec[103] = PR103
Prior_sec[104] = PR104
Prior_sec[105] = PR105

Prior_sec[106] = PR106
Prior_sec[107] = PR107
Prior_sec[108] = PR108
Prior_sec[109] = PR109
Prior_sec[110] = PR110
Prior_sec[111] = PR111
Prior = Prior * 10 + Prior_sec[PN]

ROUTE Matriz_rotteiros[OPERACAO,SEQ_FABR]

```

1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST	1
2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST	1
3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST	1
4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1
5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1
6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1
7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1
8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1

			9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
			10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
			11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
			12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
			13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	Entrada_I3_091		1	ALL	I3_091	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
CLOCK(MIN)								
								MOVE WITH Operador_01 THEN FREE
ALL	I3_091	GET Operador_01						
		WAIT Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]						
		FREE ALL						
		INC OPERACAO, 1						
		ROUTE Matriz_rotatorios[OPERACAO, SEQ_FABR]						
			1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST	1	
			2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST	1	
			3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST	1	
			4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1	
			5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1	
			6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1	
			7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1	
			8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1	
			9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
			10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
			11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
			12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
			13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	Entrada_I3_011		1	ALL	I3_011	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
CLOCK(MIN)								
								MOVE WITH Operador_02 OR
Operador_04 OR Operador_06 OR Operador_07 OR Operador_03 OR Operador_05 THEN FREE								
ALL	I3_011	Duracao = Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]						
		WHILE Duracao > 0 DO						
		{						

```

Minuto_atual = CALHOUR() * 60 + CALMIN()
IF Minuto_atual >= 1390 THEN
{
Minuto_atual = 345
}
IF Minuto_atual < 870 THEN
{
    BEGIN
        IF LOCATION() = I3_011.1 THEN
        {
            GET Operador_02
        }
        IF LOCATION() = I3_011.2 THEN
        {
            GET Operador_04
        }
        IF LOCATION() = I3_011.3 THEN
        {
            GET Operador_06
        }
        IF LOCATION() = I3_011.4 THEN
        {
            GET Operador_07
        }
        Inicio = 870 - Minuto_atual
        IF Inicio > 140 THEN
        {
            Inicio = 870 - Minuto_atual - 40
        }
    END
}
ELSE
{
    BEGIN
        IF LOCATION() = I3_011.1 THEN
        {
            GET Operador_03
        }
        IF LOCATION() = I3_011.2 THEN
        {

```

```

        GET Operador_05
    }
    Inicio = 1390 - Minuto_atual
    IF Inicio > 250 THEN
    {
        Inicio = 1390 - Minuto_atual - 30
    }
    END
}
IF Duracao < Inicio THEN
{
    BEGIN
    WAIT Duracao
    END

}
ELSE
{
    BEGIN
    WAIT Inicio
    END

}
FREE ALL
Restante = Duracao - Inicio
Duracao = Restante
}
FREE ALL
INC OPERACAO, 1
ROUTE Matriz_rotteiros[OPERACAO, SEQ_FABR]
1      ALL      Entrada_I3_091 FIRST 1
2      ALL      Entrada_I3_011 FIRST 1
3      ALL      Entrada_I3_012 FIRST 1
4      ALL      Entrada_I3_013 FIRST 1
5      ALL      Entrada_I3_021 FIRST 1
6      ALL      Entrada_I3_031 FIRST 1
7      ALL      Entrada_I3_032 FIRST 1
8      ALL      Entrada_I3_081 FIRST 1
9      ALL      Entrada_I5_101 FIRST 1
10     ALL      Entrada_I3_084 FIRST 1
11     ALL      Entrada_I3_082 FIRST 1
12     ALL      Entrada_I5_051 FIRST 1

```

ALL	Entrada_I3_012		13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
CLOCK(MIN)			1	ALL	I3_012	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
								MOVE WITH Operador_08 THEN FREE
ALL	I3_012	GET Operador_08						
		WAIT Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]						
		FREE ALL						
		INC OPERACAO, 1						
		ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO, SEQ_FABR]						
			1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST	1	
			2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST	1	
			3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST	1	
			4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1	
			5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1	
			6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1	
			7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1	
			8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1	
			9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
			10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
			11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
			12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
			13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	Entrada_I3_013		1	ALL	I3_013	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
CLOCK(MIN)								MOVE WITH Operador_09 THEN FREE
ALL	I3_013	GET Operador_09						
		WAIT Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]						
		FREE ALL						
		INC OPERACAO, 1						
		ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO, SEQ_FABR]						
			1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST	1	
			2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST	1	
			3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST	1	
			4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1	
			5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1	
			6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1	
			7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1	
			8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1	

		9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
		10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
		11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
		12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
		13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	Entrada_I3_021	1	ALL	I3_021	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =

CLOCK(MIN)

Operador_11 OR Operador_12 OR Operador_13 OR Operador_14 THEN FREE

MOVE WITH Operador_10 OR

```

ALL      I3_021      Duracao = Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]
      WHILE Duracao > 0 DO
      {
        Minuto_atual = CALHOUR() * 60 + CALMIN()
        IF Minuto_atual >= 1390 THEN
        {
          Minuto_atual = 345
        }
        IF Minuto_atual < 870 THEN
        {
          BEGIN
            IF LOCATION() = I3_021.1 THEN
            {
              GET Operador_10
            }
            IF LOCATION() = I3_021.2 THEN
            {
              GET Operador_12
            }
            IF LOCATION() = I3_021.3 THEN
            {
              GET Operador_13
            }
            Inicio = 870 - Minuto_atual
            IF Inicio > 140 THEN
            {
              Inicio = 870 - Minuto_atual - 40
            }
          END
        }
      }

```



```

ELSE
{
BEGIN
    IF LOCATION() = I3_021.1 THEN
    {
    GET Operador_11
    }
    IF LOCATION() = I3_021.3 THEN
    {
    GET Operador_14
    }
    Inicio = 1390 - Minuto_atual
    IF Inicio > 250 THEN
    {
    Inicio = 1390 - Minuto_atual - 30
    }
    END
}
IF Duracao < Inicio THEN
{
BEGIN
WAIT Duracao
END
}
ELSE
{
BEGIN
WAIT Inicio
END
}
FREE ALL
Restante = Duracao - Inicio
Duracao = Restante
}
FREE ALL
INC OPERACAO, 1
ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO, SEQ_FABR]
1    ALL    Entrada_I3_091 FIRST 1
2    ALL    Entrada_I3_011 FIRST 1
3    ALL    Entrada_I3_012 FIRST 1

```

	4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1	
	5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1	
	6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1	
	7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1	
	8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1	
	9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
	10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
	11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
	12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
	13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	1	ALL	I3_031	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =

CLOCK(MIN)

Operador_17 THEN FREE

ALL I3_031

Duracao = Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]

WHILE Duracao > 0 DO

{

 Minuto_atual = CALHOUR() * 60 + CALMIN()

 IF Minuto_atual >= 1390 THEN

 {

 Minuto_atual = 345

 }

 IF Minuto_atual < 870 THEN

 {

 BEGIN

 GET Operador_15

 Inicio = 870 - Minuto_atual

 IF Inicio > 140 THEN

 {

 Inicio = 870 - Minuto_atual - 40

 }

 END

 }

 ELSE

 {

 BEGIN

 GET Operador_17

 Inicio = 1390 - Minuto_atual

 IF Inicio > 250 THEN

 {

```

                Inicio = 1390 - Minuto_atual - 30
            }
        END
    }
    IF Duracao < Inicio THEN
    {
        BEGIN
        WAIT Duracao
        END

    }
    ELSE
    {
        BEGIN
        WAIT Inicio
        END
    }
    FREE ALL
    Restante = Duracao - Inicio
    Duracao = Restante
    }
    FREE ALL
    INC OPERACAO, 1
    ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO, SEQ_FABR]
        1      ALL      Entrada_I3_091 FIRST 1
        2      ALL      Entrada_I3_011 FIRST 1
        3      ALL      Entrada_I3_012 FIRST 1
        4      ALL      Entrada_I3_013 FIRST 1
        5      ALL      Entrada_I3_021 FIRST 1
        6      ALL      Entrada_I3_031 FIRST 1
        7      ALL      Entrada_I3_032 FIRST 1
        8      ALL      Entrada_I3_081 FIRST 1
        9      ALL      Entrada_I5_101 FIRST 1
        10     ALL      Entrada_I3_084 FIRST 1
        11     ALL      Entrada_I3_082 FIRST 1
        12     ALL      Entrada_I5_051 FIRST 1
        13     ALL      Entrada_Q4      FIRST 1
ALL      Entrada_I3_032      1      ALL      I3_032      FIRST 1
CLOCK( MIN)
Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =

MOVE WITH Operador_16 THEN FREE

```

```

ALL      I3_032      GET Operador_16
                        WAIT Matriz_tempos[OPERACAO,SEQ_FABR]
                        FREE ALL
                        INC OPERACAO, 1
                        ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO,SEQ_FABR]
                                1      ALL      Entrada_I3_091 FIRST 1
                                2      ALL      Entrada_I3_011 FIRST 1
                                3      ALL      Entrada_I3_012 FIRST 1
                                4      ALL      Entrada_I3_013 FIRST 1
                                5      ALL      Entrada_I3_021 FIRST 1
                                6      ALL      Entrada_I3_031 FIRST 1
                                7      ALL      Entrada_I3_032 FIRST 1
                                8      ALL      Entrada_I3_081 FIRST 1
                                9      ALL      Entrada_I5_101 FIRST 1
                                10     ALL      Entrada_I3_084 FIRST 1
                                11     ALL      Entrada_I3_082 FIRST 1
                                12     ALL      Entrada_I5_051 FIRST 1
                                13     ALL      Entrada_Q4      FIRST 1
ALL      Entrada_I3_081      1      ALL      I3_081      FIRST 1  Resultados[SEQ_FABR,OPERACAO] =
CLOCK( MIN)
                                                MOVE WITH Operador_18 THEN FREE

ALL      I3_081      GET Operador_18
                        WAIT Matriz_tempos[OPERACAO,SEQ_FABR]
                        FREE ALL
                        INC OPERACAO, 1
                        ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO,SEQ_FABR]
                                1      ALL      Entrada_I3_091 FIRST 1
                                2      ALL      Entrada_I3_011 FIRST 1
                                3      ALL      Entrada_I3_012 FIRST 1
                                4      ALL      Entrada_I3_013 FIRST 1
                                5      ALL      Entrada_I3_021 FIRST 1
                                6      ALL      Entrada_I3_031 FIRST 1
                                7      ALL      Entrada_I3_032 FIRST 1
                                8      ALL      Entrada_I3_081 FIRST 1
                                9      ALL      Entrada_I5_101 FIRST 1
                                10     ALL      Entrada_I3_084 FIRST 1
                                11     ALL      Entrada_I3_082 FIRST 1
                                12     ALL      Entrada_I5_051 FIRST 1
                                13     ALL      Entrada_Q4      FIRST 1

```

ALL	Entrada_I5_101	1	ALL	I5_101	FIRST 1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
CLOCK(MIN)						MOVE WITH Montador THEN FREE
ALL	I5_101	GET Montador WAIT Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR] FREE ALL INC OPERACAO, 1 ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO, SEQ_FABR]				
		1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST 1	
		2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST 1	
		3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST 1	
		4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST 1	
		5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST 1	
		6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST 1	
		7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST 1	
		8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST 1	
		9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST 1	
		10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST 1	
		11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST 1	
		12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST 1	
		13	ALL	Entrada_Q4	FIRST 1	
ALL	Entrada_I3_084	1	ALL	I3_084	FIRST 1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
CLOCK(MIN)						MOVE WITH Operador_18 THEN FREE
ALL	I3_084	GET Operador_18 WAIT Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR] FREE ALL INC OPERACAO, 1 ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO, SEQ_FABR]				
		1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST 1	
		2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST 1	
		3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST 1	
		4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST 1	
		5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST 1	
		6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST 1	
		7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST 1	
		8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST 1	
		9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST 1	
		10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST 1	

			11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
			12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
			13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	Entrada_I3_082		1	ALL	I3_082	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
CLOCK(MIN)								
								MOVE WITH Operador_18 THEN FREE
ALL	I3_082	GET Operador_18						
		WAIT Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]						
		FREE ALL						
		INC OPERACAO, 1						
		ROUTE Matriz_rotatorios[OPERACAO, SEQ_FABR]						
			1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST	1	
			2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST	1	
			3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST	1	
			4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1	
			5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1	
			6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1	
			7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1	
			8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1	
			9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
			10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
			11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
			12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
			13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	Entrada_I5_051		1	ALL	I5_051	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR, OPERACAO] =
CLOCK(MIN)								
								MOVE WITH Pintor THEN FREE
ALL	I5_051	GET Pintor						
		WAIT Matriz_tempos[OPERACAO, SEQ_FABR]						
		FREE ALL						
		INC OPERACAO, 1						
		ROUTE Matriz_rotatorios[OPERACAO, SEQ_FABR]						
			1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST	1	
			2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST	1	
			3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST	1	
			4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1	
			5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1	
			6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1	

		7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1	
		8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1	
		9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
		10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
		11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
		12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
		13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
ALL	Entrada_Q4	1	ALL	Q4	FIRST	1	Resultados[SEQ_FABR,OPERACAO] =
							CLOCK(MIN)
							MOVE WITH Inspetor THEN FREE
ALL	Q4	GET Inspetor					
		WAIT Matriz_tempos[OPERACAO,SEQ_FABR]					
		FREE ALL					
		INC OPERACAO, 1					
		ROUTE Matriz_roteiros[OPERACAO,SEQ_FABR]					
		1	ALL	Entrada_I3_091	FIRST	1	
		2	ALL	Entrada_I3_011	FIRST	1	
		3	ALL	Entrada_I3_012	FIRST	1	
		4	ALL	Entrada_I3_013	FIRST	1	
		5	ALL	Entrada_I3_021	FIRST	1	
		6	ALL	Entrada_I3_031	FIRST	1	
		7	ALL	Entrada_I3_032	FIRST	1	
		8	ALL	Entrada_I3_081	FIRST	1	
		9	ALL	Entrada_I5_101	FIRST	1	
		10	ALL	Entrada_I3_084	FIRST	1	
		11	ALL	Entrada_I3_082	FIRST	1	
		12	ALL	Entrada_I5_051	FIRST	1	
		13	ALL	Entrada_Q4	FIRST	1	
		14	ALL	Saida	FIRST	1	
ALL	Saida	Resultados[SEQ_FABR,OPERACAO] = CLOCK(MIN)					
		Resultados[SEQ_FABR,12] = Prior					

 * Shift Assignments *

Locations	Resources	Shift Files	Priorities	Disable	Logic
	Operador_09	C:\Documents and Settings\Adil	99,99,100,100	No	
	Operador_10				
	Operador_12				
	Operador_13				
	Operador_15				
	Operador_16				
	Operador_02				
	Operador_04				
	Operador_06				
	Operador_07				
	Operador_08	C:\Documents and Settings\Adil	99,99,100,100	No	
	Operador_11				
	Operador_14				
	Operador_17				
	Operador_03				
	Operador_05				
	Inspetor	C:\Documents and Settings\Adil	100,100,100,100	No	
	Montador				
	Operador_01				
	Operador_18				
	Pintor				
I3_011.1		C:\Documents and Settings\Adil	99,99,99,99	No	SKIP
I3_011.2					
I3_021.1					
I3_021.3					

I3_031
I3_032

I3_011.3
I3_011.4
I3_021.2

```
C:\Documents and Settings\Adil 100,100,99,99    No    SKIP
```

```

*****
*                                     Attributes                                     *
*****

```

ID	Type	Classification
PN	Integer	Entity
COR	Integer	Entity
OPERACAO	Integer	Entity
SEQ_FABR	Integer	Entity
Tempo_fabr	Integer	Entity
Minuto_atual	Integer	Entity
Inicio	Integer	Entity
Restante	Integer	Entity
Duracao	Integer	Entity
Prior	Integer	Entity

```

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

```

ID	Type	Initial value	Stats
Var1	Integer	0	Time Series

```

*****
*                                     Arrays                                     *
*****

```

ID	Dimensions	Type
Matriz_rotatorios	11,111	Integer
Matriz_tempos	11,111	Integer
Resultados	111,12	Integer
Prior_sec	111	Integer

 * Macros *

ID	Text
PR001	1
PR002	1
PR003	1
PR004	1
PR005	1
PR006	1
PR007	1
PR008	1
PR009	1
PR010	1
PR011	1
PR012	1
PR013	1
PR014	1
PR015	1
PR016	1
PR017	1
PR018	1
PR019	1
PR020	1
PR021	1
PR022	1
PR023	1
PR024	1
PR025	1
PR026	1

PR027	1
PR028	1
PR029	1
PR030	1
PR031	1
PR032	1
PR033	1
PR034	1
PR035	1
PR036	1
PR037	1
PR038	1
PR039	1
PR040	1
PR041	1
PR042	1
PR043	1
PR044	1
PR045	1
PR046	1
PR047	1
PR048	1
PR049	1
PR050	1
PR051	1
PR052	1
PR053	1
PR054	1
PR055	1
PR056	1
PR057	1
PR058	1
PR059	1
PR060	1
PR061	1
PR062	1
PR063	1
PR064	1
PR065	1
PR066	1

PR067	1
PR068	1
PR069	1
PR070	1
PR071	1
PR072	1
PR073	1
PR074	1
PR075	1
PR076	1
PR077	1
PR078	1
PR079	1
PR080	1
PR081	1
PR082	1
PR083	1
PR084	1
PR085	1
PR086	1
PR087	1
PR088	1
PR089	1
PR090	1
PR091	1
PR092	1
PR093	1
PR094	1
PR095	1
PR096	1
PR097	1
PR098	1
PR099	1
PR100	1
PR101	1
PR102	1
PR103	1
PR104	1
PR105	1
PR106	1

PR107	1
PR108	1
PR109	1
PR110	1
PR111	1

* Subroutines *

ID	Type	Parameter	Type	Logic
Sub1	None			

* Arrival Cycles *

ID	Qty / %	Cumulative	Time (Hours)	Value
Cycl	Percent	No		

* External Files *

ID	Type	File Name
Prompt		

Chegadas 1.wk1	Arrival	C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo\External files\Chegada 1.wk1
(null)		C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\External files
final\roteiros 1.xls		
(null)		C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\External files
final\tempos 1.xls		

(null)		C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\External files
final\Resultados 1.xls		
(null)	Shift	C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\Turnos final\Turno
1.sft		
(null)	Shift	C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\Turnos final\Turno
2.sft		
(null)	Shift	C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\Turnos final\Turno
normal.sft		
(null)	Shift	C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\Turnos final\Turno 1-
2.sft		
(null)		C:\Documents and Settings\Adilson\Desktop\Mestrado\Modelo final\External files
final\Prioridades.xls		